# Semillas de Cambio en la Región Pacífico Sur

## Ciencia, Tecnología y Sociedad para el desarrollo local en las Cadenas Productivas Principales en Guerrero, Oaxaca y Chiapas

Anne C. Gschaedler Mathis
Joaliné Pardo Núñez
Cristina Taddei Bringas
María Antonieta Saldívar Chávez
Alejandro E. Mohar Ponce
Compiladores

CentroGeo
CIAD
CICY
CIATEJ

# Semillas de Cambio en la Región Pacífico Sur: Ciencia, Tecnología y Sociedad para el desarrollo local en las cadenas productivas principales en Guerrero, Oaxaca y Chiapas

---

Compiladores:
Anne Christine Gschaedler Mathis
Joaliné Pardo Núñez
Isabel Cristina Taddei Bringas
María Antonieta Saldívar Chávez
Alejandro Ernesto Mohar Ponce

CONAHCYT - CIATEJ

2024

***Semillas de Cambio en la Región Pacífico Sur: Ciencia, Tecnología y Sociedad para el desarrollo local en las cadenas productivas principales en Guerrero, Oaxaca y Chiapas***

1ª. edición
664 pp.: xx ilustraciones; 17 x 23 cm
México: Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de
ISBN 978-607-8734-
T. 338 Ciencias sociales – Economía - Producción KNA Agroindustria y sector primario

Primera edición, 2024
Obra realizada con el apoyo
D.R. © Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco A. C.

Av. Normalistas 800, Colinas de La Normal, 44270 Guadalajara, Jal., México
Tel: (33) 33455200 ext. 1118 http://www.ciatej.mx

Responsable legal: Dra. Eugenia Lugo Cervantes
Responsable administrativo: C.P. Citlalli Haidé Alzaga Sánchez

Portada: Alena Urdiales Kalinchuk y Nayeli Citlalli Vallarta Díaz

# Contenido


| Apartado 1: Contexto socio económico y territorial | | | |
|---|---|---|---|
| *Capítulo* | *Título* | *Autores* | *Página* |
| 1 | Delimitación y caracterización socioeconómica de territorios funcionales | Carlos Anzaldo Gómez | 15 |
| 2 | Identificación de territorios con vulnerabilidad | David Martínez Cervantes, Alejandro Mohar Ponce, Laura Ramírez Jiménez, Yutzil Lora Cabrera, Donají García - Alonso y Edalí Yareni Murillo Gómez | 57 |
| 3 | Panorama socioeconómico de las cadenas productivas de agave, mango, café, y frijol en la región Pacífico Sur | Julia Sánchez Gómez, Luis Alberto Olvera Vargas, Yair Romero Romero, Joaliné Pardo Núñez, Ever Sánchez Osorio, Carlos Mario Rodríguez Peralta y Óscar Aguilar Juárez | 95 |
| 4 | Elementos de la implementación de una estrategia múltiple de incidencia social en los micro y pequeños productores de tilapia en el Pacífico Sur: manejo financiero en granja, socioeconomia y cambio climático | Francisco Javier Martínez Cordero y Edgar Sánchez Zazueta | 115 |

| | | | |
|---|---|---|---|
| 5 | Territorios dorados: El maíz y la herencia campesina e indígena del Pacífico Sur | Paola Andrea Mejía-Zuluaga y Patricia Ortega-Fernández | 127 |
| 6 | Proyectos productivos factibles para la región Pacífico Sur de México | Cristina Taddei Bringas, Martín Preciado Rodríguez y Jesús Robles Parra | 151 |
| 7 | Plataforma Geoweb Pacífico Sur | Jesús Trujillo Almeida, Edali Yareni Murillo Gómez, Alejandro Ernesto Mohar Ponce, Paola Andrea Mejía Zuluaga, Paulina Paredes Camarillo y Claudia Casillas Ximénez | 187 |

**Apartado 2: Investigación científica y tecnológica**

| | | | |
|---|---|---|---|
| 8 | Establecimiento de un proceso de escalamiento de micropropagación de individuos élite de agaves mezcaleros | Gabriel de Jesús Ojeda, Kelly Mabel Monja Mio, Antonio Rescalvo Morales, María Antonieta Saldívar Chávez y Lorenzo Felipe Sánchez Teyer | 217 |
| 9 | Aprovechamiento alternativo de los agaves mezcaleros del Pacífico Sur | Javier Arrizon Gaviño, Rosa María Camacho, Mirna Estarrón Espinosa y Anne C. Gschaedler Mathis | 239 |
| 10 | Uso de biorreactores para el escalamiento en la producción de plántulas de *coffea spp.* Generadas mediante embriogénesis somática | Hugo A. Méndez-Hernández, Rosa M. Galaz-Ávalos, Ana O. Quintana-Escobar, Rodolfo Pech-Hoil, Ana M. Collí-Rodríguez, Itzamná Q. Salas-Peraza y Víctor M. Loyola-Vargas | 269 |

| | | | |
|---|---|---|---|
| 11 | Estrategias biorracionales para el control de la roya del cafeto (*Hemileia vastatrix*) | Joaquin A. Qui-Zapata, Mayra I. Montero-Cortés, Soledad García-Morales, Hugo Espinosa-Andrews, Alberto Uc-Várguez, Julia Cano-Sosa, Jhony N. Enríquez-Vara, Ana L. Ramos-Díaz, Julio C. López-Velázquez, Iván Leal-García, Ana J. Cardoso-Magaña y Maribel Falcón-Bautista | 299 |
| 12 | Transformando cosechas: tostando café en lecho fuente para agricultores del suroeste | Enrique Arriola Guevara, Esaú Barajas Baltazar, Evaristo Urzúa Esteva, Priscilla Ruíz Palomino Haro, María Lourdes Flores López, Rosa Isela Corona González, Ernesto Rodríguez González y Guadalupe María Guatemala-Morales | 337 |
| 13 | Elaboración y validación de productos nutracéuticos a partir de café y sus subproductos | Guadalupe María Guatemala-Morales, Eugenia Lugo Cervantes, Eduardo Padilla Camberos, Hugo Esquivel Solís, Enrique Arriola Guevara, Rosa Isela Corona González, Miriam Granados Vallejo, Elisa Alejandra Beltrán Medina Juan Carlos Mateos Díaz y Gustavo Adolfo Castillo Herrera | 361 |
| 14 | Diversidad del frijol criollo del Pacífico Sur: una aproximación agronómica, fitosanitaria y nutricional | Soledad García-Morales, Johny N. Enriquez-Vara, María Fernanda Hernández-Soltero, Eugenia Lugo Cervantes y Andrés de Jesús López-Gervacio | 383 |

| | | | |
|---|---|---|---|
| 15 | Potencial nutracéutico y cosmecéutico del frijol criollo en la región Pacífico Sur de México | Montserrat Alcázar Valle, David Fonseca Hernández, Jonhatan Contreras, Luis Mojica Contreras y Eugenia Lugo Cervantes | 409 |
| 16 | Transformación e innovación tecnológica de procesos y productos a base de mango como alternativa comercial | María Dolores Muy Rangel, César San Martín Hernández, Juan Pedro Campos Sauceda, Eber Quintana Obregón, Manuel Alonzo Báez Sañudo, Verónica Pérez Rubio, José Luis Valenzuela Lagarda, Armando Carrillo Facio, José Basilio Heredia, Werner Rubio Carrasco, Eduardo Sánchez Valdez y Rosalba Conteras Martínez | 435 |
| 17 | El mango y sus subproductos: alternativas de aprovechamiento como posible fuente de compuestos bioactivos | Teresa del Rosario Ayora Talavera, Socorro Josefina Villanueva Rodríguez, Guadalupe María Guatemala Morales, Neith Aracely Pacheco López, Juan Carlos Cuevas Bernardino, Enrique Arriola Guevara y Eugenia Lugo Cervantes | 465 |
| 18 | Diagnóstico sanitario de tilapia cultivada en granjas rurales de Guerrero, Oaxaca y Chiapas | Selene M. Abad-Rosales, Rodolfo Lozano-Olvera, Francis I. Marrujo-López, Karla G. Aguilar-Rendón, Rosa M. Medina-Guerrero, Francisco N. Morales-Serna, Emma J. Fajer-Ávila, Sonia Soto-Rodríguez y María Cristina Chávez-Sánchez | 491 |

| | | | |
|---|---|---|---|
| 19 | Desarrollo de un alimento con insumos agrícolas y pesqueros de la región Pacífico Sur para aumentar la rentabilidad de los cultivos de tilapia | Crisantema Hernández, Erika Yazmín Sánchez Gutierrez, Cynthia Esmeralda Lizárraga Velázquez, Lizeth Carolina Flores Méndez y Alondra Mesina Peña | 513 |
| 20 | Incidencia social en micro y pequeños productores de tilapia en el Pacífico Sur: Manejo financiero en granja, socioeconomía y cambio climático | Francisco Javier Martínez Cordero y Edgar Sánchez Zazueta | 531 |
| 21 | Inocuidad agroalimentaria: principios básicos, retos y metas | Cristóbal J. González-Pérez, Emmanuel Aispur-Hernández, Irasema Vargas-Arispuro, Carlos G. Borbón-Morales y Miguel Ángel Martínez-Téllez | 553 |
| 22 | Inteligencia tecnológica para el desarrollo de las cadenas productivas de la región Pacífico Sur | Luis Alberto Olvera Vargas, Yair Romero Romero, Julia Sánchez-Gómez, Joaliné Pardo Núñez, Ever Sánchez Osorio, Carlos Mario Rodríguez Peralta, Óscar Aguilar Juárez | 577 |
| | **Apartado 3: Experiencias emblemáticas en los territorios** | | |
| 23 | El mezcal: voces, ciencia y bienestar. Una tradición milenaria fortalecida gracias a las comunidades de productores en el estado de Guerrero | María Antonieta Saldívar Chávez, Kelly Mabel Monja Mio, Gabriel de Jesús Ojeda, Antonio Rescalvo Morales y Lorenzo Felipe Sánchez Teyer | 597 |

| | | | |
|---|---|---|---|
| 24 | Diagnóstico de la cadena productiva del café desde la perspectiva de productores en la montaña de Guerrero | Joaliné Pardo Núñez, Román Alejandro Hernández Rivas, Alejandra Marussia Serafín Castro, María Elena Matías Arcos y Jesús Conrado Ochoa Acosta | 623 |
| 25 | Colecta de variedades nativas de frijol en la región Pacífico Sur: experiencias y perspectivas de los diferentes actores | Montserrat Alcázar Valle, Luis Mojica, Eugenia Lugo Cervantes y Ever Sanchez Osorio | 639 |
| 26 | Colaboración con la organización Totikes de Chiapas, en torno a maíces nativos | Edali Yareni Murillo Gómez, Paola Andrea Mejía-Zuluaga, Patricia Ortega-Fernández y Alejandro Ernesto Mohar Ponce | 657 |
| 27 | Impacto social del proyecto FORDECYT: cultivo del mango en el Pacífico Sur | María Dolores Muy Rangel, César San Martín Hernández, Juan Pedro Campos Sauceda, Eber Quintana Obregón, Manuel Alonzo Baez, Sañudo, Verónica Pérez Rubio, José Luis Valenzuela Lagarda, Armando Carrillo Facio, José Basilio Heredia, Werner Rubio Carrasco, Eduardo Sánchez Valdéz y Rosalba Contreras Martínez | 671 |
| 28 | Diagnóstico de la cadena productiva del mango desde la perspectiva de productores en la Costa Grande de Guerrero | Joaliné Pardo Núñez y Jesús C. Ochoa Acosta | 689 |
| 29 | Acciones de vinculación y transferencia de tecnología a los productores rurales de Chiapas, Oaxaca y Guerrero en pro de la mejora en la producción de tilapia | Crisantema Hernández, Cynthia Esmeralda Lizárraga Velázquez y Erika Yazmín Sánchez Gutierrez | 707 |

# Apartado 1

# Contexto socioeconómico y territorial

# Capítulo 1

# Delimitación y caracterización socioeconómica de territorios funcionales

*Carlos Anzaldo Gómez*[1]

**Resumen**

El análisis geoespacial integrado de las áreas urbanas y rurales que constituyen el sistema de asentamientos humanos del Pacífico Sur, de los flujos de población ocupada entre municipios vecinos de residencia y trabajo y de la red de transporte que articula a las localidades de la región, permite delimitar y tipificar un total de 184 subregiones como territorios de carácter funcional de muy diverso tamaño y composición en términos de la población, el número y perfil rural-urbano de las unidades que los conforman. Oaxaca, con 118 territorios, es el estado con mayor cantidad y diversidad de territorios funcionales pequeños; mientras que Chiapas y Guerrero, con 36 y 30 territorios, respectivamente, presentan una composición más orientada hacia territorios más grandes.

La ubicación de los territorios en un gradiente compuesto de urbanización y accesibilidad define cuatro tipos de territorios funcionales: *predominantemente urbanos* (PU), *intermedios (IM)*, *predominantemente rurales cercanos a ciudades (PRC)* y *predominantemente rurales remotos (PRR)*. Los dos tipos extremos de territorios son los dominantes, con una participación marcadamente mayor de los territorios funcionales predominantemente urbanos en Guerrero, y un peso específico significativamente superior de los territorios funcionales predominantemente rurales-remotos en Chiapas, pero sobre todo en Oaxaca. Este patrón de distribución pola-

[1] Centro de Investigación en Ciencias de Información Geoespacial (CentroGeo – Ciudad de México), Contoy 137, Lomas de Padierna, Tlalpan, México 14240.

rizado es común en los tres estados del Pacífico Sur en diferente grado e intensidad y se relaciona de manera elocuente con un conjunto de indicadores que dan cuenta de las diferencias en las oportunidades de desarrollo económico, social y humano de sus habitantes.

*Palabras clave:* Accesibilidad, desplazamientos laborales, regiones funcionales, territorios funcionales, tipología urbano-rural.

## Introducción

El concepto de territorio, como un sistema complejo donde interactúan las diferentes dimensiones de la vida social y se define un entorno económico (Echeverri & Moscardi, 2005), ha contribuido de manera importante a mejorar el análisis, planificación y gestión del desarrollo rural, debido a su capacidad para articular procesos y dinámicas fundamentales de las economías y sociedades rurales como son: el uso sostenible y la preservación del capital natural, la construcción y potenciación de capacidades locales y el diseño de políticas públicas con criterios multisectoriales y territoriales, entre otros aspectos.

En las últimas décadas las áreas rurales han experimentado, en diferente medida, una serie de transformaciones entre las que destacan la diversificación de su estructura productiva y la intensificación de sus vínculos económicos y sociales con las áreas urbanas. Esto se ha reflejado en la importancia creciente de las actividades de transformación y de servicios asociados a la agricultura y al aprovechamiento de los recursos naturales y culturales; así como en un mayor acceso a los mercados, oportunidades de educación, empleo y servicios de apoyo a la actividad rural. En este contexto, la planificación del desarrollo de la región Pacífico Sur puede apoyarse con un enfoque funcional del territorio que reconozca la diversidad socioeconómica de las áreas rurales y su distinto grado de integración con lo urbano, como elementos de información y conocimiento de naturaleza territorial, relevantes para la formulación y articulación de estrategias de intervención pública en materia de desarrollo económico, social y humano.

El presente trabajo desarrolla una propuesta de delimitación y tipificación de los territorios funcionales del Pacífico Sur sustentada en el análisis de tres elementos fundamentales: la configuración espacial de las áreas urbanas y rurales que integran el sistema de asentamientos humanos de la región; los movimientos regulares de población laboral entre municipios de residencia y de trabajo representativos de las relaciones funcionales que definen territorios comunes-compartidos más amplios, de carácter relacional y la ubicación y características de las localidades y la red de transporte que determinan diferencias en la accesibilidad de estas a centros urbanos proveedores de empleo, bienes y servicios, con implicaciones importantes en las oportunidades de desarrollo económico y social de sus habitantes.

El trabajo se compone de siete secciones, incluida esta introducción. La sección dos revisa los conceptos de región y región funcional, en general, así como las propuestas más conocidas de regiones funcionales en particular, incluidos los territorios funcionales (TF). La sección tres describe el procedimiento metodológico seguido para la delimitación de TF. La sección cuatro resume los resultados más representativos en términos de número, tamaño, ubicación e importancia de los TF al interior de la región. La sección cinco propone una tipología rural-urbana de TF que se concreta en un gradiente de naturaleza geoespacial. La sección seis presenta una caracterización socioeconómica de los tipos de TF que refleja las desigualdades territoriales prevalecientes en su estructura demográfica, mercado laboral y desarrollo social. Finalmente, la sección siete contiene las conclusiones.

## Regiones y territorios funcionales

En su acepción más general, la noción de región se refiere a un área de la superficie terrestre con una composición de rasgos distintivos que le confieren un cierto grado de integración y diferenciación que la define y separa específicamente de otras áreas, es decir, regiones (Hagget, 1971; Abler, Adams & Goould, 1972). A su vez, los rasgos que definen y organizan a una región pueden referirse a sus características físicas o socioeconómicas,

de ahí que se hable de regiones naturales y regiones socioeconómicas como regiones de naturaleza distinta (Drobne, 2017).

En el caso de las regiones socioeconómicas, las ciencias regionales distinguen entre regiones formales y regiones funcionales (Hagget, 1971; Abler *et al.*, 1972). Las primeras son áreas que se definen mediante la agregación y generalización de unidades espaciales de menor nivel (p.ej. municipios, áreas estadísticas, zonas postales, distritos electorales) con base en una o más variables, con el objetivo de minimizar la varianza al interior de la región y maximizar la varianza entre regiones, dando como resultado regiones internamente homogéneas (Klapka, Halás & Tonev, 2013). Las segundas, en cambio, son regiones internamente heterogéneas, que se definen y organizan a partir de las relaciones funcionales que tienen lugar a su interior, en forma de flujos o interacciones espaciales, y que reflejan la complementariedad y dependencia mutua entre sus elementos, es decir, unidades espaciales (Ullman, 1980; Drobne, 2017).

Para Klapka *et al.* (2013) una región funcional:

> es una región organizada por relaciones funcionales que se maximizan al interior de la región (maximización de flujos o interacciones intrarregionales) y se minimizan a través de sus fronteras (minimización de flujos o interacciones interregionales) de modo tal que los principios de cohesión interna y separación externa respecto de la intensidad de los flujos o interacciones espaciales se cumplen. (…) Principios que se cuantifican y resumen en la denominada 'autocontención' de una región.

De esta forma, las regiones funcionales son entendidas como patrones generalizados de flujos e interacciones en el espacio y como sistemas de unidades espaciales fuertemente vinculadas (Drobne, 2017). Las interacciones espaciales, por su parte, pueden ser medidas como flujos de población, de mercancías, de información, financieros y de servicios de diferente tipo, entre otros (ibíd). De acuerdo con la Organización para la Cooperación y el

Desarrollo Económico (OECD, en inglés) (2002), las regiones funcionales son subdivisiones de territorios, donde el concepto más comúnmente utilizado para definir una región es el de análisis de mercado laboral o de áreas donde la oferta y la demanda laboral están equiparadas, es decir, donde la demanda laboral es proporcional a la oferta laboral y viceversa (Karlsoon & Olson, 2006). De ahí que los desplazamientos laborales cotidianos (*commuting*) sean los flujos de población más frecuentemente utilizados en la delimitación de regiones funcionales debido a su mayor frecuencia, estabilidad, representatividad y disponibilidad de información, respecto de otros tipos de movimientos (Smart, 1974; Coombes *et al.*, 2012).

Entre las diferentes propuestas de regiones funcionales que es posible distinguir en la literatura, Drobne (2017) y Klapka *et al*. (2013) distinguen las siguientes: áreas urbanas funcionales, regiones urbanas funcionales, sistemas urbanos cotidianos, áreas de mercado laboral local y áreas de viaje al trabajo. Las tres primeras comparten el carácter urbano de los centros y consecuentemente de los flujos o interacciones espaciales que las definen y organizan como regiones funcionales.

Un área urbana funcional (FUA, por sus siglas en inglés) es un área de tamaño intermedio o mayor, conectada funcionalmente, que se compone de un centro urbano de cierto tamaño y de su área de influencia directa (Drobne, 2017), también denominada zona de conmutación (*commuting zone*), la cual generalmente se define a partir de un porcentaje mínimo de población residente en edad laboral que se desplaza diariamente a trabajar a la ciudad. Las FUA pueden traslaparse y no necesariamente cubren homogéneamente el territorio de un estado o país (ibíd.). Las regiones urbanas funcionales (FUR, en inglés) se definen alrededor de centros urbanos de diferente orden, pero en términos de una mayor diversidad de flujos y de criterios más amplios que los utilizados en las FUA. Estas regiones, a diferencia de las anteriores, no se traslapan y cubren homogéneamente el territorio de los países que las definen (ibíd.). Los sistemas urbanos cotidianos (DUS, en inglés), por su parte, son más específicos y espacialmente más limitados que las FUR, debido a que sólo toman en cuenta los flujos

o interacciones cuya temporalidad o frecuencia se circunscribe al periodo de un día (Klapka *et al.*, 2013).

Las áreas de mercado laboral y las áreas de viaje al trabajo (LLMA y TTWA, por sus respectivas siglas en inglés) son regiones funcionales que se definen con base en flujos o interacciones espaciales particulares que se circunscriben al análisis de los movimientos laborales cotidianos que tienen lugar a su interior (Klapka *et al*., 2013), independientemente del carácter urbano-rural tanto de las unidades que las definen como de los flujos que las organizan, las  y los cuales no necesariamente tienen que mostrar un carácter u orientación predominantemente urbano. Klapka *et al.* (2013) consideran que estos dos tipos de regiones son casi idénticas, con la única diferencia de que el término de área de mercado laboral local implica una definición de flujos o tipos de movimiento ligeramente más amplia que la correspondiente al área de viaje diario al trabajo.

Por su parte, los trabajos de los programas Dinámicas Territoriales Rurales y Cohesión Territorial para el Desarrollo, coordinados por el RIMISP-Centro Latinoamericano para el Desarrollo Rural, cuyo propósito es contribuir al diseño e implementación de políticas públicas que estimulen y apoyen círculos virtuosos de crecimiento económico, inclusión social y sustentabilidad ambiental en los territorios no metropolitanos de la región, conciben a los territorios funcionales como espacios relativamente autocontenidos, donde las personas, organizaciones y empresas se desenvuelven, dando lugar a una alta frecuencia de interacciones económicas, sociales, culturales y ambientales que los articulan y cohesionan (Berdegué *et al.*, 2011; Berdegué & Meynard, 2012).

En términos operativos, un territorio funcional se define como un mercado laboral local, constituido por un conjunto geográficamente continuo de unidades administrativas menores (municipios, comunas, distritos) dentro del cual una proporción importante de sus habitantes se desplazan regularmente para trabajar (Berdegué *et al*., 2011). Su construcción social, como espacio de identidad colectiva (Schejtman & Berdegué, 2004), corresponde también al lugar donde la población habita y accede a los servicios esenciales relacionados con su lugar de residencia (educación, salud, abasto, gobierno, recreación y cultura, entre otros) donde, además de trabajar, las

personas se organizan, construyen redes y participan en la vida social y política (Berdegué *et. al*, 2011; Fernández *et. al*, 2019).

De acuerdo con Fernández *et al*. (2019), la propuesta de territorios funcionales tiene la ventaja que permite aprehender al territorio como un espacio de carácter relacional y a las áreas rurales en su interacción con las urbanas (dos elementos centrales en el análisis de la ruralidad de América latina), en la medida que posibilita trascender la dicotomía rural-urbana y aportar un enfoque que permite comprender mejor la complejidad espacial de los países y coadyuvar a un mejor diseño de política pública.

## Delimitación de territorios funcionales

La propuesta de delimitación de territorios funcionales que aquí se presenta constituye una adaptación y extensión de la metodología del RIMISP2 y consta de tres etapas: i) la identificación de conurbaciones intermunicipales mediante la aplicación de umbrales de tamaño y densidad de población, aplicados a las áreas menores de enumeración censal para las cuales se dispone de información actualizada, que en el caso de México corresponden a las denominadas AGEB —áreas geoestadísticas básicas; ii) la integración de zonas de conmutación laboral (*commuting zones*) por medio de un análisis de conglomerados de tipo jerárquico para agrupar unidades/municipios con niveles importantes de interacción espacial, es decir, flujos laborales entre unidades espaciales de origen-residencia y destino-trabajo y iii) la incorporación de municipios no agrupados en la etapa anterior, bajo un criterio accesibilidad geográfica, es decir, tiempo de viaje/traslado más corto desde la cabecera municipal en cuestión a la localidad principal que funge como centro de la zona de conmutación más cercana.

[2] La metodología del RIMISP para la delimitación de territorios funcionales se compone de dos etapas. La primera consiste en la identificación de conurbaciones que involucran a dos o más unidades administrativas, mediante el uso de imágenes satelitales nocturnas, dando como resultado una primera agrupación de unidades espaciales. La segunda consiste en la formación de conglomerados entre las unidades espaciales resultado de la primera etapa y el resto de las unidades administrativas del país o región de estudio, con base en el análisis de datos censales sobre los desplazamientos laborales entre ellas, en ambos sentidos, mediante un análisis de conglomerados de tipo jerárquico, dando como resultado la configuración definitiva de los territorios funcionales (Berdegué *et al.*, 2019).

***Identificación de conurbaciones intermunicipales***

El marco geoestadístico del Censo de Población y Vivienda 2020 para los tres estados que forman la región Pacífico Sur se compone de 775 áreas geoestadísticas municipales (AGEM) y 9 736 áreas geoestadísticas básicas (AGEB). En este sentido, la posibilidad de identificar y caracterizar con mayor detalle las diferencias en los patrones de asentamiento urbano-rural entre y al interior de las entidades federativas del Pacífico Sur pasa por analizar las diferencias en el tamaño y la densidad de población de sus respectivas áreas urbanas y rurales, haciendo uso de las unidades geográficas de tipo censal que componen el territorio de sus municipios.

En esta fase de la delimitación se procedió a calcular la densidad de población de las AGEB que integran los 775 municipios del Pacífico Sur y se optó por aplicar umbrales de densidad y tamaño de población aproximados a los propuestos en la metodología del Grado de urbanización de las Naciones Unidas3, lo que permitió identificar 171 aglomeraciones urbanas formadas por la continuidad espacial de AGEB con densidades de al menos 20 habitantes por hectárea y una población en conjunto de 5 000 y más habitantes. La mayor cantidad de aglomeraciones corresponden al estado de Chiapas (74), seguidas de Guerrero (49) y Oaxaca (48).

Entre estas aglomeraciones destacan por su tamaño: Tuxtla Gutiérrez, Tapachula, San Cristóbal de la Casas y Comitán, en el estado de Chiapas; Acapulco, Chilpancingo, Iguala, Zihuatanejo y Tlapa en el estado de Guerrero; y Oaxaca, Tuxtepec, Juchitán, Salina Cruz, Huajuapan de León y Tehuantepec, en el estado de Oaxaca.

[3] En marzo de 2020, en su 51º periodo de sesiones, la Comisión de Estadística de las Naciones Unidas suscribió la Metodología para la definición de ciudades y áreas urbanas y rurales con fines de comparación estadística internacional, también conocida como Grado de urbanización (Degree of urbanisation), la cual fue desarrollada por un consorcio de seis organizaciones internacionales (Comisión Europea, OECD, Banco Mundial, FAO, UN-Hábitat y OIT). Este método, que busca complementar las definiciones utilizadas por los institutos nacionales de estadística, clasifica el territorio completo de un país a lo largo de un continuo urbano-rural, formado en un primer nivel por tres categorías y en un segundo nivel por siete (European Commission *et al.*, 2020). El proceso aplicado para su definición consiste en dos pasos: primero, las celdas de 1 km2 que integran la retícula que cubre el territorio de todo un país se clasifican en función de la densidad de población, la contigüidad y el tamaño de la población; posteriormente, las unidades locales, es decir, las unidades administrativas —como los municipios— o las unidades estadísticas —como las áreas de enumeración censal— son clasificadas con base en el tipo de celdas en las que la población reside (European Commission, Eurostat, 2021).

Este procedimiento también permitió identificar cinco conurbaciones intermunicipales donde al menos la mitad de la población de cada municipio participante reside en el mismo número de aglomeraciones urbanas. Una en el estado de Chiapas —Tuxtla Gutiérrez, formada por dos municipios— y cuatro en el estado de Oaxaca —Oaxaca, constituida por 10 municipios, y Tehuantepec, Ocotlán de Morelos y San Bartolo Coyotepec, cada una compuesta por dos municipios —, las cuales se consideran como unidades espaciales de origen y destino de flujos laborales en sí mismas, en la siguiente etapa de delimitación.

***Integración de zonas de conmutación laboral***

La intensidad de las relaciones funcionales entre conurbaciones y municipios se determinó con base en los datos sobre el municipio de trabajo de la población ocupada, contenidos en la Muestra del Censo de Población y Vivienda 2020. Primero se construyó una matriz ***F*** de flujos laborales, en términos absolutos, entre unidades espaciales de origen *i* y destino *j*.

$$F = [f_{11} \cdots f_{1n} \vdots \ddots \vdots f_{n1} \cdots f_{nn}] \quad para\ i,j = 1,2,3,\dots,n$$

Donde *fij* corresponde a la población ocupada que reside en la unidad de origen *i* y trabaja en la unidad de destino *j*.

Posteriormente, se calculó una matriz de asociación ***P*** entre unidades espaciales, en términos relativos, a partir de la relación entre la suma de los intercambios laborales entre cada par de unidades, en ambos sentidos, y la cifra del área con la menor población laboral residente.

$$P = [p_{1,1} \cdots p_{1,n} \vdots \ddots \vdots p_{n,1} \cdots p_{n,n}] \qquad p_{ij} = p_{ji} = \frac{f_{ij} + f_{ji}}{(f_{i\cdot}, f_{j\cdot})} \quad para\ i,j = 1,2,3,\dots,n$$

Donde *fij* y *fji* son el número de personas que residen en la unidad *i* y trabajan en la unidad *j*, y la cantidad de personas que residen en la unidad *j* y trabajan en la unidad *i*, respectivamente; y  y  son las poblaciones laborales residentes en cada unidad espacial.

Asimismo, para acotar esta medida de asociación a valores entre 0 y 1, los resultados que exceden a la unidad, como es el caso de la diagonal principal correspondiente a las mismas unidades de origen y destino, se sustituyeron por 1.

Finalmente, el tercer arreglo de datos entre unidades espaciales corresponde a la matriz de distancias ***D***, la cual se calculó como el complemento de la medida de asociación *pij.*

$$D = \left[d_{1,1} \cdots d_{1,n} \vdots \ddots \vdots pd_{n,1} \cdots d_{n,n}\right] \qquad d_{ij} = d_{ji} = 1 - p_{ij} \quad para\ i, j = 1,2,3, \dots, n$$

De acuerdo con esta medida de disimilitud, los mayores niveles de interacción laboral entre unidades espaciales corresponden a conurbaciones y municipios con distancias estadísticas tendientes a cero, en tanto que los menores niveles de interacción corresponden a unidades con distancias tendientes a uno.

Esta matriz de distancia se sometió a un análisis de conglomerados de tipo jerárquico para agrupar a las unidades espaciales cuyos clústeres se encuentran a una distancia máxima de 0.98, calculada con el método de liga promedio (*average linkage*), tal y como lo sugiere el método propuesto por Tolbert y Killian (1987) para delimitar zonas de conmutación laboral (*commuting zones*) y áreas de mercado laboral (Tolbert & Sizer, 1996).

***Análisis de accesibilidad***

El tercer y último paso en la delimitación de territorios funcionales consistió en la incorporación de un número significativo de municipios con niveles muy bajos o nulos de interacción laboral, pero que poseen una accesibilidad geográfica importante respecto de las localidades que funcionan como centros de los conglomerados formados en la etapa anterior.

La accesibilidad es un concepto que hace referencia a la capacidad de una localización para alcanzar o ser alcanzada por diferentes localizaciones (Rodrigue, 2020). Dalvi (1978) define la accesibilidad como: “la facilidad con la que se puede llegar a cualquier actividad de uso del suelo desde un lugar (determinado) utilizando un particular sistema de transporte”; mientras

que la noción de decaimiento de la distancia plantea que la relación entre dos entidades determinadas generalmente tiende a disminuir conforme la separación entre ellas aumenta (Hasova & Wolf, 2022).

En el caso particular de los modelos de interacción espacial, la intensidad de las relaciones funcionales entre unidades espaciales es estimada en función directa de los atributos que dan cuenta del tamaño y atractividad de las zonas de origen y destino, y en función inversa de la distancia que los separa. Las relaciones funcionales pueden referirse a flujos de personas, bienes y servicios de distinto tipo, mientras que la distancia puede expresarse en términos de longitud, tiempo o costo de viaje, entre otras medidas.

En nuestro caso, la medida de distancia utilizada corresponde al tiempo de viaje más corto de la cabecera municipal a la localidad de mayor tamaño que funciona como centro (lugar central) de la zona de conmutación laboral más cercana formada en la etapa anterior, estableciendo como umbral de distancia un tiempo de traslado máximo de 90 minutos.

El tiempo de viaje se calculó a partir de la base de datos geoespacial que forma parte de la publicación *Análisis geoespacial de la accesibilidad a centros urbanos de las localidades de México* (CONAPO, IMT y CentroGeo, 2022), el cual, además de considerar los atributos de longitud y velocidad de cada uno de los segmentos de la Red Nacional de Caminos 2020 (INEGI e IMT/SCT, 2020), incorpora dos factores de fricción, uno asociado a la pendiente del terreno y otro al tráfico o congestión en áreas urbanas (Brezzi *et al*., 2011). El umbral de 90 minutos corresponde al límite superior que define el grado de accesibilidad *medio* de las localidades a centros urbanos como se detalla más adelante.

## Territorios funcionales del Pacífico Sur

El número de territorios funcionales identificados en la región Pacífico Sur ascendió a 184. La mayoría de ellos, 94, son territorios formados por dos (39), tres (30) y cuatro municipios (25). En el extremo más bajo se encuentran 21 territorios de un solo municipio y en el más alto un territorio compuesto por 21 municipios (ver figura 1).

Figura 1. Pacífico Sur: Territorios funcionales, 2020

Fuente: elaboración propia con base en INEGI. Censo de Población y Vivienda 2020; y CONAPO, IMT y CentroGeo (2022). Grado de accesibilidad a centros urbanos de las localidades de México.

Oaxaca es, por mucho, la entidad federativa con la mayor cantidad de territorios funcionales (118), debido en parte a su elevada fragmentación político-administrativa en un gran número de municipios, pero sobre todo a lo accidentado y abrupto de su relieve, lo que limita fuertemente la movilidad y las oportunidades de interacción de sus habitantes.4 Más de la tercera parte de los territorios de Oaxaca (46) tienen menos de 10 000 habitantes. Este estado aporta 22 de los 23 territorios del Pacífico Sur con menos de 5 000 habitantes, y 24 de los 25 territorios con poblaciones entre 5 000 y 10 000 habitantes, así como el mayor número de territorios funcionales constituidos por un solo municipio (9) que apenas representan 1.7% de la población de la entidad (ver tabla 1 y figura 2).

[4] Esta condición accidentada y abrupta del relieve es común en los tres estados del Pacífico Sur. Sin embargo, la combinación de los patrones históricos de asentamiento humano y la localización y características de la infraestructura de transporte determina que esta sea la entidad federativa con los niveles de accesibilidad geográfica más bajos del Pacífico Sur y de todo el país (CONAPO, IMT, CentroGeo, 2022).

Oaxaca comparte nueve territorios funcionales con sus estados vecinos: tres territorios al norponiente con Puebla (Huahuapan de León, Teotilán de Flores Magón y Villa de Santiago Chazumba), dos territorios al norte con Veracruz (Tierra Blanca y Loma Bonita), uno más, al norte, con ambas entidades (Cosolapa), dos al poniente con Guerrero (Cuajinicuilapa y Alcozauca) y uno más al oriente con Chiapas (Tonalá). Mientras que en términos del tamaño de su población sobresalen cinco territorios: Oaxaca (607 000 hab.), Tuxtepec (226 000 hab.), Juchitán (214 000 hab.), Salina Cruz (195 000 hab.) y Huajuapan de León (115 000 hab.), los cuales, en conjunto, concentran 32.9% de la población estatal.

Chiapas se organiza en 36 territorios funcionales y es la entidad que contribuye con el mayor número de territorios con las poblaciones más grandes del Pacífico Sur. Además del territorio que comparte al poniente con Oaxaca (Tonalá), Chiapas participa en dos territorios con Tabasco (Centro y Teapa) y en uno más con Tabasco y Campeche (Palenque). Aquí los territorios funcionales más poblados son Tuxtla Gutiérrez (904,000 hab.), San Cristóbal de las Casas (718 000 hab.), Ocosingo (579 000 hab.), Comitán (509 000 hab.) y Tapachula (489 000 hab.), mismos que reúnen a 57.7% de la población. En contraste, cinco de sus territorios se componen de un solo municipio (Pantelhó, Mezcalapa, Maravilla Tenejapa, Honduras de la Sierra y Capitán Luis Ángel Vidal), cuyos habitantes apenas representan 1.5% del total.

Guerrero se compone de 30 territorios funcionales y es la entidad del Pacífico Sur con la mayor cantidad de territorios con poblaciones entre 100 000 y 500 000 habitantes (12). Comparte cinco territorios con estados vecinos: dos, antes mencionados, al oriente con Oaxaca (Cuajinicuilapa y Alcozauca), dos al poniente con Michoacán (Lázaro Cárdenas y Pungarabato) y uno al norte con el Estado de México (Ixtapan de la Sal). Los territorios con mayor población del estado son Acapulco (903 000 hab.), Chilpancingo (481 000 hab.), Iguala (235 000 hab.), Chilapa (183 000 hab.) y Zihuatanejo (171 000 hab.), que en conjunto albergan a 55.7% del total. En cambio, siete territorios se integran por un solo municipio (Acatepec, Heliodoro Castillo, Ahuacuotzingo, Coahuayutla, Apaxtla, Tlacoapa y Pedro Ascencio), cuya población como un todo solo representa 4.0% de la entidad.

Tabla 1. Pacífico Sur: Número de territorios, municipios y población por tamaño de territorio funcional, 2020

| Tamaño de territorio | Territorios funcionales | Mpios. | Población | % | Territorios funcionales | Mpios. | Población | % |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Pacífico Sur | | | | Chiapas[a] | | |
| Total | 184 | 775 | 13 216 661 | 100.0 | 36 | 127 | 5 583 146 | 100.0 |
| 500 000 y más hab. | 6 | 52 | 4 219 562 | 31.9 | 4 | 34 | 2 709 707 | 48.5 |
| 100 000 a 499 999 hab. | 26 | 141 | 4 681 877 | 35.4 | 8 | 30 | 1 615 664 | 28.9 |
| 50 000 a 99 999 hab. | 29 | 134 | 2 095 092 | 15.9 | 14 | 49 | 999 135 | 17.9 |
| 25 000 a 49 999 hab. | 39 | 162 | 1 346 930 | 10.2 | 6 | 10 | 204 114 | 3.7 |
| 10 000 a 24 999 hab. | 36 | 145 | 604 632 | 4.6 | 3 | 3 | 50 211 | 0.9 |
| 5 000 a 9 999 hab. | 25 | 81 | 191 534 | 1.4 | - | - | - | - |
| 1 000 a 4 999 hab. | 23 | 60 | 77 034 | 0.6 | 1 | 1 | 4 315 | 0.1 |
| | | Guerrero[b] | | | | Oaxaca | | |
| Total | 30 | 87 | 3 553 083 | 100.0 | 118 | 561 | 4 080 432 | 100.0 |
| 500 000 y más hab. | 1 | 3 | 902 746 | 25.4 | 1 | 15 | 607 109 | 14.9 |
| 100 000 a 499 999 hab. | 12 | 50 | 2 106 244 | 59.3 | 6 | 61 | 959 969 | 23.5 |
| 50 000 a 99 999 hab. | 2 | 8 | 147 151 | 4.1 | 13 | 77 | 948 806 | 23.3 |
| 25 000 a 49 999 hab. | 9 | 19 | 318 756 | 9.0 | 24 | 133 | 824 060 | 20.2 |
| 10 000 a 24 999 hab. | 5 | 6 | 71 110 | 2.0 | 28 | 136 | 483 311 | 11.8 |
| 5 000 a 9 999 hab. | 1 | 1 | 7 076 | 0.2 | 24 | 80 | 184 458 | 4.5 |
| 1 000 a 4 999 hab. | - | - | - | - | 22 | 59 | 72 719 | 1.8 |

[a] Incluye a tres municipios y 39 318 habitantes de Oaxaca.

[b] Incluye a seis municipios y 12 398 habitantes de Oaxaca.

Fuente: Cálculos propios con base en INEGI, Censo de Población y Vivienda 2020.

Figura 2. Pacífico Sur: Territorios funcionales por tamaño de población, 2020

Fuente: elaboración propia con base en INEGI. Censo de Población y Vivienda 2020; y CONAPO, IMT y CentroGeo (2022). Grado de accesibilidad a centros urbanos de las localidades de México.

## Tipología urbano-rural

La definición de zonas urbanas y rurales es un elemento fundamental en las políticas de desarrollo regional que buscan establecer el ámbito territorial de aplicación de medidas y recursos públicos, donde es deseable incentivar la convergencia y complementariedad de acciones entre distintos sectores y órdenes de gobierno.

Un referente importante en este sentido lo constituye el trabajo del Grupo Temático 14 de la Red Europea para el Desarrollo Rural (ENRD, por sus siglas en inglés), el cual identifica tres asuntos de relevancia, de naturaleza territorial, estrechamente vinculados entre sí, en la programación del desarrollo rural: i) la definición del límite o frontera entre áreas 'rurales' y 'urbanas' con propósitos generales; ii) la selección de territorios particulares para la aplicación de medidas específicas y iii) el desarrollo de

tipologías que permitan una distinción más amplia entre diferentes tipos de áreas, especialmente en el contexto de los programas de desarrollo rural a nivel nacional o regional, donde los gobiernos deben aplicar medidas o niveles de financiamiento significativamente distintos a diferentes tipos de territorios (ENRD-TWG1, 2010).

En este contexto, el Grupo de Trabajo Temático identifica nueve factores principales a considerar en la construcción de una tipología revisada de las áreas rurales, de carácter general, a saber:

1. Densidad de Población
2. Áreas urbanas
3. Uso del suelo
4. Dificultades físicas
5. Sensibilidad ambiental
6. Demografía
7. Problemas socioeconómicos
8. Estructura económica
9. Acceso a servicios y economías urbanas.

Los tres primeros factores son centrales para la definición de áreas rurales con propósitos generales. Los factores cuatro y cinco, por su parte, lo son para la definición de áreas para la aplicación de medidas específicas y los últimos cuatro factores para la definición de los tipos de áreas rurales que más requieren desarrollarse.

***Grado de urbanización-ruralidad de los municipios***

Ante la dificultad e inconveniencia de contar con una definición de lo rural única, que todo lo abarque, Brown y Cromartie (1994) sugieren que: “las ciencias sociales deben desarrollar marcos conceptuales y esquemas de geocodificación que permitan situar a las localidades en función de su grado de ruralidad”. En esta línea, Rodríguez y Saborío (2008) distinguen cuatro dimensiones relevantes a considerar en la definición de lo rural. Las dos primeras: i) la naturaleza de los asentamientos humanos y ii) el uso de la tierra tienen que ver con las características demográfico-ecológicas de los

territorios urbanos y rurales como tales, y las dos segundas: iii) la estructura del empleo y iv) el acceso a servicios básicos, con las características socioeconómicas de sus habitantes.

De acuerdo con la naturaleza de los asentamientos humanos, la diferencia entre lo rural y lo urbano implica, en términos ideales, dos situaciones extremas: lo rural asociado a la dispersión poblacional y lo urbano a la concentración. En esta dimensión, los criterios de clasificación más comúnmente usados han sido el tamaño de la población, la densidad y la situación espacial de las localidades dentro del sistema de asentamientos humanos (p.ej. accesibilidad, centralidad, aislamiento). Esta dimensión demográfico-ecológica de lo rural-urbano es básica para alimentar la formulación de tipologías territoriales de tipo gradiente que permitan dar cuenta mejor de las diferencias en los patrones de configuración espacial que coexisten al interior de un país o región.

La determinación del grado de urbanización y ruralidad de los municipios del Pacífico Sur se apoya en la metodología del Grado de urbanización de las Naciones Unidas y es resultado de la clasificación sucesiva de las unidades de enumeración censal de diferente nivel que integran su territorio en tres categorías (ver figura 3).

En la primera clasificación, las AGEB del Pacífico Sur se catalogan en:

- *Áreas densamente pobladas*: corresponden a AGEB con densidades de al menos 20 habitantes por hectárea y que, en conjunto con otras AGEB contiguas, igualmente densas, suman una población de al menos 50 000 habitantes.
- *Áreas de densidad intermedia*: son AGEB con densidades de al menos cinco habitantes por hectárea y que por sí solas o en conjunto con otras AGEB vecinas, con densidades similares, aglomeran a una población de al menos 5 000 habitantes.
- *Áreas escasamente pobladas*: son AGEB con densidades menores de cinco habitantes por hectárea, así como AGEB que tienen una densidad mayor de este valor, pero que por sí solas o en conjunto con otras AGEB contiguas, igualmente densas, no alcanzan una población de 5 000 habitantes.

En función de lo anterior, en la segunda clasificación las localidades se catalogan en:

- *Localidades densamente pobladas*, cuando al menos 50% de su población reside en AGEB densamente pobladas.
- *Localidades de densidad intermedia*, cuando las proporciones de población, tanto en AGEB densamente pobladas, como escasamente pobladas, no superan 50%.
- *Localidades escasamente pobladas*, cuando 50% o más de su población reside en AGEB escasamente pobladas.

Finalmente, en la tercera clasificación los municipios como unidades territoriales en sí mismas se catalogan en:

- *Municipios predominantemente urbanos*, cuando al menos 50% de su población reside en localidades densamente pobladas.
- *Municipios intermedios*, cuando las proporciones de población, tanto en localidades densamente pobladas como escasamente pobladas, no superan 50%.
- *Municipios predominantemente rurales*, cuando 50% o más de su población reside en localidades escasamente pobladas.

Figura 3. Grado de urbanización de las AGEB, localidades y municipios alrededor de la Ciudad de Oaxaca, 2020

Fuente: elaboración propia con base en INEGI. Censo de Población y Vivienda 2020.

En 2020 solo 25 municipios del Pacífico Sur se clasificaron como predominantemente urbanos; sin embargo, estos concentran casi 30% de la población. El mayor número corresponde a Oaxaca (16), mientras que Guerrero y Chiapas presentan una cantidad menor (5 y 4 municipios, respectivamente). La proporción de población más alta en municipios de esta categoría corresponde, por mucho, a Guerrero con poco más del 40%, participación que en Chiapas y Oaxaca desciende a 26.0% y 24.2% de la respectiva población estatal (ver tabla 2 y figura 4).

Los municipios intermedios de la región ascienden a 58 y en ellos reside uno de cada ocho habitantes del Pacífico Sur (12.7%). Oaxaca es la entidad con el mayor número (34) y la mayor proporción de población (16.4%) en municipios de este tipo. En Guerreo, los municipios intermedios se reducen a 10 y en ellos reside una proporción similar a la de la región (12.3%), mientras que en Chiapas los municipios de este tipo ascienden a 14, pero solo albergan a la décima parte de la población estatal (10.3%).

Nueve de cada diez municipios del Pacífico Sur (692) se catalogan como predominantemente rurales. Como es de suponer, Oaxaca es la entidad con el mayor número de territorios de este tipo (520), seguida de Chiapas (106) y Guerrero (66). A nivel de la región y en cada entidad esta es la categoría con el mayor número de habitantes. Sin embargo, la proporción de población más elevada le corresponde marcadamente a Chiapas, con casi

dos terceras partes del total (65.5%) y la menor a Guerrero, con menos de la mitad (47.1%); mientras que Oaxaca presenta una proporción ligeramente menor al de la región en su conjunto (57.6% y 58.1%, respectivamente).

Tabla 2. Pacífico Sur: Número de municipios y población por grado de urbanización, 2020

| Grado de urb. | Municpios | Población | % | Municpios | Población | % |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Pacífico Sur | | | Chiapas | |
| Total | 775 | 13 216 661 | 100.0 | 124 | 5 543 828 | 100.0 |
| P. Urbano | 25 | 3 855 114 | 29.2 | 4 | 1 339 905 | 24.2 |
| Intermedio | 58 | 1 682 168 | 12.7 | 14 | 570 097 | 10.3 |
| P. Rural | 692 | 7 679 379 | 58.1 | 106 | 3 633 826 | 65.5 |
| | | Guerrero | | | Oaxaca | |
| Total | 81 | 3 540 685 | 100.0 | 570 | 4 132 148 | 100.0 |
| P. Urbano | 5 | 1 439 219 | 40.6 | 16 | 1 075 990 | 26.0 |
| Intermedio | 10 | 435 382 | 12.3 | 34 | 676 689 | 16.4 |
| P. Rural | 66 | 1 666 084 | 47.1 | 520 | 2 379 469 | 57.6 |

Fuente: Elaboración propia con base en INEGI, Censo de Población y Vivienda 20220.

Figura 4. Pacífico Sur: Grado de urbanización de los municipios, 2020

Fuente: elaboración propia con base en INEGI. Censo de Población y Vivienda 2020.

### *Grado de accesibilidad a centros urbanos*

Las diferencias en los patrones de asentamiento humano y en la localización y características de la infraestructura de transporte que prevalecen al interior de la región Pacífico Sur determinan una estructura de oportunidades marcadamente desigual, en el que las localidades mejor comunicadas y más próximas a centros de población intermedios y urbanos potencialmente tienen acceso a mayores oportunidades socioeconómicas, en términos de ocupación, empleo, compra-venta de productos especializados, uso de infraestructura y servicios de educación, salud, abasto, recreación y cultura, entre otros. Mientras que las localidades más alejadas enfrentan mayores dificultades, como la falta de alternativas productivas y la carencia de bienes, variedad de alimentos y servicios sociales básicos.

El grado de accesibilidad es una medida en escala ordinal que resume para cada localidad del país los tiempos de traslado a cuatro centros urbanos

de distinto tamaño5, con base en su ubicación espacial y su posición relativa como nodos principales de la Red Nacional de Caminos. Como tal, se trata de una medida de accesibilidad basada en la ubicación que considera dos componentes fundamentales de la accesibilidad: el sistema de uso del suelo y el sistema de transporte (CONAPO, IMT & CentroGeo, 2022).

Esta medida clasifica el tiempo compuesto de viaje a destinos urbanos de cada localidad en un gradiente de 30 minutos para formar cinco estratos de accesibilidad: i) *muy alto*, de 0 a 30 minutos, ii) *alto*, de 31 a 60 minutos; iii) *medio*, de 61 a 90 minutos, iv) *bajo*, de 91 a 120 minutos, y v) *muy bajo*, 121 minutos y más (ver figura 5).

Figura 5. Pacífico Sur: Grado de accesibilidad a centros urbanos de las localidades, 2020

Fuente: elaboración propia con base en CONAPO, IMT y CentroGeo (2022). Análisis geoespacial de la accesibilidad a centros urbanos de las localidades de México.

A nivel nacional, Chiapas, Guerrero y Oaxaca son las entidades con las mayores proporciones de población residiendo en localidades con grados

[5] Mayores de 100 000, 25 000, 10 000 y 2 500 habitantes.

de accesibilidad a centros urbanos *bajo y muy bajo*, aunque con diferencias muy marcadas entre sí (ver tabla 3 y figura 6). En 2020, 28.1% de la población del Pacífico Sur residía en localidades de estos grados, proporción que en Oaxaca se incrementa a prácticamente 40% y en Chiapas desciende a menos de 18%, menos de la mitad que la anterior; mientras que Guerrero presenta una proporción más parecida, aunque superior a la de la región (30.9%).

Las proporciones de población que reside en localidades con grado de accesibilidad *medio* son muy similares entre sí. A nivel de la región, esta se ubica en 18.2%, siendo un punto mayor en Oaxaca, más de un punto menor en Chiapas y medio punto superior en Guerrero.

En contraste, poco más de la mitad de la población del Pacífico Sur (53.7%) residía en localidades con grados de accesibilidad *alto y muy alto*, proporción que en Chiapas asciende a casi la tercera parte (65.5%), en Guerrero desciende a la mitad (50.2%) y en Oaxaca apenas supera el 40% (40.9%), solo un punto por arriba de la proporción que reside en localidades con grados de accesibilidad *bajo y muy bajo*.

Tabla 3. Pacífico Sur: Localidades y población por grado de accesibilidad, 2020

| Grado de acces. | Localidades | Población | % | Localidades | Población | % |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Pacífico Sur | | | Chiapas | |
| Total | 36 701 | 13 144 501 | 100.0 | 19 901 | 5 498 887 | 100.0 |
| Muy alto | 3 183 | 4 382 088 | 33.3 | 1 988 | 2 070 081 | 37.6 |
| Alto | 8 871 | 2 673 195 | 20.3 | 7 072 | 1 529 993 | 27.8 |
| Medio | 9 149 | 2 395 789 | 18.2 | 5 729 | 938 397 | 17.1 |
| Bajo | 6 223 | 1 757 693 | 13.4 | 2 809 | 555 716 | 10.1 |
| Muy bajo | 9 275 | 1 935 736 | 14.7 | 2 303 | 404 700 | 7.4 |
| | | Guerrero | | | Oaxaca | |
| Total | 6 657 | 3 538 270 | 100.0 | 10 143 | 4 107 344 | 100.0 |
| Muy alto | 232 | 1 220 554 | 34.5 | 963 | 1 091 453 | 26.6 |
| Alto | 745 | 556 800 | 15.7 | 1 054 | 586 402 | 14.3 |
| Medio | 1 209 | 667 679 | 18.9 | 2 211 | 789 713 | 19.2 |
| Bajo | 1 445 | 588 442 | 16.6 | 1 969 | 613 535 | 14.9 |
| Muy bajo | 3 026 | 504 795 | 14.3 | 3 946 | 1 026 241 | 25.0 |

Fuente: Cálculos propios con base en INEGI, Censo de Población y Vivienda 2020; y CONAPO, IMT/SICT y CentroGeo (2023), *Análisis geoespacial de la accesibilidad a centros urbanos de las localidaes de México* .

Figura 6. Pacífico Sur: Porcentaje de población por grado de accesibilidad, 2020

Fuente: elaboración propia con base en CONAPO, IMT y CentroGeo (2022). Análisis geoespacial de la accesibilidad a centros urbanos de las localidades de México.

### *Tipos de territorios funcionales*

La combinación del grado de urbanización y del grado de accesibilidad a centros urbanos permite formular una tipología de los territorios funcionales de la región Pacífico Sur similar a la tipología regional extendida de la OECD (Brezzi *et al*., 2011), compuesta por cuatro categorías (ver figura 7):

- *Territorios predominantemente urbanos (PU)*: son aquellos donde 50% o más de la población reside en municipios predominantemente urbanos.
- *Territorios intermedios (IM)*: son aquellos donde la proporción de población tanto en municipios predominantemente urbanos como predominantemente rurales no supera 50%.
- *Territorios predominantemente rurales, cercanos a centros urbanos (PRC)*: son aquellos donde 50% o más de la población reside en municipios predominantemente rurales y en localidades con grados de accesibilidad a centros urbanos *alto* y *muy alto*.

- *Territorios predominantemente rurales, remotos (PRR)*: son aquellos donde 50% o más de la población reside en municipios predominantemente rurales y en localidades con grados de accesibilidad a centros urbanos *medio*, *bajo* y *muy bajo*.

Figura 7. Pacífico Sur: Tipos de territorios funcionales, 2020

Fuente: Elaboración propia con base en INEGI. Censo de Población y Vivienda 2020; y CONAPO, IMT y CentroGeo (2022). Análisis geoespacial de la accesibilidad a centros urbanos de las localidades de México.

En 2020, 12 territorios funcionales del Pacífico Sur se clasificaron como territorios predominantemente urbanos, mismos que albergan a poco más de la tercera parte de la población. Cinco territorios corresponden a Guerrero (Acapulco, Chilpancingo, Iguala, Zihuatanejo y Tlapa), un número igual de territorios a Oaxaca (Oaxaca, Tuxtepec, Juchitán, Salina Cruz, y Huajuapan de León) y solo dos territorios a Chiapas (Tuxtla Gutiérrez y Tapachula). Más de la mitad de la población del estado de Guerrero reside en territorios de este tipo, mientras que en Oaxaca y Chiapas estas proporciones representan la tercera y la cuarta parte de la población estatal, respectivamente (ver tabla 4).

El número de territorios intermedios de la región asciende a 17 y en ellos reside menos de 9% de la población. Diez territorios se encuentran en Oaxaca6, cuatro en Guerrero (Ometepec, Taxco, Copalillo y Apaxtla) y tres en Chiapas (Cintalapa, Suchiate y Reforma). La proporción de población estatal en este tipo de territorios es mayor en Oaxaca (14.1%), similar a la de la región en Guerrero (8.3%) y significativamente menor en Chiapas (4.2%).

Por su lado, 32 territorios se clasifican como predominantemente rurales, cercanos a ciudades, y participan con menos de la quinta parte de la población del Pacífico Sur. Chiapas, con 11 territorios, presenta una proporción de habitantes significativamente alta en esta categoría (31.1%), entre los que destacan San Cristóbal de las Casas, Villaflores, Tonalá, Huixtla y Las Rosas. Oaxaca aporta el mayor número de territorios de este tipo (18), donde sobresalen Santiago Suchilquitongo, Cosolapa y Heroica Ciudad de Ejutla de Crespo; sin embargo, su participación en conjunto desciende a menos de 10%. Mientras que Guerreo, con solo tres territorios (Chilapa de Álvarez, Teloloapan y Pilcaya), es la entidad con la proporción de habitantes más baja en esta categoría (7.7%).

[6] Villa de Zaachila, Santos Reyes Nopala, Santa María Huatulco, Santiago Pinotepa Nacional, Tlacolula de Matamoros, Zimatlán de Álvarez, Loma Bonita, Ocotlán de Morelos, Asunción Nochixtlán y San Francisco Telixtlahuaca.

Tabla 4. Pacífico Sur: Número de territorios, municipios y población por tipo de territorio funcional, 2020

| Tipo de territorio | Territorios funcionales | Mpios. | Población | % | Territorios funcionales | Mpios. | Población | % |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Pacífico Sur | | | | Chiapas[a] | | |
| Total | 184 | 775 | 13 216 661 | 100.0 | 36 | 127 | 5 583 146 | 100.0 |
| P. Urbano | 12 | 80 | 4 674 800 | 35.4 | 2 | 10 | 1 392 978 | 24.9 |
| Intermedio | 17 | 78 | 1 106 061 | 8.4 | 3 | 6 | 236 102 | 4.2 |
| P. Rural Cercano | 32 | 129 | 2 378 714 | 18.0 | 11 | 52 | 1 735 030 | 31.1 |
| P. Rural Remoto | 123 | 488 | 5 057 086 | 38.3 | 20 | 59 | 2 219 036 | 39.7 |
| | | Guerrero[b] | | | | Oaxaca | | |
| Total | 30 | 87 | 3 553 083 | 100.0 | 118 | 561 | 4 080 432 | 100.0 |
| P. Urbano | 5 | 20 | 1 924 080 | 54.2 | 5 | 50 | 1 357 742 | 33.3 |
| Intermedio | 4 | 10 | 293 751 | 8.3 | 10 | 62 | 576 208 | 14.1 |
| P. Rural Cercano | 3 | 8 | 273 114 | 7.7 | 18 | 69 | 370 570 | 9.1 |
| P. Rural Remoto | 18 | 49 | 1 062 138 | 29.9 | 85 | 380 | 1 775 912 | 43.5 |

[a] Incluye a tres municipios y 39 318 habitantes de Oaxaca.

[b] Incluye a seis municipios y 12 398 habitantes de Oaxaca.

Fuente: Cálculos propios con base en INEGI, Censo de Población y Vivienda 2020; y CONAPO, IMT/SICT y CentroGeo (2023), *Análisis geoespacial de la accesibilidad a centros urbanos de las localidaes de México*.

Los territorios predominantemente rurales, remotos, son los más numerosos y poblados de la región, con 123 territorios y 38.3% de la población. Oaxaca, con 85 territorios, es la entidad con la proporción de habitantes más elevada en esta categoría (43.5%), entre los que destacan Matías Romero, Miahuatlán, San Felipe Jalapa, Santiago Jamiltepec y Huautla. Chiapas, con 20 territorios, muestra una proporción de población similar a la de la región (39.7%), aquí los territorios más poblados son Ocosingo, Comitán, Palenque, Frontera Comalapa y Mapastepec. Por último, Guerrero, con 18 territorios, también presenta una proporción de habitantes importante en esta categoría, aunque significativamente menor (29.9%), destacándose por su tamaño cinco territorios: Atoyac, Ayutla, Arcelia, Pungarabato y San Luis Acatlán.

En resumen, las categorías extremas de esta tipología definen un patrón de poblamiento del Pacífico Sur fuertemente polarizado. En Oaxaca y Chiapas los territorios predominantemente rurales-remotos dominan ampliamente en términos de número y participación de la población, seguidos

por los territorios predominantemente urbanos en Oaxaca y los territorios predominantemente rurales-cercanos en Chiapas que, aunque menores en número, participan de manera sobresaliente en la población; mientras que en Guerrero este orden se invierte, con un peso mayor de los territorios predominantemente urbanos, seguido de los territorios predominantemente rurales-remotos. Las categorías intermedias, en general, tienen menores pesos, aunque notables en algunos casos, como los territorios predominantemente rurales, cercanos a ciudades, en Chiapas, y los territorios intermedios en Oaxaca.

## Caracterización socioeconómica de los tipos de territorios

Las diferencias en el grado de urbanización y accesibilidad de los territorios funcionales, captadas en esta tipología, se relacionan de manera sobresaliente con un conjunto de indicadores que dan cuenta de las características de su dinámica demográfica, mercado laboral y desarrollo social. En esta sección se describe el comportamiento de 16 indicadores por entidad federativa y tipo de territorio sobre nueve temas fundamentales para el desarrollo regional: fecundidad, estructura por edad, etnicidad, empelo, educación, seguridad social, vivienda, tecnologías de la información y la comunicación y pobreza. Dada la importancia específica de los tipos de territorios situados en los extremos de la tipología, también se cuantifica la brecha existente entre los territorios predominantemente urbanos (PU) y los territorios predominantemente rurales-remotos (PRR) al interior de la región.

En los territorios PRR los niveles de fecundidad son más altos y las personas en edades activas enfrentan una “carga demográfica” significativamente mayor respecto del cuidado de niños, jóvenes y adultos mayores, que sus contrapartes en territorios PU. En 2020, el promedio de hijos nacidos vivos de las mujeres de 12 años y más del Pacífico Sur descendió a 2.42; siendo ligeramente menor en Chiapas y mayor en Guerrero (ver tabla 5). El menor promedio corresponde a los territorios PU de Chiapas, con menos de dos hijos por mujer y el mayor a los territorios PRR de Guerrero, con casi tres hijos, mientras que la brecha más amplia entre estos tipos de territorios

corresponde al estado de Oaxaca (0.79). Los mayores niveles de fecundidad y de migración (perdida) de personas en edad laboral, a su vez, se reflejan en razones de dependencia demográfica más elevadas, en comparación con las razones de dependencia de territorios con menor fecundidad y mayor inmigración (ganancia) de personas en edades activas. En la región, el número de personas en edades dependientes (menores de 15 años y mayores de 64 años) por cada 100 personas en edades activas (de 15 a 64 años) es de 61.5; esta razón aumenta a 72.5 personas en los territorios PRR de Guerrero y disminuye a 50.7 personas en los territorios PU de Oaxaca, el estado con la mayor brecha urbano-rural (18.3 personas).

La elevada presencia de población indígena, característica de la región, con casi la tercera parte de su población en hogares indígenas, es marcadamente superior en Oaxaca (43.1%) y menor, aunque por demás significativa, en Chiapas (33.1%) y Guerrero (19.5%). Chiapas es la entidad con las participaciones de población indígena más contrastantes entre sus tipos de territorios, con niveles particularmente bajos en las primeras categorías (PU e IM) y sumamente altos en las dos últimas (PRC y PRR), así como con la brecha más amplia (43.3 puntos) entre los tipos extremos. Guerrero alcanza sus mayores niveles de participación de población indígena en las categorías intermedias (IM y PRC), al tiempo que presenta la menor brecha (16.9 puntos) entre las categorías extremas; mientras que Oaxaca es por mucho la entidad con los mayores niveles de participación de población indígena tanto en territorios PU como PRR, con una marcada brecha entre ambos tipos (26.4 puntos).

Tabla 5. Pacífico Sur: Número de hijos, razón de dependencia y población en hogares indígenas por entidad federativa y tipo de territorio, 2020

| Región y entidad federativa | General | P. Urbano | Intermedio | P. Rural Cercano | P. Rural Remoto | Brecha |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | Promedio de hijos nacidos vivos | | | |
| Pacifico Sur | 2.42 | 2.11 | 2.38 | 2.46 | 2.73 | 0.62 |
| Chiapas | 2.34 | 1.98 | 2.37 | 2.41 | 2.54 | 0.56 |
| Guerrero | 2.54 | 2.27 | 2.57 | 2.88 | 2.97 | 0.70 |
| Oaxaca | 2.42 | 2.01 | 2.28 | 2.41 | 2.80 | 0.79 |
| | | | Razón de dependencia (por cien) | | | |
| Pacifico Sur | 61.49 | 52.92 | 58.64 | 65.07 | 69.18 | 16.26 |
| Chiapas | 62.38 | 51.54 | 60.94 | 65.33 | 67.82 | 16.28 |
| Guerrero | 62.16 | 55.60 | 62.23 | 73.49 | 72.49 | 16.90 |
| Oaxaca | 59.74 | 50.68 | 55.97 | 58.88 | 68.96 | 18.28 |
| | | | Población en hogares indígenas (%) | | | |
| Pacifico Sur | 32.59 | 15.59 | 21.90 | 38.10 | 48.04 | 32.45 |
| Chiapas | 33.10 | 5.23 | 5.46 | 39.64 | 48.55 | 43.31 |
| Guerrero | 19.54 | 10.84 | 33.99 | 33.61 | 27.76 | 16.92 |
| Oaxaca | 43.08 | 32.96 | 22.47 | 34.73 | 59.32 | 26.36 |

Fuente: Cálculos propios con base en INEGI, Censo de Población y Vivienda 2020.

Las oportunidades de participar activamente en el mercado laboral son sustancialmente menores para las mujeres de los territorios funcionales, con tasas de participación sistemáticamente menores a las de los hombres en los cuatro tipos de territorios, pero desproporcionadamente más bajas en los territorios predominantemente rurales de la región (PRC y PRR). La tabla 6 reporta las tasas de participación económica tanto de la población masculina como femenina en edad laboral. En la región la primera asciende a 76.0% y la segunda desciende a 45.2%, observándose una diferencia marcada entre ambas de más de 30 puntos porcentuales. Esta diferencia se amplía a más de 34 puntos en Chiapas y se reduce a menos de 27 puntos en Guerrero; mientras que Oaxaca presenta una diferencia ligeramente menor a la del Pacífico Sur. La distancia entre las tasas de participación masculina

y femenina es menos marcada en los territorios PU de la región, aunque con diferencias importantes, entre 21.0 y 26.5 puntos porcentuales en Oaxaca y Chiapas, respectivamente. Esta distancia aumenta notablemente en los territorios PRR, con diferencias que van de 33.7 puntos en Guerrero a 37.0 puntos en Chiapas, entidad que presenta las mayores diferencias en la participación económica de hombres y mujeres en los cuatro tipos de territorios; mientras que Guerrero y Oaxaca son las entidades que exhiben el menor y mayor contraste, respectivamente, entre las tasas de participación masculina y femenina de sus territorios extremos.

Tabla 6. Pacífico Sur: Tasas de participación por entidad federativa y tipo de territorio, 2020

| Región y entidad federativa | General | P. Urbano | Intermedio | P. Rural Cercano | P. Rural Remoto | Brecha |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | Tasa de participación masculina (%) | | | |
| Pacifico Sur | 76.02 | 75.28 | 77.25 | 77.19 | 75.92 | -0.64 |
| Chiapas | 79.19 | 76.23 | 79.30 | 77.54 | 82.44 | -6.21 |
| Guerrero | 75.08 | 75.11 | 75.77 | 79.01 | 73.83 | 1.28 |
| Oaxaca | 72.69 | 74.54 | 77.14 | 74.69 | 69.25 | 5.28 |
| | | | Tasa de participación femenina (%) | | | |
| Pacifico Sur | 45.24 | 51.44 | 48.98 | 41.96 | 39.70 | 11.74 |
| Chiapas | 44.90 | 49.73 | 44.95 | 39.98 | 45.40 | 4.33 |
| Guerrero | 48.21 | 51.18 | 49.19 | 55.41 | 40.13 | 11.05 |
| Oaxaca | 43.18 | 53.48 | 50.42 | 40.94 | 32.98 | 20.50 |
| | | | Diferencia entre las tasas de participación (puntos %) | | | |
| Pacifico Sur | 30.78 | 23.84 | 28.27 | 35.22 | 36.21 | 12.38 |
| Chiapas | 34.29 | 26.50 | 34.35 | 37.56 | 37.04 | 10.54 |
| Guerrero | 26.86 | 23.93 | 26.58 | 23.59 | 33.70 | 9.77 |
| Oaxaca | 29.50 | 21.06 | 26.72 | 33.76 | 36.27 | 15.21 |

Fuente: Cálculos propios con base en INEGI, Censo de Población y Vivienda 2020.

En el ámbito del desarrollo humano, las y los jóvenes de los territorios predominantemente rurales presentan niveles de asistencia y educación escolar significativamente más bajos que sus pares en territorios predo-

minantemente urbanos e intermedios, mientras que el rezago educativo compromete a una proporción mayor de sus habitantes. Las diferencias en los niveles de asistencia escolar son especialmente marcadas en la población en edad de cursar la educación superior, es decir, de 18 a 24 años. En el Pacífico Sur, una de cada cuatro personas en este grupo de edad asiste a la escuela, con un nivel significativamente menor en Chiapas (21.7%) y ligeramente mayor en Guerrero (27.4%) y Oaxaca (26.2%) (ver tabla 7). Los niveles de asistencia escolar alcanzan sus valores más altos, del orden de 36%, en los territorios PU y disminuyen a la mitad o más en los territorios PRR, alrededor de 16%. Oaxaca es la entidad con la mayor brecha entre ambos tipos de territorios (22.2 puntos porcentuales), seguido muy de cerca por Chiapas (20.9 puntos) y en menor medida por Guerrero (15.5 puntos). En términos de logro educativo, el grado promedio de escolaridad de la población de 15 años y más de la región se ubica en 8.05 años, un año menos de los necesarios para completar la educación secundaria. Este indicador es ligeramente menor en Chiapas (7.78) y mayor en Guerrero (8.37) y Oaxaca (8.12). En los territorios PU el grado promedio de escolaridad se ubica entre 9.34 y 9.83 años, mientras que en los territorios RPR oscila entre 6.71 y 7.12 años. Oaxaca presenta la mayor brecha entre territorios extremos (3.12 años), seguido de Chiapas (2.99 años) y Guerrero (2.22 años). Por su parte, el rezago educativo compromete a más de la cuarta parte de la población de la región. En los territorios PU este rezago se ubica entre 17.5 y 19.5%, nivel que en los territorios PRR se encuentra entre 29.0 y 33.4%. Las mayores brechas territoriales corresponden a Oaxaca (15.9 puntos) y Chiapas (13.9 puntos); la menor, a Guerrero (9.8 puntos).

Tabla 7. Pacífico Sur: Asistencia escolar, grado de escolaridad y rezago educativo por entidad federativa y tipo de territorio, 2020

| Región y entidad federativa | General | P. Urbano | Intermedio | P. Rural Cercano | P. Rural Remoto | Brecha |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | Población de 18 a 24 años que aisiste a la escuela (%) | | | |
| Pacifico Sur | 24.52 | 35.92 | 25.57 | 18.78 | 16.29 | 19.63 |
| Chiapas | 21.66 | 36.10 | 24.31 | 17.96 | 15.19 | 20.92 |
| Guerrero | 27.38 | 33.79 | 25.44 | 17.54 | 18.27 | 15.51 |
| Oaxaca | 26.23 | 38.87 | 26.17 | 23.50 | 16.65 | 22.22 |
| | | | Grado promedio de escolaridad (años) | | | |
| Pacifico Sur | 8.05 | 9.61 | 8.09 | 7.28 | 6.83 | 2.78 |
| Chiapas | 7.78 | 9.78 | 7.93 | 7.24 | 6.79 | 2.99 |
| Guerrero | 8.37 | 9.34 | 7.57 | 6.73 | 7.12 | 2.22 |
| Oaxaca | 8.12 | 9.83 | 8.40 | 7.75 | 6.71 | 3.12 |
| | | | Población con rezago educativo (%) | | | |
| Pacifico Sur | 27.00 | 18.82 | 26.08 | 31.74 | 32.41 | 13.59 |
| Chiapas | 29.52 | 19.45 | 27.45 | 33.01 | 33.36 | 13.91 |
| Guerrero | 23.86 | 19.30 | 28.68 | 29.13 | 29.00 | 9.83 |
| Oaxaca | 26.38 | 17.48 | 24.00 | 28.17 | 33.36 | 15.88 |

Fuente: Cálculos propios con base en INEGI, Censo de Población y Vivienda 2020; y CONEVAL (2021), Medición de la pobreza. Indicadores de pobreza por municipio 2010-2020.

En materia de desarrollo social, los mayores niveles de carencia en la región corresponden a la falta de acceso de la población a sistemas y mecanismos formales de previsión social que garanticen su bienestar a lo largo de las etapas del curso de vida. En 2020, más de tres cuartas partes de la población del Pacífico Sur (76.4%) carecía de seguridad social, proporción que aumenta a 80% en Chiapas y disminuye a 74.3% y 73.2% en Guerrero y Oaxaca, respectivamente (ver tabla 8). La falta de seguridad social en los territorios PU compromete a cerca de dos terceras partes de la población, en tanto que en los territorios PRR esta asciende alrededor de 84%. Chiapas es la entidad con la brecha más amplia entre ambos tipos de territorios, más de 21 puntos porcentuales, seguido de Guerrero y Oaxaca, con brechas de 17.1 y 16.3 puntos porcentuales, en ese orden.

En el ámbito de la vivienda, la carencia de calidad y espacios de la vivienda afecta a 22.5% de la población del Pacífico Sur. Esta proporción asciende a más de la cuarta parte en Guerrero (25.9%) y disminuye a la quinta parte en Chiapas; mientras que en Oaxaca es similar a la de la región. Guerrero es por mucho la entidad con las mayores carencias en los cuatro tipos de territorios, que van de 20.9% en los territorios PU hasta 34.0% en los territorios PRR. Aunque de magnitud considerable, Chiapas presenta los menores niveles de carencia en tres tipos de territorios (PU, IM y PRR), así como la menor brecha entre sus territorios extremos (10.9 puntos porcentuales); mientras que en Oaxaca el nivel de carencia entre sus territorios PU y PRR se duplica de 14.4 a 29.7%, siendo el estado con la mayor brecha (15.3 puntos). La carencia de servicios básicos en la vivienda es la segunda más importante en la región, solo superada por la falta de seguridad social, y la que presenta las diferencias más marcadas entre territorios de distinto tipo. Esta carencia afecta a más de la mitad de la población del Pacífico Sur (55.4%). Guerrero, nuevamente, es la entidad con los mayores déficits en los cuatro tipos de territorios, que ascienden de 42.4% en los PU a 73.2% en los PRR. Oaxaca, por su parte, es el estado con la mayor brecha (42 puntos porcentuales) entre sus territorios PU y PRR, seguido muy de cerca por Chipas (39.5 puntos); mientras que la brecha de Guerrero, aunque menor, también es considerable (30.1 puntos).

Tabla 8. Pacífico Sur: Carencia de seguridad social y carencias en materia de vivienda por entidad federativa y tipo de territorio, 2020

| Región y entidad federativa | General | P. Urbano | Intermedio | P. Rural Cercano | P. Rural Remoto | Brecha |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | Población con carencia de seguridad social (%) | | | | | |
| Pacifico Sur | 76.32 | 65.49 | 77.20 | 80.68 | 83.91 | 18.41 |
| Chiapas | 79.95 | 66.08 | 78.91 | 81.73 | 87.36 | 21.27 |
| Guerrero | 74.27 | 66.40 | 81.32 | 83.23 | 83.51 | 17.12 |
| Oaxaca | 73.24 | 63.60 | 74.10 | 74.39 | 79.91 | 16.31 |
| | Población con carencia de calidad y espacios de la vivienda (%) | | | | | |
| Pacifico Sur | 22.46 | 16.86 | 21.79 | 24.26 | 26.85 | 9.99 |
| Chiapas | 20.01 | 13.58 | 17.17 | 24.44 | 20.91 | 10.86 |
| Guerrero | 25.94 | 20.92 | 26.79 | 27.27 | 33.98 | 13.06 |
| Oaxaca | 22.70 | 14.43 | 20.93 | 21.38 | 29.72 | 15.29 |
| | Población con carencia de servicios básicos en la vivienda (%) | | | | | |
| Pacifico Sur | 55.37 | 35.61 | 54.89 | 58.66 | 71.85 | 36.24 |
| Chiapas | 56.02 | 31.33 | 52.32 | 57.41 | 70.79 | 39.46 |
| Guerrero | 56.28 | 42.41 | 68.83 | 69.69 | 73.15 | 30.75 |
| Oaxaca | 53.69 | 30.32 | 48.03 | 56.26 | 72.33 | 42.01 |

Fuente: Cálculos propios con base en INEGI, Censo de Población y Vivienda 2020; y CONEVAL (2021), Medición de la pobreza. Indicadores de pobreza por municipio 2010-2020.

La tabla 9 presenta dos indicadores compuestos de falta de acceso a las tecnologías de la información y la comunicación (TIC): la carencia simultánea en la vivienda de línea telefónica fija y teléfono celular y la carencia de computadora e internet. En el primer caso, la falta de teléfono fijo y celular en la región afecta a casi la cuarta parte de las viviendas, con una diferencia notable entre Chiapas (28.7%) y Guerrero (19.6%). Chiapas registra la mayor brecha (31.2 puntos porcentuales) entre los déficits de territorios PU (10.4%) y PRR (41.6%), seguido de Oaxaca (26.9 puntos) y Guerrero con la brecha menor (20.5 puntos). En el segundo caso, la ausencia de computadora e internet compromete a 70.2% de las viviendas del Pacífico Sur, proporción que aumenta a tres de cada cuatro viviendas en

Chiapas, y desciende a dos de cada tres viviendas en Oaxaca; mientras que Guerrero presenta un déficit de 68.1%. Chiapas nuevamente es la entidad con la brecha más amplia (33.5 puntos porcentuales) entre sus territorios PU (52.8%) y PRR (86.3%), seguido muy de cerca por Oaxaca (33.1 puntos porcentuales) y en menor medida por Guerrero, entidad con la menor distancia, pero también considerable (26.4 puntos).

Tabla 9. Pacífico Sur: Carencia de tecnologías de la información y la comunicación en la vivienda, población en pobreza y pobreza extrema por entidad federativa y tipo de territorio, 2020

| Región y entidad federativa | General | P. Urbano | Intermedio | P. Rural Cercano | P. Rural Remoto | Brecha |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | Viviendas sin teléfono fijo ni celular (%) | | | |
| Pacifico Sur | 24.61 | 11.10 | 18.55 | 27.38 | 38.19 | 27.09 |
| Chiapas | 28.66 | 10.39 | 21.78 | 30.52 | 41.56 | 31.17 |
| Guerrero | 19.62 | 11.74 | 23.57 | 24.40 | 32.23 | 20.50 |
| Oaxaca | 23.72 | 10.98 | 14.94 | 17.77 | 37.88 | 26.91 |
| | | | Viviendas sin computadora ni internet (%) | | | |
| Pacifico Sur | 70.24 | 52.94 | 69.27 | 78.92 | 83.62 | 30.68 |
| Chiapas | 74.98 | 52.84 | 74.31 | 81.39 | 86.32 | 33.48 |
| Guerrero | 68.11 | 56.84 | 76.55 | 83.11 | 83.28 | 26.43 |
| Oaxaca | 66.28 | 47.89 | 63.88 | 67.62 | 81.00 | 33.11 |
| | | | Población en pobreza (%) | | | |
| Pacifico Sur | 68.75 | 53.70 | 64.29 | 74.97 | 80.45 | 26.75 |
| Chiapas | 74.43 | 55.80 | 65.62 | 77.37 | 84.78 | 28.98 |
| Guerrero | 65.62 | 58.41 | 76.44 | 74.49 | 72.67 | 14.27 |
| Oaxaca | 63.83 | 44.83 | 56.76 | 65.03 | 79.95 | 35.12 |
| | | | Población en pobreza extrema (%) | | | |
| Pacifico Sur | 26.67 | 17.29 | 21.38 | 30.10 | 34.72 | 17.42 |
| Chiapas | 28.30 | 15.29 | 17.43 | 31.94 | 34.81 | 19.52 |
| Guerrero | 26.89 | 21.86 | 32.59 | 30.03 | 33.08 | 11.22 |
| Oaxaca | 24.28 | 12.84 | 16.67 | 22.30 | 35.61 | 22.77 |

Fuente: Cálculos propios con base en INEGI, Censo de Población y Vivienda 2020; y CONEVAL (2021), Medición de la pobreza. Indicadores de pobreza por municipio 2010-2020.

La incidencia de la pobreza ampliamente extendida en la región también es consistente con esta tipología, pero con particularidades importantes entre los territorios de las tres entidades federativas. En 2020 la condición de pobreza abarcaba a 68.8% de la población del Pacífico Sur. El nivel de pobreza más alto corresponde al estado de Chiapas (74.4%), con una marcada diferencia (29 puntos porcentuales) entre sus territorios PU y PRR. Guerreo, con una incidencia en general de la pobreza de 65.6%, presenta los mayores niveles de pobreza de la región en los dos primeros tipos de territorio (PU e IM) lo que, aunado a su nivel de pobreza más bajo en los territorios PRR, determina que sea la entidad con la menor distancia entre sus territorios extremos (14.3 puntos). Oaxaca, con un nivel de pobreza en general más bajo (63.8%), es la entidad de la región con los menores niveles de pobreza en los territorios PU, IM y PRC; sin embargo, la elevada proporción de pobreza en los territorios PRR, paradójicamente, determina que sea la entidad con la mayor brecha de la región (35.1 puntos porcentuales). Este mismo patrón se repite en el caso de la pobreza extrema, aunque con menor amplitud, como un subconjunto de la anterior. En 2020 la incidencia de la pobreza extrema en la región ascendía a 26.7%, con Chiapas con el mayor nivel (28.3%), seguido de Guerrero (26.9%) y Oaxaca (24.4%). Aquí la brecha entre territorios PU y PRR asciende de 11.2 puntos en Guerrero a 19.5 puntos en Chiapas y 22.8 puntos en Oaxaca. En los territorios PU el mayor nivel de pobreza extrema, por mucho, correspondía a Guerrero (21.9%) y el menor nivel a Oaxaca (12.8); mientras que en los territorios PRR este orden se invierte, con el mayor nivel de pobreza extrema en Oaxaca (35.6%) y el menor nivel en Guerrero (33.1%).

## Conclusiones

La delimitación, tipificación y caracterización socioeconómica de territorios funcionales aporta información y conocimiento geoespacial relevante para el análisis, planificación y gestión del desarrollo regional, urbano y rural del Pacífico Sur. Esta delimitación es resultado de un ejercicio de regionalización que pone énfasis en la importancia de las relaciones funcionales que

definen y organizan territorios más amplios, compartidos por municipios con características muy diversas entre sí, pero fuertemente vinculados en su dinámica demográfica, económica y social, llegando incluso a integrar municipios de diferentes entidades federativas. Específicamente se delimitaron 184 territorios funcionales de muy diverso tamaño y composición, en términos de la población, el número y carácter rural-urbano de los municipios que los conforman. Oaxaca es la entidad con la mayor cantidad de territorios funcionales y con la mayor presencia de territorios de menor tamaño poblacional, constituidos por pocos municipios. Esto no sólo se explica por el elevado número de municipios de la entidad, sino sobre todo por las dificultades físicas y socioeconómicas que limitan fuertemente la movilidad de la población y las oportunidades de interacción espacial de un gran número de municipios al interior del estado. En contraste, Chiapas y Guerrero presentan una cantidad significativamente menor de territorios funcionales y una composición de los mismos más orientada hacia territorios de mayor tamaño poblacional, formados por varios municipios de diferente perfil.

Las diferencias en la estructura interna de los territorios funcionales son captadas a través de una tipología compuesta que recupera dos dimensiones espaciales fundamentales, como son el carácter rural-urbano de los municipios y la accesibilidad geográfica de las localidades que los integran. En este gradiente de cuatro categorías, las dos categorías extremas son las más significativas, con una participación marcadamente mayor de los territorios funcionales predominantemente urbanos (PU) en Guerrero, y un peso específico significativamente superior de los territorios funcionales predominantemente rurales-remotos (PRR) en Chiapas, pero sobre todo en Oaxaca. Este patrón de distribución polarizado es común en los tres estados del Pacífico Sur en diferente grado e intensidad, y se relaciona de manera elocuente con un conjunto de indicadores que dan cuenta de las diferencias en las oportunidades de desarrollo económico, social y humano de sus habitantes.

La delimitación y tipificación de territorios funcionales permite dar cuenta de la diversidad de situaciones y la heterogeneidad territorial de

la región Pacífico Sur, lo que es una condición necesaria para el diseño e instrumentación de políticas públicas más efectivas, que partan del reconocimiento de estas diferencias y que posibiliten, entre otros aspectos, una mejor planeación espacial de las inversiones en el territorio, la focalización y priorización de iniciativas y programas acordes a la realidad subregional/local, particularmente de los territorios más rezagados y el asociacionismo territorial en proyectos productivos y sociales de mayor impacto.

Por último, cabe apuntar que la plataforma de servicios de información y conocimiento para el desarrollo sustentable del Pacífico Sur cuenta con un micrositio específico de territorios funcionales, en el que se pone a disposición de los usuarios el conjunto completo de resultados de este trabajo: http://plataformapacificosur.mx/cms/t_funcionales.

## Referencias

Abler, R., Adams, J., & Gould, P. (1972). *Spatial Organization: The Geographer's View of the World*. Prentice-Hall.

Berdegué, J., Jara, B., Fuentealba, R., Tohá, J., Modrego, F., Schejtman, A., & Bro, N. (2011). *Territorios funcionales en Chile*. Documento de Trabajo N°102. Programa Dinámicas Territoriales Rurales. Santiago: RIMISP-Centro Latinoamericano para el Desarrollo Rural.

Berdegué, J., & Meynard, M. (2012). *Las Ciudades en el Desarrollo Territorial Rural*. Serie Claves para el Desarrollo Territorial. Santiago: RIMISP-Centro Latinoamericano para el Desarrollo Rural.

Berdegué, J., Hiller, T., Ramírez, J., Satizábal, S., Soloaga, I., Soto, J., Uribe, M., & Vargas, O. (2019). Delineating functional territories from outer space. *Latin American Economic Review, 28*(1), 1-24. DOI: 10.1186/s40503-019-0066-4

Brezzi, M., Dijkstra, L., & Ruiz, V. (2011). *OECD Extended Regional Typology*. OECD Publishing.

Brown, D., & Cromartie, J. (2004). The nature of rurality in postindustrial society. En T. Champion, T., & G. Hugo (eds.), *New Forms of Urbanization: Beyond the Urban-Rural Dichotomy* (pp. 269-283). Routledge

Consejo Nacional de Población, Instituto Mexicano del Transporte y Centro de Investigación en Ciencias de Información Geoespacial. (2022). *Análisis geoespacial de la accesibilidad a centros urbanos de las localidades de México.*

Coombes, M., Casado-Díaz, J. M., Martínez-Bernabeu, L., & Carausu, F. (2012). *Study on comparable labour market areas – Final research report.* Rome: ISTAT – Istituto nazionale di statistica.

Dalvi, M. (1978). Behavioural Modelling Accessibility, Mobility and Need: Concepts and Measurement. En D. Hensher & P. Stopher (eds.), *Behavioural Travel Modelling* (pp. 639-653). Croom Helm.

Drobne, S. (2017). Functional regions and areas: literature review according to application fields. *Geodetski vestnik, 61*(1), 35-57. DOI:10.15292/geodetski-vestnik.2017.01.35-57

Echeverri, R., & Moscardi, E. (2005). *Construyendo el desarrollo rural sustentable en los territorios de México*. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA)

European Network for Rural Development-Thematic Working Group 1. (2010). *Targeting territorial specificities and needs in Rural Development Programmes. Final Report*.

European Commission, ILO, FAO, OECD, UN-Habitat, World Bank. (2020). *A recommendation on the method to delineate cities, urban and rural areas for international statistical comparisons. Background document*. Statistical Commission, Fifty-first session, 3 – 6 March 2020.

European Commission, Eurostat. (2021). *Applying the degree of urbanisation: a methodological manual to define cities, towns and rural areas for international comparisons: 2021 edition*. Eurostat Publications Office.

Fernández, J., Fernández, M., & Soloaga, I. (2019). *Enfoque territorial y análisis dinámico de la ruralidad: alcances y límites para el diseño de políticas de desarrollo rural innovadoras en América Latina y el Caribe. Documentos de Proyectos (LC/TS.2019/65, LC/MEX/TS.2019/16).* Comisión Económica para América Latina y el Caribe.

Haggett, P. (1971). *Locational analysis in human geography*. Reprint edition (original 1965). Edward Arnold.

Hasova, L., Wolf, L. (2022). Proximity and Distance Decay. En J. Wilson (ed.). *The Geographic Information Science & Technology Body of Knowledge* (2nd Quarter 2022 Edition). University Consortium for Geographic Information Science Symposium

Instituto Nacional de Estadística y Geografía/ Secretaría de Comunicaciones y Transportes/Instituto Mexicano del Transporte. (2020). *Red Nacional de Caminos. Documento técnico descriptivo.*

Karlsson, C., & Olsson, M. (2006). The identification of functional regions: theory, methods, and applications. *The Annals of Regional Science, 40*(1), 1–18. DOI 10.1007/s00168-005-0019-5

Klapka, P., Halás, M., & Tonev, P. (2013). Functional regions: Concept and types. En V. Klímová, V. Žítek (eds.). *16th International Colloquium on Regional Sciences, Conference Proceedings*, Valtice, June 19–21, 2013. Brno: Masaryk University. 94–101.

Organisation for Economic Co-operation and Development. (2002). *Redefining territories – The functional regions.* OECD Publishing.

Rodrigue, J-P. (2020). *The Geography of Transport Systems*. Fifth Edition. Routledge.

Rodríguez, A., & Saborío, M. (2008). Algunas consideraciones conceptuales y metodológicas sobre la definición y medición de lo rural. En A. Rodríguez & M. Saborío (eds.), *Lo rural es diverso: evidencia para el caso de Costa Rica*. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA).

Schejtman, A. & Berdegué, J. (2004). *Desarrollo Territorial Rural*. Serie Debates y Temas Rurales No. 1. RIMISP-Centro Latinoamericano para el Desarrollo Rural.

Smart, M. W. (1974). Labour market areas: Uses and definition. En K. Fischer (eds.) *Progress in Planning,* 2, 239–353. https://doi.org/10.1016/0305-9006(74)90008-7

# Capítulo 2

# Identificación de territorios con vulnerabilidad

*David Martínez Cervantes[1*], Alejandro Mohar Ponce[1], Laura Ramírez Jiménez[1], Yutzil Lora Cabrera[1], Donají García-Alonso[1] y Edali Yareni Murillo Gómez[1]*

## Introducción

La finalidad de este capítulo es dar cuenta de los resultados de la línea de investigación aplicada y enfocada a identificar los territorios con vulnerabilidad ubicados en la Región Pacífico Sur (RPS); los ejes determinantes del abordaje de los resultados se sintetizan en:

I) Referente principal una visión ampliada de adaptación no limitada a la derivada de la Agenda de Cambio Climático (mitigación/adaptación) caracterizada por marginar políticas y compromisos relacionados con la adaptación y optar por un enfoque congruente con la denominada "adaptación al cambio ambiental global", que engloba tanto los riesgos por eventos climáticos por procesos de degradación de los recursos naturales y por las amenazas identificadas en los escenarios de Cambio Climático generados por el Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés), como las condicionantes socioeconómicas en la capacidad local de adaptación.

II) Documentar el sustento de este enfoque en materia de adaptación con sus derivaciones en recomendaciones de política pública bajo una lógica de agenda local de desarrollo.

III. Privilegiar el desarrollo de herramientas de divulgación de los

[1] Centro de Investigación en Ciencias de Información Geoespacial, Contoy 137, Lomas de Padierna, Tlalpan, Ciudad de México 14240.
*jdmartinez@centrogeo.edu.mx

resultados que permitan a los actores locales e interesados acceder a las narrativas, cartografía digital y bases de datos, que dan cuenta de la vulnerabilidad a nivel municipal. En esta dirección ya se cuenta con:

a) un Micrositio en la Plataforma Pacífico Sur http://plataformapacificosur.mx/cms/territ_vulnerables, cuyo contenido se documenta más adelante.

b) y un Micrositio afín dedicado al tema de territorios funcionales http://plataformapacificosur.mx/cms/t_funcionales

IV. Ambos se encuentran ensamblados en la Plataforma Pacífico Sur, lo cual representa una herramienta mayor para la difusión y divulgación. En el capítulo respectivo se da cuenta de su funcionalidad y de la gama de servicios al usuario.

V. En forma complementaria a los micrositios y de la mayor importancia, abordar con un enfoque de análisis territorial y orientado sólo a las localidades rurales (menos de 2 500 habitantes). De tal manera que los resultados se concentren en dar visibilidad al mundo rural, que es donde se reúnen los altos valores de la vulnerabilidad poblacional derivadas de condiciones socioeconómicas. También es donde ocurren los impactos mayores por la degradación de los recursos naturales y por eventos climáticos extremos.

Para lo cual se contempla

- Una herramienta cartográfica y con elementos de multimedia que le permita al usuario consultas a bases de datos sobre vulnerabilidad que van desde una(s) localidad(es) específica(s), hasta sus entornos territoriales, sean las localidades ubicadas en un núcleo agrario y su contorno o en una zona donde predomina la propiedad privada de los predios agrícolas o el conjunto de localidades rurales ubicadas en un municipio específico.
- Incorporar la cartografía de INEGI que permite distinguir las localidades rurales mayores vía pequeños polígonos derivados de que sus asentamientos alcanzan trazados de manzana y calles.

Más adelante se documenta el segundo **resultado** mayor de esta línea de investigación aplicada y enfocada a identificar los territorios con vulne-

rabilidad ubicados en la RPS, que consiste en un *Servicio de Información y Conocimiento de las Localidades Rurales y su Entorno Rural* http://serloc.plataformapacificosur.mx/.

## Adaptación a la vulnerabilidad

El enfoque ampliado de adaptación parte de remontar la visión de circunscribirla a la adaptación al cambio climático, visión que no ha prosperado por décadas en su conversión a políticas y compromisos, en contraste con los avances en la contención de las emisiones generadoras del calentamiento global. De esta forma esta visión busca transitar a ubicar la adaptación en la agenda de desarrollo regional, en este caso en la RPS del país y de esta manera queda inserta en la dinámica de la política pública.

### *Programas sociales y remesas*

El apartado inicia con los enlaces a la información territorial a nivel municipal, relativa a remesas y programas sociales, bajo la consideración de su relevancia positiva en la contención de la vulnerabilidad, vía mejores condiciones económicas y sociales que mejoran capacidades locales de adaptación.

Al respecto, una evidencia de su relevancia surge de los resultados del último estudio de medición de la pobreza del CONEVAL (agosto del 2023), que el experto Gerardo Esquivel sintetiza:

> entre 2020 y 2022, la cantidad de personas en situación de pobreza pasó de 55.7 a 46.8 millones, es decir, 8.9 millones de habitantes lograron superar esa condición. En términos porcentuales, la población con carencias sociales (falta de acceso a educación, salud, seguridad social, vivienda, servicios básicos y alimentos nutritivos) se redujo de 43.9 a 36.3 por ciento. Es cierto que estos números reflejan, en buena medida, la recuperación tras la crisis desatada por la pandemia de covid-19, pero la disminución de la pobreza también está presente al comparar los indicadores más recientes con los de 2018. (La Jornada, 2023).

### *Recomendaciones para las agendas locales de política pública*[2]

*Primera recomendación*: Reformulación de los contenidos y alcances de la adaptación

Existe una interpretación dominante de que la adaptación está asociada a probables eventos de un futuro lejano (derivados de los Escenarios de Cambio Climático del IPCC). En contraste con la percepción anterior, se perfilan enfoques e iniciativas para optar por una visión de adaptación al cambio ambiental global, esta primera recomendación se ubica en esta dirección.

Esta visión significa, especialmente para la RPS, donde la pérdida de ecosistemas naturales y sus servicios ambientales es sustantiva. Atender su vulnerabilidad implica necesariamente una acción integrada ante los impactos y riesgos asociados tanto a la degradación de los recursos naturales como a fenómenos adversos de cambio climático.

Esta acción integral no es artificiosa, al contrario, expresa una "intersección natural". Basta ilustrar con la tendencia en la RPS (presente con mayor intensidad en el dominante cultivo de maíz en zonas de laderas), que se manifiesta en cómo suelos crecientemente degradados aumentan la sensibilidad de los sistemas productivos ante leves variaciones climáticas. Esta sensibilidad se agudiza cuando estas variaciones se convierten en una tendencia, es decir, en una manifestación de cambio climático.

De esta forma, este enfoque de adaptación al cambio ambiental global marca necesidades de prontas intervenciones, concretas y diferenciadas territorialmente, para adaptarse tanto a la degradación de ecosistemas como a la intensificación de la variabilidad climática.

*Segunda recomendación*: plantearse una inserción de la adaptación en la temática central del desarrollo regional.

Esta recomendación parte de visualizar a la política pública como un curso de acción de gobierno en interacción con actores políticos y sociales

[2] Documento base: http://adesur.centrogeo.org.mx/uploaded/documents/LIBRO_ESTRATEGIA__ADAPTACION__A_MOHAR.pdf

en un doble sentido: es el curso de acción deliberadamente diseñado y es el curso de acción efectivamente seguido.

Las políticas adquieren su carácter de públicas cuando se configuran en base a procesos de deliberación pública y creación de su base social. Se realizan consensos o acuerdos transparentes y concretos en torno a sus objetivos, instrumentos, compromisos y alcances.

La argumentación y reformulación de la adaptación al cambio ambiental global exige ir más a fondo en el enfoque de los sistemas socioecológicos con énfasis en "lo social". Un ejemplo emblemático es la experiencia de la política rural de la Unión Europea, que deja atrás la lógica de los servicios ambientales que generan los ecosistemas, y en el núcleo de su política rural están los bienes públicos medioambientales procedentes de la agricultura (sentido amplio: actividades rurales).

*Tercera recomendación*: un ensamble de adaptación con la estrategia de recuperación de la economía campesina y de mejora de los sistemas alimentarios.

En la crónica y fuerte tensión entre la producción de alimentos y la preservación del capital natural, la ponderación de las dimensiones y dinámicas territoriales de dicha tensión es el paso obligado para su posicionamiento como elemento fundamental de la argumentación para una adaptación al cambio ambiental global, que deje de estar encajonada en la lógica de los acuerdos de las convenciones de cambio climático.

En la problemática alimentaria, el mayor aporte a su solución se encuentra en los territorios de economía campesina (agricultura familiar), por su potencial en productividad y mejora de medios de vida e ingreso a nivel local y regional, que favorecen trayectorias locales de seguridad alimentaria. En especial, el posicionamiento en la agenda pública de la RPS de la temática asociada a los recursos agua y suelo es uno de los núcleos que determinan contenidos y alcances de una efectiva política de adaptación al cambio ambiental global.

*Cuarta recomendación*: privilegiar la construcción social de estrategias de adaptación locales.

Todo este andamiaje de bases conceptuales y enfoques cristaliza con la construcción social de estrategias diferenciadas territorialmente de adaptación bajo criterios rectores de política pública/de interés público/de bienes públicos. En esta dirección es un factor clave el hecho que la adaptación al cambio ambiental global es un gozne natural de las dos principales vertientes de adaptación a escala local y regional.

Primera vertiente: la *adaptación basada en ecosistemas* busca un manejo de los servicios ecosistémicos y su resiliencia que garantice su continuidad y aumente la capacidad de adaptación de los grupos humanos ante el Cambio Global, disminuyendo sus impactos en los sistemas socio-ecológicos. Su prioridad: garantizar y preservar aquellos servicios ambientales que le permiten a la gente adaptarse, en especial y con urgencia a la intensificación de la variabilidad climática.

Segunda vertiente: La *adaptación basada en comunidades* coloca su énfasis en el empoderamiento de las comunidades locales para reducir sus vulnerabilidades. Se ha definido como:

> un proceso dirigido por la comunidad, basado en las necesidades prioritarias, conocimientos y capacidades de las comunidades, y así empoderar a las personas para planificar y hacer frente a los impactos del cambio climático. (Mohar, 2017)

*Quinta recomendación*: Alinear la visión y estrategia de adaptación con los propósitos y compromisos internacionales.

El Informe de la FAO (2018) *México rural del Siglo XXI* constituye un aporte insignia desde una perspectiva de adaptación al cambio ambiental global. A manera de ilustración se afirma:

> En cuanto a los desafíos emergentes, en los próximos años será fundamental encontrar alternativas efectivas para adaptar y mitigar los riesgos climáticos que enfrenta no solo la agricultura, sino el conjunto de actividades económicas de las familias rurales. Para ello será ne-

> cesario desarrollar prácticas sustentables en el manejo de los recursos naturales, así como formas de resiliencia que permitan adaptarse a los shocks climáticos. En ese sentido, los saberes y prácticas de las comunidades indígenas, así como su manejo de gran parte de los recursos naturales del país serán fundamentales para cumplir con este desafío.

Afirmación que adquiere mayor fuerza en la realidad de la RPS.

La Agenda 2030 de la ONU, con sus 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible, destaca el Objetivo 13 que, en forma explícita, marca la necesidad de articular la Agenda 2030 con la Convención Marco de Cambio Climático. Y desde una perspectiva de adaptación al cambio ambiental global, prácticamente los restantes 16 Objetivos y sus metas convergen con la necesidad de que el país conforme y acuerde una efectiva política pública a escala regional.

## Identificación a nivel municipal de riesgos climáticos y riesgos derivados de presión sobre los recursos naturales

En este apartado se abordan los resultados **a nivel municipal** relativos a riesgos hidrometeorológicos, riesgos asociados a presión sobre los recursos naturales y vulnerabilidad ante el cambio climático. Se hace referencia a enlaces de internet que permitan a los actores locales e interesados acceder a un micrositio en la plataforma Pacífico Sur (http://plataformapacificosur.mx/cms/territ_vulnerables) que contiene narrativas en extenso, una aproximación a la identificación de los municipios con altos niveles de vulnerabilidad con la respectiva cartografía digital y bases de datos.

### *Riesgos hidrometeorológicos*

Los eventos hidrometeorológicos extremos (EHE) son aquellos fenómenos naturales cuya intensidad, duración, frecuencia o impacto están fuera de los valores típicos registrados. En sí, son eventos climáticos atípicos y, por lo general, severos. Los EHE son eventos perturbadores generados por

fenómenos atmosféricos, pero específicamente aquellos que siguen los procesos de la climatología y del ciclo hidrológico. Estos incluyen ciclones tropicales, vientos fuertes, oleaje y marea de tormenta, lluvias, inundaciones, sequías, temperaturas extremas y tormentas severas.

Actualmente, el monitoreo y comprensión de los datos meteorológicos y oceanográficos permite generar modelos de predicción de eventos extremos, los cuales son de gran importancia para advertir a la población de la ocurrencia de eventos potencialmente peligrosos.

Uno de los monitoreos de EHE más importante es aquel que observa una región del Pacífico Tropical, ya que las anomalías en la temperatura superficial del mar en esta región nos alertan sobre la ocurrencia de los fenómenos de El Niño y La Niña. Dichos fenómenos son de suma importancia, pues tienen una gran influencia en las condiciones climáticas de diversas partes del mundo, entre ellos México.

*¿Qué es el fenómeno de El Niño/La Niña?*

El fenómeno de El Niño-Oscilación del Sur o ENOS (comúnmente ENSO, por sus siglas en inglés) es un fenómeno natural de gran escala que afecta de manera interanual la temperatura superficial del mar en el Océano Pacífico ecuatorial. Esta es una fluctuación interanual del sistema océano-atmósfera que incluye una fase cálida (El Niño), una fría (La Niña) y una neutral. Sin embargo, a pesar de ser un fenómeno altamente estudiado, sigue siendo difícil de predecir, ya que es el resultado de múltiples dinámicas océano-atmosféricas. Las características de cada fase (El Niño/La Niña) pueden variar tanto en intensidad como entre regiones del país y del mundo.

*¿Cómo nos afecta el fenómeno de El Niño/La Niña?*

Los eventos de El Niño y La Niña generan cambios en los patrones de precipitación y temperatura y, por lo general, tienen efectos opuestos sobre las estaciones del año. Sin embargo, estos cambios se pueden observar de diferentes maneras según la región del país. Cabe mencionar que los efectos del ENOS en la región centro/sur del país son más variantes, comparado con la región norte.

**Invierno:** Durante un evento de El Niño el invierno suele ser más frío en todo el país y las lluvias típicamente disminuyen en la región sur del país. Durante un evento de La Niña, el invierno suele ser más cálido y seco.

**Verano:** Durante un evento de El Niño, el verano al sur de México suele estar asociado a una mayor disminución de precipitación, lo cual puede provocar grandes sequías. Con la disminución de las lluvias disminuye también la humedad del suelo. Una disminución de la humedad puede generar una mayor cantidad de incendios forestales, como llegó a suceder durante El Niño de 1998, donde Oaxaca y Chiapas se encontraron entre los estados con mayores pérdidas de hectáreas por incendios. En cambio, los veranos de La Niña suelen ser más húmedos; es decir, la precipitación es más cercana al promedio de una fase neutral del ENOS y en ocasiones más alta.

A pesar de que el ENOS es altamente variante y difícil de predecir, queda claro que cambios intensos en la distribución y abundancia de lluvias son capaces de provocar daños para la población, en forma de pérdidas de cultivo (e.g. sequía) y daños materiales (e.g. tormentas).

El Servicio Meteorológico Nacional (SMN) proporciona información sobre el estado del tiempo a escala nacional y local en nuestro país. Para consultar el estado actual del ENOS (Figura 1), así como más detalles sobre el fenómeno El Niño y sus impactos en México, visite el Servicio Meteorológico Nacional (https://smn.conagua.gob.mx/es/climatologia/diagnostico-climatico/estatus-del-nino ).

Figura 1. Diagrama que muestra la variabilidad del estado del ENOS

*Declaratorias de emergencia hidrometeorológica*

La declaratoria de emergencia se define como:

> el acto mediante el cual la SEGOB reconoce que uno o varios municipios o delegaciones políticas de una entidad federativa se encuentran ante la inminencia, alta probabilidad o presencia de una situación anormal generada por un fenómeno natural perturbador, que puede propiciar un riesgo excesivo a la seguridad e integridad o, en su caso, causar un daño a la sociedad. (Animal Político, 2023)

Ante un evento perturbador, estas declaratorias de emergencia son de suma importancia, pues tienen el objetivo de acceder a los recursos financieros del Fondo para la Atención de Emergencias (FONDEN) y dirigirlos a la atención de la vida y la salud de la población afectada (SEGOB; SEMARNAT).

Para la RPS, las declaratorias de emergencias de eventos hidrometeorológicos se deben a lluvias, temperaturas extremas, ciclones tropicales (tormentas tropicales y huracanes), inundaciones, heladas y sequías (CENAPRED).

Las declaratorias de emergencia existen como un medio de protección únicamente para la población ante EHE. En ellas no se incluye apoyo para infraestructura u otros sectores como el agropecuario o acuícola. No obstante, para daños de este tipo existen otras declaratorias (SEMARNAT).

En las gráficas de la Figura 2 se puede observar la cantidad de declaratorias por estado. Las barras verticales representan la cantidad de cada tipo de declaratoria, identificando cada año en un color distinto; de manera opuesta, en las barras horizontales se puede ver la cantidad de declaratorias por año, identificando con colores cada tipo de declaratorias (gráfica de barras horizontales). Se puede apreciar que las declaratorias por lluvia son las más frecuentes y que en los años 2017 y 2018 hubo mayor cantidad de declaratorias.

Figura 2. Declaratorias de emergencias hidrometeorológicas entre los años 2016 y 2022: por estado (gráficas de pastel), por tipo de declaratoria y año (barras verticales) y cantidad de declaratorias por año por tipo de declaratoria (barras horizontales). Para ver el diagrama interactivo ir a la página de Riesgos Hidrometeorológicos

*Mapas de declaratorias de emergencias hidrometeorológicas*

Para explorar con mayor detalle las declaratorias de emergencia por estado de la RPS revisar cada mapa de la Figura 3. En ellos se pueden observar la

cantidad de declaratorias de emergencia por municipio. También se pueden observar las declaratorias para cada tipo de fenómeno hidrometeorológico (ciclón tropical, inundación, lluvia, temperatura extrema, heladas). Los mapas muestran que para Guerrero y Oaxaca la zona costera es la que se encuentra en mayor riesgo, pues presentan la mayor cantidad de declaratorias de emergencia; sin embargo, para Chiapas la mayoría de los municipios con mayor cantidad de declaratorias de emergencia se encuentran al norte del estado. Este patrón general de riesgos deriva de las diferencias en la interacción océano-tierra, características de las costas de cada estado, donde la temperatura del mar es determinante. De forma tal que, en el caso de Chiapas, los riesgos están principalmente asociados a la cercanía del norte de Chiapas con el Golfo de México.

Figura 3. Mapas de declaratorias de emergencia por estado donde se pueden ver las declaratorias a nivel de municipio: a) Guerrero, b) Oaxaca, c) Chiapas

a b c

***Riesgos asociados a presión sobre los recursos naturales***

*Presión al capital natural.* El capital natural hace referencia a los recursos y las reservas naturales, y su capacidad de proveer beneficios a las personas para alcanzar sus medios de vida, tales como bosques, tierras, recursos renovables y no renovables, entre otros.

El deterioro ambiental por causas antropogénicas es un factor crítico que disminuye la capacidad de las reservas naturales para proveer utilidad en el presente y en el futuro, pues se ven alterados los ecosistemas y sus flujos biofísicos, en ocasiones este daño es irreversible. Por esta razón, es importante conocer el grado de presión al capital natural al que los sistemas naturales se ven sometidos en la actualidad.

En este sentido, el mapa de la Figura 4 muestra el objetivo de cuantificar y definir el grado de presión al capital natural en el paisaje de la RPS de México, mediante un índice que involucra la degradación de suelos, los procesos de cambio de usos de suelo, y el cambio en la vegetación.

Figura 4. Índice de Presión al Capital Natural en la región Pacífico Sur

*Presión de deforestación.* Los ecosistemas forestales constituyen elementos fundamentales para la subsistencia y bienestar humano, pues son fuente de valiosos bienes y servicios ecosistémicos, como la estabilización de los suelos y el clima, la provisión de materias y alimentos, la regulación de los flujos de agua, la captura de contaminantes, entre muchos otros.

No obstante, la deforestación de los bosques y selvas es uno de los problemas ambientales más graves en México que conduce a la pérdida y degradación de estos valiosos hábitats. Dicha práctica amenaza no sólo a los medios de vida de los agricultores, las comunidades forestales y los pueblos indígenas, sino también a la variedad de la vida en nuestro planeta.

En el mapa de la Figura 5 se puede observar la estimación del índice de presión a la deforestación que permite identificar cuáles son los ecosistemas forestales más susceptibles a sufrir deforestación en la RPS. Mediante un modelo que refleja la probabilidad de que un predio forestal en particular sea

deforestado en un futuro cercano, basándose en la relación entre variables económicas y la deforestación observada en el pasado.

Figura 5. Índice de presión de deforestación en la región Pacífico Sur

***Escenarios de cambio climático y vulnerabilidad***

Los escenarios de cambio climático modelan diferentes futuros posibles (con una escala temporal cercana a lejana) y con emisiones de gases de efecto invernadero cada vez más altas. Estos escenarios son descripciones plausibles de posibles estados futuros del mundo. Creado a partir de complejos y dinámicos modelos, cada escenario es una alternativa del comportamiento del clima en un futuro. Sin embargo, no deben confundirse con un pronóstico climático. Los escenarios no buscan predecir el futuro, sino ser una herramienta para analizar el cambio climático, incluyendo sus incertidumbres y futuros alternativos y ser un sustento para las iniciativas de adaptación y mitigación (INECC, 2022). Generalmente, un futuro cercano se refiere al periodo de 2015-2035; un futuro intermedio, de 2046-2065 y un futuro lejano, de 2081-2100 (INECC, 2014; IPCC, 2013).

El Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés) inicialmente desarrolló una familia de cuatro

escenarios de cambio climático llamados Trayectorias de Concentración Representativas (RCPs, por sus siglas en inglés). A partir del 2014 se decidió complementar los RCPs con las Trayectorias Socioeconómicas Compartidas (SSPs, por sus siglas en inglés). Estos nuevos escenarios se basan en cinco narrativas que describen distintos desarrollos socioeconómicos, tal como lo indica su nombre. Al combinar ambas familias de escenarios (RCPs y SSPs) se obtienen entonces cinco escenarios posibles que describen cómo podría evolucionar el mundo en las décadas siguientes y qué desafíos suponen estos cambios para la mitigación y la adaptación (Escoto *et al.*, 2017).

De esta manera los escenarios de cambio climático proporcionan información de suma importancia para los tomadores de decisiones y la población en general que nos permite saber qué tan vulnerables estamos ante los posibles impactos y qué medidas se tendrán que tomar para adaptarse a este cambio.

*Vulnerabilidad ante el cambio climático.* El análisis de vulnerabilidad es una herramienta valiosa, pues permite identificar las principales amenazas climáticas de una región y los problemas relacionados a ellas, así como determinar las causas fundamentales que podrían agravar los impactos en la sociedad (INECC, 2019).

La Ley General de Cambio Climático define la vulnerabilidad como:

> el nivel a que un sistema es susceptible, o no es capaz de soportar los efectos adversos del Cambio Climático, incluida la variabilidad climática y los fenómenos extremos. Por lo tanto, la vulnerabilidad de un sistema se calcula tomando en cuenta su exposición, sensibilidad y capacidad adaptativa. Las primeras dos aumentan la vulnerabilidad, mientras que la última la disminuye. (INECC, 2019)

El Atlas Nacional de Vulnerabilidad al Cambio Climático (ANVCC) define seis vulnerabilidades específicas: vulnerabilidad de asentamientos humanos a deslaves, inundaciones y al incremento potencial de enfermeda-

des transmitidas por vector (como dengue); vulnerabilidad de la producción ganadera a estrés hídrico e inundaciones y vulnerabilidad de la producción forrajera a estrés hídrico. Estas seis vulnerabilidades consideran la vulnerabilidad actual y futura de los municipios para un futuro cercano (2015-2039) y en el escenario de cambio climático RCP 8.5.

La vulnerabilidad representada en los siguientes tres mapas (Figuras 6, 7 y 8) es entonces una priorización de los municipios vulnerables al cambio climático definida por el Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC) a partir de las seis vulnerabilidades mencionadas en el párrafo anterior (asentamientos humanos y producción ganadera y forrajera). El primer nivel de priorización incluye aquellos municipios que actualmente presentan vulnerabilidad alta y muy alta para por lo menos una de las seis vulnerabilidades específicas, así como un aumento para al menos una de las vulnerabilidades en un futuro. Para el segundo nivel de priorización, los municipios actualmente presentan vulnerabilidad alta y muy alta para tres vulnerabilidades específicas y un aumento para dos o más de ellas en un futuro. El tercer nivel de vulnerabilidad es el de mayor importancia, pues los municipios en este nivel actualmente cuentan con vulnerabilidad alta y muy alta para cuatro o más vulnerabilidades específicas. En un futuro dos o más de estas vulnerabilidades tendrán un aumento (INECC, 2021).

**Guerrero**

De los 81 municipios de Guerrero, 64 cuentan con una mayor vulnerabilidad al cambio climático y, por lo tanto, se encuentran con algún grado de prioridad. En el primer nivel de prioridad se incluyen 40 municipios, los cuales se encuentran por todo el estado, pero principalmente hacia el interior. El segundo nivel de prioridad incluye 19 municipios que se encuentran principalmente del centro al sureste del estado y con sólo cuatro municipios en la frontera noroeste del estado. En el tercer nivel de prioridad, es decir el grado más alto de vulnerabilidad, se encuentran cinco municipios. Estos se ubican al centro del estado, con uno de ellos en la zona costera.

Figura 6. Grado de priorización de los municipios de Guerrero

## Oaxaca

El estado de Oaxaca cuenta con 570 municipios, de los cuales 320 son de mayor prioridad. Se puede observar que la mayoría de estos municipios se encuentran alejados del centro del estado. En el primer nivel de prioridad se encuentran 273 municipios. Cabe mencionar que la mayoría de los municipios costeros cuentan con este nivel de prioridad. En el segundo nivel de priorización se incluyen 17 municipios, con la mayoría de ellos hacia la región oeste del estado. Para el tercer nivel de priorización se obtuvieron 30 municipios. La mayoría de estos se encuentran a lo largo de la costa o cerca de ella, mientras que el resto se ubican del centro al norte y noroeste.

Figura 7. Grado de priorización de los municipios de Oaxaca

## Chiapas

Para el estado de Chiapas, 62 municipios, de los 124 en total, cuentan con un grado de prioridad de vulnerabilidad al cambio climático. La mayoría de ellos, 55 municipios, se encuentran en un primer nivel de priorización. Se puede observar desde el mapa que estos representan todos los municipios costeros, así como la mayoría de los municipios al norte y noreste del estado. En el segundo nivel de priorización se encuentran sólo cinco municipios, de los cuales todos se encuentran un poco hacia el centro-norte del estado. Finalmente, el tercer nivel de priorización incluye únicamente a un municipio, Chicoasén, el cual se ubica al centro-noroeste del estado.

Figura 8. Grado de priorización de los municipios de Chiapas

***Potenciales impactos negativos a la población***

Los efectos del cambio climático, bajo cualquiera de los escenarios ya mencionados, se podrán observar como incrementos en la temperatura del ambiente, porcentajes de cambio en la precipitación, elevación del nivel del mar e inundaciones y deslaves como consecuencia de una combinación de diferentes efectos. Todos estos efectos presentan potenciales impactos negativos en la población.

Los mapas de anomalías de temperatura (Figura 9) y el porcentaje de cambio de la precipitación (Figura 10) están basados en el Atlas interactivo del Grupo de Trabajo I del IPCC y representan el escenario más pesimista (SSP5 RCP 8.5) para un futuro lejano (2081-100) (INECC, 2022).

Las proyecciones de vulnerabilidad al cambio climático (deslaves (Figura 11) e inundaciones (Figura 12) representan el escenario RCP8.5 para un futuro cercano (2015-2039) (INECC, 2022; INECC, 2019).

Para la elevación del nivel del mar se utiliza un escenario medianamente alto (SSP3-7.0) para un futuro medianamente cercano (año 2050).

Consultar el Micrositio: Potenciales impactos negativos a la población (http://adesur-plataforma.com.mx/cms/multimedia/territ_vulnerables/menuSect-87-1659).

*Temperatura del ambiente*

Se estima que, en un futuro, la RPS estará cada vez más expuesta a aumentos de temperatura y ondas de calor. Estos cambios presentan diversas amenazas, tanto para la población como para el medio ambiente. Por ejemplo, el aumento en la temperatura podría incrementar la propagación de enfermedades, como dengue y zika, disminuir la disponibilidad de acceso al agua, poner en riesgo la seguridad alimentaria (disminución en la producción y calidad de alimentos, alza en los precios, disminución en los ingresos de agricultores) y afectar la distribución de especies, tanto terrestres como marinas (IPCC, 2021; Bárcena *et al.*, 2020).

Figura 9. Proyección de la temperatura del ambiente para Guerrero, Oaxaca y Chiapas bajo un escenario pesimista (SSP5 RCP 8.5) y para un futuro lejano (2081-2100)

Las proyecciones de temperatura para la RPS son muy variadas en cada estado. Sin embargo, se puede observar que en los tres estados los incrementos de temperatura se proyectan en las regiones más alejadas a la costa. En Guerrero el mayor incremento de temperatura se observa en la región noroeste, mientras que en Oaxaca esto se proyecta en la región noroeste del estado. Por otro lado, en Chiapas las temperaturas más altas se proyectan principalmente al centro y al norte del estado.

*Precipitación*

Así como el aumento de temperatura, los cambios en la precipitación también presentan un gran riesgo para la población y el medio ambiente en general. La disminución de la precipitación genera a su vez un aumento en la sequía. Ambos efectos ponen en riesgo la seguridad hídrica y alimentaria de la población (de igual manera que el aumento de la temperatura), así como la disponibilidad de agua para los ecosistemas (IPCC, 2021; Bárcena *et al.*, 2020). Las proyecciones de precipitación para la RPS de nuevo son muy variadas en cada estado. Sin embargo, los tres estados presentan una disminución de la precipitación. Para Guerrero existe una mayor disminución de esta variable en toda la zona costera, pero el mayor cambio se observa al noroeste y sureste del estado. Por otro lado, en Oaxaca la precipitación parece disminuir gradualmente hacia el sureste del estado. Para Chiapas se predice que habrá una mayor disminución en la precipitación hacia el noroeste del estado, en las regiones más alejadas de la costa.

Figura 10. Proyección de la precipitación en Guerrero, Oaxaca y Chiapas bajo un escenario pesimista (SSP5 RCP 8.5) y para un futuro lejano (2081-2100)

*Deslaves*

La causa principal de los deslaves son los eventos de precipitación largos e intensos. Sin embargo, actividades antropogénicas como los cambios en el uso de suelo y la deforestación también contribuyen al incremento en la vulnerabilidad de la población a los deslaves. En los mapas (Figura 11) se muestra el grado de vulnerabilidad de los asentamientos humanos a deslaves a escala municipal. En los tres estados la gran mayoría de los municipios presentan un aumento de vulnerabilidad. Para Guerrero, el 42% de los municipios presenta una vulnerabilidad mediana y el 31% una vulnerabilidad de alta a muy alta. Los municipios con mayor vulnerabilidad se encuentran al sureste del estado. En Oaxaca, el 63% de los municipios muestran una vulnerabilidad de alta a muy alta, pero mayormente alta. Como se puede ver en el mapa, estos municipios de mayor vulnerabilidad se encuentran por todo el estado. Para el estado de Chiapas, el 72% de los municipios cuenta con una vulnerabilidad mediana a muy alta. Los municipios con mayor vulnerabilidad se encuentran principalmente al centro del estado, mas no en la costa.

Figura 11. Proyección de deslaves para Guerrero, Oaxaca y Chiapas bajo el escenario RCP8.5 y para un futuro cercano (2015-2039)

*Inundación*

A nivel mundial, las inundaciones son uno de los eventos extremos más frecuentes y el que genera la mayor cantidad de devastaciones y pérdidas económicas. La principal causa de este tipo de eventos es la precipitación. La intensidad, profundidad, duración, temporalidad y distribución espacial de las lluvias determinará la magnitud de las inundaciones (INECC, 2019). En los mapas (Figura 12) se muestra el grado de vulnerabilidad de los asentamientos humanos a inundaciones a escala municipal. En Guerrero sólo el 25% de los municipios presentan un incremento de vulnerabilidad. La mayoría de estos son aquellos que se encuentran a lo largo de la costa. Sin embargo, los municipios con vulnerabilidad muy alta se encuentran al centro del estado, un poco hacía el sureste. En el estado de Oaxaca, el 47% de los municipios presenta un aumento de vulnerabilidad a inundaciones. En el mapa se observa que todos los municipios costeros son vulnerables, la mayoría con vulnerabilidad alta a muy alta. Para el estado de Chiapas se observa algo similar en los municipios costeros. Aunque sólo el 32% de todos los municipios presentan un aumento de vulnerabilidad, todos los municipios costeros presentan vulnerabilidad alta a muy alta. Los demás municipios vulnerables se encuentran principalmente al norte y noreste del estado, con vulnerabilidad entre baja y media.

Figura 12. Proyección de inundaciones para Guerrero, Oaxaca y Chiapas bajo el escenario RCP8.5 y para un futuro cercano (2015-2039)

*Elevación del nivel del mar*

La elevación del nivel del mar es un evento extremo que presenta un riesgo cada vez mayor para las zonas costeras. Sus efectos incluyen la erosión e inundación de la línea de costa, además de la pérdida de cuerpos de agua costeros (como humedales) y mantos acuíferos, debido al incremento de la salinidad por el agua de mar. Los mapas muestran proyecciones de las zonas costeras en los tres estados de la RPS que sufrirían inundaciones bajo el nivel de inundación anual, para el escenario de cambio climático utilizado. Los territorios inundados por la elevación del nivel del mar se muestran en rojo. Para el 2050 se supone un aumento en el nivel del mar de 20 - 40 cm (IPCC, 2021; NASA). En Guerrero se puede ver que la costa de los municipios al sureste del estado se proyecta que sufrirán inundaciones. Para Oaxaca se estima que para el 2050 toda la línea de costa estará inundada. Sin embargo, en la costa al sureste se proyectan mayores áreas inundadas que el resto del estado. Finalmente, tras una elevación del nivel del mar de menos de medio metro, la mayoría de la costa del estado de Chiapas presenta una inundación más tierra adentro que los otros dos estados.

Figura 13. Proyección de la elevación del nivel del mar bajo un escenario medianamente alto (SSP3-7.0) para un futuro medianamente cercano (año 2050)

## Servicio de información y conocimiento de la vulnerabilidad en localidades rurales y su entorno territorial

Cabe reiterar que los resultados presentados en el apartado anterior se complementan con el desarrollo -y ya en operación- de un *Servicio de Información y Conocimiento de Vulnerabilidad Localidades Rurales y su Entorno Territorial* http://serloc.plataformapacificosur.mx/

Este Servicio, como su nombre lo indica, expresa un acercamiento a nivel de localidad **rural** vía dos componentes de consulta. La primera vertiente aborda las variables censales de viviendas y sus habitantes, relacionadas con vulnerabilidad poblacional y permite obtener información para una o varias localidades de interés específico del usuario. Y de la mayor importancia: el Servicio permite generar perfiles del conjunto de localidades rurales ubicadas en su entorno territorial, sea municipio, núcleo agrario o tenencia de la tierra privada. Para la segunda vertiente del *Servicio*, se abordan las variables de orden cualitativo levantadas por INEGI vía informante calificado sobre las condiciones de la localidad en diversas temáticas (se describen más adelante).

En el desarrollo de dicho *Servicio* para su primera componente de vulnerabilidad poblacional se logró una estrecha colaboración con investigadores de CentroGeo: Carlos Anzaldo Gómez y Laura Ramírez Jiménez, expertos en la temática de la vulnerabilidad poblacional con énfasis en la vulnerabilidad social, determinada por características socioeconómicas de la población. De hecho, sus desarrollos metodológicos, diseño y generación de indicadores y bases de datos son el sustento principal para la creación y alcances del Servicio de Información y Conocimiento de Vulnerabilidad en Localidades Rurales y su Entorno Territorial. En este primer componente el usuario puede obtener la información de un conjunto de indicadores socioeconómicos agrupados en ocho factores (Figura 14).

La información con la que cuenta el *Servicio* corresponde a 25 726 localidades rurales. En el resto de las localidades (12 923) no se cuenta con la información por dos razones: el principio de confidencialidad que señala la Ley del Sistema Nacional de Información de Estadística y Geografía,

por el cual no es posible generar información para unidades geográficas con menos de tres viviendas y aquellas áreas que fueron visitadas durante el período de levantamiento de la información, pero que no fue posible recopilar sus datos.

Figura 14. Factores de vulnerabilidad poblacional con sus indicadores asociados (esquema modificado de Anzaldo Gómez y Ramírez Jiménez (2021)

Un segundo componente del Servicio permite focalizar la temática de vulnerabilidad a nivel de las localidades rurales de la RPS y con énfasis en sus territorios, de tal forma que se tenga acceso a consultas por localidad u obtener el perfil de vulnerabilidad del conjunto de localidades rurales

ubicadas en un municipio específico, un núcleo agrario y su entorno o una zona donde predomina la propiedad privada de los predios agrícolas.

El sustento de este segundo componente deriva de que el conocimiento de la vulnerabilidad en los poblados rurales es de tal relevancia, que en paralelo al Censo de Población y Vivienda 2020, INEGI también incluyó el proyecto estadístico "Características de las localidades 2020" (INEGI, 2021). La información de este cuestionario permite conocer las condiciones de las localidades en temas como: servicios de transporte, agua y saneamiento, infraestructura y equipamiento, abasto, comercio y servicios, actividad económica y aspectos sociales.

Los resultados de dicho esfuerzo de INEGI se han incorporado al Servicio con una selección de variables de mayor significado para la problemática de vulnerabilidad, y que sirvieran de indicadores específicamente para vulnerabilidad y capacidad de adaptación, obteniendo un subconjunto de 38 variables (Figura 15).

Figura 15. Indicadores seleccionados del cuestionario "Características de las localidades 2020" para determinar las características de vulnerabilidad y capacidad de adaptación

| TEMA | | INDICADOR |
|---|---|---|
| AGRICULTURA COMO ACTIVIDAD ECONÓMICA Y CULTIVO PRINCIPAL | 8 | • Agricultura como principal actividad económica<br>• Cultivo principal 1<br>• Cultivo principal 2 |
| AUTORIDAD MUNICIPAL Y OTRAS AUTORIDADES LOCALES | 9 | • Autoridad principal<br>• Comisariado ejidal o de bienes comunales<br>• Autoridad indígena<br>• Autoridad tradicional |
| CONFLICTOS SOCIALES | 10 | • Conflictos sociales por propiedad de la tierra<br>• Conflictos sociales por preferencias religiosas<br>• Conflictos sociales por preferencias electorales<br>• Conflictos sociales por delincuencia |
| DAÑOS POR FENÓMENOS NATURALES | 11 | • Daños por sequía<br>• Daños por helada o granizada<br>• Daños por inundación o desbordamiento<br>• Daños por incendio forestal<br>• Daños por ciclón o huracán |
| LENGUA INDÍGENA | 12 | • Condición de habla de alguna lengua indígena<br>• Localidad con 40% y más de población hablante de lengua indígena |
| PROBLEMA PRINCIPAL | 13 | • Problema principal declarado por el informante |

De esta forma se obtiene un conocimiento sobre aspectos cualitativos de vulnerabilidad y capacidad de adaptación de las localidades y se pueden identificar las condiciones específicas de las localidades en diferentes aspectos como son:

- ¿La localidad cuenta con transporte público?
- ¿Existe abasto de alimentos básicos como frijol, maíz, leche o huevo?
- ¿Es posible acceder a servicios de salud?
- ¿La localidad dispone de servicios de comunicación como teléfono, celular o internet?
- ¿La localidad cuenta con servicios de envío y recepción de dinero?

- ¿La agricultura es la principal actividad económica?, ¿cuál es el cultivo principal? y ¿el destino del cultivo es para consumo propio o para venta?
- ¿Qué tipo de autoridad destaca en la localidad?
- ¿Se han presentado conflictos sociales?

Respecto al tema de riesgos, ¿se registra si la localidad presenta afectaciones por sequías, heladas, inundaciones, incendios o huracanes?

Además de las características anteriores, también es posible consultar cuál es el principal problema que enfrenta la localidad, los cuales pueden ser:

- La carencia o mala calidad del agua,
- La falta de recursos para producción,
- La necesidad de caminos o si existen caminos en mal estado,
- El desempleo, y
- La falta de energía eléctrica y alumbrado público.

***Perfil de localidades ubicadas en sus territorios***

Por otra parte, el Servicio también se sustenta en un enfoque conceptual de análisis territorial con énfasis en los territorios que conforman: i) los núcleos agrarios (ejidos y comunidades) y su entorno, en donde frecuentemente se ubican las viviendas de ejidatarios y comuneros, ii) los municipios, los cuales brindan elementos de identidad geográfica, es decir, el Servicio brinda información integrada de vulnerabilidad poblacional en función de todas las localidades rurales del propio municipio y iii) la información de tenencia de la tierra en propiedad privada, que permite una aproximación a las localidades ubicadas en sus zonas geográficas (ver más adelante el modelo de aproximación geográfica).

*Núcleos agrarios y su entorno*

En muchas ocasiones los núcleos agrarios contienen una o más localidades dentro de su propio polígono; sin embargo, existen muchos de ellos en donde no es así y la localidad o localidades están justo en su contorno o en su cercanía.

Por lo anterior, y basados en la idea de que los núcleos agrarios tienen incidencia en las localidades que están dentro del polígono o en su cercanía, se calculó un contorno alrededor del núcleo agrario, con la finalidad de captar aquellas localidades que están cerca del mismo núcleo agrario. Se realizó entonces un ensamble de los núcleos agrarios y las localidades rurales que están dentro de determinado núcleo agrario o que están en su entorno (Figura 16).

Figura 16. Núcleo agrario (color naranja sólido) con su entorno (color naranja degradado) y las localidades que están dentro del núcleo agrario y su entorno (puntos negros)

*Propiedad privada y modelo cartográfico*

La metodología de análisis territorial se sintetiza en: 1) generar un ensamble de los polígonos de áreas de control de propiedad privada con actividad agrícola y las localidades rurales; 2) a partir de dicho ensamble, se diseñó un modelo cartográfico que permite agrupaciones de áreas de control, según su ubicación geográfica dentro del municipio en nueve zonas: sureste, sur, suroeste, este, centro, oeste, noreste, norte y noroeste; y 3) para los casos de intersecciones con más de una zona, se realizó la agrupación de polígonos de áreas de control, según la región en la cual intersecta la mayor área del polígono en cuestión. Finalmente, el ensamble se realiza entre las agrupaciones de propiedad privada y las localidades del municipio que están dentro de cada una de ellas.

Figura 17. Modelo cartográfico para crear agrupaciones de predios de propiedad privada (cada agrupación representada en un color)

*Perfil de vulnerabilidad poblacional*

Para los niveles territoriales (nivel de municipio y de propiedad social) se realizó un *perfil* de vulnerabilidad poblacional para el conjunto de localidades rurales ubicadas en el municipio o en el núcleo agrario, según sea la consulta del usuario. Cabe precisar: el *perfil* se refiere a la combinación de los datos de vulnerabilidad de las localidades ubicadas dentro del municipio o ubicadas en el núcleo agrario y su entorno. De esta forma, para ambos casos de consulta territorial se obtiene un sólo valor del nivel de vulnerabilidad y un sólo valor para cada uno de sus atributos o variables; y estos valores configuran el *perfil* del conjunto de localidades rurales ubicadas dentro del municipio o dentro del núcleo agrario y su entorno.

Para el caso del nivel de propiedad privada, se muestra al usuario la información del nivel de vulnerabilidad y de los atributos de las localidades que están dentro de cada agrupación, acorde a las nueve zonas del modelo cartográfico, descrito anteriormente.

Dicho lo anterior, el usuario puede acceder a la información a través de cuatro aproximaciones territoriales: a nivel de localidad, a nivel de propiedad social, a nivel de municipio y a nivel de agrupaciones de propiedad privada.

En la aproximación a nivel de localidad el usuario accede a la información a través de la selección de una localidad o a un conjunto de localidades de interés de un determinado estado y municipio. Enseguida el usuario debe escoger entre uno de los 9 temas que se le presentan (los ocho temas del índice de vulnerabilidad o el tema de variables cualitativas de adaptación) y debe escoger finalmente los indicadores de interés. El usuario obtiene como resultado una tabla de datos con la información de los indicadores seleccionados y un documento descriptor de datos. En el ANEXO se ilustra esta consulta de usuario.

En la aproximación a nivel de propiedad social el usuario escoge un núcleo agrario de un determinado estado y municipio, a partir de una lista que contiene los nombres de los núcleos agrarios. De igual forma que el nivel de municipio, esta aproximación concentra los temas e indicadores del índice de vulnerabilidad de las localidades que están dentro o en la cercanía del núcleo agrario. El usuario obtiene como resultado una infografía

(Figura 18) que contiene todos los indicadores de los ocho temas del índice de vulnerabilidad poblacional y un mapa cartográfico del núcleo agrario seleccionado y su entorno.

En la aproximación a nivel de municipio, se concentran los temas e indicadores del índice de vulnerabilidad poblacional de todas las localidades rurales que pertenecen al municipio. El usuario obtiene como resultado una infografía que contiene todos los indicadores de los ocho temas del índice de vulnerabilidad poblacional (similar a la Figura 18).

Figura 18. Ejemplo de la infografía obtenida para la comunidad de Aldama del municipio de Aldama en el estado de Chiapas

ALDAMA (Comunidad)

Municipio de Aldama, Chiapas

| CARENCIA DE BIENES Y MEDIOS DE COMUNICACIÓN | |
|---|---|
| Índice de carencia de bienes y medios de comunicación, 2010 | 0.392 |
| Nivel de carencia de bienes y medios de comunicación, 2010 | 4.Alto |
| Viviendas sin ningún bien, 2010 (%) | 44 |
| Viviendas sin radio, 2010 (%) | 57 |
| Viviendas sin televisor, 2010 (%) | 75 |
| Viviendas sin electricidad, 2010 (%) | 3 |
| Viviendas sin teléfono celular, 2010 (%) | 96 |

| EXCLUSIÓN INDÍGENA | |
|---|---|
| Índice de presencia de población indígena, 2010 | 1.422 |
| Nivel de presencia de población indígena, 2010 | 5.Muy alto |
| Población en hogares indígenas, 2010 (%) | 97 |
| Población de 3 años o más hablante de lengua indígena, 2010 (%) | 99 |
| Población de 5 años o más hablante de lengua indígena y que no habla español, 2010 (%) | 51 |

| REZAGO EDUCATIVO, CARENCIA DE AUTO E INTERNET | |
|---|---|
| Índice de rezago educativo, carencia de auto e internet, 2010 | 0.595 |
| Nivel de rezago educativo, carencia de auto e internet, 2010 | 4.Alto |
| Población de 18 años o más sin educación media superior, 2010 (%) | 96 |
| Grado promedio de escolaridad (años), 2010 | 4 |
| Viviendas sin automóvil o camioneta, 2010 (%) | 98 |
| Viviendas sin internet, 2010 (%) | 100 |

| PRESENCIA DE PISO DE TIERRA, CARENCIA DE AGUA Y SANEAMIENTO | |
|---|---|
| Índice de presencia de piso de tierra, carencia de agua y saneamiento, 2010 | -0.733 |
| Nivel de presencia de piso de tierra, carencia de agua y saneamiento, 2010 | 2.Bajo |
| Viviendas con pisos de tierra, 2010 (%) | 22 |
| Viviendas sin agua entubada en el ámbito de la vivienda, 2010 (%) | 34 |
| Viviendas sin drenaje, 2010 (%) | 39 |
| Viviendas sin sanitario, 2010 (%) | 15 |

Finalmente, en la aproximación a nivel de agrupación de predios agrícolas de propiedad privada se mostrará la información de las localidades rurales ubicadas en una zona geográfica del municipio. El usuario deberá

escoger una de las nueve agrupaciones que se muestran en el mapa del municipio (mencionadas en el modelo cartográfico) y finalmente deberá escoger uno de los nueve temas y los indicadores de interés. El usuario obtiene como resultado una tabla de datos de las localidades dentro de la agrupación seleccionada (similar a las tablas, con la información de los indicadores de interés), un documento descriptor de datos y un mapa cartográfico de la agrupación de propiedad privada seleccionada. En todos los casos, el usuario también obtiene como resultado un mapa cartográfico del municipio con las localidades con población mayor a cien habitantes.

## Referencias

Anzaldo-Gómez, C. & Ramírez-Jiménez, L. (2021). *Índice de vulnerabilidad poblacional de las localidades, 2020, Región Pacífico Sur.*

A 16 días del impacto de Otis, declaran el fin de la emergencia en Acapulco y Coyuca de Benítez. (2023). *Animal Político*. https://www.animalpolitico.com/estados/declaran-fin-emergencia-acapulco-coyuca-benitez-otis

Delgadillo-Macías J., Aguilar-Ortega, T. & Rodríguez-Velázquez, D. (1999). Los aspectos económicos de El Niño. En V. Magaña (ed.), *Los impactos de El Niño en México* (pp. 229). Sep-CONACYT.

Guevara-Polo, D. & Mijares-Fajardo, R. (2021). *El Niño Oscilación del Sur (ENSO) y sus efectos sobre la precipitación en México*. Entorno UDLAP, 15.

Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (22 de octubre de 2023). *Seminario Internacional: Medición de Grupos Sociales Vulnerables*. https://www.inegi.org.mx/eventos/seminarios/2011/grupos_vulnerables/

Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (25 de octubre de 2023). *Características de localidades y del entorno urbano 2020.* https://www.inegi.org.mx/rnm/index.php/catalog/692/study-description

Magaña-Rueda, V., Pérez, J.L., Conde, C. (1998). El fenómeno de El Niño

y la Oscilación del Sur. Sus impactos en México. *Ciencias, 51*, 1418. https://www.revistacienciasunam.com/es/108-revistas/revista-ciencias-51/907-el-fenomeno-del-el-nino-y-la-oscilacion-del-sur-sus-impactos-en-mexico.html

Magaña, V., Pérez, J. L., Vázquez, J.L., Carrisoza, E. & Pérez, J. (1999). 2. El Niño y el clima. En V. Magañana (ed.), *Los impactos de El Niño en México*.. Sep-CONACYT. 229 pp.

Magaña, V. O., Vázquez, J. L., Pérez, J. L. & Pérez, J. B. (2003). Impact of El Niño on precipitation in Mexico. *Geofisica Internacional, 42*(3), 313–330. http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=56842304

Mohar, A. (2017). *Bases para una estrategia nacional de adaptación al cambio climático*. Instituto Belisario Domínguez, Senado de la República.

Pobreza: hablan los datos. (2023). *La Jornada*. https://www.jornada.com.mx/2023/08/12/edito/002a1edi

Sheinbaum, J. (2003). Current theories on El Niño-Southern Oscillation: A review. *Geofísica Internacional, 42*(3), 291-305. https://www.redalyc.org/pdf/568/56842302.pdf

## ANEXO. Servicio de Información y Conocimiento de Localidades Rurales y su Entorno Territorial

Vista de la aplicación y tabla de salida para la búsqueda por localidades. En este ejemplo el usuario seleccionó un subconjunto de localidades del municipio de Acatepec en el estado de Guerrero, y seleccionó el subtema *Problema principal* del tema *Aspectos cualitativos de vulnerabilidad.*

| Localidad | Problema principal declarado por el informante, 2020 |
|---|---|
| Agua Tordillo | 2.Carencia o mal estado de caminos |
| Agua Xoco | 1.Carencia de agua y mala calidad |
| Caxitepec | 4.Desempleo, empleo deficiente |
| Cerro Tigre (Cerro del Tigre) | 4.Desempleo, empleo deficiente |
| Cerro Pelón | 1.Carencia de agua y mala calidad |
| Agua Fría | 4.Desempleo, empleo deficiente |
| Agua Tomagua | 1.Carencia de agua y mala calidad |
| Barranca Lima | 2.Carencia o mal estado de caminos |
| Barranca Mina | 6.Otro problema |
| Barranca Bejuco (Caxitepec Viejo) | 4.Desempleo, empleo deficiente |
| Cerro el Maguey | 6.Otro problema |
| Barranca Honda | 6.Otro problema |

Ejemplo de búsqueda de datos en el nivel de localidad. El usuario seleccionó un subconjunto de localidades del estado de Guerrero, en el municipio de Acatepec, y seleccionó subtema ***problema principal*** del tema ***Aspectos cualitativos de vulnerabilidad***.

| Localidad | Problema principal declarado por el informante, 2020 |
|---|---|
| Agua Tordillo | Carencia o mal estado de caminos |
| Agua Xoco | Carencia de agua y mala calidad |
| Caxitepec | Desempleo, empleo deficiente |
| Cerro Tigre (Cerro del Tigre) | Desempleo, empleo deficiente |
| Cerro Pelón | Carencia de agua y mala calidad |
| Agua Fría | Desempleo, empleo deficiente |
| Agua Tomagua | Carencia de agua y mala calidad |
| Barranca Lima | Carencia o mal estado de caminos |
| Barranca Mina | Otro problema |
| Barranca Bejuco (Caxitepec Viejo) | Desempleo, empleo deficiente |
| Cerro el Maguey | Otro problema |
| Barranca Honda | Otro problema |
| Cajeles | Carencia de agua y mala calidad |

# Capítulo 3

# Panorama socioproductivo de los cultivos: Agave, mango, café y frijol en la región Pacífico Sur

*Julia Sánchez Gómez[1*], Luis Alberto Olvera Vargas[1], Yair Romero Romero[1], Joaliné Pardo Nuñez[1], Ever Sánchez Osorio[2], Carlos Mario Rodríguez Peralta[1], Oscar Aguilar Juárez[3]*

**Resumen**

El objetivo principal de este capítulo es presentar un panorama general de cuatro cultivos importantes para la región Pacífico Sur: agave, café, mango y frijol, esto mediante la descripción del entorno actual de la producción, comercialización y problemáticas de cada producto, así como el conocimiento tradicional existente entre los agricultores y algunas de las estrategias que se han desarrollado para incentivar su competitividad. Para ello se realizó una revisión de literatura sobre los cultivos y se obtuvieron datos del Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). También se llevaron a cabo visitas, talleres y la aplicación de entrevistas en campo en Chiapas, Guerrero y Oaxaca. Los instrumentos para la recolección de la información incluyeron: una guía de entrevista semiestructurada, una guía de observación de campo y una guía para la dirección de grupo focal. Esta información puede servir como base para visualizar escenarios futuros, oportunidades, riesgos y líneas de acción que contribuyan a resolver las

[1] Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías (CONAHCYT)- Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco, A.C. (CIATEJ). Av. Normalistas 800, Colinas de la Normal, Guadalajara, México. C.P. 44270. * Correo: jsanchez@ciatej.mx.

[2] Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías (CONAHCYT)- Instituto de Investigaciones Sociológicas de la Universidad Autónoma Benito Juárez de Oaxaca (IISUABJO). Calle Murguía 306, Colonia Centro, Oaxaca. México. C.P. 68000.

[3] Investigador de Tecnología ambiental, CIATEJ.

problemáticas actuales de los sistemas productivos y generar un impacto positivo en el desarrollo social y económico de la región Pacífico Sur.

*Palabras clave:* Agricultura; capacidad productiva, conocimiento tradicional; municipios productores.

## Introducción

La región del Pacífico Sur se conforma por los estados de Chiapas, Guerrero y Oaxaca; su extensión es de aproximadamente de 233 045 km$^2$. Por la presencia de la Sierra Madre del Sur, el principal relieve que tiene es montañoso. Sin embargo, presenta grandes contrastes en su vegetación, ya que cuenta con áreas cubiertas por selvas y otras con una vegetación mínima. Esta región es una de las menos desarrolladas económicamente y con altos niveles de pobreza en el país. Los agricultores, en su mayoría, no cuentan con programas de apoyos gubernamentales para la producción y demás actividades económicas que involucran sus cadenas productivas. No obstante, el Pacífico Sur es muy importante por su vocación agrícola, debido a que posee cerca del 18% de la superficie sembrada con cultivos agrícolas en México. Oaxaca y Chiapas ocupan el tercer y cuarto lugar según su superficie sembrada en el país; y Guerrero es el décimo (SIAP, 2022). Los cultivos más importantes, por su producción, superficie sembrada, consumo y exportación en esta región son: el café, el frijol, el agave-mezcal y el mango.

El café posee tal importancia económica a nivel mundial que es equiparable con el petróleo y el algodón. Su cultivo beneficia a grandes y pequeños productores, un gran número de agricultores subsisten gracias a su producción y además se ha documentado que contribuyen a la conservación de algunos animales silvestres como las aves (Altamirano *et al.*, 2011). El café es cultivado en varias partes del mundo, se producen dos principales variedades: arábica y robusta; sin embargo, la primera tiene un mayor auge a nivel internacional (Canet Brenes *et al.*, 2016).

La diversidad de climas y suelos con los que cuenta México, y sobre todo la región, ha permitido el cultivo de varias especies de café de alta

calidad, los cuales se han posicionado dentro de los mejores del mundo (Canet Brenes *et al.*, 2016). En México la historia de la cafeticultura data de hace aproximadamente 200 años, por lo que el cultivo de esta planta ha pasado por diversas etapas que han permitido su consolidación en la producción nacional (SAGARPA, s.f.). Para el 2022 el principal productor de café cereza fue Chiapas, donde se produjo el 38% del volumen total del país. La diferencia entre su nivel de producción y el de los demás estados es considerable, ya que el segundo lugar en producción lo ocupó Veracruz, que generó el 24% del café cereza nacional durante el mismo año. En el tercer lugar se posicionó Puebla; en cuarto, Oaxaca y en quinto, Guerrero, que en conjunto produjeron el 33% del volumen total. La región Pacífico Sur aportó el 50% del volumen total de café cereza que se produjo en México (Figura 1).

Figura 1. Producción de café en la región Pacífico Sur

Fuente: elaboración propia con datos de SIAP (2022).

Por otra parte, el mango es una de las frutas más producidas en el mundo, entre los años 2000 y 2013 su producción a nivel mundial se incrementó en el 75%, cantidad que lo colocó en la octava posición (FAOSTAT, 2022). La fruta es preferida por el consumidor debido a sus características y sabor, además de tener una gran diversidad de variedades.

En el contexto nacional, según datos del Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera [SIAP] (2022), el mango en México se posicionó como la quinta fruta con mayor valor de producción, precedida por el limón, la naranja, fresa y frambuesa. La importancia de este fruto es tal que es producido en 23 estados de la República Mexicana, lo cual representa el 72% del territorio nacional, siendo los principales productores: Guerrero, Sinaloa, Nayarit y Chiapas (SIAP, 2022).

Para el 2022, Guerrero y Sinaloa produjeron el 38% del mango del país, mientras que Nayarit generó el 16%; Chiapas, el 13%, y Oaxaca, el 10% (SIAP, 2022). La región del Pacífico Sur también es importante en la producción de mango, particularmente Guerrero y Chiapas. Esta región aporta el 41% del volumen total de mango que se produce en México (Figura 2).

Figura 2. Producción nacional de mango. Fuente: elaboración propia con datos de SIAP (2022)

Figura 3. Producción nacional de agave-mezcal

Fuente: elaboración propia con datos de SIAP (2022).

El agave o maguey es una planta semi-perenne proveniente de la familia de las Amarilidáceas, la cual tiene hojas largas y fibrosas con forma de lanza y de color verde azulado (Salas Tornés & Hernández Sánchez, 2015). Esta florece una sola vez en su vida, esto ocurre cuando se combinan la edad fisiológica y la acumulación de azúcares en la denominada “piña” (Barrios *et al.*, 2006). Los agaves o magueyes pertenecen a la familia botánica de las Agaváceas y son característicos de los paisajes áridos y semiáridos de México. Han sido utilizados en el país desde la época prehispánica (10 000 a 8 000 años a.C.) para la elaboración de diversos productos, algunos de los cuales se siguen produciendo actualmente (Pérez Hernández *et al.*, 2016). México es considerado el centro de origen de las Agaváceas, incluyendo 288 especies de las cuales 166 son magueyes. En el país se encuentran el 75% de las especies conocidas en el mundo (Cervantes, 2005). El estado con mayor producción de agave en el 2022 fue Jalisco, con el 50% de la

producción nacional y con una diferencia importante en la producción; en el segundo lugar se ubicó Guanajuato con el 19%, en orden siguió Oaxaca con el 12%, Michoacán con el 6%, Nayarit con el 4% y en sexto lugar se ubicó Guerrero con una participación del 2% de la producción nacional (Figura 3). Para el caso del estado de Chiapas, SIAP no reporta información sobre su producción de agave en ese año.

El frijol es un cultivo importante dentro de los sistemas de producción agrícola y de la dieta de una gran parte de la población de diversas regiones del mundo (Magaña Lemus *et al.*, 2015). Dentro de las leguminosas, los frijoles son los más populares y pueden encontrarse en cada país de la tierra, excepto en los polos y en los desiertos infértiles (FAO, 2016). Para el 2022 en el mundo se cosecharon 27.7 millones de toneladas de frijol, el 59% de la producción se concentró en siete países, entre los que se encontró México, que ocupó la sexta posición con una cantidad de 1 288 806.5 toneladas (FAOSTAT, 2022).

En México, el frijol es un alimento de relevancia cultural, social e histórica; es parte de la identidad cultural mexicana. Según datos históricos, se ubican dos orígenes geográficos: Mesoamérica (México y Centroamérica) y los Andes (Sudamérica). Se calcula su domesticación desde hace unos 8,000 años (Bitocchi *et al.*, 2003; Brown, 2006). Por otro lado, estudios arqueológicos confirman que Mesoamérica fue un centro de domesticación de cultivos como maíz, frijol, calabaza, chile y cacao (Zizumbo-Villareal, & Colunga- García Marín, 2010). Además, existe evidencia contundente de vestigios de frijol, maíz y calabaza encontrados en cuevas de los estados de Tamaulipas, Puebla y Oaxaca, a través de métodos de radiocarbono y espectrofotometría de masas que revelan una antigüedad de 2,400 años (Hernández- López *et al.*, 2013).

En la historia de México el frijol ha sido un cultivo altamente asociado al desarrollo de las culturas prehispánicas, siendo un pilar en la alimentación de su población (Secretaría de Economía, 2012). Es considerado un producto estratégico en el desarrollo social y rural del país, funge también como un elemento de identidad cultural y un grano básico en la dieta alimentaria de la población mexicana (SAGARPA, 2015). Los principales productores de

frijol en México son: Zacatecas, Sinaloa y Durango. Sin embargo, Zacatecas guarda una amplia brecha respecto al resto de los estados por la cantidad que produce de la leguminosa, debido a que por sí solo concentra el 32% del volumen de producción, seguido por Sinaloa con el 17% (SIAP, 2022). La región del Pacífico Sur (Chiapas, Guerrero y Oaxaca) contribuye con el 12% de la producción nacional de frijol (Figura 4).

Figura 4. Producción nacional de frijol en el Pacífico Sur

Fuente: elaboración propia con datos de SIAP (2022).

## Materiales y métodos

El área de estudio de la presente investigación se acotó al territorio de cada entidad (Chiapas, Guerrero y Oaxaca) que integra la región Pacífico Sur, así como su capacidad de producción de los cuatro cultivos analizados: agave-mezcal, café, mango y frijol. La determinación de los municipios donde se concentra la mayor producción de estos productos se hizo a través

del análisis espacial basado en herramientas de Sistemas de Información Geográfica (SIGs) y la producción municipal que reporta el Sistema de Información Agroalimentaria [SIAP] de la Secretaría de Desarrollo Rural [SADER]. También se revisaron diversas fuentes de información sobre la cadena productiva de los cuatro cultivos, esto para conocer su estructura y los actores que participan, así como el análisis del estado actual y perspectivas de la producción.

La revisión de literatura se complementó con visitas, talleres y la aplicación de entrevistas en campo en las tres entidades. Se diseñaron instrumentos para la colecta de información, estos incluyeron una guía de entrevista semiestructurada, guía de observación de campo y guía para la dirección de grupo focal. Los temas que se abordaron de manera grupal o a través de entrevistas individuales fueron: organización, conocimiento tradicional, comercialización, infraestructura-tecnología, relación con el gobierno y otras instituciones, industrialización y plagas-enfermedades.

Para llevar a cabo las actividades se conformaron dos equipos de trabajo que, según su experiencia en la investigación de los productos y las zonas de estudio, se desplegaron en Chiapas, Guerrero y Oaxaca. Cada equipo de trabajo contactó a actores específicos (clave) que participaban activamente o tenían un papel preponderante en los cultivos: café, mango, agave y frijol en la región Pacífico Sur, esto como un primer acercamiento y situaciones concretas que se buscaba observar en los territorios.

## Resultados y discusión

### *Chiapas*

**Café**. El café es una semilla dentro del fruto del cafeto, cubierto por una capa roja al momento de su madurez, por lo que se conoce como café cereza. En México el café se produce en 14 estados, la mayor producción se concentra en el estado de Chiapas**.** En el año 2022 se registró una producción de 385 703.05 toneladas y una superficie sembrada de 243 753.87 hectáreas, que representó el 18% del área sembrada del estado. En 88 municipios de la entidad se produce café. Motozintla y Tapachula son los principales

municipios productores de café cereza, aportan el 11% y el 8% del volumen estatal (SIAP, 2022; INAFED, 2019). En Chiapas la cadena productiva del café se integra generalmente por el pequeño productor, una organización de productores, empresas comercializadoras y el mercado final.

**Mango.** Es uno de los cultivos más importantes del estado de Chiapas, en específico la variedad ataulfo de la región Soconusco que logró su denominación de origen en el año 2003. Esta distinción se concentra en los municipios: "Suchiate, Frontera Hidalgo, Metapa, Tuxtla Chico, Tapachula, Mazatán, Huehuetán, Tuzantán, Huixtla, Villa Comaltitlán, Escuintla, Acacoyagua y Acapetahua" (Secretaría de Economía, 2016, párr., 3). Para el 2022, en Chiapas se produjeron 273 659.55 toneladas de mango en una superficie de 38 775.35 hectáreas, distribuidas en 34 municipios del estado. Alrededor del 50% del volumen de producción se concentró en tres municipios: Tapachula (29%), Mazatán (10%) y Huehuetán (10%). Los tres pertenecen al distrito de desarrollo rural de Tapachula, el cual aporta el 87% de la producción estatal de mango (SIAP, 2022).

Las comunidades y los productores de mango enfrentan diversos tipos de problemas y dificultades -dependiendo sus niveles de operación- y que tienen que resolver según sus posibilidades. Entre los pequeños productores destacan las afectaciones provocadas por las plagas y enfermedades, así como por eventos climatológicos extremos, debido a esto le da tratamiento al árbol para cuidar la floración y el fruto. Con el fin de acelerar el proceso de producción, realizan el tratamiento de suelos, podas, entre otras actividades. Otras de las problemáticas a las que se enfrentan los agricultores se relacionan con los clientes intermediarios, la inestabilidad del precio de la fruta, los requisitos de exportación (sobre todo de inocuidad y sanidad vegetal) y la falta de infraestructura tecnológica para el procesamiento del fruto. Todo ello genera una brecha entre los pequeños productores y los comercializadores industriales.

**Agave-mezcal.** En la Meseta Comiteca Tojolabal del estado de Chiapas, que comprende los municipios de Comitán de Domínguez, la Independencia, la Trinitaria, las Margaritas, las Rosas, Maravilla Tenejapa y Tzimol, se

produce el maguey comiteco, conocido también como Agave Americana. La bebida espirituosa "comiteco", a diferencia de otros mezcales, es un destilado que surge del aguamiel fermentado del agave, este último conocido también como pulque (Gobierno del Estado de Chiapas, s/f; Borboa, 2017).

El cultivo del maguey y la elaboración de la bebida datan de tiempos prehispánicos, su consumo era parte de la dieta común entre los tojolabales de la Meseta Comiteca antes de la conquista española. Sin embargo, durante el siglo XVI, por influencia de frailes dominicos y con la aparición del alambique, la bebida, producto de la savia del maguey, comenzó a destilarse (Borboa, 2017). En la actualidad, la bebida ha adquirido importancia cultural y comercial, sobre todo por las actividades de productores (emprendedores) que comienzan a envasar la bebida para su comercialización. El mayor esfuerzo de emprendedurismo se localiza en el municipio de Comitán de Domínguez, Chiapas, que ha iniciado a gestionar la denominación de origen de esta bebida espirituosa. Con relación a la producción de agave en el estado, SIAP no reporta información.

**Frijol.** En Chiapas, en el año 2022 se produjeron 68 621.17 toneladas de frijol en una superficie de 115 364.85 hectáreas. El cultivo se produce en 104 de los 122 municipios del estado; Ocosingo es el que aporta la mayor producción con el 15% del volumen estatal, seguido de Simojovel (6%) y La Trinitaria (5%) (SIAP, 2022). En las visitas en campo se observó que este es uno de los sistemas de producción más desprotegidos en la entidad.

La producción de frijol en Chiapas es principalmente de subsistencia, con una alta participación de las mujeres porque también se siembra en el traspatio. La comercialización del frijol se lleva a cabo principalmente en los mercados locales o en la vía pública, se vende por medida o por kilo y su precio puede variar entre $10 y $20 pesos, similar al precio medio rural reportado por SIAP que es de $17.6 pesos por kilogramo de frijol (SIAP, 2022). Otros productores, con mayor capacidad de organización, venden la semilla a intermediarios o llevan el producto a centros específicos de acopio.

### *Guerrero*

**Café.** El cultivo se siembra en 20 municipios del estado de Guerrero, que para el 2022 produjeron 38 470.6 toneladas de café cereza en una superficie de 45 664.2 hectáreas. El mayor municipio productor es Atoyac de Álvarez, este aporta el 58% del volumen estatal de café cereza. Es uno de los seis municipios del distrito de Atoyac, que concentra el 72% de la producción del grano en el estado. Uno de los desafíos del cultivo en Guerrero es el incremento de los rendimientos (0.95 ton/ha) porque están muy por debajo de la media nacional de 1.6 ton/ha (SIAP, 2022).

Un aspecto que favorece a la producción estatal es que las organizaciones promueven la renovación de plantaciones, debido a que en 2014-2015 la roya afectó hasta el 70% de la planta en el estado. Luz de la Montaña es una de las organizaciones más grandes y consolidadas que se han concentrado en renovar sus cafetales con variedades resistentes a la roya, así como en mejorar sus procesos de beneficiado, tostado y molido.

De la información obtenida del conocimiento tradicional de los productores sobresalen las variedades Bourbon y Typica, que se mencionó han desarrollado resistencia a la roya. Si bien cada productor tiene ciertos conocimientos de prácticas de siembra, abonado y combate a la roya que funcionan, no hay experiencias de compartir saberes ni de experimentos con sus plantaciones. Ejemplo de estos conocimientos es que la forma más eficiente para establecer un cafeto es con 2 metros entre surcos y 1.5 metros entre plantas. El café mejora su tamaño y sabor si tiene sombra de frutales de la región. Además, han identificado que los cafetos bajo sombra disminuyen la prevalencia de la roya, y que el café criollo es más resistente a las plagas. Por lo que es importante que los productores compartan estos saberes que han adquirido con la experiencia y acortar la brecha de conocimiento entre ellos mismos y las nuevas generaciones para mejorar sus producciones.

**Mango.** La plantación se promueve en Guerrero desde la década de 1950 y su cultivo se hace predominantemente en la franja costera, que se integra por la Costa Grande (Tecpan de Galeana, Atoyac de Álvarez, Coyuca de Benítez, Petatlán, Benito Juárez y Zihuatanejo de Azueta) y Costa Chica

(San Marcos, Marquelia, Juchitán, Ayutla de los Libres y Cuajinicuilapa). Se cultiva también en Acapulco, en la región de Tierra Caliente (Ajuchitlán del Progreso) y región Centro (Juan R. Escudero). Para el año 2022 en Guerrero se produjeron 411 172.93 toneladas del fruto; la región con mayor producción fue el distrito de Atoyac que aportó el 68% del volumen estatal. El municipio de Técpan de Galeana contribuye con el 29% de la cantidad producida de mango. No obstante, el fruto se siembra en 59 de los 85 municipios del estado y ocupa una superficie de 27 246.80 hectáreas.

Del conocimiento tradicional de los agricultores se resalta que el mango Haden se utiliza para sembrar en los linderos de las parcelas y ayuda a la polinización. El mango Ataulfo se considera tradicional del estado, aunque en casi todas las huertas se siembran otras cuatro variedades más (Kent, Tommy Atkins, Haden, manila). Lo hacen de esa manera para poder tener ingreso a lo largo del año debido a que cada variedad se cosecha en distinta época del año, no se incluyen a las huertas rentadas a las que aplican un paquete tecnológico y que únicamente cultivan ataulfo. Con respecto a la comercialización, los productores generalmente venden a pie de huerta, la caja de aprox. 25 kg ronda el precio entre $200 y $400 pesos. De acuerdo con datos de SIAP, el precio medio rural reportado para el estado es de $8.1 por kilogramo, es el más alto para este producto a nivel nacional.

**Agave-mezcal.** El estado de Guerrero es el sexto productor de agave en el país, aporta el 2% del volumen nacional (con 39,033.8 toneladas) y cuenta con una superficie de cultivo de 1 746.80 hectáreas. En el municipio Mártir de Cuilapan se produce el 42% del volumen estatal del agave (SIAP,2022). En Guerrero existen organizaciones que comercializan sus productos a través de catas de manera independiente con restauranteros y sectores empresariales. También se produce mezcal artesanal de especialidad para nichos de mercados alternativos.

Respecto al conocimiento tradicional que han adquirido los productores en este cultivo, en Guerrero se puede comentar que este se perpetúa de generación en generación para elaborar mezcal. El maguey debe de cortarse maduro, poco antes de que emerja el quiote floral y en

temporada de secas para que los azúcares estén concentrados. En algunos ejidos mezcaleros existen acuerdos para evitar que se agote el maguey, permiten la fructificación del 20% de los agaves de un área. Para que el mezcal repose bien debe de guardarse en vidrio bajo tierra durante al menos un año (de preferencia dos).

En el estado crecen de manera natural dos especies de agave: angustifolia y cupreata. El primero, conocido como sacatoro, produce poca semilla y los productores prefieren sembrar los hijuelos; el agave cupreata se conoce como papalote y es más abundante en todo Guerrero, no produce hijuelos, este tarda 8-10 años en lograr un estado de maduración apto para hacer mezcal. Hasta hace dos años no había escaseado, pero la escasez de maguey comienza a ser un problema en áreas del municipio de Chilapa y en la región centro, además son pocos los programas de reforestación en la entidad. La escasez de la planta puede atribuirse al crecimiento de la demanda del mezcal en los mercados nacionales e internacionales.

**Frijol.** A nivel nacional, Guerrero es el doceavo productor de frijol con 15 569.2 toneladas y una superficie sembrada de 18 571.3 hectáreas (SIAP, 2022). El cultivo se produce en casi todo el estado, se encuentra en 71 municipios. El distrito Las Vigas concentra el 48% de la producción de frijol, dos municipios son los principales productores: Cuajinicuilapa (9%) y San Luis Acatlán (8%). En Guerrero el frijol se siembra junto a otros cultivos como arroz, chile y maíz.

Respecto al conocimiento tradicional existente sobre el cultivo en el estado, los productores hicieron mención que la observación es importante para programar la siembra de frijol y la selección de las mejores semillas para la siembra del cultivo y otros productos (maíz y arroz principalmente). Los productores sugieren sembrar después de luna llena, esto para garantizar una mayor producción de frijol y de mayor calidad; utilizan un sistema de riego por goteo acondicionado manualmente y abastecido por agua fluvial.

De acuerdo con datos de SIAP (2022), el 68% del frijol que se produce en el estado es bajo la modalidad temporal, este generalmente se siembra en policultivo, se cultiva con flor de cempasúchil (destinada especialmente

para fines religiosos para una determinada época del año), jamaica, camote morado, arroz, chile, ejote y maíz. En Guerrero se siembran principalmente dos variedades de frijol: claro y negro, destinados para autoconsumo. Sin embargo, también se encuentra frijol cacahuate, peruano, flor de junio, alubia y flor de mayo (SIAP, 2022).

### *Oaxaca*

**Café.** El estado de Oaxaca, además de tener una gran riqueza cultural, tiene ecosistemas, biodiversidad y condiciones climatológicas que le han permitido producir café de alta calidad. Datos oficiales indican que, en el año 2022, en el estado se produjeron 89 077.06 toneladas de café cereza en una superficie cosechada de 115 223.96 hectáreas, con un rendimiento promedio de 0.77 toneladas por hectárea (SIAP, 2022). Sin embargo, tanto a nivel nacional como estatal, la producción de café, así como la cantidad de hectáreas sembradas, ha ido disminuyendo, principalmente debido a dos factores: la nueva cepa de la roya y la "avanzada edad de los cafetales" (FIRA, 2016). En ambos casos los cafeticultores implementan, a su modo, estrategias para mantener a flote su producción del cultivo.

En Oaxaca son 151 municipios productores de café, ubicados en 7 de las 8 regiones que conforman el territorio. Los municipios con mayor producción son: San Juan Bautista Valle Nacional que contribuye con el 7% de la cantidad total de café cereza que se produce en el estado, en segundo lugar se encuentra San Juan Cotzocón con el 5%; y en orden de relevancia siguen: Santiago Xanica, San José Tenango, Santa María Chilchotla y Pluma Hidalgo, cada uno aporta el 3% de la producción (SIAP, 2022).

Entre los conocimientos tradicionales de los productores para este cultivo se menciona que algunos se basan en los movimientos de la luna para el manejo de sus tierras y plantas de café; también, debido a las creencias y respeto a sus ancestros, difícilmente podan sus cafetales para renovar su siembra. Además, la falta de habla española complica el control de datos para el registro del proceso de producción. Otro aspecto importante a considerar es que las asambleas para la toma de decisiones son parte de los usos y costumbres que tienen las comunidades y los productores de café.

**Mango.** Con respecto a la producción nacional de mango, Oaxaca ocupa el quinto lugar, con un total de 215 934.3 toneladas. Tiene una superficie sembrada de 19 327.3 hectáreas y un rendimiento promedio de 11.3 toneladas por hectárea (SIAP, 2022). La producción del fruto en el estado se concentra primordialmente en la región del Istmo que aporta el 87% del volumen total. En específico los principales municipios productores son: San Pedro Tapanatepec y Santo Domingo Zanatepec, el primero contribuye con el 57% y el segundo con el 14% de la producción de mango de Oaxaca. En el estado el mango se consume en fresco o es comercializado en los mercados locales. Pese a que es uno de los principales estados productores del fruto, Oaxaca tiene un precio medio rural por tonelada del fruto de los más bajos con $3 310.4 por tonelada, sólo por arriba de Tabasco y San Luis Potosí (el promedio nacional del país es de $5 577.9).

Del conocimiento tradicional acerca del cultivo, se destaca que hace más o menos 15 años el cultivo empezó a detonarse con un significado económico en el estado. Los productores de mayor edad utilizan el movimiento de la luna para manejarlo (sobre todo para plantar y podar). En general, los jóvenes ya no se quieren dedicar al campo, aunque algunos son profesionistas y ayudan a sus padres.

**Agave-mezcal.** En Oaxaca el agave se encuentra de forma silvestre y de cultivo, es empleado para la producción de mezcal**.** La región geográfica de Valles Centrales aporta el 71% de la producción estatal, que asciende a 245 457.1 toneladas (SIAP, 2022). Los municipios que concentran la mayor producción en el estado son Miahuatlán de Porfirio Díaz (27%) y Nejapa de Madero (11%). Los municipios donde se produce y usan magueyes para el destilado, más allá de los incluidos en la Denominación de Origen del mezcal, son: Ejutla, Tlacolula, Miahuatlán, Yautepec, Sola de Vega, Ocotlán, Etla, Centro, Villa Alta, Mixe, Mixteca, Tlaxiaco, Juquila y Tehuantepec (Palma *et al*., 2016).

La diversidad de agaves en Oaxaca es de 39 especies, se emplean nueve especies y 17 variedades o cultivares en la elaboración de mezcal (*A. angustifolia*; *A. potatorum*; *A. seemanniana*; *A. marmorata*; *A. karwinskii*; *A. americana*; *A. salmiana*; *A. rhodacantha* y *A. convallis*) (García Mendoza, 2007; Cuevas Reyes *et al*., 2019; García-Mendoza *et al*., 2019).

Las crisis por escasez de maguey mezcalero en Oaxaca son una constante desde inicios de los noventa, cuando la creciente industria tequilera de Jalisco inició a demandar materia prima adicional a la que producía, la cual buscó en otros estados productores de agave (o con abundancia de planta silvestre) como Oaxaca y Guerrero. Los mercados para el mezcal han ido creciendo significativamente a partir del 2010, en contraste con un aumento gradual en las extensiones con plantación. En algunas comunidades se promueve la siembra en viveros de agaves, pero se debe considerar que el tiempo mínimo para que una planta alcance la madurez es de alrededor de cinco años, si se cultiva por propagación vegetal (hijuelos).

El incremento en los eslabones del envasado y comercialización ha sido exponencial; no obstante, el productor en Oaxaca vende el litro de mezcal (espadín) entre $90 y $180 pesos. En ese sentido, uno de los problemas que actualmente enfrentan los productores primarios de agave y de mezcal es la falta de acceso a mercados para su producto, por lo que dependen de los intermediarios y de los representantes de las marcas o del turismo que llega a las comunidades a visitar palenques y comprar mezcal.

**Frijol.** Es parte importante de la dieta de los mexicanos, la diversidad de frijoles es amplia: negros, bayos, amarillos, pintos, pequeños o grandes, alargados o redondos, como el ayocote o las combas. La preferencia de frijoles bayos en el norte contrasta con el consumo de frijoles negros en el centro y sur del país (Barros, 2015). En Oaxaca el frijol que se produce y más consume es la variedad negro Jamapa; el consumo del frijol negro está vinculado a sus procesos históricos.

En 2022 el volumen producido de la leguminosa en Oaxaca fue de 25 539.1. La siembra de frijol es una práctica común en casi todos los municipios del estado (se produce en 492 municipios). Oaxaca posee una superficie sembrada con el cultivo de 34 624.6 hectáreas. Las principales regiones productoras son Huajuapan de León y Valles Centrales, estas aportan el 60.8% de la producción estatal (SIAP, 2022). En las regiones del Istmo y la Sierra Norte la producción es principalmente de subsistencia o autoconsumo y se conserva una gran cantidad de variedades criollas. Cabe

decir que el precio medio rural por tonelada de frijol en Oaxaca es de $13 970.0, inferior a la media nacional de $17 593.2 pesos.

## Conclusiones

Los sistemas de producción que se analizan en este estudio tienen un aporte productivo, económico y social significativo, no sólo para los estados de la región Pacífico Sur donde se producen, sino también a nivel nacional. En los cuatro cultivos se observó poca injerencia de dependencias gubernamentales. Los productores, con sus variaciones, se las han ingeniado para producir y mantener a flote la cadena productiva en la que se desarrollan. Entre las dificultades que enfrentan están: la falta de asistencia técnica, infraestructura y tecnología, lo cual impide la industrialización de las producciones en sus niveles más básicos.

Un aspecto que destacar es el conocimiento tradicional sobre los cultivos en cada entidad de la región, conocimiento que se debe valorar y preservar para ser transmitido de manera explícita a las nuevas generaciones. Otro tema importante que debe abordarse no sólo entre los productores, sino con todos los agentes y eslabones que participan en las cadenas productivas es la organización, esto con el fin de articular la cadena y que exista un ganar-ganar entre los involucrados.

Finalmente, dada la relevancia económica del agave-mezcal, café, mango y frijol en los estados que integran la región Pacífico Sur, la recopilación de esta información se presenta como una base que permita visualizar escenarios futuros, oportunidades, riesgos y líneas de acción que pueden contribuir a resolver sus problemáticas actuales y generar un impacto positivo en el desarrollo social y económico de la región.

## Referencias

Altamirano, M., Rocha, P., Rangel, J., Garcia, C., & Tejeda, C. (2011). La ruta del café y la diversidad de las aves. *Biodiversitas,*(96), 11-16.

Barros, M. C. (2015). Frijolitos de la olla. *Revista Digital Universitaria. 16*

(2), 2-12. http://www.revista.unam.mx/vol.16/num2/art13.

Barrios, A., Ariza, R., Molina, M., Espinosa, H., & Bravo, E. (2006). *Manejo de la fertilización en magueyes mezcaleros cultivados (agave spp) de Guerrero.* Iguala: Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP).

Bitocchi, E., Bellucci, E., Giardini, A., Rau, D., Rodriguez, M., Biagetti, E., Santilocchi, R., Spagnoletti Zeuli, P., Gioia, T., Logozzo, G., Attene, G., Nanni, L., & Papa, R. (2013). Molecular analysis of the parallel domestication of the common bean (Phaseolus vulgaris) in Mesoamerica and the Andes. *New Phytologist,* 197(1), 300-313. https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2012.04377.x

Borboa, C. (30 de Marzo de 2017). ¿Has oído hablar del Comiteco? Conoce este espirituoso chiapaneco. *El universal.* https://www.eluniversal.com.mx/articulo/menu/2017/03/30/has-oido-hablar-del-comiteco-conoce-este-espirituoso-chiapaneco/

Brown, C. H. (2006). Prehistoric chronology of the common bean in the New World: The linguistic evidence. *American Anthropologist*, 108(3), 507-516.

Canet Brenes G., Soto Víquez C., Ocampo Thomason P., Rivera Ramírez J., Navarro Hurtado A., Guatemala Morales G.M., & Villanueva Rodríguez S. (2016). *La situación y tendencias de la producción de café en América Latina y el Caribe.* San José: C.R.: Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura(IICA). http://repositorio.iica.int/handle/11324/2792

Cervantes, M. (2005). *Plantas de Importancia Económica en Zonas Áridas y Semiáridas de México* . Universidade de Sao Paulo, Sao Paulo: Anais do X Encontro de Geógrafos da América Latina .

Cuevas Reyes, V., Sánchez Toledano, B. I., Borja Bravo, M., Espejel García, A., Sosa Montes, M., Barrera Rodríguez, A. I., & Saavedra García, M. J. (2019). Caracterización de la producción de maguey en el distrito de Miahuatlán, Oaxaca. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, *10*(2), 365-377. https://doi.org/10.29312/remexca.v10i2.1632

FAOSTAT. (1 de Septiembre de 2022). *Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.* http://www.fao.org/faostat/es/#data/QC

García Mendoza, A. (2007). Los agaves de México. *Ciencias,* 87, julio-septiembre, 14-23. [En línea]. https://revistacienciasunam.com/es/48-revistas/revista-ciencias-87/285-los-agaves-de-mexico.html

García Mendoza, A. J., Franco Martínez, I. S., & Sandoval Gutiérrez, D. (2019). Cuatro especies nuevas de Agave (Asparagaceae, Agavoideae) del sur de México. *Acta Botánica Mexicana*, (126). https://doi.org/10.21829/abm126.2019.1461

Hernández-López, V. M., Vargas-Vázquez, M., Luisa, P., Muruaga-Martínez, J. S., Hernández-Delgado, S., & Mayek-Pérez, N. (2013). Origen, domesticación y diversificación del frijol común: Avances y perspectivas. *Revista fitotecnia mexicana*, *36*(2), 95-104.

Instituto Nacional para el Federalismo y el Desarrollo Municipal. (s/f). *Enciclopedia de los municipios y delegaciones de México.* Chiapas. http://www.inafed.gob.mx/work/enciclopedia/EMM07chiapas/regiones.html

Magaña Lemus, D., Gaucín Piedra, S., & Flores Rico, L. (2015). Análisis Sectorial y de la Dinámica de los Precios del Frijol en México. *Compendium: Cuadernos de Economía Y Administración, 2*(3), 1-21. http://www.revistas.espol.edu.ec/index.php/compendium/article/view/13

Palma, F., Pérez P., & Meza V. (2016*). Diagnóstico de la cadena de valor mezcal en las regiones de Oaxaca.* https://1library.co/document/zwvp9nml-diagn%C3%B3stico-cadena-valor-mezcal-regiones-oaxaca.html

Pérez Hernández, E., Chávez Parga, M. D., & González Hernández, J. C. (2016). Revisión del agave y el mezcal. *Revista Colombiana de Biotecnología, 28*(1), 148-164. DOI: 10.15446/rev.colomb.biote.v18n1.49552

Salas Tornés, J., & Hernandez Sánchez, L.Y. (Julio-septiembre de 2015). Mezcal cupreata, fuente de admiración. *Ciencia*, 40-47. https://www.

revistaciencia.amc.edu.mx/images/revista/66_3/PDF/Mezcal.pdf

Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. (s.f. ). *Plan Integral de Atención al Café PIAC.* México: Subsecretaría de Agricultura. https://www.cmdrs.gob.mx/sites/default/files/cmdrs/sesion/2018/11/12/1685/materiales/3-procafe.pdf

Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. (2015). *Agenda Técnica Agrícola de Chiapas.* Benito Juárez, Ciudad de México:SAGARPA.

https://isbn.cloud/9786077668152/agenda-tecnica-agricola-chiapas/

Secretaría de Economía. (2012). *Análisis de la Cadena de Valor del Frijol.* Dirección General de Industrias Básicas. https://www.economia.gob.mx/files/comunidad_negocios/industria_comercio/analisis_cadena_valor_frijol.pdf

Secretaría de Economía (2016). *¿Sabías que el Mango Ataulfo tiene denominación de origen?* https://www.gob.mx/se/articulos/sabias-que-el-mango-ataulfo-tiene-denominacion-de-origen.

Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. (18 de Agosto de 2022). *Anuario Estadístico de la Producción Agrícola*. https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/

Zizumbo-Villarreal, D., & Colunga-García M. P. (2010). Origin of agriculture and plant domestication in West Mesoamerica. *Genetic Resources and Crop Evolution, 57*(6), 813-825. https://doi.org/10.1007/s10722-009-9521-4

# Capítulo 4

# Elementos de la implementación de una estrategia múltiple de incidencia social en los micro y pequeños productores de tilapia en el Pacífico Sur: Manejo financiero en granja, socioeconomía y cambio climático

*Francisco Javier Martínez Cordero*[1*] *y*
*Edgar Sánchez Zazueta*[1]

**Resumen**

El esquema de Incidencia Social que se siguió en los componentes financiero, socioeconómico y de cambio climático del proyecto ADESUR con productores de tilapia parte de la premisa que este es un objetivo alcanzable por una diversidad de métodos. Sin embargo, para lograr los impactos es imprescindible conocer las características de los actores sociales, sus territorios y requerimientos, pues esto se constituye en la guía conductora del ejercicio de intercambio de conocimientos en búsqueda de impactos. La aproximación fue territorialmente diferenciada, con amplia cobertura en los estados de Guerrero, Oaxaca y Chiapas y flexible para tener la posibilidad de incorporar nuevos elementos, basada en los años de trabajo con estos actores sociales que nos permiten identificar con ellos los puntos clave de acción.

A continuación, se describen e ilustran de manera general diversos elementos que constituyeron la estrategia de implementación de los componentes financiero, socioeconómico y de cambio climático en el cultivo

[1] Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo CIAD, A.C. Unidad Mazatlán. Laboratorio de Economía Acuícola y Prospectiva. Av. Sábalo Cerritos s/n. Mazatlán, Sinaloa. C.P. 82112 *cordero@ciad.mx sanchez@ciad.mx.

de tilapia en el proyecto ADESUR, incluyendo gestiones con gobiernos de diversos niveles para sumar esfuerzos o profundizar las acciones del proyecto, y con ello la Incidencia Social hacia los productores de tilapia MIPYME y de autoconsumo.

*Palabras clave*: Cultivo de tilapia, Incidencia Social, MIPYMEs, socioeconomía

**Aspectos financieros en el cultivo de tilapia. Enfoque para la incidencia social: crear manejo empresarial a todas las escalas de la producción rural, incluyendo la cadena de valor**

En los estados de Guerrero, Oaxaca y Chiapas se impartieron cursos, con enfoque extensionista, de manejo financiero básico en granja y seguimiento a la aplicación del mismo, a partir de un manual desarrollado para estos fines que adaptó documentos que han sido utilizados previamente por el Laboratorio de Economía Acuícola y Prospectiva y la Red Tilapia México en diversas zonas de México (Figura 1).

Figura 1. Portada de manuales de análisis financiero en granja utilizados en acciones de extensionismo

Con una amplia cobertura en mente, estas acciones se repitieron en los tres estados a lo largo de la vida del proyecto. Los cursos fueron siempre en sitio, dando seguimiento a las mejoras y dudas que los productores pudieran tener. El objetivo es generar empresarios rurales en las escalas MIPYMEs del cultivo de tilapia, acostumbrados a recopilar información financiera y analizarla, incluyendo otras actividades a lo largo de la cadena de valor que en algunos casos también los productores primarios están involucrados (Figura 2). Las capacitaciones y formación de capacidades toman en cuenta los cuadernillos de campo desarrollados e implementados con los productores desde hace años por los Comités Estatales de Sanidad Acuícola. Es decir, el alcanzar resultados no implica duplicar esfuerzos o ignorar el trabajo que en estos temas han generado los Comités.

Figura 2. Extensionismo de análisis financiero con productoras de tilapia. Algunos ejemplos de Guerrero

Ante la inquietud del CONHACYT por alcanzar en la Incidencia Social a productores y comunidades indígenas que hablen otras lenguas, el componente se amplió en su estrategia de implementación. Se identificaron actores sociales clave (productores de tilapia MIPYMEs), quienes realizan ya de manera rutinaria recopilación de información y análisis financiero, como parte de las Buenas Prácticas de Administración y Finanzas (BPAF) en granja. Como parte del trabajo de reforzamiento de sus conocimientos y prácticas financieras, estos productores fueron motivados y directamente

desarrollaron con nosotros estos manuales en lenguas indígenas. Tal es el caso de los manuales en mixteco en Oaxaca (Figura 3). El objetivo final es que estos actores sociales repliquen los esfuerzos de Incidencia Social, conduciendo las capacitaciones de forma independiente y de esta forma ampliar la diseminación de los beneficios sociales.

Figura 3. Manuales de manejo financiero en granja generado en lenguas (mixteco) en Oaxaca por productoras acuícolas

Entendiendo que los manuales no consolidan la Incidencia Social si no tienen seguimiento, actualmente operan esquemas de extensionismo iniciados en el proyecto, involucrando al Laboratorio de Economía Acuícola y Prospectiva.

**Socioeconomía de la acuacultura rural de tilapia.**

***Enfoque para la Incidencia Social:*** Hacer visible entre los actores sociales de la cadena de valor MIPYME de tilapia de cultivo, y especialmente en los tomadores de decisión de gobierno, la relevancia socioeconómica de estas

empresas rurales y sus impactos en pobreza multidimensional y Seguridad Alimentaria y Nutricional

A partir de un cuestionario aplicado en amplia cobertura en los tres estados y utilizando metodología de CONEVAL, se obtuvo por primera vez en México la estimación del impacto socioeconómico del cultivo de tilapia en la pobreza multidimensional.

La investigación realizada en este componente y sus resultados están publicados en Martínez-Cordero y Sánchez-Zazueta (2021 y 2023) y Martínez-Cordero *et. al.* (2021). El libro publicado con FAO es especialmente relevante para la difusión e Incidencia Social, considerando la importancia de esta Organización Internacional y que sus fines coincidan con los planteados por el proyecto. Complementariamente, y sin ser el objetivo principal, también han sido presentados en foros especializados en acuacultura como el Congreso Nacional SENASICA de los Comités Estatales de Sanidad Acuícola (Figura 4), el Congreso Mundial de Acuacultura de la Sociedad Mundial de Acuacultura WAS en Mérida 2021, Singapur 2022 y Ecuador (virtual,2020).

Figura 4. Presentación de resultados del análisis de impactos socioeconómicos del cultivo de tilapia en los hogares rurales. Congreso Nacional de Comités Estatales de Sanidad Acuícola, SENASICA. Acapulco, Guerrero

El resultado principal es que el proyecto de tilapia genere un impacto positivo en disminuir la pobreza multidimensional en los hogares de los productores. Este impacto es de altísima multidimensional en México. La desagregación de las dimensiones da una radiografía relevancia en estos estados y municipios que tienen los mayores niveles de pobreza detallada en las economías por territorio y el rol de la agricultura/acuacultura.

Identificar la relevancia de este tipo de estudios macroeconómicos es siempre importante con los productores primarios, quienes generalmente no están involucrados en la discusión de estos temas. En el análisis de resultados con los actores sociales en los tres estados, como parte del diálogo permanente que lleva a la Incidencia Social, se reconoce la relevancia de su actividad económica y de las otras dimensiones incluidas en la Pobreza Multidimensional. Es interesante cómo los actores sociales identifican y comprueban en sus realidades del día a día resultados del análisis socioeconómico. El ejercicio de transmisión horizontal de conocimiento se hizo muy rico en todos sus casos presentados al aportar los actores sociales sus experiencias históricas con componentes de la pobreza multidimensional, y de los diversos esfuerzos hechos (o no) para mejorar. Queda claro no sólo el impacto positivo del cultivo de tilapia, sino la urgencia por atender la Seguridad Social.

Figura 5. Presentación de resultados del análisis de impactos socioeconómicos del cultivo de tilapia en los hogares rurales con los actores sociales: intercambio de ideas y conocimientos. Algunos ejemplos de Guerrero

## Cambio climático en la acuacultura MIPYME rural de tilapia

***Enfoque para la incidencia social:*** Que los actores sociales identifiquen las estrategias de Mitigación y Adaptación pertinentes. Reconocimiento de los tomadores de decisión de la relevancia de implementación territorialmente diferenciada de estas estrategias

El tema del Cambio Climático (CC) se trabajó nuevamente con amplia cobertura en campo (Figura 6). En los grupos focales establecidos para el análisis del tema con los productores se identificó que encuentran ya en el día a día impactos diferenciados del CC. Altamente evidente en cuerpos de agua donde están establecidos sistemas de jaulas (presas y lagos, pero también sistemas lagunares costeros), donde las externalidades del cultivo de tilapia son en dos vías. Es urgente en estos casos implementar esquemas de co-manejo comunitario de estos recursos naturales.

Figura 6. Análisis del tema CC con actores sociales: intercambio horizontal de conocimientos. Algunos ejemplos de Oaxaca y Chiapas

Por otro lado, en algunos territorios con sistemas de estanques rústicos y tanques circulares la disponibilidad del agua empieza a ser un factor limitante. Existen productores MIPYME haciendo sus primeros ensayos de captación de agua pluvial, uso de celdas solares, sistemas de recirculación y uso integral de agua en sistemas combinados con la agricultura.

En el componente de modelación bioeconómica se concluye que, considerando la varianza esperada en la temperatura en el cultivo de engorda

en jaulas como resultado del CC, la estrategia productiva de adaptación más conveniente es secuencial (2-4 ciclos de producción en el año), que arroja un nivel mínimo de ganancia por encima de la línea de pobreza por ingresos definida por CONEVAL (Martínez-Cordero & Sánchez Zazueta, 2023). Nuevamente, estos resultados fueron socializados ampliamente y en diversas estrategias: extensionismo, divulgación científica y formación de políticas públicas (Figura 7).

Figura 7. Análisis del tema CC con actores sociales: presentación a tomadores de decisión de gobierno en evento nacional de Tilapia Chiapas 2022. Ponencia magistral por invitación

**Difusión pública de la información y el conocimiento**

***Enfoque para la Incidencia Social:*** Desarrollar plataformas y micrositios como estrategia de ampliación de la difusión de resultados y conocimientos

Se desarrolló un Micrositio del componente con el Centro de Investigación en Ciencias de Información Geoespacial (CentroGeo), el cual, además de presentar la información en forma espacial, es elemento importante para la toma de decisión del desarrollo sustentable de la acuacultura de tilapia MIPYME en la región al incluirse en los mapas acuícolas otras capas relevantes al análisis como las relacionadas con medio ambiente, comunicación, demografía, entre otros.

Figura 8. Capturas de pantalla del micrositio Impacto del Cultivo de Tilapia en Oaxaca, Guerrero y Chiapas elaborado por CENTROGEO (2021)

## Gestión con gobiernos de los tres niveles

*Enfoque para la Incidencia Social:* el involucramiento de los decisores en los tres niveles de gobierno es imprescindible para crear sinergias y lograr con mayor eficiencia los impactos buscados por el proyecto

Se implementó de manera permanente una gestión con los tres niveles de gobierno en los tres estados. Es sólo con su participación como se pueden establecer y avanzar objetivos diversos del proyecto, especialmente el de Incidencia Social. Las propuestas de trabajo conjunto no solo se enfocan a los componentes técnicos del cultivo de tilapia, sino a colaborar para incorporar la evaluación de impactos socioeconómicos en la política pública en los tres niveles de gobierno. Por otro lado, se puso particular interés en acercarse a las dependencias encargadas de poblaciones indígenas y afromexicanas, especialmente relevantes en esta región. Se espera que de las gestiones fructifique ampliar la incidencia social.

Figura 9. Gestión del proyecto buscando sinergias y colaboraciones con los tres niveles de gobierno para potenciar alcances e impactos. Estado de Guerrero

## Conclusiones

El diverso esquema de Incidencia Social que se siguió en los componentes financiero, socioeconómico y de cambio climático del proyecto ADESUR era claro desde la propuesta del proyecto, pues a través de la Red Tilapia México se ha implementado por muchos años en el país. El trabajo de campo y el extensionismo nos ha permitido familiarizarnos y ejecutar diversos esquemas y aprender de ellos. Se ejecutaron diversas metodologías y enfoques considerando la diversidad de actores sociales objetivo. Para el caso de los productores y otros actores sociales en la cadena de producción de tilapia, la Investigación Acción Participativa (IAP) se ejecutó de varias formas. En la mayor parte de los casos no se inicia de cero si no se tienen ya varios años de conocerlos y trabajo conjunto. Por ello generalmente no fueron necesarias etapas de diagnóstico, sino continuación del trabajo compartiendo conocimientos, en un ejercicio horizontal de comunicación. Se puso particular interés en la inclusión de género, la perspectiva intergeneracional e intercultural. La pertinencia lingüística y cultural siempre es importante y un gran reto, pues hay muchas lenguas y grupos con los cuáles se pueden adaptar materiales ya existentes y aplicados, desde manuales, infografías, videos. En este sentido, se siguieron varias aproximaciones: a través de los gobiernos locales y la academia. Tal vez la estrategia más interesante fueron los casos en que los propios productores que se identificaron como actores sociales líderes generaran su material para compartir sus conocimientos con sus pares, eliminando al agente externo y permitiendo inclusive una más exitosa diseminación social del proyecto y sus beneficios. Y escuchar de ellos experiencias previas en ese sentido.

## Referencias

Centro de Investigación en Ciencias de Información Geoespacial. (2021). *Micrositio Impacto del Cultivo de Tilapia en Oaxaca, Guerrero y Chiapas*. Proyecto ADESUR. http://adesur.centrogeo.org.mx/cms/Tilapia_CIAD

Martínez-Cordero, F.J. & Sánchez-Zazueta, E. (2021). Poverty and vulnerability assessment of tilapia farmers in the southwestern States of Oaxaca, Guerrero, and Chiapas in Mexico. *Aquaculture Economics and Management, 26*(1), 36-56 https://doi.org/10.1080/13657305.2021.1896604

Martínez-Cordero, F.J., Delgadillo, T.S., Sánchez-Zazueta, E. & Cai, J. (2021). *Tilapia aquaculture in Mexico: assessment with a focus on social and economic performance*. FAO Fisheries and Aquaculture Circular No. 1219. Roma, FAO. 80 pp. ISBN 978-92-5-133954-1 https://doi.org/10.4060/cb3290en.

# Capítulo 5

# Territorios dorados: El maíz y la herencia campesina e indígena del Pacífico Sur

*Paola Andrea Mejia-Zuluaga[1*], Patricia Ortega Fernández[1]*

**Resumen**

El maíz, esencial para la dieta y cultura de México, se manifiesta de manera especial en el Pacífico Sur como una herencia biocultural que refleja la rica diversidad del país. Este capítulo ofrece una mirada profunda a través de un análisis geoespacial y territorial sobre la importancia del maíz en la identidad de la región. A pesar de las influencias modernas en la dieta, las variedades nativas son valoradas por sus propiedades únicas en la gastronomía tradicional. Más allá de ser un alimento, el maíz nativo es un testimonio de las prácticas agrícolas ancestrales y de la diversidad cultural. Enfrentando el avance de las variedades híbridas, este estudio resalta la imperante necesidad de conservar y promover el maíz nativo en el Pacífico Sur y México.

*Palabras clave:* Agrobiodiversidad, conservación biocultural, maíz nativo, territorio

Antes de adentrarte en la riqueza agrícola y cultural del maíz en la región Pacífico Sur, te invitamos a complementar tu lectura con el MICROSITIO de "Territorios de Maíz", en la Plataforma Pacífico Sur. A lo largo del capítulo encontrarás enlaces a recursos en línea que te llevarán a mapas dinámicos, infografías y material complementario.

Explora en http://plataformapacificosur.mx/cms/territorios_maiz para una experiencia ampliada

[1] Centro de Investigación en Ciencias de Información Geoespacial (CentroGeo), Contoy 137, Lomas de Padierna, Ciudad de México, México 14240 * pmejia@centrogeo.edu.mx.

## Introducción

El maíz, desde sus orígenes en México, ha sido un pilar fundamental en la evolución de las civilizaciones mesoamericanas, siendo no sólo una fuente esencial de alimento, sino también un elemento intrínseco en ceremonias, mitos y culturas. La rica cantidad de variedades de maíz existentes hoy es testimonio de la profunda conexión entre este grano y las comunidades que lo han cultivado durante milenios.

Para entender realmente la importancia del maíz, debemos adentrarnos en el concepto de "territorios de maíz". Un territorio de maíz no es simplemente una región geográfica donde se cultiva este grano; es una amalgama de factores biológicos, ecológicos, culturales y sociales que convergen, creando un espacio donde el maíz y la comunidad coexisten y se influencian mutuamente (Escobar *et.al*., 1997). Estos territorios reflejan la historia, diversidad genética, prácticas agrícolas tradicionales y la identidad cultural de la población que los habita.

Estudiar los territorios de maíz es crucial por varias razones:

- *Biodiversidad y Seguridad Alimentaria:* La diversidad genética del maíz es una garantía contra enfermedades, plagas y cambios climáticos. Asegura una producción estable y resiliente frente a adversidades (Altieri *et al.*, 1987).
- *Cultura e Identidad:* El maíz es central en rituales, tradiciones y la dieta de muchas comunidades. Proteger los territorios de maíz es proteger la identidad y la cultura (Perales *et al.*, 2005).
- *Innovación y Conocimiento Tradicional:* Los sistemas agrícolas tradicionales, como la milpa, ofrecen soluciones sostenibles y resilientes a los desafíos modernos (Gliessman *et al.*, 1981).

La región del Pacífico Sur, con su rica biodiversidad y profunda historia cultural, es un lienzo perfecto para explorar, entender y apreciar la complejidad y la riqueza de estos territorios de maíz.

***El maíz en Pacífico Sur: Un viaje a través del tiempo y el espacio***

La historia del maíz en el Pacífico Sur es un reflejo de la historia del maíz en México. Desde las antiguas civilizaciones hasta las comunidades actuales, el maíz ha sido la constante que ha unido a la gente de esta región (Hernández *et.al*., 1988).

La variedad y diversidad de maíz en el Pacífico Sur es asombrosa. Variedades como el Chalqueño, Elotes Cónicos y el Celaya, que han coexistido y evolucionado con comunidades indígenas, son testimonio de la adaptabilidad y resiliencia de este grano (Bellon *et al*., 1994). Pero para entender cómo estas variedades llegaron a ser relevantes en la agricultura campesina, debemos adentrarnos en el sistema de cultivo más emblemático de Mesoamérica: la milpa.

La relación entre el maíz y las comunidades del Pacífico Sur es simbiótica. Mientras que las comunidades han cultivado, seleccionado y conservado las variedades de maíz, este grano ha sustentado, nutrido y formado parte integral de sus tradiciones y festividades. Festivales como el "Día del Maíz" en Oaxaca y las danzas tradicionales en Guerrero son un homenaje viviente a la importancia del maíz en la vida diaria (Morales *et al.*, 2002).

La influencia del maíz va más allá de la cultura y la tradición. Económicamente el maíz ha sido un pilar para las comunidades agrícolas, ofreciendo sustento y oportunidades comerciales. La exportación de variedades únicas y productos derivados del maíz, como las tortillas y tamales, ha posicionado a la región del Pacífico Sur como un epicentro de gastronomía y biodiversidad (Serratos *et al*., 2016).

Sin embargo, no todo ha sido positivo. La incursión de variedades modificadas y la modernización agrícola han puesto en riesgo la biodiversidad del maíz en la región (Bellon *et al*., 1994). Las prácticas tradicionales, que una vez garantizaron la conservación de las variedades endémicas, ahora enfrentan desafíos en un mundo en rápida evolución.

Por lo tanto, el estudio de los territorios de maíz en el Pacífico Sur no es sólo una exploración académica; es una llamada a la acción. Reconocer, valorar y proteger estos territorios es esencial para garantizar que las futuras generaciones puedan disfrutar y beneficiarse del legado del

maíz. A medida que avanzamos en este capítulo, nos sumergiremos en una exploración detallada de estos territorios, comprendiendo su singularidad, su interacción con las comunidades indígenas y la riqueza que representan para la región y el país.

## La milpa: lenguaje territorial y patrimonio agrícola

La milpa es mucho más que un campo de cultivo; es un sistema integrado que ha sostenido a las civilizaciones mesoamericanas durante milenios. En su esencia, la milpa es una policultura que combina maíz, frijol, calabaza y, en ocasiones, otros cultivos y plantas asociadas (Gliessman *et al*., 1981). Juntos, estos cultivos no sólo optimizan el uso del suelo y los recursos, sino que también ofrecen una dieta equilibrada y sostenible.

El concepto de la milpa va más allá de la simple agricultura; es una filosofía de vida que refleja la relación simbiótica entre la tierra, las plantas y las personas. El maíz es el pilar central, pero cada componente de la milpa tiene su lugar y propósito, contribuyendo al bienestar del ecosistema y de las comunidades que lo cultivan.

### *Análisis territorial*

La milpa representa un legado agrícola donde bienes y servicios son producidos tanto para el consumo personal como para la venta. Esta tradición agrícola, arraigada en la rica interacción entre biodiversidad y cultura, tiene al maíz como protagonista, con sus 64 variedades nativas. En su núcleo, la milpa a menudo incorpora la “triada mesoamericana”, que consta de maíz, frijol y calabaza (Boege *et al*., 2008; Ebel *et al*., 2017). Estos sistemas ancestrales sustentan la Agricultura Familiar de Subsistencia, reconocida por su enfoque en cultivos destinados al autoconsumo (SAGARPA-FAO, 2011).

Los agricultores que además de su milpa poseen plantaciones de café o frutas para la venta, se encuadran en la Agricultura Familiar de Transición (SAGARPA-FAO, 2012). Estos agricultores a menudo trabajan en tierras que varían entre 0.5 y 5 hectáreas debido a la limitada disponibilidad de recursos (Gómez *et al*., 2011). La sabiduría ancestral de la agricultura indí-

gena alimenta estos sistemas tradicionales con innumerables agricultores, empleando variedades nativas y técnicas antiguas (Toledo *et al*., 2008). Sin embargo, es desolador que estas comunidades indígenas a menudo enfrenten marginación y aislamiento geográfico (Téllez *et al*., 2016). Para comprender la extensión de la milpa en la actualidad, se mapeó su distribución en el país, considerando una amalgama de factores culturales, socioeconómicos, productivos y medioambientales. El resultado refleja áreas donde maíz y frijol son cultivados en un entorno tradicional.

## Metodología

A través de una exhaustiva revisión de literatura se establecieron criterios que, al integrar distintos aspectos emblemáticos del cultivo de la milpa, señalan áreas donde el maíz y el frijol se cultivan bajo prácticas tradicionales. Estos criterios se fundamentan en diversos estudios y publicaciones (CONAPO, 2000, 2012; Toledo *et al*., 2008; Rodríguez *et al*., 2014; Bellon *et al*., 2018). Esencialmente, cada criterio seleccionado tuvo que manifestarse tanto en términos espaciales como temporales. Una vez definidos, se procedió a integrarlos en un formato espacial mediante una operación de unión basada en la Clave de área de control2 asociada. Después se sumaron y normalizaron los criterios, basándose en el valor máximo para generar un índice con valores entre 0 y 1. Las categorizaciones finales se definieron como: Alto (entre 0.6 y 0.8) y Muy Alto (0.8 en adelante).

[2] Área de control: de acuerdo con INEGI es una superficie delimitada por rasgos físicos naturales y culturales, que puede tener en su interior uno o más terrenos con diferentes tipos de tenencia de la tierra.

## Resultados

El mapa de regionalización del índice de Milpa (Figura 1) muestra la distribución de las zonas en donde existe un alto índice (color mostaza) y un muy alto índice de milpa (rojo**),** las cuales se destacan a partir del análisis geoespacial realizado sobre las áreas de control en todo el país.

Figura 1. Mapa del índice de presencia de milpa en áreas de control (polígonos) a escala nacional y regional

Los estados con la mayor extensión territorial donde predomina la práctica de la milpa, basado en áreas categorizadas como Alta y Muy Alta, incluyen Chihuahua, Oaxaca, Chiapas, Quintana Roo, Durango, Guerrero y San Luis Potosí. Cabe aclarar que esta extensión no refleja la superficie agrícola total ni la proporción respecto a la superficie total del estado, más bien señala áreas donde la información de las unidades de producción fue

espacialmente agregada, conforme a las geometrías del Censo. La distribución territorial con alta presencia de milpa reveló estados con núcleos concentrados de agricultura tradicional y áreas dispersas circundantes. Chihuahua, Oaxaca, Chiapas, Quintana Roo y Durango destacaron por sus extensas zonas núcleo, mientras que Oaxaca, San Luis Potosí, Puebla, Guerrero, Hidalgo y México presentaron zonas más dispersas.

En la región del Pacífico Sur los estados cuentan con una significativa extensión de territorios de milpa, formando una continuidad geográfica (Tabla 1). Oaxaca sobresale como el estado con la mayor área de milpa, concentrándose principalmente en las regiones de la Mixteca, Sierra Sur, Valles Centrales y Sierra Norte. Chiapas sigue en la lista con una vasta zona núcleo en áreas como los Altos Tsotsil Tseltal, Selva Lacandona, Tulija Tseltal Chol, Meseta y De Los Bosques. Guerrero, por otro lado, cuenta con amplias zonas dispersas de milpa y regiones núcleo en áreas como el Centro y La Montaña.

Tabla 1. Superficie de zona milpera (índice de milpa: Alto y Muy Alto) por estados

| Estado | **Superficie (ha) alto** | **Superficie (ha) muy alto** |
|---|---|---|
| Guerrero | 2 860 244 | 570 619 |
| Oaxaca | 4 195 387 | 2 417 773 |
| Chiapas | 2 190 775 | 1 493 556 |

En México todavía prevalecen vastas áreas dedicadas a la práctica agrícola ancestral. Muchos de estos territorios representan núcleos donde el saber y las técnicas campesinas protegen la diversidad agrícola que sustenta la vida de millones de productores en situaciones de marginación. Es crucial entender la disposición y concentración de estas áreas ya que, desde una perspectiva territorial, nos permite discernir las dinámicas que afectan o impulsan la continuidad de estos sistemas tradicionales.

Para una visión más detallada y enriquecedora sobre las prácticas tradicionales de Milpa en la región Pacífico Sur visita: http://plataformapacificosur.mx/cms/multimedia/territorios_maiz/menuSect-31-1596. Ahí podrás encontrar mapas interactivos, análisis y más.

***Maíces nativos y pueblos indígenas: Un vínculo territorial***

El maíz, desde sus inicios, ha sido mucho más que un simple alimento para las culturas de Mesoamérica. Es una entidad profundamente arraigada en la historia, la cultura y las tradiciones de las comunidades que lo han cultivado. Su diversidad, reflejada en las múltiples variedades nativas que existen, es un testimonio vivo de la adaptabilidad y resistencia de este grano ante diferentes condiciones climáticas, geográficas y culturales. En México, y en particular en el Pacífico Sur, estas variedades no sólo representan una biodiversidad agrícola, sino también una rica variedad cultural, ya que están intrínsecamente ligadas a las prácticas y tradiciones de los pueblos indígenas de la región.

En México, el cultivo de maíz en régimen de temporal no sólo es una fuente esencial de alimento, sino también un legado ancestral, considerado vital para el bienestar de las comunidades rurales más desfavorecidas. Según el reciente censo agropecuario, de los 30 millones de hectáreas cultivables en México, 8.4 millones se dedicaron al maíz, con 7.1 millones de estas en régimen de temporal y 1.3 millones bajo riego.

Además de su relevancia para la producción y el consumo, México es el epicentro de origen y diversificación del maíz (*Zea mays* L.*),* contando con cerca de 59 variedades según las clasificaciones morfológicas e iso-enzimáticas (Sánchez *et al*., 2000). Esta rica variedad es fruto de antiguas prácticas agrícolas estrechamente ligadas al saber tradicional de las comunidades indígenas mexicanas, custodios primordiales del germoplasma autóctono (Toledo, 2008).

Los territorios habitados por estos grupos indígenas funcionan como espacios bioculturales que promueven y protegen el maíz nativo, apoyándose en técnicas agrícolas tradicionales (Boege *et al*., 2008; Turrent *et al*., 2017). Estos agricultores, que operan en pequeñas parcelas (menos de 5 ha) y bajo condiciones de temporal, han encontrado en sistemas como la milpa una solución para superar crisis alimentarias y económicas (Rodríguez *et al*., 2014). Se estima que alrededor del 76.5% de estos productores usan semilla nativa, cifra que puede llegar hasta el 100% en zonas de agricultura tradicional (Herrera *et al*., 2002).

La preservación de la biodiversidad global está intrínsecamente ligada a la conservación de la diversidad cultural y viceversa. Esta idea se sustenta en cuatro pilares: (1) La coincidencia geográfica entre biodiversidad y diversidad lingüística; (2) La superposición de territorios indígenas con áreas de gran valor biológico; (3) El papel de las comunidades indígenas en la conservación de paisajes prístinos y (4) La predisposición conservacionista de estas comunidades, reflejada en sus creencias, conocimientos y prácticas (Toledo *et al*., 2008).

El "maíz criollo" es una designación que los agricultores emplean para distinguir el maíz autóctono o adaptado a las condiciones agroecológicas específicas de una región, en contraste con el maíz resultado de intervenciones de mejoramiento genético. Estas poblaciones de maíz criollo suelen ser heterogéneas y han sido cultivadas y preservadas por generaciones de agricultores mediante selecciones basadas en experiencia, buscando rasgos particulares como textura, color del grano, forma de la mazorca, salud de la planta, duración del ciclo vegetativo y otros. Además, el término "criollo" también puede referirse a poblaciones de maíz que resultan de la combinación entre variedades nativas e híbridas o variedades genéticamente mejoradas. (Aragón *et al*., 2006)

El propósito principal es determinar tanto la distribución como la superficie probable de cada variedad de maíz nativo documentada por el Proyecto Global de Maíces Nativos de CONABIO. Además, se busca analizar la interacción geográfica de cada variedad con las comunidades indígenas presentes. Esta investigación tiene como finalidad descubrir los territorios donde coexisten zonas indígenas y áreas agrícolas de alto valor biológico, consideradas como el eje central de la implementación de técnicas agrícolas tradicionales. Para culminar, los conjuntos de datos obtenidos de este análisis estarán accesibles en una plataforma tecnológica diseñada para investigar, concientizar, difundir y poner de manifiesto los elementos clave de la agricultura tradicional desde una perspectiva geográfica.

## Metodología

Para trazar la distribución de las variedades de maíz nativo en México se desarrollaron mapas de distribución probabilística para cada variedad utilizando ubicaciones georreferenciadas y datos bioclimáticos de la base de datos global WorldClim[3], ajustados a una resolución de 1 km. Se empleó el Laboratorio Virtual de Biodiversidad y Cambio Climático (BCCVL) para prever la distribución de estas variedades de maíz, seleccionando aquellas con al menos 20 puntos de muestra y utilizando el algoritmo Maxent[4].

De las 19 variables bioclimáticas consideradas, 10 mostraron una fuerte correlación con otras, por lo que se descartaron. La precisión de los modelos se evaluó mediante el área bajo la curva (AUC) de la característica operativa del receptor, que es un estándar en este tipo de análisis.

Después de procesar los datos en BCCVL[5], se produjo un mapa para cada variedad de maíz que mostraba probabilidades de distribución, que luego se categorizaron en cinco grupos utilizando ArcGIS. Centrándose en las áreas con probabilidades más altas (60% a 100%), se filtraron los datos y se intersecaron con la información demográfica para identificar la población total en estas áreas y, específicamente, la población indígena. Este análisis se llevó a cabo para 48 variedades de maíz nativo, permitiendo una visión detallada de su distribución y su relación con las comunidades locales.

### *Aplicación de análisis territorial de maíces nativos*

Para abordar la complejidad y riqueza de la información espacial relacionada con la diversidad biológica y cultural del maíz, se creó una herramienta innovadora en colaboración con el departamento de plataformas del Centro de Investigación en Ciencias de Información Geoespacial (CentroGeo). Esta herramienta, una aplicación de análisis espacial, ofrece a los usuarios una plataforma interactiva para investigar y divulgar aspectos cruciales de la agricultura tradicional.

[3] https://www.worldclim.org/

[4] Maxent: método para realizar predicción a partir de una muestra.

[5] www.bccvl.org.au

Una característica distintiva de esta aplicación es su versatilidad. Los usuarios pueden explorar la información a través de diferentes enfoques, ya sea por estado, municipio, variedad específica de maíz o grupo indígena. Esta flexibilidad permite una comprensión más profunda y detallada de la distribución y características de las 48 razas de maíz nativo disponibles, basándose en variables bioclimáticas tanto a nivel estatal como municipal (ver Figura 2).

Figura 2. Distribución potencial de las diferentes variedades de maíces nativos en el territorio mexicano

Diseñado para ser intuitivo, el sistema guía a los usuarios a través de tres filtros principales: ubicación geográfica (estado/municipio), variedad de maíz y grupo indígena. Esta estructura permite a los usuarios acceder

a información específica y personalizada, facilitando una exploración más enriquecedora y educativa de la relación entre el maíz, la cultura y la biodiversidad en México.

## Resultados

Las variedades de maíz que dadas las condiciones bioclimáticas del terreno podrían abarcar vastas áreas en México, incluyen la Tablilla de Ocho, Celaya, Dulce, Tuxpeño Norteño, Vandeño y Tuxpeño. Sin embargo, existen razas como el Tepecintle, Zapalote Chico, Dzit Bacal y Coscomatapec que se encuentran en zonas más específicas.

A través de un análisis detallado sobre las áreas ideales para el cultivo de 48 razas de maíz nativo se determinó que Oaxaca, Michoacán, Puebla, Chiapas y Guerrero son los estados más ricos en diversidad de maíz. Chiapas alberga 27 variedades distintas, como Bolita y Tehua, y cuenta con una importante representación de 44 grupos indígenas, incluidos los Choles, Kaqchikeles y Tepehuanos del Sur. Guerrero, por otro lado, tiene 27 variedades de maíz, incluidas Tepecintle y Olotón, y es hogar de 40 grupos indígenas, entre los que destacan los Choles y Tepehuanos del Sur. Oaxaca, reconocido por su rica biodiversidad, presenta 35 variedades de maíz y es hogar de 45 grupos indígenas, con una fuerte presencia de Choles, Tepehuanos del Norte y K´ches.

El cruce de información geográfica sobre las razas de maíz nativo con la distribución de grupos indígenas en México ha arrojado datos reveladores. A partir de esta intersección se generó una matriz que muestra la proporción de población indígena asociada con cada raza de maíz. Es destacable que 24 grupos indígenas tienen más del 10% de su población vinculada a una variedad específica de maíz en zonas potenciales. Entre estos grupos, los que presentan mayores asociaciones con diversas razas de maíz son Nahuas, Mixtecos, Tarahumaras, P’urhépechas y Huicholes, por mencionar algunos. Por ejemplo, los Tarahumaras están estrechamente relacionados con las razas Apachito, Azul y Gordo de maíz, mientras que los P’urhépechas se asocian principalmente con razas como Mushito de Michoacán y Zamorano Amarillo.

Este profundo análisis territorial que combina la biodiversidad agrícola con la diversidad cultural de México resalta la importancia de conservar ambas. Se evidencia que una gran proporción del maíz nativo en México se encuentra en territorios indígenas, lo que subraya la interdependencia entre estos grupos y la agrobiodiversidad. Además, gracias a una herramienta digital de consulta, esta valiosa información está ahora al alcance de todos, fortaleciendo la toma de decisiones y las iniciativas de conservación en el país.

El maíz nativo en México no es simplemente una planta; es una parte intrínseca de la identidad cultural y patrimonial del país. A través de este análisis geoespacial no sólo se destaca la rica biodiversidad del maíz en México, sino también la importancia de las comunidades indígenas en su conservación y cultivo.

Es crucial reconocer el papel de estas comunidades en la preservación de la biodiversidad del maíz y en mantener vivas las tradiciones asociadas con su cultivo. A medida que enfrentamos desafíos globales como el cambio climático y la pérdida de biodiversidad, la relación entre el maíz nativo y los pueblos indígenas de México destaca la importancia de proteger tanto la biodiversidad agrícola como el conocimiento tradicional.

Navega a través de la diversidad de maíces nativos en la Aplicación de Análisis Territorial de la Distribución potencial de Maíces Nativos y su relación con Grupos Indígenas: http://plataformapacificosur.mx/apps/native_corn.
**Conoce las variedades únicas del Pacífico Sur Mexicano.**

## Entre montañas y maíz: La agricultura en ladera

En territorio mexicano, muchas zonas agrícolas se sitúan en laderas expuestas a la erosión por pendientes abruptas, agua y prácticas de agrícolas, siendo comúnmente gestionadas por comunidades campesinas e indígenas. Esta forma de agricultura es predominante en regiones como Puebla, Oaxaca, Chiapas y Guerrero. En estas áreas, fenómenos como deslizamientos de tierra -debido a lluvias intensas y sequías prolongadas- se han vuelto habituales y se intensifican con el cambio climático (Eitzinger *et al*., 2016).

Según Cortés *et al.* (2005), la agricultura en laderas puede categorizarse basándose en la inclinación del terreno: moderada (8-20%), intensa (20-40%) y muy inclinada (>40%).

Una solución innovadora a estos desafíos es la tecnología conocida como Milpa Intercalada entre Árboles Frutales (MIAF), que se presenta como una opción prometedora para enriquecer y hacer sostenible la agricultura tradicional, especialmente en laderas (Camas *et al*., 2020) (Turrent *et al*., 2017). Se calcula que al menos 6 de los 9 millones de hectáreas de tierra cultivable en régimen de temporal pueden beneficiarse de la aplicación de MIAF (Turrent *et al*., 2014).

El MIAF es un enfoque agroecológico que combina varios cultivos, como el frijol u otras leguminosas y árboles frutales, en coexistencia con el maíz. Estos se disponen en franjas alternas dispuestas de manera perpendicular en el terreno. La finalidad de MIAF es múltiple: busca mejorar el ingreso y empleo familiar, proteger el suelo de la erosión, promover una interacción beneficiosa entre los diferentes cultivos y potenciar la captura de carbono (Turrent, 2014; 2017).

El estudio de la agricultura campesina en laderas a través del análisis espacial pretende identificar y comprender las regiones donde esta práctica es predominante, considerando sus diversas características como inclinación del terreno, variedad de cultivos, técnicas agrícolas y condiciones climáticas. Un punto focal es identificar áreas donde la implementación de la tecnología MIAF es ecológicamente apropiada. Esto proporcionará datos valiosos para dirigir iniciativas que buscan promover prácticas agrícolas sostenibles en terrenos en pendientes con un enfoque territorial.

## Metodología

Se efectuó un análisis integral que considera tanto la agricultura en laderas como la regionalización potencial para la implementación de la tecnología MIAF. Esta evaluación se basó en la conjunción de datos espaciales que

incluyen zonas agrícolas, elevaciones terrestres, producción de maíz, registros de precipitación anual y zonas con erosión del suelo.

***a) Agricultura en laderas***

Se utilizaron los datos del Continuo de Elevación Mexicano[6], una base de datos en formato raster[7] para calcular las pendientes del terreno. A través del software ArcMap 10.4 se aplicó el algoritmo *Slope*[8]. Esta herramienta evalúa el grado de inclinación del terreno midiendo la tasa máxima de cambio de altura de un punto en relación con sus vecinos inmediatos. Un valor de pendiente menor indica un terreno más plano, mientras que un valor mayor sugiere una inclinación más pronunciada. Una vez obtenidos los valores de pendiente, se convirtieron en porcentajes. Este cálculo se interpreta como la relación entre el cambio de elevación y la distancia recorrida multiplicada por 100.

Para identificar las áreas de cultivo, específicamente en laderas, se intersectó la frontera agrícola con los datos de pendiente obtenidos. Con los datos resultantes se crearon categorías basadas en la inclinación del terreno. Estas categorías son: pendiente moderada (8-20%), pendiente fuerte (20-40%) y pendiente abrupta (>40%).

Después de calcular la pendiente de las regiones usando el Continuo de Elevación Mexicano y el algoritmo *Slope* en ArcMap 10.4, se intersecó esta información con las zonas agrícolas del país. Utilizando la herramienta *Zonal Statistics as Table* para el cálculo de estadísticas zonales, se determinaron las estadísticas de pendiente dentro de cada zona agrícola. Posteriormente, mediante una función de "unión" se asignaron los datos de pendiente a cada área agrícola, basándose en un identificador único de cada área.

Con los datos combinados se procedió a realizar una consulta en PostGIS para categorizar las áreas según su grado de pendiente en: Plana o

[6] Continuo de Elevaciones Mexicano (CEM): datos geográficos que representan las elevaciones del territorio, https://www.inegi.org.mx/app/geo2/elevacionesmex/

[7] Los datos Raster son imágenes formadas por píxeles que representan información geográfica de algún fenómeno.

[8] Slope: algoritmo geoespacial para el cálculo de pendientes.

casi plana, Moderada, Fuerte y Abrupta. Sin embargo, para el enfoque de la agricultura en laderas se excluyó la categoría “Plana o casi plana”. De esta manera se pudo identificar con precisión las regiones agrícolas de México que presentan características de ladera, lo que es esencial para considerar intervenciones como la Milpa Intercalada entre Árboles Frutales (MIAF).

***b) Regionalización potencial de MIAF:***

Para identificar las áreas con potencial para la implementación de la tecnología MIAF (Milpa Intercalada entre Árboles Frutales) se llevó a cabo una colaboración con expertos del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) y Colegio de Postgraduados (COLPOS), específicamente con el Dr. Antonio Turrent y la Dra. Isabel Cortés. A partir de su conocimiento se establecieron criterios tanto de inclusión como de exclusión para determinar las regiones con características ambientales propicias para el desarrollo de la tecnología MIAF.

Se focalizó en las zonas de cultivo de maíz y, dentro de estas, se buscó la intersección con áreas que reciben precipitaciones superiores a 500 mm al año. Sin embargo, se excluyeron aquellos lugares con erosión severa del suelo. Para realizar este análisis espacial se empleó una función de intersección en PostGIS. Esta herramienta permitió determinar la confluencia de los polígonos que representan áreas de agricultura en laderas con las áreas de control del Censo Agrícola 2016. Mediante una consulta en PostGIS fue posible asignar la superficie en hectáreas de cada área de control al polígono correspondiente de la frontera agrícola.

Para determinar las áreas adecuadas para la implementación de la tecnología MIAF en laderas se llevó a cabo un proceso de intersección espacial. Inicialmente, se intersecó la capa de Agricultura de Laderas con la de Precipitación anual. De allí se obtuvieron los valores mínimos y máximos de precipitación para cada polígono de la frontera agrícola.

A continuación, con base en el conjunto de datos de erosión, se identificaron las zonas a nivel nacional que presentaban erosión laminar y erosión en surcos. Estos dos tipos de erosión son especialmente relevantes, ya que sobre ellos es viable aplicar tratamientos MIAF. Se realizó una

nueva intersección espacial entre la capa delimitada de erosión y la capa de Agricultura de Laderas, asignando las categorías de erosión laminar o en surcos a las respectivas zonas de la frontera agrícola.

Para concluir, se definieron las zonas de Agricultura de Ladera aptas para el dominio potencial de MIAF. La selección consideró las áreas de Agricultura de Ladera que efectivamente tuvieran parcelas sembradas con maíz, una precipitación anual mayor a 500 mm y que estuvieran ubicadas en regiones con erosión laminar o en surcos.

## Resultados

En México, de un total de 30 millones de hectáreas dedicadas a la agricultura, más de la mitad se encuentra en áreas con alguna categoría de pendiente, lo que se conoce como agricultura en ladera (AL). Los estados donde se presenta una mayor extensión de AL son Veracruz, Chiapas, Oaxaca, Michoacán, Guerrero, Zacatecas, Jalisco y Puebla. Es notable en Michoacán, Guerrero, Oaxaca y Chiapas, donde la proporción de AL en relación con la frontera agrícola total de cada estado es muy alta (Figura 3).

Figura 3. Distribución de la agricultura en ladera por estado, categorías: abrupta, fuerte y moderada

En el Pacífico Sur, de las 5.5 millones de hectáreas destinadas a la agricultura, más de 4 millones (es decir el 89%) se encuentran en áreas de pendiente moderada a abrupta. Guerrero destaca por tener el mayor porcentaje de AL en esta región, con el 97% de su agricultura en pendientes que varían de moderadas a abruptas. Las zonas de Costa Chica, Costa Grande y Tierra Caliente en Guerrero son especialmente prominentes en términos de AL. Oaxaca, por su parte, alberga aproximadamente 1.4 millones de hectáreas de AL, lo que significa que el 92% de su agricultura se lleva a cabo en terrenos inclinados, siendo las pendientes abruptas las más comunes. Las áreas de la Sierra Norte, Mixteca, Montaña y Cañada en Oaxaca son las que tienen proporcionalmente la mayor cantidad de agricultura en laderas (Figura 3).

Figura 4. Agricultura en laderas en la región Pacífico Sur (Guerrero, Oaxaca y Chiapas)

| Estado | Frontera Agrícola (ha) | Agricultura de Ladera (ha) | % | Categorías Ag Ladera (ha) | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | Moderada | Fuerte | Abrupta |
| Chiapas | 2,827,399 | 2,392,121 | 85 | 321,755 | 435,598 | 1,634,768 |
| Guerrero | 1,154,220 | 1,116,277 | 97 | 102,653 | 240,787 | 772,837 |
| Oaxaca | 1,546,593 | 1,418,964 | 92 | 189,722 | 370,049 | 859,193 |
| Total | 5,528,212 | 4,927,361 | 89 | 614,130 | 1,046,434 | 3,266,797 |

En la región del Pacífico Sur, Chiapas destaca al tener la mayor extensión de agricultura en ladera con aproximadamente 2.3 millones de hectáreas, lo que constituye el 85% de toda su superficie agrícola. A pesar de que la AL en Chiapas se encuentra distribuida de manera dispersa a lo largo del estado, existen áreas específicas que concentran una mayor proporción de esta práctica. Las regiones de los Altos Tsotsil Tseltal, los Bosques, los Llanos, la Frailesca y Mezcalapa sobresalen por tener una significativa proporción de su agricultura desarrollándose en áreas inclinadas o laderas.

La práctica de la agricultura en laderas es una constante en México, destacando por su adaptación a las variaciones topográficas, climáticas, sociales y culturales del país. Identificar las áreas donde esta agricultura es predominante y donde la tecnología MIAF puede ser aplicada es crucial. Esta identificación posibilita a diferentes actores la creación de estrategias específicas y adaptadas territorialmente, trabajando de manera interdisciplinaria y transdisciplinaria. El objetivo es mejorar la calidad de vida y las condiciones socioeconómicas de las comunidades campesinas. Al mismo tiempo, se busca revalorizar las prácticas agrícolas tradicionales, preservar el suelo de la degradación, potenciar la infiltración de agua de lluvia y gestionar la biodiversidad de manera sostenible a largo plazo. Esto es esencial ya que la agricultura convencional, tal como se practica actualmente, representa una amenaza ambiental y carece de resiliencia frente al cambio climático.

La agricultura de ladera es una práctica ancestral que ha moldeado el paisaje y las comunidades campesinas e indígenas.
**Explora la distribución geográfica de estos territorios:**
**http://plataformapacificosur.mx/cms/multimedia/territorios_maiz/menuSect-31-1600**

## Voces de los guardianes del maíz: territorios totikes

El proyecto “Maíces Nativos en el Territorio Totikes, Chiapas” surge de la colaboración entre Asociación Nacional de Empresas Comercializadoras de Productores del Campo (ANEC) y el Centro de Investigación en Ciencias de Información Geoespacial. Esta plataforma web muestra los resultados y análisis de un cuestionario que se aplicó a 354 agricultores

durante los años 2020 y 2021. Además, se complementa con una serie de infografías detalladas sobre las variedades de maíces nativos (Figura 5), subrayando tanto sus características intrínsecas como las percepciones de los agricultores.

La finalidad principal del cuestionario fue descubrir la esencia productiva y cultural de los productores de maíces nativos, con un enfoque particular en la región de Los Llanos (Chiapas), específicamente en áreas donde la Unión Campesina Totikes tiene presencia. Se buscó recolectar información valiosa acerca de la preservación de saberes, técnicas, preferencias y tradiciones. Además, se exploró cómo han adaptado sus métodos tradicionales ante cambios ambientales y estructurales, como la incorporación de maíces híbridos y el uso variado de agroquímicos.

Nuestro enfoque territorial nos brindó una visión holística que abarca relaciones sociales, instituciones, estructura productiva, identidad y diversidad cultural y étnica. Por lo tanto, los hallazgos del proyecto destacan aspectos esenciales que apoyan la persistencia del cultivo de maíces nativos. Sin embargo, también se hace evidente la coexistencia de métodos de producción combinados, arraigados en muchos agricultores. Estos resultados ofrecen una perspectiva moderna y renovada sobre la situación actual de la producción de maíces nativos.

Figura 5. Postales de voces de las y los productores de maíz nativo

Es esencial reconocer y otorgar visibilidad a los campesinos como custodios y guardianes de los maíces nativos. Gracias a sus prácticas tradicionales han permitido la preservación, reproducción y evolución continua de estas semillas autóctonas. En el panorama actual, donde México contempla adherirse a la UPOV 91, este reconocimiento es más crucial que nunca. Proporciona las bases para validar los derechos colectivos de las comunidades indígenas y campesinas sobre los recursos fitogenéticos que han cultivado y desarrollado durante generaciones, destacando la importancia de su patrimonio biocultural.

Los territorios totikes son una manifestación del profundo vínculo entre la tierra, el maíz y sus habitantes.
Conoce el proyecto de maíces nativos:
http://adesur.centrogeo.org.mx/cms/Chiapas_totikes.
Descubre las voces de los productores:

**http://plataformapacificosur.mx/documents/2627**

## Conclusiones

El capítulo "Territorios Dorados: El Maíz y la Herencia Campesina e Indígena del Pacífico Sur" desentraña la compleja trama que une al maíz con las raíces más profundas de México, revelando cómo el grano no sólo sostiene cuerpos, sino también culturas, tradiciones y sistemas ecológicos. Al adentrarnos en los territorios de maíz del Pacífico Sur hemos encontrado la riqueza de una biodiversidad que es custodiada celosamente por comunidades indígenas y campesinas, cuyas prácticas ancestrales representan un bastión frente a la homogeneización agrícola. Pero este capítulo también destaca la urgencia de valorar y salvaguardar el maíz nativo y las formas de vida asociadas con él.

La preservación de un legado biocultural completo, no sólo de una especie, depende del reconocimiento y el apoyo a estas comunidades. Este proyecto no sólo es crucial para México, sino que también es un ejemplo de sostenibilidad y resiliencia en todo el mundo, demostrando que el verdadero progreso radica en el respeto a la diversidad y en la armonía con la naturaleza.

## Referencias

Altieri M. A., &. Merrick, L. (1987). *In situ* conservation of crop genetic resources through maintenance of traditional farming systems. *Economic Botany, 41*(1), 86-96. http://www.jstor.org/stable/4254942?origin=JSTOR-pdf

Aragón, C. F., Taba, S., Hernández, C. J., Figueroa, C. J., & Serrano, V. y. (2006). *Catálogo de maíces criollos de Oaxaca*. INIFAP. Centro de Investigación Regional Pacífico Sur (CIRPS).

Bellon M. R., &. Brush, S. (1994). Keepers of maize in Chiapas, Mexico. *Economic Botany*, *48*(2), 196-209. https://www.jstor.org/stable/4255617

Bellon, M., Mastretta-Yanes, A., Ponce-Mendoza, A., Ortiz-Santamaría, D., Oliveros-Galindo, O., Perales, H., Acevedo, F. & Sarukhán, J. (2018). Evolutionary and food supply implications of ongoing maize domestication by Mexican campesinos. *Proceedings of the Royal Society B. Biological Sciences*, *285*(1885). https://doi.org/10.1098/rspb.2018.1049

Boege, E. (2008). *El Patrimonio Biocultural de los Pueblos Indígenas de México.* Instituto Nacional de Antropología e Historia y Comisión Nacional para el Desarrollo de los Pueblos Indígenas.

Camas Gómez, R., Turrent Fernández, A., Cortes Flores, J. I., Livera Muñóz, M., González Estrada, A., Villar Sánchez, B., López Martínez, J., Espinoza Paz, N., & Cadena Iñiguez, P. (2012). Erosión del suelo, escurrimiento y pérdida de nitrógeno y fósforo en laderas bajo diferentes sistemas de manejo en Chiapas, México. *Revista mexicana de ciencias agrícolas, 3*(2), 231-243.

Consejo Nacional de Población. (2000). *La situación demográfica de México.* Obtenido de http://www.conapo.gob.mx/es/CONAPO/La_Situacion_Demografica_de_Mexico_2000

Consejo Nacional de Población. (2012). *Índice absoluto de marginación 2000-2012.* Obtenido de http://www.conapo.gob.mx/work/models/CONAPO/Resource/1755/1/images/01Capitulo.pdf

Cortés, F. T. (2005). *Manual para el establecimiento y manejo del sistema Milpa Intercalada con Árboles Frutales (MIAF) en Laderas.* Colegio de Postgraduados.

Roland, E. Pozas Cárdenas, J. G., Soria Miranda, F., & Cruz González, J. (2017). Manejo orgánico de la milpa: rendimiento de maíz, frijol y calabaza en monocultivo y policultivo. *Terra Latinoamericana, 35*(2), 149-160. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-57792017000200149&lng=es&tlng=es.

Eitzinger, A. L. (2016). Assessing high-impact spots of climate change: spatial yield simulations with Decision Support System for Agrotechnology Transfer (DSSAT) model. En N. Mimura & F. Wagner (eds.) *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change* (pp. 743-760). Springer.

Escobar A., G. I. (1997). Territorios del maíz en México. *Estudios Territoriales*, 34-49.

Gliessman S. R., García, R. & Amador, M. (1981). The ecological basis for the application of traditional agricultural technology in the management of tropical agro-ecosystems. *Agro-Ecosystems*, *7*(3), 173-185. https://doi.org/10.1016/0304-3746(81)90001-9

Gómez, E. (2011). *Maíz, axis mundi. Maíz y sustentabilidad.* Juan Pablo Editor – Universidad Autónoma del Estado de Morelos. http://riaa.uaem.mx/xmlui/bitstream/handle/20.500.12055/124/Maiz%20axis%20mundi.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Kato, T., Mapes, C., Mera, L., Serratos, J., Bye, R. (1988). *El maíz, sus orígenes, su evolución y su dispersión*. Colegio de Postgraduados.

Herrera-Cabrera, B., Macías-López A., Díaz-Ruíz R., Valadez-Ramírez M., Delgado-Alvarado A. (2002). Uso de semilla criolla y características de mazorca para la selección de semilla de maíz en México. *Revista Fitotecnia Mexicana, 25* (1), 17-23. https://doi.org/10.35196/rfm.2002.1.17

Morales J. F. (2002). *Fiestas y tradiciones de Oaxaca.* Instituto Oaxaqueño de las Culturas.

Perales, H. R., Benz, B. F., & Brush, S. B. (2005). Maize diversity and ethnolinguistic diversity in Chiapas, Mexico. *Proceedings of the*

*National Academy of Sciences of the United States of America*, *102*(3), 949–954. https://doi.org/10.1073/pnas.0408701102

Rodríguez, A. & Arias, L. (2014). La milpa y el maizal: retos al desarrollo rural en México y Perú. *Etnobiología*, *12*(39), 76-89. https://www.academia.edu/9847807/La_Milpa_y_el_Maizal_Retos_al_Desarrollo_Rural_en_M%C3%A9xico_y_Per%C3%BA

Secretaria de Agricultura y Desarrollo Rural-FAO. (2011). *Diagnóstico del sector rural y pesquero de México.* Obtenido de Diagnóstico del sector rural y pesquero de México: http://www.fao.org/3/a-bc980s.pdf

Secretaria de Agricultura y Desarrollo Rural-FAO. (2012). *Agricultura familiar con potencial productivo en México.* Obtenido de http://www.fao.org/3/a-bc944s.pdf

Sánchez, J., Goodman, M. M., & Stuber, C. W. (2000). Isozymatic and Morphological Diversity in the Races of Maize of Mexico. *Economic Botany, 54*(1), 43–59. http://www.jstor.org/stable/4256248

Serratos J. A. (2016). Transgénicos en la tortilla. ¿Riesgo para la biodiversidad de maíces en México? *Biodiversidad Mexicana*, 16-21.

Téllez, V. A. (2016). *Índice de marginación por entidad federativa y municipio 2015.* CONAPO.

Toledo, V. M, Barreras, N. (2008). *La memoria biocultural. La importancia ecológica de las sabidurías tradicionales.* Editorial Icaria.

Turrent Fernández, A., Cortés Flores, J. I., Espinosa Calderón, A., Hernández Romero, E., Camas Gómez, R., Torres Zambrano, J, & Zambada Martínez, A. (2017). MasAgro o MIAF ¿Cuál es la opción para modernizar sustentablemente la agricultura tradicional de México? *Revista mexicana de ciencias agrícolas, 8*(5), 1169-1185. https://doi.org/10.29312/remexca.v8i5.116

Turrent Fernández, A., Espinosa Calderón, A., Cortés Flores, J., & Mejía Andrade, H. (2014). Análisis de la estrategia MasAgro-maíz. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, *5*(8), 1531-1547. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-09342014000800016&lng=es&tlng=es.

# Capítulo 6

# Proyectos productivos factibles para la región Pacífico Sur de México

*Cristina Taddei Bringas*[1]
*Martín Preciado Rodríguez*[2]
*Jesús Robles Parra*[3]

**Resumen**

El propósito de este capítulo es mostrar la metodología aplicada para identificar proyectos productivos con factibilidad de impulsarse en la región Pacífico Sur de México y presentar un resumen de estos. En la versión digital de la publicación se puede acceder a la liga para consultar el informe *in extenso* de investigación, con la caracterización de cada una de las cadenas productivas incluidas: café, mango, frijol, agave y tilapia; asimismo, los puntos críticos que estas evidencian y las propuestas emanadas de las entrevistas realizadas a pequeños productores de la región.

A partir de la aplicación de la herramienta metodológica de Modelos de soporte a la toma de decisiones y Modelación multicriterio y con base en el enfoque de desarrollo regional endógeno, se conformó una cartera de proyectos productivos factibles, previa definición de los criterios de factibilidad: beneficio social, sostenibilidad, etnicidad, asociatividad y mercado. Lo anterior tomando en cuenta, como agrupamiento inicial, los siguientes tipos de proyectos: proyectos productivos existentes en la región con potencial de recuperarse (de Reactivación); proyectos que funcionaron en el pasado (de Rescate); cambio de actividades productivas (Reconversión); proyectos "de suministro" o ligados a actividades económicas determinadas (de Encade-

[1] Investigadora Titular, Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo ctaddei@ciad.mx

[2] Profesor Investigador, Ingeniería Industrial, Universidad de Sonora

[3] Investigador Titular, Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo

namiento); valor agregado e innovación en proyectos (de Reescalamiento); Proyectos productivos "nuevos" que se identifiquen como factibles de impulsar (Alternativos). En cada tipo de proyecto se indica aquellos que tendrían que impulsarse o potenciarse, a partir de los resultados generados por el modelo de toma de decisiones, basado, a su vez, en las variables que dan sentido a las dimensiones económica, social, ambiental y cultural, consideradas en el procedimiento metodológico seguido.

*Palabras clave:* Criterios de factibilidad, modelo de toma de decisiones, proyectos productivos.

## Introducción

La región Pacífico Sur de México ha presentado históricamente los mayores rezagos en desarrollo en el país, como dan cuenta los capítulos precedentes. En ello reside el interés central de esta investigación ¿cómo incidir, con base en propuestas metodológicas probadas, en la comprensión de la problemática de la región y, sobre todo, con propuestas aplicables y factibles para fortalecer las capacidades propias de las comunidades donde se ubican las unidades productivas y desarrollan sus actividades? ¿Es posible generar propuestas sustentadas para que quienes toman las decisiones cuenten con herramientas de soporte y al aplicarlas se contribuya a la mejora del bienestar de pequeños productores, sus familias y comunidades?

Estas y otras interrogantes constituyeron la motivación para el desarrollo de la investigación. En este caso, nos propusimos replicar, con los ajustes respectivos, la estructura metodológica desarrollada y aplicada en estudios previos, en las regiones de Hidalgo y del Istmo de Tehuantepec. Conviene señalar que, inicialmente, para efectos de análisis, estaba considerado en la región Pacífico Sur el estado de Michoacán, de ahí que varios de los proyectos productivos factibles identificados correspondan a este.

Como parte de la metodología se presenta una selección de los escenarios configurados con el modelo analítico aplicado, en los cuales se

asigna distinta prioridad a cada uno de los criterios de factibilidad, a saber: beneficio social, sostenibilidad, etnicidad, asociatividad y mercado (Véase Anexo 1. Sistema de códigos). Estos escenarios se conforman con base en los proyectos productivos que los propios sujetos sociales fueron proponiendo en las entrevistas realizadas, dado que son quienes conocen directamente las necesidades de cada sistema, cadena productiva o cultivo que trabajan.

Con base en la clasificación inicial considerada, el resumen de los proyectos productivos se expone en el orden siguiente: Proyectos de rescate, de encadenamiento, de reescalamiento y proyectos nuevos o alternativos. Se muestra el objetivo de cada uno y en la versión *in extenso* del informe de investigación, cuya liga aparece en la versión digital, se hace referencia también a los recursos humanos disponibles para el desarrollo de estos proyectos productivos, así como a los municipios que se beneficiarían y el mercado potencial para los productos o servicios derivados, entre otros aspectos. Al final se expone la conclusión central del trabajo.

## Metodología. Resumen de escenarios

La información de las entrevistas realizadas a pequeños productores de cultivos ligados a las cadenas productivas bajo estudio se procesó con base en el sistema de códigos y sus respectivos criterios de inclusión, definidos a su vez en función de los criterios de factibilidad considerados para la identificación de los proyectos productivos: beneficio social, sostenibilidad, etnicidad, asociatividad y mercado. En el Anexo 1 aparecen los códigos utilizados y su contenido, correspondientes a cada criterio de factibilidad.

La Figura 1 muestra el procedimiento metodológico seguido. Por razones de espacio no se presenta aquí la explicación de cada etapa, misma que puede consultarse en la versión digital. De acuerdo con la propuesta metodológica, en la etapa de aplicación del modelo (Figura 1) se realiza la interacción con el análisis multicriterio y al cambiar la ponderación de criterios se observa cómo se modifica la priorización de los proyectos de la carpeta de proyectos productivos factibles.

Figura 1. Procedimiento metodológico

Fuente: Elaboración propia.

Los criterios de factibilidad son los parámetros que se reemplazan en función del escenario considerado para identificar el orden de prioridad, asignado por los tomadores de decisiones a cada proyecto.

Con el propósito de facilitar la comprensión de la visualización de los escenarios, se enumeran los primeros 21 proyectos productivos (Tabla 1), es decir, los que resultaron con la mayor prioridad antes de mostrar la configuración de algunos escenarios posibles.

Tabla 1. Proyectos productivos priorizados con base en el modelo metodológico

| Tipo | Proyecto (ADESUR) | Estado | Sistema | Prioridad |
|---|---|---|---|---|
| Rescate | Recuperación de centros de acopio y empaque de mango para pequeños productores | GRO | Mango | 1 |
| Reescalamiento | **Tecnificación en sistema de producción de tilapia (jaulas flotantes y aireadores) para productores de la** laguna de tres palos | GRO | Tilapia | 2 |
| Reescalamiento | Planta juguera y deshidratadora de mango para pequeños productores en Guerrero | GRO | Mango | 3 |
| Nuevos-alternativos | Potencial para la producción de cacao y guanábana | OAX | Café | 4 |
| Reescalamiento | Equipamiento para la producción de alimento para tilapia en Guerrero | GRO | Tilapia | 5 |
| Encadenamiento | Establecimiento de laboratorio regional de reproducción de alevines en Guerrero | GRO | Tilapia | 6 |
| Rescate | Reactivación del uso de máquinas podadoras de árboles de mango | GRO | Mango | 7 |
| Reescalamiento | Planta juguera y deshidratadora de mango para pequeños productores en Michoacán | MICH | Mango | 8 |
| Encadenamiento | Suministro de tilapia a restaurantes locales y regionales | GRO | Tilapia | 9 |
| Nuevos-alternativos | Aprovechamiento de hueso, cabeza y cola de tilapia | GRO | Tilapia | 10 |
| Reescalamiento | **Planificación de siembra estacional de tilapia** | GRO | Tilapia | 11 |
| Nuevos-alternativos | Aprovechamiento de mango niño | GRO | Mango | 12 |

| Tipo | Proyecto (ADESUR) | Estado | Sistema | Prioridad |
|---|---|---|---|---|
| Encadenamiento | Establecimiento de laboratorio de clonación, mejoramiento y reproducción de semilla de agave **certificada para repoblamiento en Michoacán** | MICH | Agave. Mezcal | 13 |
| Encadenamiento | Procesamiento de vaina seca de frijol como forraje para ganado | MICH | Frijol | 14 |
| Reescalamiento | Diseño de etiqueta y empaque de frijol guisado para venta | MICH | Frijol | 15 |
| Encadenamiento | Establecimiento de laboratorio de clonación, mejoramiento y reproducción de semilla de agave **certificada para repoblamiento** | GRO | Agave. Mezcal | 16 |
| Reescalamiento | Hornos de cocción con recuperación de mieles | GRO | Agave. Mezcal | 17 |
| Reescalamiento | Aprovechamiento del bagazo del agave (para **elaboración de fibras y cultivo de hongos) en** Guerrero | GRO | Agave. Mezcal | 18 |
| Encadenamiento | Establecimiento de cultivos para la producción de **semilla certificada** | OAX | Café | 19 |
| Reescalamiento | Producción de tostadas en Chiapas | CHI | Frijol. Maíz | 20 |
| Encadenamiento | Centro de envasado regional para productores de mezcal | MICH | Agave. Mezcal | 21 |

Fuente: Elaboración propia, con base en datos de campo

La configuración de los escenarios, como herramienta de soporte a la toma de decisiones, se basa en el listado de proyectos productivos factibles que los propios productores reconocieron a lo largo de las entrevistas realizadas para el desarrollo de la investigación. Las propuestas, filtradas desde la herramienta metodológica utilizada, permitieron conformar la carpeta de proyectos factibles.

A manera de ejemplo, se presentan únicamente los cinco primeros escenarios generados que muestran el cambio en la priorización de los proyectos a partir de la jerarquización preferencial de los criterios de decisión utilizados en el modelo analítico de toma de decisiones. En la publicación digital (liga al Micrositio de Proyectos Productivos) se pueden consultar el

resto de los escenarios configurados y el informe completo de este componente del proyecto de investigación

**Escenario base** (Figura 2). Este, como el resto, se definió a partir de la información obtenida en el trabajo de campo (Tabla 1). Se ubica el criterio de Asociatividad por encima del resto de criterios, seguido por los de Beneficio social y Sostenibilidad, que muestran un grado medio de importancia, mientras que los de Mercado y Etnicidad no estarían considerados como criterios de decisión relevantes en este posible escenario.

Figura 2. Escenario base. Proyectos productivos a impulsar propuestos por pequeños productores

Fuente: Elaboración propia, según datos de campo.

**Escenario 1** (Figura 3). Se definió a partir de asignar mayor jerarquía al Beneficio social, seguido por los criterios de Sostenibilidad, Etnicidad, Asociatividad y Mercado. En este se observa la prioridad del proyecto de rescate, recuperación de centros de acopio y empaque para pequeños productores del estado de Guerrero. Para la muestra de 21 proyectos presentados se puede advertir la existencia de cinco grupos de proyectos prioritarios, donde la diferencia de prioridad entre los grupos de los extremos es de más de dos a uno. El orden de prioridad de los proyectos identificados fue: (1→2→4→3→5→6→8→7→9=10).

Figura 3. Escenario 1. Proyectos productivos factibles al priorizar beneficio social y sostenibilidad como criterios más relevantes

Fuente: Elaboración propia, con base en datos de campo.

**Escenario 2** (Figura 4). En este se prioriza el Mercado como criterio de factibilidad, seguido en orden de preferencia por el Beneficio social y luego el resto de los criterios. Igualmente, destaca la jerarquía del proyecto de rescate en el sistema mango del estado de Guerrero. Se observa un arreglo en tres grupos de proyectos, de acuerdo con la priorización (1→3→4→8→2→7→12→5→6→9).

Figura 4. Escenario 2. Proyectos productivos factibles al priorizar el mercado como criterio más importante

Fuente: Elaboración propia, con base en datos de campo.

**Escenario 3** (Figura 5). Se define el criterio de Beneficio social con mayor jerarquía, seguido por los de Mercado y Sostenibilidad, con importancia media y la menor preferencia por Etnicidad y Asociatividad. En este destaca, de nuevo, la jerarquía del proyecto de rescate, recuperación de centros de acopio y empaque de mango para pequeños productores del estado de Guerrero y se observan cuatro grupos de proyectos (1→4→2→3→8→7→5→6→12=9).

Figura 5. Escenario 3. Proyectos productivos factibles si se asigna la misma importancia a beneficio social, sostenibilidad y mercado

**Escenario 4** (Figura 6). En este escenario al criterio de Beneficio social se asigna la mayor importancia respecto al resto de criterios. Destaca en la jerarquía de proyectos el de producción de cacao y guanábana, como complemento a la producción de café, en el estado de Oaxaca. Se revelan cinco grupos escalonados de proyectos, donde los del segundo grupo, conformado por los proyectos del cuatro al siete, aparecen en mayor orden de prioridad y muestran un comportamiento heterogéneo (4→2→1→3→8→5→6→7→9=10).

Figura 6. Escenario 4. Beneficio social como criterio de factibilidad más relevante

Fuente: Elaboración propia, con base en datos de campo.

Como puede observarse en este resumen de escenarios, el proyecto de rescate relacionado con el sistema mango en el estado de Guerrero resulta de mayor prioridad para impulsarse, salvo en el caso del escenario cuatro, donde se antepone como criterio de factibilidad el beneficio social en la toma de decisiones. El proyecto que aparece con la mayor prioridad para impulsarse es la producción de cacao y guanábana, como complemento a la producción de café, en el estado de Oaxaca.

Este ejercicio metodológico refuerza su pertinencia al revisar los puntos críticos identificados por los pequeños productores entrevistados y las propuestas que desde su experiencia consideran urgentes de impulsarse en la región. Como se ha señalado, en la liga de la publicación digital puede consultarse el informe *in extenso* de la investigación, que contiene la caracterización de cada una de las cadenas productivas bajo estudio y los puntos críticos señalados por los propios productores durante el trabajo de campo. A manera de ejemplo, en el Cuadro 5 se muestran los principales puntos críticos identificados en la cadena productiva de mango en Guerrero.

Cuadro 5. Guerrero. Principales puntos críticos identificados en el sistema productivo mango

| Producción | Procesamiento | Comercialización |
|---|---|---|
| – Problemas de inocuidad<br>– Prácticas agrícolas inadecuadas<br>– **Infraestructura básica deficiente** o nula (sistemas de riego)<br>– Falta de asesoría y acompañamiento técnico<br>– Altos costos de producción<br>– Desconocimiento de la estructura de costos<br>– **Nulo acceso a financiamiento** ligado a rezagos en tenencia de la tierra<br>– Programas de apoyo mal direccionados, inoportunos, con mala operación y corrupción<br>– Mermas de mango criollo<br>– Intermediarismo/Coyotaje<br>– Políticas gubernamentales ajenas a las necesidades del productor<br>– Corrupción en los programas gubernamentales de apoyo<br>– Falta de planeación y calendarización de cosechas<br>– Inseguridad<br>– Problemas de organización<br>– Reducción en colonias de polinizadores (abejas)<br>– Mango niño (frutos partenocárpicos) | – Costos elevados<br>– Rezago tecnológico<br>– **Infraestructura deficiente** (faltan cuartos fríos)<br>– Problemas de sanidad e inocuidad<br>– Corrupción (existen en el estado 10 centros de acopio sin utilizar) | – Falta de organización para la comercialización<br>– Problemas de acceso al mercado<br>– Intermediarismo<br>– Falta de empacadoras<br>– Rezago en calidad<br>– Problemas de inocuidad<br>– Rezago en buenas prácticas, que incide en la comercialización |

Fuente: Elaborado con información de entrevistas directas a pequeños productores realizadas en 2018.

Enseguida se presenta una síntesis de los proyectos productivos factibles identificados, con el objetivo de cada uno de estos. En la versión digital, en la liga al informe *in extenso*, cada proyecto productivo identificado contiene, además del objetivo, los productores potencialmente beneficiados y municipios de alcance, mercado potencial de los productos y recursos humanos disponibles para impulsar los proyectos.

**Proyectos de rescate**:

***Recuperación de centros de acopio y empaque de mango para pequeños productores en Guerrero***

**Objetivo**: Aprovechar la infraestructura existente para potenciar la comercialización del mango, evitar el intermediarismo y generar derrama económica en el espacio regional.

En entrevistas con productores, funcionarios y líderes de organizaciones relacionados con el sistema mango en Guerrero. Se evidencia la urgencia por contar con empaques propios en la entidad para que los procesos de agregación de valor favorezcan directamente a la economía local y regional. De acuerdo con la información proporcionada en estas entrevistas, existen 10 centros de acopio construidos en administraciones anteriores que no funcionaron porque se construyeron sin la planeación adecuada y fueron abandonados. El rescate de esta infraestructura atendería uno de los problemas más señalados por los productores de mango de Guerrero: la falta de infraestructura para la comercialización.

***Reactivación del uso de máquinas podadoras de árboles de mango en Guerrero***

**Objetivo**: Aprovechar la infraestructura existente, mediante financiamiento accesible y un plan de uso de las máquinas calendarizado, que permita su aprovechamiento por un mayor número de productores y con ello potenciar la calidad en la producción del fruto para asegurar su comercialización.

De acuerdo con la información de las entrevistas, se adquirieron cuatro máquinas podadoras de última generación; se trata de tecnología brasileña que permite bajar la altura de los árboles de 30 metros hasta los seis o cuatro metros de altura. Su uso adecuado mejoraría el manejo del cultivo y con ello los rendimientos. De acuerdo con lo declarado por productores, esta tecnología no fue bien aceptada; acusan que el líder incurrió en corrupción para adquirirla y que, además, el costo de utilizarla resulta imposible de cubrir para la mayoría de ellos.

## Proyectos de encadenamiento

### *Producción de semilla certificada de café en la costa de Oaxaca*

**Objetivo**: Establecer cultivos para la producción de semilla certificada en el estado de Oaxaca que garantice el suministro oportuno de semilla de calidad.

Los programas de certificación de semillas son de suma importancia para los cafeticultores; a través de estos se asegura que cuando el productor adquiere semillas o plántulas está recibiendo plantas sanas, capaces de sobrevivir al ser trasplantadas. Asimismo, se asegura reciba la variedad de café correcta, genéticamente pura y que generará los rendimientos esperados.

Al respecto, para los productores de café ubicados en la zona de la sierra sur y parte de la costa del estado de Oaxaca el que no existan fincas para la venta de semilla certificada representa una limitante. Su principal proveedor de semilla se ubica en el estado de Veracruz y debido al traslape de los periodos de cosecha entre estos estados, los proveedores surten primero las semillas para los cafeticultores de Veracruz y la sobrante se destina a productores oaxaqueños, de tal manera que estos últimos reciben semilla de menor calidad.

### *Establecimiento de un laboratorio de clonación, mejora y reproducción de semilla de agave certificada para el repoblamiento y aprovechamiento por los productores de Guerrero*

**Objetivo**: Asegurar la disponibilidad de materia prima de calidad en el mediano y largo plazo para los pequeños productores artesanales del sistema agave mezcalero de Guerrero y con ello evitar el incremento de los costos derivado de la escasez.

Los volúmenes de producción de agave en el estado de Guerrero se han incrementado significativamente en los últimos años. El 95% del agave que se produce en el estado es de la variedad Cupreata, es endémico de la región y su tiempo de maduración puede ir desde los 11 hasta los 20 años, lo que para el productor representa costos que difícilmente puede solventar. A ello se agrega que, dado el auge reciente de la industria mezcalera del estado, prevalece el temor de que se acabe con las poblaciones silvestres

de agave, de ahí que los productores advierten la necesidad de asegurar a futuro la proveeduría de piñas de calidad, con altos niveles de grados brix, que a la postre puedan generar altos rendimientos en la destilación y detonar la cadena agave-mezcal en la entidad.

**Proyectos de reescalamiento**:

***Hornos de cocción con recuperación de mieles en Guerrero***

**Objetivo**: Potenciar la capacidad del pequeño productor artesanal en la cadena productiva de agave mezcalero en Guerrero al reducir o eliminar los puntos críticos en el procesamiento del mezcal, en apego a la Norma Oficial Mexicana NOM-070 para bebidas alcohólicas y mezcal.

El productor artesanal ve limitado su acceso a los mercados debido al incumplimiento de la norma, a la inexistencia de estandarización en sus procesos y a que incurre comúnmente en prácticas inadecuadas en el procesamiento. Se requiere mejorar la infraestructura de procesamiento, además de capacitación constante y acompañamiento técnico.

***Aprovechamiento del bagazo del agave para elaboración de fibras, cultivo de hongos, mieles e inulinas en Guerrero***

**Objetivo**: Diversificar la actividad productiva del pequeño productor artesanal en la cadena productiva de agave mezcalero hacia alternativas sustentables de valor agregado que incrementen la rentabilidad.

***Planificación de siembra estacional de agave en Guerrero***

**Objetivo**: Asegurar la disponibilidad de materia prima de calidad en el mediano y largo plazo para los pequeños productores artesanales del sistema agave mezcalero de Guerrero y con ello protegerse ante el eventual incremento de los costos derivado de la escasez.

De acuerdo con información proporcionada por el Comité sistema producto Maguey mezcal, no existe una planeación en la siembra y cultivo del agave. Ello ocasiona periodos críticos recurrentes en los cuales se presenta escasez de plantas, que repercute en incremento de los precios; en

contraste, en otros periodos se ha presentado sobreproducción de agave, que ocasiona caídas drásticas en los precios.

De ahí la relevancia de impulsar un plan de manejo sustentable para la reproducción y repoblación de agaves silvestres (especies nativas), así como para el manejo de las especies domesticadas. Ello requiere la organización de productores para establecer programas de siembras escalonadas y ligadas a las siembras que se realizan en la industria tequilera de Jalisco, lo que permitiría competir y evitar caídas en los precios del agave de Guerrero.

***Producción de tostadas en Chiapas***

**Objetivo:** Impulsar la elaboración de tostadas chiapanecas de doble nixtamalización.

Las tostadas de maíz son elaboradas en varias comunidades y se comercializan en mercados del estado. Estas se elaboran con maíz cosechado en las regiones donde se cultiva el grano. Grupos de hasta 22 personas, generalmente mujeres, trabajan en la elaboración de este subproducto como forma de subsistencia. En la región de Chiapas su elaboración se caracteriza por el proceso de doble nixtamalización y generalmente se elaboran en instalaciones habilitadas como cocinas rudimentarias donde las medidas de inocuidad no son las más adecuadas.

**Proyectos nuevos o alternativos**:

***Aprovechamiento de mango niño en Guerrero***

**Objetivo:** Diversificar la actividad productiva en la cadena mango guerrerense hacia alternativas sustentables probadas y de valor agregado para incrementar la rentabilidad.

El mango Ataúlfo es la variedad más importante de mango en el estado de Guerrero; no obstante, el rendimiento de este cultivar ha disminuido considerablemente debido a la presencia de frutos sin semilla que no alcanzan un tamaño comercial y son conocidos localmente como “mango niño”.

Dado que la cantidad de mango niño es muy elevada y causa pérdidas

de más del 50% a los productores, los entrevistados reiteraban la necesidad de enfrentar este problema y aprovechar el mango niño y otros frutos que no cumplen con la calidad requerida por el mercado mediante la agregación de valor vía su procesamiento (para elaborar jugos, mermeladas, deshidratados y otras alternativas probadas en otros estados).

***Producción de cacao y guanábana como complemento a la producción de café en Oaxaca***

**Objetivo:** Impulsar la producción de cacao y guanábana en la región.

De acuerdo con la información de la Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (SADER), la guanábana es un cultivo no tradicional que, gracias a la difusión de sus propiedades nutritivas y medicinales, ha incrementado su valor comercial en el mercado mexicano. El cacao, por otra parte, es considerado un cultivo estratégico en México dada su importancia cultural económica y comercial. Entre las regiones con características propicias para impulsar el desarrollo de este cultivo figuran los estados de Oaxaca y Veracruz. Oaxaca, además de tener potencial productivo, es el principal estado consumidor en el país.

En el trabajo de campo se encontró que, por la pérdida de rentabilidad de la producción cafetalera, los productores se vieron obligados a buscar alternativas para obtener mayores ingresos. Cafeticultores entrevistados señalaban que en algunos casos han optado por introducir árboles frutales en el agroecosistema del cafetal. Gracias a las favorables condiciones climáticas en Oaxaca han encontrado en los cultivos de guanábana y cacao una opción viable para obtener ingresos por el incremento de la demanda y el valor comercial de estos frutos. No obstante, indican que se requieren apoyos para impulsar el desarrollo de estos cultivos, pues no cuentan con la tecnología adecuada para un mejor manejo de las plantas; asimismo, señalan que la falta de conocimientos técnicos y de acompañamiento han propiciado problemas fitosanitarios que merman la producción. Agregan que hace falta desarrollar canales de comercialización para acceder a mercados que garanticen precios más justos.

## Otros proyectos productivos con potencial para desarrollarse en la región

Este apartado contiene diversas propuestas de proyectos, emanadas del trabajo de campo realizado. Aunque existen varios proyectos que podrían agregarse entre los productivos factibles identificados, debe aclararse que, según la metodología seguida y el modelo analítico aplicado, son prioritariamente factibles los proyectos productivos descritos en el apartado anterior. Sin embargo, resulta pertinente aprovechar la riqueza del material e información obtenidos en campo para incluirlos a manera de propuestas de proyectos que igualmente tienen potencial para desarrollarse en la región.

***Proyectos de reactivación:***
Mejora tecnológica para incrementar la capacidad de procesamiento de los palenques artesanales (plantas procesadoras de agave) en Oaxaca, preservando su carácter artesanal
**Objetivo**: Potenciar la capacidad del pequeño productor artesanal dentro de la cadena productiva de agave mezcalero, eliminando los puntos críticos en la industrialización del mezcal y cumpliendo con la Norma Oficial Mexicana NOM-070, para bebidas alcohólicas, mezcal.

El productor artesanal ve limitado su acceso a los mercados debido al incumplimiento de la norma, a la inexistencia de estandarización en sus procesos y a que incurre comúnmente en prácticas inadecuadas en el procesamiento. Ello deberá ir acompañado con capacitación y acompañamiento técnico.

En la actualidad 570 municipios de Oaxaca participan en la producción de mezcal; la actividad tiene presencia en prácticamente todo el territorio. Para el año 2018 se contabilizan alrededor de 600 marcas de mezcal en el mercado, aunque una alta proporción de estas, calculada en alrededor del 50%, incumple la norma (Consejo Regulador del Mezcal, 2019). Además, gran parte de los productores de Oaxaca son proveedores para la industria, tanto del mezcal como del tequila en Jalisco. Si bien la industria oaxaqueña del mezcal se considera madura y está posicionada en el territorio nacional,

tiene alto potencial para continuar su expansión internacional, de acuerdo con los productores, técnicos e investigadores entrevistados.

**Proyectos de rescate**:

***Rescate de parcelas demostrativas de agave en la región de Chilpancingo, Guerrero***

**Objetivo**: Mejorar las capacidades tecnológicas de los productores de agave mezcalero de Guerrero mediante el rescate de parcelas demostrativas utilizadas en el pasado como huertos escuela.

El trabajo de campo desarrollado permitió corroborar que existen parcelas demostrativas y un campo experimental especializado en plantaciones de agave en Chilpancingo. El campo experimental estuvo en operación, con buenos resultados, durante un tiempo y era utilizado como escuela de campo donde los productores aprendían técnicas para mejorar sus cultivos. Estos proyectos recibían recursos por parte del gobierno, pero quedaron en el abandono una vez que dejaron de obtenerse.

**Proyectos de encadenamiento**:

***Establecimiento de un banco de germoplasma para semillas de mango en Oaxaca***

**Objetivo:** Establecer un banco de germoplasma en el estado de Oaxaca para el resguardo de variedades de mango que han sido adaptadas a las condiciones agroclimáticas de la región, así como para la reproducción de semilla certificada.

En Oaxaca se cultivan diferentes tipos de variedades de mango, desde las criollas como Manililla, Oro, Coche y otros, así como las variedades mejoradas: Ataúlfo, Kent y Tommy Atkins. El estado no tiene un banco de germoplasma que resguarde las variedades ya adaptadas a la región. Los entrevistados señalan que, si bien existen bancos de germoplasma en otras entidades del país, las condiciones climáticas difieren y con ello los resultados esperados.

***Equipamiento tecnológico para clasificación de la calidad del mango en Chiapas***

**Objetivo**: Regular la clasificación de la calidad del producto a través de la implementación de tecnología existente para la clasificación automática de la calidad que permita garantizar el pago justo de la producción y evitar conflictos entre productores.

El valor comercial del mango es determinado en función de su calidad. Se clasifica en: calidad de exportación, primera nacional, segunda nacional y mango lacrado. Sin embargo, de acuerdo con los productores chiapanecos entrevistados, existen irregularidades al momento de clasificar la calidad del mango, pues generalmente se determina según el criterio del comprador, lo cual genera conflictos e inconformidades. Son escasas las empacadoras que cuentan con seleccionadoras para determinar la calidad del mango en forma automática, con base en parámetros preestablecidos.

***Establecimiento de almacenes regionales de café en Guerrero***

**Objetivo:** Establecer almacenes regionales de café en el estado de Guerrero que faciliten el acopio y garanticen el almacenamiento adecuado del producto.

México es reconocido como productor de café de excelente calidad ya que su topografía, altura, climas y suelos permiten cultivar variedades consideradas entre las mejores del mundo, que generan cafés de alta calidad en taza. Tal es el caso del café natural de Atoyac, estado de Guerrero, cuyo prestigio internacional se debe a las características agroclimáticas de la región y al tipo de procesamiento utilizado, mediante el cual se obtienen los llamados cafés verdes o capulines, cotizados en los mercados de café de especialidad. Sin embargo, para los pequeños productores de Guerrero resulta difícil acceder en forma individual a esos mercados que demandan determinados volúmenes de producción.

Algunos productores han logrado acceder a mercados de café de especialidad al integrarse en asociaciones para acopiar el café y reunir mayor volumen. El café verde es muy poroso y absorbe sabores y aromas, de manera que requiere un mayor cuidado durante el almacenamiento, sobre

todo en torno a humedad, luz y temperatura. Esto representa otra limitante para los productores que buscan acceder a los mercados referidos, pues carecen de la infraestructura adecuada para el almacenamiento del café.

***Aprovechamiento del potencial de las poblaciones de café para la producción de miel de abeja en Chiapas***

**Objetivo:** Impulsar la producción de miel asociada al cafetal.

La apicultura en México es una actividad relevante, tanto por la generación de empleos e ingresos en el medio rural, como por su aporte de divisas (Magaña *et al.*, 2012). De acuerdo con la información del SIAP, el estado de Chiapas posee las características geográficas adecuadas para su producción; su abundante vegetación y aguas superficiales han favorecido que se posicione como el segundo estado con mayor volumen de producción en el año 2018.

Durante el trabajo de campo se encontró que las poblaciones de café cuentan con un alto potencial para la producción de miel de abeja. Se identificaron grupos de productores de café que, aprovechando las características orgánicas de sus plantaciones, han logrado incursionar en el mercado de miel orgánica de cafetal, lo cual les ha permitido sobrellevar las crisis del sector cafetalero.

***Establecimiento de un banco de germoplasma para semillas de frijol en Chiapas***

**Objetivo:** Establecer un centro de germoplasma para granos básicos en la ciudad de San Cristóbal de Las Casas.

Técnicos e investigadores con trabajo desarrollado sobre el cultivo del frijol en el estado destacan la importancia de las instalaciones de banco de germoplasma, dado que permiten el resguardo de material genético de diversas semillas. En Chiapas, aunque ha habido interés e iniciativas para instalar un banco de germoplasma para el resguardo, conservación y reproducción de semillas de los principales granos básicos, no se ha logrado principalmente por el costo que implica, así como por la falta de gestión de los organismos estatales vinculados.

***Desarrollo de maquinaria y equipo para la producción de totopo de maíz zapalote chico en Oaxaca***

**Objetivo:** Desarrollar maquinaria y equipo para la elaboración de totopo de maíz zapalote chico, de tal manera que conserve su sabor y textura característicos, a la vez que se proteja la salud e integridad física de las madres de familia que elaboran este alimento. De las muchas variedades de maíz que se cultivan en la región del Istmo de Tehuantepec, está la variedad zapalote chico, misma que para los productores constituye su vínculo cultural con el campo, la tierra y su gente**.** Se trata de un maíz precoz, es decir, de crecimiento rápido que se logra en periodos de tres meses y se pueden obtener hasta tres cosechas al año. Es resistente a plagas y enfermedades y tiene la particularidad de resistir a los fuertes vientos, comunes en la región. Se utiliza principalmente para la elaboración de totopos, cuyo sabor y textura características los hace preferidos para el consumo por parte de pobladores del Istmo. Dado que para el proceso de elaboración artesanal se utilizan ollas, generalmente de barro, en estas el calor eleva la temperatura de su superficie y es común que las mujeres dedicadas a esta práctica se lesionen por la alta temperatura de las ollas. Se advierte que se requiere de innovación para facilitar la elaboración de totopos y, sobre todo, evitar lesiones, a la vez que el alimento conserve sus características en cuanto a textura y sabor tradicional.

Comentan los entrevistados que, en la cultura zapoteca, son las mujeres quienes realizan la venta de sus productos y toman las decisiones sobre el manejo de los recursos en la unidad familiar, de ahí que necesariamente ellas tendrían que ser consideradas para el impulso de este proyecto.

***Creación de una red de frío para tilapia en Oaxaca***

**Objetivo:** Establecer una red de frío para el traslado de tilapia, que permita potenciar la capacidad del productor de autoconsumo y pequeño productor de tilapia y con ello establecer nuevos puntos de venta.

De acuerdo con la información de campo, tanto el cultivo como el consumo de tilapia se han incrementado en el estado de Oaxaca. Aunque en los últimos años se empieza a transitar hacia una acuacultura de tilapia

comercial, la mayoría de las granjas existentes destinan la producción al autoconsumo. El factor geográfico juega un rol importante en la región, pues las dificultades de acceso a las comunidades donde se ubican las granjas provocan que la comercialización se vea limitada.

Parte de la problemática para la comercialización, señalada por productores e informantes claves entrevistados, es que no hay precios establecidos o estos son muy fluctuantes, a lo que se agrega que no se ha desarrollado una red de frío para el traslado de la tilapia y no existe un centro de acopio, de ahí que su mercado se limite a venta directa en centrales de abastos o restaurantes. La inexistencia de red de frío y los rezagos en infraestructura carretera en Oaxaca se combinan para volver casi imposible el traslado del producto. Se evidencia la necesidad de un sistema de red de frío para desarrollar puntos de venta adecuados en el estado de Oaxaca.

***Establecimiento de laboratorio regional de reproducción de alevines en Chiapas***

**Objetivo:** Establecer laboratorios de reproducción de crías de alevín certificadas en Chiapas.

De acuerdo con la información obtenida en las entrevistas, aunque para el desarrollo de la actividad acuícola existen distribuidoras locales de crías de alevín, estas no cuentan con la genética adecuada para lograr un óptimo desarrollo bajo las condiciones de las regiones propias del estado, de ahí que han optado por traer las crías que tienen mejor genética de estados vecinos. El hecho de acudir a otros proveedores afecta directamente los costos de producción de los pequeños acuicultores rurales, de ahí la necesidad de desarrollar investigación en genética adaptada a las regiones del estado.

***Centro regional de reproducción de alevines en Oaxaca***

**Objetivo:** Disminuir los costos de producción relacionados con la compra y traslado de alevines. Uno de los principales problemas que enfrentan los productores de tilapia de acuacultura es la ubicación geográfica de las granjas, ya que estas se encuentran alejadas de las ciudades principales, lo que repercute en el incremento en los costos de producción: compra

y traslado de alevines, insumos y alimento. Además, ello dificulta la comercialización y el traslado del producto para su venta. Las carreteras y caminos en mal estado propician que el traslado de mercancías e insumos necesarios para el cultivo llegue a superar las ocho horas, sobre todo en las zonas montañosas de la región.

Para disminuir costos y tiempo de traslado, los productores optan por adquirir las crías de alevín en laboratorios ubicados en otros estados como Chiapas, Guerrero y el Estado de México; ello a pesar de que en Oaxaca se cuenta con dos laboratorios certificados, ubicados uno en Jalapa del Marques en el municipio de Tehuantepec y otro cercano a la presa Miguel de la Madrid.

***Aprovechamiento de piel y colágeno de tilapia como subproductos***

**Objetivo:** Diversificar la actividad productiva en la cadena tilapia hacia alternativas sustentables de valor agregado para incrementar la rentabilidad.

En la actualidad el procesamiento de la tilapia se remite sólo a su congelación para transportarla a localidades cercanas en taras con hielo. Por otra parte, se han documentado pequeños esfuerzos de incursión en la venta de tilapia eviscerada. Los productores entrevistados señalaban que no hay apoyos gubernamentales orientados al procesamiento, traslado o comercialización del producto.

El procesamiento ligado a la producción de tilapia en Oaxaca es prácticamente nulo; no se da valor agregado al producto. A ello se suman el rezago en infraestructura y tecnología, la falta de acceso al financiamiento y la escasa organización entre productores. El aprovechamiento de la piel de tilapia para la elaboración de diferentes subproductos es un proyecto que podría representar una alternativa rentable para los productores de tilapia. Así lo señalaba un entrevistado: “Es posible extraer el colágeno y demás subproductos, tenemos identificada esa alternativa; sin embargo, no es posible llevarla a cabo debido a la inexistencia de una red de frío, de centros de acopio adecuados y a la deficiente infraestructura” (Representante del Comité Sistema Producto. Oaxaca, mayo 2019). Conviene señalar que el establecimiento de la red de frío es otro de los proyectos factibles identificados en esta investigación.

## Proyectos de reescalamiento

### *Aprovechamiento de variedades criollas de mango en Chiapas*

**Objetivo:** Evitar el desperdicio de mango criollo e incrementar los ingresos para los productores de estas variedades a través de la identificación de nuevos espacios de mercado, campañas de fomento al consumo y el aprovechamiento de los excedentes de producción.

De acuerdo con la información disponible, en el estado de Chiapas el mango se produce en alrededor de 30 000 hectáreas de huertas comerciales, además de un volumen similar en áreas en producción de traspatio de mangos criollos que no se aprovechan en su totalidad por falta de mercado, de ahí la necesidad de impulsar el procesamiento y aprovechamiento de subproductos. Además de las pérdidas económicas que representa, es una fuente de problemas fitosanitarios ya que los desperdicios propician el desarrollo de la mosca de la fruta.

### *Establecimiento de silos de granos de frijol para pequeños productores en Oaxaca*

**Objetivo:** Establecer silos herméticos para almacenamiento y conservación de frijol y granos básicos.

En Oaxaca, el cultivo de los granos básicos es destinado para el autoconsumo de las familias productoras. Cada familia conserva alrededor de una tonelada de frijol para utilizarlo como alimento por alrededor de un año. En los casos en que se produce algún excedente, este se comercializa y representa un ingreso extra para las familias de los productores.

En el manejo de poscosecha de frijol y granos básicos se presenta el problema de que la mayoría de las familias productoras no cuenta con los contenedores adecuados para proteger el grano de plagas y enfermedades. Representantes del comité sistema producto señalaban que alrededor del 20% del grano almacenado se pierde por mal manejo y almacenamiento.

A ello se agrega que el frijol se ve afectado por plagas como el gorgojo, que se introduce en los contenedores y pica los granos y semillas, lo que provoca una disminución en su calidad. Para hacer frente a este problema,

técnicos e investigadores proponen el uso de contenedores herméticos de metal o de plástico, con capacidad de 200 litros o más, lo que evitaría el contacto de los granos con plagas, enfermedades, oxígeno y demás factores externos que los afectan.

***Establecimiento de silos de granos de frijol para pequeños productores en Chiapas***

**Objetivo:** Establecer silos herméticos para almacenamiento y conservación de frijol y granos básicos.

Información de encuestas aplicadas a productores de la región de la sierra por parte de investigadores del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) indica que durante el manejo poscosecha se encuentran plagas y enfermedades en el frijol y otros granos básicos. Este problema es mayor entre los productores que utilizan costales para almacenarlo. Entre las plagas que afectan el almacenamiento y conservación del frijol se halla el gorgojo, que ataca al frijol y otros granos básicos.

Se estima que en México las plagas afectan hasta el 20% de la producción durante el almacenamiento y conservación de frijol y otros granos básicos. Actualmente la mayoría de los productores carece de equipo adecuado para manejo poscosecha de frijol y utilizan costales y botellas *pet* como medio de almacenamiento, de ahí que el gorgojo y otras plagas afecten la calidad de la producción almacenada.

***Planta juguera y deshidratadora de mango para pequeños productores en Guerrero***

**Objetivo:** Diversificar la actividad productiva en la cadena mango guerrerense hacia alternativas sustentables de valor agregado para incrementar su rentabilidad.

La cantidad de mango niño que se produce es muy elevada. Además, los volúmenes de mango que no alcanzan a cumplir los requisitos que impone el mercado son muy altos, de tal manera que las pérdidas derivadas de las mermas llegan a ser mayores al 50%. Es necesario lograr el aprovechamiento tanto del mango niño como de todo el fruto que no cumple con

los requisitos de calidad impuestos por el mercado, a través de estrategias de agregación de valor y de procesamiento como la elaboración de jugos y mangos deshidratados para acceder a otros mercados y con ello potenciar la actividad.

***Establecimiento de centros de empaque de mango certificados en Chiapas***

**Objetivo**: Incrementar la cantidad de empaques certificados para la exportación de mango en Chiapas.

El fruto del mango es susceptible a diferentes tipos de plagas y enfermedades, entre las que destaca la mosca de la fruta. Al respecto, el mercado estadounidense impone ciertos requisitos sobre la producción que se busca colocar en ese mercado. Uno de ellos es el tratamiento hidrotérmico4 que deben realizar las empresas empacadoras; esto es, la producción que se destina a la exportación debe ser empacada en una empresa certificada.

Durante el trabajo de campo se encontró que en Chiapas existen alrededor de 10 empresas que realizan el servicio de empaque certificado para el mango de exportación; sin embargo, de acuerdo con lo expresado por los productores entrevistados, estas resultan insuficientes y se requiere incrementar los empaques certificados en el estado.

***Establecimiento de un laboratorio de análisis y certificación de la calidad del mezcal en Guerrero***

**Objetivo**: Potenciar la capacidad del pequeño productor artesanal en la cadena productiva de agave mezcalero en Guerrero para eliminar los elevados costos de certificación y verificación que impone el COMERCAM, así como los costos de traslado hasta Oaxaca. Para ello se puede seguir el modelo del laboratorio de certificación de mezcal ubicado en el Centro de Innovación y Desarrollo Agroalimentario de Michoacán, ubicado en Morelia.

[4] El proceso consiste en sumergir los mangos en agua caliente (46.1ºC) para eliminar las larvas en los frutos que pudieran estar infectados. Después los frutos pasan a una tina de enfriado y posteriormente son seleccionados, empacados y almacenados a una temperatura de 10-13ºC.

**Proyectos nuevos o alternativos**:

***Producción orgánica en frutales en Oaxaca***

**Objetivo:** Impulsar la producción de frutales en diferentes regiones del estado bajo producción orgánica y aprovechamiento de residuos de otros cultivos.

De acuerdo con información del gobierno estatal, en Oaxaca la fruticultura es una actividad que se desarrolla en más de 59 000 hectáreas con al menos 30 cultivos de frutales distintos. Un informativo local consigna lo señalado por la Secretaría de Economía de Oaxaca[5].

> La región de Cañada es una de las regiones oaxaqueñas con más actividad en el sector agrícola, al producir limón, mango, chicozapote, granadilla, pera, manzana y ciruela. Los frutales también se encuentran en la región del Papaloapan, con plátano, piña, naranja, sandía, melón y toronja, y la Costa, con limón, mango, tamarindo, plátano, coco, naranja y papaya. Mientras que la región del Istmo se cultiva limón, mango, tamarindo, coco, piña, naranja, sandía y melón, y en la Sierra Sur hay producción de mango, aguacate, plátano, durazno, naranja y papaya. Estas zonas en conjunto suman más de 90% de la actividad frutícola de la entidad oaxaqueña.

***Equipamiento para la producción de alimento para tilapia en Chiapas***

**Objetivo:** Dotar a productores con maquinaria y equipo para elaboración de alimento para tilapia.

En Chiapas, el costo del alimento para tilapia representa más del 60% del total para los productores, debido principalmente a que no existen distribuidoras de alimento y lo adquieren de otros estados. De acuerdo con los informantes entrevistados, la mayor afectación se da cuando la oferta de tilapia es fluctuante y los precios de venta que alcanza son bajos. Los acuicultores de tilapia manifiestan que esto los posiciona en desventaja frente

[5] http://www.ororadio.com.mx/2018/05/oaxaca-entidad-con-alta-produccion-de-frutos/?audiogallery_startitem_ag1=0

a otros competidores, en particular con el producto de origen asiático, así como con la producción pesquera y la tilapia proveniente de otros estados.

***Aprovechamiento del bagazo de agave para la elaboración de fibras, cultivo de hongos, mieles e inulinas en Oaxaca***

**Objetivo**: Diversificar la actividad productiva de pequeños productores artesanales de agave mezcalero en Oaxaca, hacia alternativas sustentables y de valor agregado para incrementar la rentabilidad.

Los "bagazos" y tepaches (mosto fermentado), tradicionalmente utilizados en el proceso de destilación para cargar los alambiques, al término de la destilación no tienen más uso que servir de capa protectora en los hornos de cocción. Sin embargo, se ha encontrado que estos bagazos pueden ser utilizados como sustratos para producir algunos hongos comestibles y pueden también constituir una base para alimento forrajero. La actividad ganadera en Oaxaca tiene un dinamismo importante, con un hato que supera las 1.5 millones de cabezas de ganado bovino. Por otra parte, el consumo de hongos y setas en México ha adquirido cierto auge en los últimos años, a medida que se conocen y valoran sus propiedades nutricionales y funcionales.

***Planta de producción de alimento certificado para tilapia en Oaxaca***

**Objetivo**: Producir alimento certificado para tilapia en la región del Istmo oaxaqueño para disminuir los costos de producción de la alimentación de la tilapia, especialmente los relacionados con el traslado del alimento.

La inadecuada infraestructura carretera y de transporte y la necesidad de adquirir el alimento de otros estados eleva los costos de producción e impide a los productores de acuacultura rural competir con los de captura.

Una problemática que enfrentan los productores de tilapia es la ubicación de las granjas, ya que estas se encuentran alejadas de las ciudades principales del estado, lo que representa incrementos en los costos de producción, relacionados con el alimento y su traslado. El costo de la alimentación en el cultivo de tilapia representa alrededor del 53% del costo total de la actividad.

## Conclusiones

El recorrido por la detección de necesidades y propuestas emanadas del sentir de los pequeños productores entrevistados, quienes habitan y desarrollan sus actividades en la región, permitió identificar con claridad una serie de iniciativas de proyectos productivos que pueden impulsarse en la región con el involucramiento de los productores y de las propias comunidades, como se concibe bajo la visión de desarrollo regional endógeno. Propuestas productivas que, de detonarse, fortalecerán las capacidades propias de la región para potenciar su desarrollo.

Proponer estos proyectos productivos con factibilidad de impulsarse en la región Pacífico Sur de México fue posible gracias al ejercicio metodológico aplicado y validado en investigaciones anteriores del grupo de trabajo en otras regiones del país, mismo que refuerza su pertinencia al incorporar los puntos críticos identificados por los pequeños productores entrevistados y las iniciativas productivas que desde su experiencia visualizan como urgentes de desarrollarse en la región.

En tal sentido, la metodología aplicada constituye una herramienta de apoyo a la toma de decisiones y con ello a la incidencia en política pública, en este caso para la región Pacífico sur de México. Quienes tienen responsabilidad en la toma de decisiones pueden encontrar en este tipo de investigaciones material de utilidad para definir y priorizar, en función de las necesidades específicas de regiones y comunidades, los proyectos productivos con mayor factibilidad de impulsarse sean estos de reactivación o de rescate. Es decir, actividades que ya se desarrollaban en el pasado y por razones diversas fueron truncadas o bien proyectos de reconversión, de encadenamiento, reescalamiento o proyectos nuevos o alternativos, orientados todos a incidir en la mejora de las condiciones de bienestar de quienes habitan esta región del país.

## Referencias

Buarque, S. (2019). *Desarrollo sostenible, metodología de planeamiento*. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA) 44 pp.

Magaña M. A., Moguel, Y. B., Sanginés, J. R., & Leyva, C. E. (2012). Estructura e importancia de la cadena productiva y comercial de la miel en México. *Revista mexicana de ciencias pecuarias, 3*(1), 49-64.

Saaty, L. (2014). El proceso analítico jerárquico. En *Toma de decisiones para líderes*. Traducción de Escudey M., Martinez E., Vargas & Garuti C. Universidad Santiago de Chile. RWS Publications.

## Anexo 1.

**Sistema de códigos para clasificar información de entrevistas según criterio de factibilidad**

***De mercado***

**Riesgos de mercado.** Se refiere a eventos o externalidades de mercado que afectan directa o indirectamente la comercialización, como prácticas monopólicas, competencia desleal, etc.

**Tipo de producto.**

**Diversificación**. Existencia de variedad de productos asociada al valor agregado que generan.

**Nula.** Inexistencia de diversificación.

**Baja.** Cuando se comercializan dos productos generados.

**Media.** Cuando se comercializan de dos a cuatro productos.

**Alta.** Cuando se comercializan cinco o más productos.

**Alcance de mercado.**

**Local.** Se comercializa en la comunidad o localidad.

**Excedente del autoconsumo**: Si se comercializa el excedente del autoconsumo en el mercado local.

**Con salida a industria**: Se comercializa a través de intermediarios en el mercado local, con destino la industria.

**Con salida nacional**: Se comercializa a través de intermediarios en el mercado local, con destino a centrales de abastos en el país.

**Con salida internacional**: Se comercializa a través de intermediarios en el mercado local con destino al mercado internacional.

**Regional**: Se comercializa en otros municipios del estado y otros estados aledaños.

**Nacional**: Se comercializa en diferentes estados del país (no aledaños).

**Internacional (Exportación)**: Se comercializa en otros países.

**Requerimientos de mercado**

**Calidad.** Conjunto de propiedades del producto exigidas por el mercado.

**Inocuidad**. Adecuación de un alimento seguro para consumo humano.

**Certificaciones**. Cumplimiento con determinadas normas o requisitos de organismos reguladores.

**Características del producto**. Propiedades específicas que demanda el mercado.

**Empaque**.

**Nulo.** Inexistencia de empaque.

**Bajo.** Existencia de empacado en cualquier tipo de recipiente o presentación, sin proceso tecnificado ni la existencia de etiqueta.

**Medio.** Existencia de empacado en cualquier tipo de recipiente o presentación, sin proceso tecnificado, con etiquetado sin regulación.

**Alto.** Existencia de empacado tecnificado, etiqueta regulada y marca del producto.

**Volumen**

**Incumplimiento**. Cuando la capacidad no es suficiente para responder a la demanda**.**

**Cumplimiento.** Cuando la capacidad es suficiente para responder a la demanda.

**Potencialidad de mercado**

**Nuevos productos.** Productos no explotados actualmente y con potencial de mercado.

**Nuevos espacios.** Espacios geográficos no explotados para la comercialización y con potencial de mercado.

**Campañas de promoción/Fomento al consumo.** Actividades orientadas a cubrir demandas potenciales de mercado.

***Beneficio social***

**Empleos.** Se refiere al número de personas contratadas para trabajar en el cultivo.

**Ingresos complementarios.** Cuando los ingresos obtenidos por el desarrollo de la actividad son complementarios a otra actividad (principal).

**Unidades de producción.**

**Tipo de unidad de producción.**

**Traspatio.**

**Otros.**

**Tipo de tenencia.** Se refiere a la forma jurídica del derecho de propiedad de la tierra.

**Propia**

**Comunal**

**Ejidal**

**Rentada**

**Escolaridad.** Se refiere al nivel de estudio alcanzado por el productor.

***Sostenibilidad***

**Económica**

**Ingreso/renta.**

**Costos de producción.**

**Proveeduría de insumos**

**Labores culturales orientadas a aumentar la productividad.** Todas aquellas actividades que son necesarias para que el cultivo alcance su potencial como fertilización, podas, etc.

**Apoyo, financiamiento y seguro agrícola.** Recursos financieros y no financieros proporcionados por alguna institución.

**Rezago tecnológico.** Atraso o inexistencia en uso de tecnología y en conocimientos.

**Infraestructura.** Atraso o inexistencia de infraestructura (instalaciones, servicios, estructuras básicas como edificios, maquinaria y equipo, necesarios para la producción, procesamiento y comercialización de los productos).

**Técnicas/Conocimiento.** Atraso o inexistencia en el uso de técnicas y conocimiento necesaria para la producción, procesamiento y comercialización de los productos.

**Ambiental**

**BPA.** Actividades encaminadas a evitar o reducir los daños ambientales, y que a la vez protegen la salud, el cultivo, a seres humanos y animales.

**Riesgos climáticos.** Eventos o externalidades relacionadas con condiciones del tiempo que afectan directa o indirectamente a la producción.

**Deforestación.** Se refiere a la disminución de las poblaciones de algún cultivo o árbol por la excesiva tala o el mal manejo de los suelos.

**Contaminación.** Se refiere a la alteración negativa del estado natural del medio provocado por la actividad humana.

***Asociatividad*.**

**Organización.** Disposición de los productores para organizarse.

**Experiencia.** Conocimiento o habilidades relacionados con el sistema y adquiridos a través del tiempo.

**Años.** Número de años dedicados al sistema de producción.

**Generaciones.** Se refiere a la transmisión del conocimiento a través de los miembros de la familia.

**Cultural**. Prácticas culturales que abarcan desde tradiciones, formación, costumbres e incluye la resistencia al cambio.

**Riesgos del entorno**. Externalidades relacionadas con problemas sociales (inseguridad, vandalismo, etc.) que afectan directa o indirectamente al sistema productivo.

**Formación.** Se refiere a la escolaridad y/o capacitaciones obtenidas por el productor.

**Tradición.** Prácticas de trabajo y costumbres.

**Liderazgo.** Existencia de personas o grupos de personas con la capacidad y disposición de asumir la posición de líder para organizar a los demás productores, comercializar u otras actividades relacionadas con el sistema productivo.

**Del productor.** Disposición a colaborar con otros productores para organizarse, comercializar y gestionar actividades relacionadas con el sistema productivo.

**Del extensionista.** Disposición de agentes promotores y gestores técnicos que transmitan a los productores algún tipo de conocimiento especializado en relación con las actividades del sistema productivo.

# Capítulo 7

# Plataforma Geoweb Pacífico Sur

*Jesús Trujillo Almeida[1], Edali Yareni Murillo Gómez[1], Alejandro Ernesto Mohar Ponce[1], Paola Andrea Mejía Zuluaga[1], Paulina Paredes Camarillo[1], Claudia Casillas Ximénez[1]*

**Resumen**

La Plataforma GeoWeb Pacífico Sur es un **bien público de información y conocimiento geoespacial** que integra diferentes servicios y funcionalidades, los cuales permiten gestionar, almacenar, consultar, descargar, analizar y divulgar la información y conocimientos generados en los diferentes proyectos de investigación en el Pacífico Sur. En este documento se describen con detalle los servicios y funcionalidades de la plataforma, y se mencionan algunos ejemplos de su aplicación. El propósito del desarrollo de esta plataforma fue crear una herramienta accesible y funcional, que pone al alcance de los Centros Públicos de Investigación (CPIs) un medio digital de divulgación, útil para transferir el conocimiento desde un enfoque territorial.

*Palabras clave*: Aplicaciones GeoWeb, micrositios, Plataforma GeoWeb; servicios de información.

## Introducción

El objetivo principal de la Plataforma GeoWeb Pacífico Sur consistió en diseñar, desarrollar y ensamblar un portal de divulgación que garantiza el acceso público y completo a toda la información y los resultados de las investigaciones que se realizan con recursos públicos del Pacífico

[1] Centro de Investigación en Ciencias de Información Geoespacial, Contoy 137, Lomas de Padierna, Tlalpan, Ciudad de México 14240.jtrujillo@centrogeo.edu.mx

Sur (Guerrero, Oaxaca y Chiapas), en cumplimiento con las normas de transparencia y acceso a la información.

Este portal de divulgación, a su vez, está soportado por una Plataforma GeoWeb que se conceptualiza como el sistema de información para la gestión, consulta, integración, análisis y divulgación de los resultados generados por el Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco, A.C. (CIATEJ), el Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo (CIAD), Centro de Investigación Científica de Yucatán, A.C (CICY), el Centro de Investigación en Ciencias de Información Geoespacial (CentroGeo), FOMIX Guerrero, TELARES y el Proyecto PRONACE Soberanía Alimentaria No. 317100. No obstante, esta alianza se encuentra abierta a la ampliación para sumar a otros Centros Públicos de Investigación que contribuyan, mediante este servicio público de información, al desarrollo de los estados que conforman la Región Pacífico Sur. La importancia de la Plataforma GeoWeb, mejor llamada Plataforma Pacífico Sur, radica en brindar datos, información y conocimiento desde una perspectiva geoespacial y territorial a los actores involucrados y sociedad en general.

Otra fortaleza más de la plataforma radica en que todo el desarrollo está soportado por software libre con componentes de Sistemas de Información Geográfica consolidados y, por ende, es un desarrollo sostenible; es decir, se contempla como un software con capacidades de permanecer en el tiempo sin requerimientos adicionales de programación.

En general, esta Plataforma plantea ser una solución eficiente, innovadora y de fácil uso donde se gestionarán y compartirán resultados de diversos proyectos de los participantes ya mencionados. Tiene como principal objetivo coadyuvar en la toma de decisiones y a la transferencia de conocimiento donde los usuarios tendrán acceso a distintos recursos de información, desde lo geoespacial hasta lo documental, fomentando al mismo tiempo la transparencia de datos, información y conocimiento generado.

La Plataforma GeoWeb2 es una aplicación web basada en código abierto para el desarrollo y despliegue de servicios de información geoes-

[2] Liga al portal de la Plataforma: http://plataformapacificosur.mx/

pacial. Su núcleo se basa en un Sistema de Gestión de Contenidos (CMS) por sus siglas en inglés, que proporciona herramientas para crear, integrar y comunicar sitios web geoespacialmente orientados de manera accesible. Esta plataforma deriva del desarrollo de IDEGeo3, la Infraestructura de Datos Espaciales de CentroGeo, que está integrada por las tecnologías, servicios, reglas de operación, normas y recursos humanos necesarios para recopilar, catalogar y distribuir los acervos y servicios de información desarrollados por CentroGeo.

En la siguiente imagen se muestran los elementos involucrados en la implementación tecnológica de la Plataforma Pacífico Sur:

- Datos e información
- Componente tecnológico
- Capital humano

Cada uno de estos elementos está intrínsecamente relacionado y cada uno de ellos juega un rol importante en la materialización del producto Plataforma.

Figura 1. Factores involucrados en la materialización de la Plataforma Pacífico Sur. Elaboración propia

La conceptualización de este producto involucra el desarrollo de servicios de información geoespacial en tres bloques o vertientes de construcción de la Plataforma. La base de la siguiente pirámide ilustra el inicio

[3] Liga a la Plataforma IDEGeo: https://idegeo.centrogeo.org.mx/

del proceso con la vertiente de los **datos** que conforman el acervo cartográfico homologado y estandarizado con recursos cartográficos resultantes de las investigaciones de los proyectos. En esta vertiente se plantea aplicar un conjunto de criterios rectores que permiten contar con un estándar de calidad para el aprovechamiento y diseminación de los datos hacia usuarios finales a través de la comunicación y análisis de datos.

Figura 2. Vertientes conceptuales para el desarrollo de la Plataforma Pacífico Sur. Elaboración propia

El siguiente esquema tiene como objetivo ilustrar el flujo de trabajo para la homologación de la base de datos cartográfica y documental (acervo) en donde los usuarios internos realizan actividades de acopio, gestión, estandarización y validación de los recursos a catalogar.

Figura 3. Criterios rectores para la conformación de una base de datos geográfica. Elaboración propia

## Servicios de información geoespacial

Si bien la gestión de insumos cartográficos y documentales con sus respectivos metadatos son el punto de partida para que posteriormente comience el proceso de integración de contenidos, la forma en la que los datos son representados y combinados pueden ser utilizados como un soporte en la generación de **información.** Esta información pasa a ser el elemento central para la generación de un nuevo nivel de servicios centrados en el usuario final. El objetivo principal de los servicios de esta primera parte es la integración de información bajo un modelo de comunicación para articular sitios de divulgación y aplicaciones web para el análisis a partir de tableros de datos.

El siguiente esquema muestra los niveles y flujos de interacción entre los servicios disponibles de la Plataforma Pacífico Sur.

Figura 4. Procesos y servicios de información

Fuente: Elaboración propia.

***Tipos de usuario***

Desde la conceptualización inicial se planteó la necesidad de contar con al menos dos niveles de usuarios: por un lado, los usuarios de gestión interna y, por otro, los usuarios receptores o usuarios finales.

*Usuario interno (centros públicos de investigación)*

Es aquel que se encarga de la implementación de diversos servicios de información geoespacial que provee la plataforma. Estos servicios comienzan con la catalogación de la información cartográfica y documental para mantener un repositorio de información. Este tipo de usuario interno es también el encargado de generar, estructurar y diseñar portales GeoWeb personalizados (micrositios), visualizadores geoespaciales, tableros interactivos y geohistorias a través del uso de las herramientas que provee la plataforma para la construcción de dichos servicios de manera ágil

y asertiva, poniendo a disposición los resultados más relevantes de los diferentes proyectos.

*Usuario final*

Es quien accede a los contenidos y tiene a su disposición una amplia gama de servicios de información basados en la accesibilidad y *usabilidad* para diferentes tipos de usuarios. Mediante estos servicios el usuario receptor toma un papel activo, ya que puede consultar, descargar y analizar la información de acuerdo a sus propios intereses, en concordancia con el carácter de servicio público de la plataforma y el libre acceso a todos los resultados de investigaciones generadas con recursos públicos (normatividad de transparencia).

Figura 5. Diagrama de la interacción de los usuarios con la plataforma como herramienta de comunicación y servicios de información

Fuente: Elaboración propia.

***Funcionalidades de los servicios de la Plataforma GeoWeb***

Los servicios de la Plataforma Pacífico Sur pueden ser entendidos como módulos o componentes de software independientes con herramientas de fácil manejo para los usuarios internos como externos. Si bien el nivel de usuario interno puede realizar actividades de gestión, integración y divulgación de contenidos a través de la web, estas actividades no requieran

que este tipo de usuario cuente con conocimiento alguno de programación. El usuario interno tiene a su alcance una gama de herramientas en cada módulo que posibilitan el ensamble de contenidos multimedia, publicación de capas de información geoespacial, la generación de diversos tipos de mapas, la construcción de tableros de datos, entre otros, todo esto con la finalidad de representar los resultados más relevantes de los proyectos de investigación y ser divulgados mediante interfases orientadas en el usuario final.

En resumen, estos componentes de software o servicios abarcan las tres *vertientes conceptuales* mencionadas con anterioridad y cabe resaltar que la interacción del usuario final con los contenidos de las vertientes no sigue un proceso lineal. El usuario puede centrarse en los servicios y contenidos de cualquiera de los módulos o vertiente de interés.

Figura 6. Integración de las tres vertientes tecnológicas que conforman la Plataforma Pacífico Sur

Fuente: elaboración propia.

***Catalogación cartográfica y documental***

- *Catálogo de capas*

Consiste en un espacio de almacenamiento dinámico y creciente de capas de información geoespacial4. Esta funcionalidad conforma un acervo que concentra y organiza los recursos geoespaciales en formato vectorial o ráster que son cargados por los usuarios internos. El recurso fundamental gestionado por el catálogo de capas tiene como base el estándar shapefile; sin embargo, también es posible catalogar imágenes georreferenciadas en formato TIFF. Cada capa o imagen que se incorpora al catálogo debe ser acompañada de su metadato correspondiente, es decir, debe contar con datos que describen la información que contiene, la fuente de información, su autoría, la fecha de creación, entre otros datos que le dan valor agregado a la información cartográfica y documental. Una vez que se carga y cataloga la capa de información por el usuario interno, queda disponible para editarla, actualizarla o descargarla. Además, podrá usarse por los diferentes servicios de geo-visualización disponibles en la plataforma, por ejemplo, en el constructor de mapas estándar, panoramas, mapas duales, mapas swipe y por los servicios más enfocados en el análisis y divulgación como son los tableros de datos, panoramas y geohistorias que consume un usuario receptor.

El siguiente esquema ilustra parte del proceso de integración y gestión del catálogo de capas y la interfaz del visualizador geoespacial para el usuario final.

[4] Liga para consultar el visualizador geoespacial del catálogo de mapas: http://plataformapacificosur.mx/interactive/layers

Figura 7. Integración de capas temáticas al catálogo de capas. Elaboración propia.

- *Acervo de documentos*

Este catálogo también integra en forma estructurada toda la documentación de los resultados de cada subproyecto, la cual puede ser almacenada en múltiples formatos (documentos, presentaciones, material de capacitación, talleres, bases de datos y material multimedia). El diseño y estructura del servicio facilitan que el usuario pueda encontrar y consultar desde su computadora personal toda la información que sea de su interés, pues cada

uno de los archivos cuenta también con su respectivo metadato con la finalidad de agilizar el filtrado y la búsqueda a partir de palabras clave entre otros campos. Los documentos y material multimedia almacenados en el acervo documental5 pueden ser consumidos por el servicio de micrositios incorporando los documentos del acervo a través de un link.

El siguiente esquema ilustra parte del proceso de integración y gestión del catálogo de documentos y la interfase de consulta de documentos para el usuario final.

Figura 8. Catalogación y configuración de archivos para la integración del acervo de documentos. Elaboración propia.

*Comunicación/Divulgación*

Uno de los objetivos fundamentales de la Plataforma Pacífico Sur es insertar los resultados de las investigaciones de los proyectos de la región dentro de una dinámica social, pues es precisamente la sociedad una de las fuentes demandantes de soluciones a problemáticas relacionadas con su entorno geográfico. En este sentido, esta plataforma cuenta con la implementación de herramientas para la construcción de servicios de información geoespacial enfocados en la diseminación, divulgación y comunicación desde un enfoque de *storytelling* geoespacial.

En la plataforma, el proceso *storytelling geoespacial* permite contar una historia con un enfoque territorial a través de contenidos dinámicos, incorporando relaciones espaciales entre mapas y narrativa para una comunicación efectiva, teniendo como fin que el usuario reciba contenidos claros e inspiradores. Las herramientas o servicios geoespaciales que retoman este enfoque son:

- Panoramas
- Micrositios
- Geohistorias

*Servicio de mapas interactivos*

En el contexto de esta plataforma, un **mapa** es un modelo de comunicación que brinda al usuario un contexto general y conocimiento específico sobre un fenómeno particular. Por lo general un mapa se compone de **distintas capas de información** provenientes de diversos conjuntos de datos en donde se tematiza un atributo particular de cada capa.

Como ya se mencionó, el mapa es un modelo de comunicación muy efectivo; sin embargo, el proceso de comunicación mejora cuando el receptor comparte el mismo modelo de conocimiento. En otras palabras, algunos mapas transmiten mejor su mensaje cuando el usuario conoce sobre el fenómeno que se está representando. Con base en el argumento anterior, esta plataforma incorpora la posibilidad de integrar elementos narrativos de *storytelling* geoespacial como parte central en el proceso de comunicación (2.2 Panoramas, 2.3 Geohistorias y 2.4 Micrositios).

Los mapas que se construyen en esta Plataforma son de tres tipos: mapa estándar, dual y swipe, pueden ser empleados de acuerdo a una necesidad específica a representar. A continuación, se describe cada uno de los tres tipos de mapas interactivos disponibles:

Mapa estándar: muestra un grupo de capas categorizadas en una interfaz simple, que cuenta con las funciones de acercamiento y un menú de mapas base que pueden ser habilitados.

Mapa dual: es un mapa interactivo de carácter comparativo, ya que muestra dos ventanas con un mapa cada uno, que muestran una misma área, pero con diferentes capas temáticas para poder realizar cotejos, o análisis temporal de cambios de un mismo fenómeno. Este mapa también es interactivo ya que ofrece la funcionalidad de acercamiento (*zoom*), desplazamiento y múltiples opciones para configurar el mapa base.

Mapa swipe: su función es muy similar al mapa dual ya que permite a los usuarios comparar dos capas distintas en un mismo mapa web, a través de una barra vertical de deslizamiento interactiva y la función de acercamiento (lupa). Este tipo de mapa es útil en contextos que desean mostrar las imágenes de antes y después de un área geográfica o para comparar información temática.

El siguiente esquema ilustra parte del proceso para la generación de un mapa y sus tres tipos de representación.

Figura 9. Edición de mapa para su salida a través de los diferentes tipos de mapas interactivos. Elaboración propia.

- *Panoramas*

La mayoría de los mapas no ofrecen elementos narrativos y de multimedia adicionales que nos comuniquen otros procesos relacionados con el territorio. Para solucionar estas limitaciones se plantea la implementación del servicio de panoramas. Un Panorama[6] es un visualizador cartográfico

[6] Ligas para consultar ejemplos de Panoramas: http://plataformapacificosur.mx/mviewer/RegSusceptibles_clim

interactivo a la medida. Este visualizador puede incluir un subconjunto de capas geográficas del catálogo cartográfico, organizado en diversas temáticas. Uno de los objetivos principales de este servicio es el de comunicar y divulgar expresiones geoespaciales en un contexto de *storytelling*, donde las capas sean el elemento principal de comunicación utilizando elementos narrativos de texto, imágenes, audio, video, entre otros. Estos elementos narrativos, además de estar vinculados a las capas, pueden ser utilizados también en ubicaciones específicas para comunicar puntualmente ciertos procesos mediante los elementos narrativos ya mencionados.

El siguiente esquema ilustra parte del proceso de diseño y construcción de un panorama y la interfaz para visualizar mapas y narrativas para el usuario final.

http://plataformapacificosur.mx/mviewer/presion_al_cn
http://plataformapacificosur.mx/mviewer/IRDEF

Figura 10. Esquema de construcción y configuración de Panoramas. Elaboración propia.

- *Geohistorias*

Es un servicio de divulgación a través del *storytelling* geoespacial[7], el cual busca clarificar, inspirar y transferir conocimiento para ser un apoyo en la toma de decisiones. Este servicio cuenta con importantes innovaciones para la construcción de historias, apoyándose de mapas interactivos, textos, imágenes y contenido multimedia. Cabe mencionar que este tipo de representación obedece a un proceso lineal en donde el usuario final interactúa mayormente con el *scroll* del *mouse*. El diseño y construcción de este servicio implica conceptualizar y sintetizar claramente el mensaje que se quiere transmitir.

El siguiente esquema ilustra parte del proceso de diseño e implementación de una geohistoria y una serie de interfaces que muestran la navegación de un usuario final.

[7] Ligas de consulta a aplicación de Geohistorias:
http://plataformapacificosur.mx/geo_historias/geostory/oax_vul
http://plataformapacificosur.mx/geo_historias/geostory/chis_vul

Figura 11. Secuencia de flujo de la configuración, edición y publicación de geohistorias. Elaboración propia.

- *Geoportales (micrositios)*

Al igual que en panoramas, los micrositios[8] pueden integrar diversos formatos de información como multimedia, texto, mapas interactivos, documentos, videos, entre otros. A manera de analogía, el módulo de creación de Micrositios permite generar atlas temáticos en web desde un enfoque geográfico.

A diferencia de panoramas, en un Micrositio el eje conductor es la articulación de narrativas o páginas web. En estas narrativas es posible incorporar contenido interactivo de mapas estándar, duales o *swipe*, además de los elementos multimedia ya mencionados. Los mapas incrustan y argumentan lo narrado en las páginas web.

La Plataforma cuenta con herramientas para la construcción de un micrositio sin necesidad de tener conocimientos de programación web (HTML, JavaScript, CSS, entre otros). A través de estas herramientas interactivas, el usuario conduce el diseño y gestión de un sitio web de manera ágil y sencilla; sin embargo, es necesario, antes de comenzar, plantearnos al menos las siguientes preguntas:

- ¿Cuál es el objetivo de mi micrositio?
- ¿Qué tipo de micrositio me imagino de acuerdo a mi objetivo?
- ¿A quién estará dirigido el micrositio, quién es el usuario estratégico? Además de mi usuario estratégico, ¿tengo en mente usuarios secundarios? ¿Cuáles serían?
- ¿Cuento ya con un modelo o diagrama que ilustre la estructura del micrositio?
- ¿Necesito una maqueta (*mockup*) de referencia para comenzar con el micrositio?
- ¿Qué tipos de recursos de información necesito?
- ¿Cuento con recursos cartográficos que pueda/quiera integrar en el micrositio?
- ¿Cuento con los textos e imágenes que tendrá el micrositio?
- ¿Cuento ya con la identidad gráfica del micrositio que deseo construir?

[8] En la sección de ANEXOS se facilitan las ligas de acceso a diferentes ejemplos distintivos de micrositios que fueron construidos en la Plataforma.

Las preguntas anteriores son solo una guía metodológica que ayudan a clarificar y comunicar mejor los resultados. El siguiente esquema ilustra parte del proceso de diseño y construcción de un geoportal o micrositio y la interfase del usuario final para consultar los resultados.

Figura 12. Herramientas del CMS para el diseño y construcción de geoportales (micrositios). Elaboración propia.

### *Creación de tableros interactivos para el análisis de datos*

Con este servicio es posible diseñar y desarrollar aplicaciones multipropósito transversales a los proyectos específicos de los CPIs y de organizaciones aliadas. Tiene el objetivo de mostrar los resultados de los trabajos de análisis territorial de forma interactiva[9], de tal manera que se despliegan formularios de consulta de indicadores, gráficas, tablas y mapas interactivos, para que el usuario pueda explorar, filtrar, analizar y descargar la información que

[9] Ligas para consultar un ejemplo de aplicación de tableros interactivos: http://adesur.centrogeo.org.mx/apps/indicadores/01_Chs
http://plataformapacificosur.mx/apps/indicadores/01_Gro
http://plataformapacificosur.mx/apps/indicadores/01_Oax

sea de su interés. El siguiente esquema ilustra parte del proceso de diseño y construcción de un tablero de datos y algunos ejemplos del tipo de interfaces del usuario final.

Figura 13. Secuencia de construcción y edición de tableros interactivos para el análisis de datos. Elaboración propia.

A manera de síntesis, se presenta el esquema con el flujo general para la materialización del portal o sitio de divulgación de acceso público a todos los datos, información y resultados de las investigaciones que realizan los CPIs en la región Pacífico Sur, específicamente en las entidades de Guerrero, Oaxaca y Chiapas.

Figura 13. Construcción y flujo del catálogo de mapas para los servicios de información. Elaboración propia.

***Transferencia tecnológica y apropiación***

Con el fin de dar a conocer y transferir los servicios geoespaciales en web que proporciona la Plataforma de los diferentes subproyectos, se proporcionaron capacitaciones teórico-prácticas[10] para los CPIs e instituciones aliadas. Estas capacitaciones consisten en la creación y gestión de micrositios, creación

[10] Los resultados de las capacitaciones y materiales de consulta se pueden explorar en el siguiente enlace: http://plataformapacificosur.mx/cms/taller_micrositios

de mapas y panoramas. En estas capacitaciones se enseñó la creación de un micrositio para cada proyecto, el uso de la semiótica y comunicación visual para interactuar con los usuarios, el uso de material multimedia como imágenes, videos e imágenes en el micrositio y una introducción al uso de información geoespacial y la representación por medio de las diferentes expresiones cartográficas dentro de la plataforma.

Esta capacitación, además, cuenta con un acompañamiento a los subproyectos de los CPIs, como es el caso del subproyecto de cadenas productivas en el caso del cultivo del frijol, en donde por medio de un acompañamiento ha sido posible gestionar todos los entregables que han generado a través de sus etapas para divulgarlos en un micrositio, y resguardando la información completa en el acervo de la Plataforma de Pacífico Sur. En paralelo, se desarrollaron tutoriales y manuales que los usuarios pueden consultar en todo momento a manera de guías.

## Conclusiones

La implementación y desarrollo tecnológico de la Plataforma Pacífico Sur se planteó como un aporte al desarrollo de las capacidades científicas y tecnológicas de las tres entidades federativas de la región (Guerrero, Oaxaca y Chiapas). Esta plataforma nos permitió innovar en la forma en que se integran y difunden los hallazgos efectuados por los investigadores participantes en los proyectos y subproyectos, así como generar un entorno para el trabajo colaborativo y multidisciplinario.

Se pretende que esta plataforma continúe coadyuvando en la consolidación de la alianza entre los Centros Públicos de Investigación participantes (CIATEJ, CIAD, CICY, CentroGeo, FOMIX Guerrero, TELARES y el Proyecto PRONACE Soberanía Alimentaria No. 317100) al generar un entorno propicio para la vinculación entre los investigadores a través del intercambio de conocimiento de los trabajos que se han desarrollado en las distintas vertientes del proyecto, compartiendo información e identificando problemáticas comunes para establecer proyectos en conjunto a futuro. La Consolidación de la Plataforma Pacífico Sur podrá ser también el espacio

idóneo para que diversas instituciones de la región, así como los CPIs, sean usuarios que se beneficien de contar con un acervo de información y conocimiento territorial de la región. Por otro lado, estos usuarios puedan formar parte de las instituciones que alimenten a la plataforma con los resultados de sus investigaciones o saberes.

## Referencias

Dangermond, J., & Goodchild, M. F. (2020). Building geospatial infrastructure. *Geo-spatial Information Science*, *23*(1), 1–9. https://doi.org/10.1080/10095020.2019.1698274

Evangelidis, K., Ntouros, K., Makridis, S., & Papatheodorou, C. (2014). Geospatial services in the Cloud. *Computers & Geosciences*, *63*, 116–122. https://doi.org/10.1016/j.cageo.2013.10.007

Granell, C., Fernández, Ó. B., & Díaz, L. (2014). Geospatial information infrastructures to address spatial needs in health: Collaboration, challenges and opportunities. *Future Generation Computer Systems*, *31*, 213–222. https://doi.org/10.1016/j.future.2013.04.002

Granell, C., Díaz, L., & Gould, M. (2010). Service-oriented applications for environmental models: Reusable geospatial services. *Environmental Modelling & Software*, *25*(2), 182–198. https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2009.08.005

Iniesto Alba, M. J., & Núñez Andrade, A. (2021). Infraestructuras de Datos Espaciales. España: Instituto Geográfico Nacional (IGN), O.A. Centro Nacional de Información Geográfica.

Jeppesen, J. H., Ebeid, E., Jacobsen, R. H., & Toftegaard, T. S. (2018). Open geospatial infrastructure for data management and analytics in interdisciplinary research. *Computers and Electronics in Agriculture*, *145*, 130–141. https://doi.org/10.1016/j.compag.2017.12.026

Lacroix, P., Moser, F., Benvenuti, A., Piller, T., Jensen, D., Petersen, I., Planque, M., & Ray, N. (2019). MapX: An open geospatial platform to manage, analyze and visualize data on natural resources and

the environment. *SoftwareX*, *9*, 77–84. https://doi.org/10.1016/j.softx.2019.01.002

Porras, A. (2008). Cibercartografía en la Web: Conocimiento, Representación y Comunicación. Centro de Investigación en Ciencias de Información Geoespacial.

Reyes, C. (2005). Cybercartography from a Modeling Perspective. En T. Fraser (Ed.), Cybercartography: Theory and Practice (pp. 63–97). Elsevier Scientific.

Trujillo, J. (2009). Cibercartografía en la Web: Hacia la construcción de un Modelo Colaborativo de Conocimiento Cibercartográfico. Centro de Investigación en Ciencias de Información Geoespacial.

## Anexo

A continuación, se enlistan y describen de forma general algunos de los productos de información que sustentan la funcionalidad y la aplicación de los servicios disponibles en la Plataforma Pacífico Sur.

***Territorios funcionales***

Servicio de consulta, visualización y descarga de elementos de información que permiten dar cuenta de la diversidad y heterogeneidad territorial de la región Pacífico Sur. En este sitio se puede acceder a la consulta de indicadores, el análisis para la definición y medición de lo rural, el análisis de la accesibilidad a centros urbanos, la delimitación de territorios funcionales y la clasificación de tipologías rurales-urbanas. http://plataformapacificosur.mx/cms/t_funcionales

***Aplicación GeoWeb que muestra la distribución potencial de maíces nativos***

Análisis espacial del perfil espacial de 59 variedades de maíces nativos y la asociación que existe entre la distribución de 66 grupos indígenas. La información procesada permite conocer, por medio de consultas específicas, la distribución, la riqueza y la diversidad biocultural expresada en diferentes escalas (estatal, municipal, localidad). Consultar la aplicación: http://plataformapacificosur.mx/apps/native_corn/

***Micrositio de Identificación de Territorios con Vulnerabilidad***

Identificación de las regiones susceptibles a riesgos hidrometeorológicos, presión sobre los recursos naturales y escenarios de cambio climático. Descarga de fichas por estado: http://plataformapacificosur.mx/cms/multimedia/territ_vulnerables/menuSect-87-1751

Este micrositio se complementa con el **Servicio de Información y Conocimiento de Vulnerabilidad en localidades Rurales y su entorno territorial,** el cual proporciona información sobre vulnerabilidad poblacional de las localidades rurales dentro de la Región Pacífico Sur,

donde los usuarios pueden acceder a la consulta y descarga de información organizada en una lista de temas determinantes de la vulnerabilidad a partir de indicadores y datos cuantitativos y cualitativos. Esta información está disponible a nivel de municipio, de localidad, de núcleo agrario o la agrupación de predios de propiedad privada. Más información en: https://youtu.be/9aO2_Xiu0VM?feature=shared

Apartado 2

# **Investigación científica** y tecnológica

# Capítulo 8.

# Establecimiento de un proceso de escalamiento de micropropagación de individuos élite de agaves mezcaleros

*Gabriel de Jesus Ojeda[1]; Kelly Mabel Monja Mio[2]; Antonio Rescalvo Morales[2]; María Antonieta Saldívar Chávez[1]; Lorenzo Felipe Sánchez Teyer[1*]*

## Introducción

El mezcal es una bebida alcohólica de arraigo tradicional en México, producida en diferentes estados del país. Oaxaca es el principal productor, contribuyendo con el 65% de la producción total a nivel nacional, mientras que Guerrero es considerado el segundo productor de mezcal artesanal, con cerca 1.5 millones de litros al año, equivalentes a 180 millones de pesos (SADER, 2023; Salas y Hernández, 2015).

El mezcal guerrerense es reconocido por su excelente calidad y sabor característico, atribuibles tanto a las especies de agave utilizadas (principalmente cupreata, espadín y sacatoro) como a su proceso artesanal de elaboración. La trasmisión generacional del conocimiento tradicional ha sido fundamental para mantener está práctica productiva a lo largo de las generaciones (Aguirre-Dugua y Eguiarte, 2013).

[1] Centro de Investigación Científica de Yucatán A.C. Calle 43 No. 130 x 32 y 34 Col. Chuburná de Hidalgo. Mérida Yucatán. México.

[2] Centro de Estudios e Investigación en Biocultura, Agroecología, Ambiente y Salud. Av. Bora Bora, Lote 10B. Col. La Poza. Acapulco, Guerrero. México.

*Autor para correspondencia: santey@cicy.mx.

Los principales problemas de la producción del mezcal son la obtención de individuos a partir de poblaciones silvestres en etapa reproductiva, justo antes de su floración (esta práctica conduce a la supresión total de la producción de polen y semillas en estas plantas, que solo se reproducen una vez y mueren); el consumo por parte de los productores de las flores que producen en su etapa final; la poca organización de los productores locales; la mala planeación para el cultivo y venta del maguey; la falta de capacitación de los productores; la poca celeridad en los procesos de elaboración de mezcal; la carencia de cultura empresarial; el poco interés gubernamental para impulsar a este sector; y la escasa investigación, que permita conservar y utilizar de manera adecuada este recurso (Barrientos-Guerrero *et al*., 2020; Aguirre-Dugua y Eguiarte, 2013).

Los métodos tradicionales de cultivo, y las presiones externas generadas por el incremento de la industria tequilera y mezcalera a nivel nacional e internacional, han creado un serio problema de desabasto de plantas para la producción de mezcal, ocasionando que las poblaciones naturales sean depredadas, lo que puede generar una pérdida de su diversidad genética a corto plazo (Robert *et al*. 2004, Monja *et al*. 2019).

Por esto, la micropropagación representa una opción efectiva para el rescate y la producción rápida de un gran número de plantas libres de patógenos, al mismo tiempo que se realiza la selección de individuos élite vigorosos y de rápido crecimiento (Robert et al. 2004, 2006; Monja-Mio et al. 2019).

La carencia de material y, en particular, de material sobresaliente, puede subsanarse por medio de la selección masal y la rápida propagación de los materiales seleccionados por medio de la micropropagación.

Pese a que se dispone de métodos para generar decenas de miles de plantas clonales, y a que se conoce su potencial productivo, tanto en el henequén como en el tequila, esta tecnología no ha sido empleada rutinariamente (Robert *et al*., 1992, 2004, 2006a). Esto parece deberse a que la producción de materiales micropropagados es generalmente más costosa que la colecta de hijuelos convencionales. Sin embargo, el rápido desarrollo de los materiales seleccionados compensa con creces la diferencia

en costo, pero se requieren datos para cuantificar los beneficios económicos que pueden derivarse de su empleo. Adicionalmente, los materiales micropropagados adecuadamente manejados en vivero, pueden producir un gran número de hijuelos (derivadas) en doce meses, los cuales no solo incrementan la eficiencia del proceso de producción de líneas clonales, sino que abaratan su costo de producción.

El Centro de Investigación Científica de Yucatán (CICY) ha diseñado métodos de micropropagación (Robert *et al*., 1992) y ha desarrollado procesos de escalamiento de varias especies de agave que permiten la producción rápida de miles de plantas (Robert *et al*., 2006b). Asimismo, ha evaluado su desempeño en parcelas demostrativas que muestran que los materiales micropropagados presentan un desarrollo morfológico normal, y más rápido, que el de hijuelos convencionales (Eastmond *et al*., 2000).

El objetivo de este proyecto consistió en establecer un proceso de micropropagación a gran escala de los principales agaves utilizados en la producción de mezcal en el Estado de Guerrero, México.

## Establecimiento de un proceso de micropropagación de agaves mezcaleros

La micropropagación es la inducción y el desarrollo de nuevas plantas a partir de células o tejidos de plantas madre seleccionadas cultivadas *in vitro*. Bajo las condiciones adecuadas, se pueden producir miles de plantas clonales, genéticamente idénticas (o muy similares) a la planta madre en periodos de tiempo relativamente cortos y libres de patógenos (Monja-Mio *et al*., 2019).

La micropropagación se puede utilizar para una rápida multiplicación de especies que cuentan con pocos individuos o que presentan dificultades para propagarse por métodos convencionales. Existen diferentes vías de micropropagación, dentro de las cuáles se encuentran la organogénesis adventicia (formación de órganos) y la embriogénesis somática (formación de embriones), ambos procesos pueden desarrollarse de forma directa o indirectamente por lo que, para que pueda llevarse a cabo cualquiera de

estas vías, el explante cultivado *in vitro* debe poseer la información o los factores inductores para desencadenar el proceso (Tamayo-Torres y Monja 2021; Moreno-Martínez y Monja Mio 2021).

En Agaves, el protocolo básico es el reportado por Robert *et al.* (1992), a partir del cual se realizaron diferentes ajustes para este estudio. Con este protocolo es posible cultivar *in vitro* y micropropagar prácticamente cualquier especie de agave, y ha sido la base de variantes empleadas para *Agave fourcroydes*, *Agave tequilana*, *Agave angustifolia* Haw, *Agave sisalana* y el híbrido H11648 (Robert *et al*.,1987,1992, 2004, 2005).
Entre las variables más importantes que deben ser ajustadas para el establecimiento e iniciación del cultivo se encuentran las siguientes:

- Selección de material parental (estado fisiológico y fitosanitario del material).
- Selección correcta del tejido meristemático que será empleado como explante.
- Concentraciones y tiempos de incubación de las sustancias empleadas en el proceso de desinfestación.
- Intensidad y calidad de la luz en el cuarto de cultivo.
- El tipo de contenedor de cultivo.
- La temperatura controlada del cuarto de cultivo.

Estos puntos son particularmente relevantes para el establecimiento y la fase de inducción de los agaves empleados en este trabajo, debido a que provienen de regiones y condiciones muy diferentes, y a que se desconoce su edad y estado fisiológico. Adicionalmente, la mayoría de los materiales contienen diferentes tipos de hongos y bacterias que hacen muy difícil su establecimiento *in vitro.*

***Colecta y selección del material vegetal inicial***

La parte más difícil al iniciar un programa de clonación a partir de poblaciones silvestres, es la selección de los mejores individuos para ser utilizados como material parental. La selección a partir de poblaciones naturales presenta dificultades, como la imposibilidad de conocer las

condiciones en que se han desarrollado las plantas, su estado fisiológico, su salud, las condiciones ambientales -como la precipitación y la temperatura-, o su ecología -como el suelo y la topografía- (Monja *et al*. 2019). Es aquí donde radica la principal aplicación de la micropropagación de los agaves bajo un sistema integral de micropropagación, por lo que es muy importante prestar especial cuidado en la selección del material que se va a clonar.

La colecta del material vegetal en Guerrero se llevó a cabo entre el 9 y el 12 de diciembre de 2019 en tres municipios del estado (Huitzuco, Chilapa y Xochipala), con el valioso apoyo de los productores locales debido a la difícil accesibilidad de estas áreas (Fig. 1A). En total, se colectaron 33 plantas pertenecientes a dos especies de agaves: *A. cupreata* y *Agave angustifolia.* En el caso de *A. angustifolia*, se colectaron individuos de espadín y sacatoro, como se detalla en la Tabla 1.

Tabla 1. Plantas colectadas de A. cupreata y A. angustifolia en diferentes localidades de Guerrero

| Especie colectada | Tipo de tejido colectado | Nomenclatura de **Identificación** | Edad aprox. (años) | Lugar de colecta |
|---|---|---|---|---|
| | | Cup 6 | 2 | |
| A. cupreata | | Cup 7 | 2 | |
| | | Cup 8 | 2 | |
| | | Cup 9 | 6 | |
| | | Cup 10 | 1 | |
| | | Cup 11 | 1 | |
| | Piña o tallo | Cup 12 | 1 | |
| | | Cup 13 | 1 | |
| | | Cup 14 | 1 | |
| | | Cup 15 | 1 | |
| | | Cup 16 | 1 | Ahuacuotzintla |
| | | Cup 17 | 1 | |
| | | Cup 18 | 1 | |
| | | I1 (2 yemas) | N/D | |
| | **Inflorescencia** | I2 (2 yemas) | N/D | |
| | | I3 (10 yemas) | N/D | |
| | | **I4 (flores)** | N/D | |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| | | Zt 1 | N/D | |
| A. angustifolia | Plantas completas | Zt 2 | N/D | |
| | | Zt 3 | N/D | |
| | | Esp. 6 | 3 | A un costado de la fábrica de mezcal "En Compañía" |
| | | Esp. 7 | 3 | |
| | | Esp. 8 | 3 | |
| | | Esp. 9 | 3 | |
| | | Esp. 10 | 3 | |
| | | Esp. 11 | 3 | |
| | | Esp. 12 | 3 | |
| | | Esp. 13 | 4 | Loma de Coyotes |
| | | Esp. 14 | 4 | |
| | | Esp. 15 | 4 | El Vado |
| | | Esp. 16 | 4 | |
| | | Esp. 17 | 4 | |

Cup: cupreata; Zt: sacatoro; Esp: espadín; N/D: No determinado.

Para el proceso de recolección de las plantas seleccionadas, se procedió a cortarlas por la base a nivel del suelo (Fig. 1B y C), y podando tres rosetas de las hojas de la parte inferior (hojas senescentes y en ocasiones secas de la punta). La caracterización morfométrica del material vegetal fue realizada *in situ*, incluyendo el número de hojas, el tamaño de las hojas y el tamaño de la piña (Fig. 1D-F). Posteriormente, este material fue etiquetado y empaquetado para su envío al CICY-Mérida, en donde fue utilizado para el desarrollo de los protocolos de micropropagación y para los estudios de diversidad genética mediante marcadores moleculares (Fig. 1G y H).

Figura 1. Colecta de material vegetal en el estado de Guerrero. A) Cultivo de A. cupreata localizado en Ahuacuotzintla, B) Planta de A. cupreta seleccionada, C) Corte de la planta desde la base para evitar daño, D-G) Etiquetado, caracterización y obtención de los tejidos in situ, H) Preparación del material para su envío al laboratorio del CICY

Durante este proceso es importante evitar dañar el cogollo para reducir el riesgo de contaminación. Al transportar materiales desde los campos de cultivo alejados del laboratorio, se debe evitar dañar o mojar las plantas y asegurarse de que el tiempo de traslado no sea mayor a dos días, ya que todo esto puede ocasionar que las plantas se contaminen con bacterias y hongos, microorganismos que afectan la inducción *in vitro*. Es recomendable también la aplicación de fungicidas antes de empacar los materiales para su envío al laboratorio.

***Preparación y esterilización de los explantes***

Para evitar la introducción de tierra y microorganismos al laboratorio, las plantas fueron deshojadas totalmente, empezando por la base, evitando dañar el tallo, el cual se lavó con jabón líquido inoloro al 2% (Fig. 2A-C). Este tejido posteriormente se llevó al laboratorio, en donde se eliminaron las partes fibrosas (basal, superior y laterales) (Fig. 2C y D), hasta formar un cubo de tejido meristemático (Fig. 2E), a continuación, se lavó con Xtran® y se enjuagó tres veces con agua destilada antes de desinfectarlo bajo condiciones asépticas dentro de la campana de flujo laminar.

Figura 2. Proceso general de la propagación in vitro de Agaves Mezcaleros. A) Planta de A. cupreta seleccionada y colectada, B-D) Preparación y obtención del explante inicial, E y F) Desinfección del explante y obtención del cubo meristemático, G-K) Inducción de meristemos y formación de brotes, K y L) Fase de crecimiento, M y N) Fase de Multiplicación

***Inducción***

El cubo de tejido extraído y previamente lavado se remojó durante 25 minutos en una solución de cloralex al 40% v/v (Fig. 2F), se enjuagó tres veces con agua destilada estéril y se secó con una toalla de papel estéril. Posteriormente, se le cortaron y eliminaron las partes superficiales dañadas por el cloro (aproximadamente 3 mm de grosor por cara) y se dividió en tres niveles (Fig. 2E); posteriormente se seccionan en nueve cubos pequeños de aproximadamente 1 cm por lado. Los niveles superiores, con mayor cantidad de tejido meristemático, generalmente son los que dan mejores resultados, por lo que el inferior sólo se utiliza cuando no hay suficiente tejido para iniciar la propagación. Los explantes (cubos obtenidos), se sembraron en frascos de 120 ml conteniendo medio MSB (Medio Murashige and Skoog modificado) adicionado de 30 g/L de sacarosa, 0.113 µM 2,4-D, 44.4 µM BA y 10 g/L de Agar a razón de cuatro cubos por frasco (Fig. 2G, H y J).

Los explantes se incubaron en luz continua (230 µE/seg/m2) a una temperatura de 27 ± 2°C durante seis semanas (Fig. 2H-J) hasta que generaron brotes en el explante inicial y posteriormente fueron transferidos a condiciones de fotoperíodo para las fases de multiplicación-crecimiento. Es muy importante mantener los cultivos en este rango, ya que de no ser así se inhibe la formación de brotes en la fase inductiva y se reduce la capacidad de multiplicación.

***Fase de multiplicación y crecimiento (producción continua)***

Las fases de multiplicación y crecimiento, que generalmente ocurren por separado, se han integrado en una sola para reducir la cantidad de manipulaciones *in vitro*. Lo anterior ha permitido diseñar un proceso de producción en el que, en vez de manejar cientos de “mini sistemas” de propagación simultáneos, se establece un solo sistema de producción constante, a partir de una biomasa estable. Este sistema es fácilmente programable y simplifica la administración del tiempo de los técnicos en las campanas de flujo laminar. Los cultivos se cosecharon cada tres semanas, sacando las plantas que alcanzaron el tamaño adecuado (6 a 8 cm), y los nuevos brotes (de aproximadamente 1 a 2 cm) fueron resembrados en 16 grupos de dos a tres brotes por contenedor en un medio MSB, adicionado

de 30 g/L de sacarosa, 0.113 µM 2,4-D y 44.4 µM BA y 4 g/L de Agar (Fig. 2K-M).

En la fase de multiplicación se busca la máxima eficiencia en términos de número de nuevos brotes, tamaño y velocidad de propagación (Fig. 2N). Todo lo anterior depende de las condiciones físicas empleadas y de las combinaciones y concentraciones de reguladores de crecimiento empleados.

***Fase de enraizamiento y preadaptación***

Una de las principales dificultades de las técnicas de cultivo *in vitro* radica en que las condiciones artificiales de la misma (alta humedad relativa, presencia de sacarosa y luz artificial), generan plantas fisiológica y morfológicamente alteradas que no pueden sobrevivir en el medio ambiente natural. Por ello es necesario preadaptarlas proporcionándoles condiciones más semejantes a las naturales, que permitan un desarrollo normal. Estas plantas deben ser capaces de realizar la fotosíntesis eficientemente, por lo que los azúcares son removidos del medio y la intensidad luminosa se convierte en un factor clave. Además, es necesario reducir la humedad dentro del frasco del cultivo; ello se logra incrementando la concentración del agar o permitiendo el intercambio gaseoso a través de membranas.

En el caso de los agaves mezcaleros utilizados en este trabajo, primero las plántulas de la fase de crecimiento fueron transferidas al medio de enraizamiento conteniendo el medio MSB sin reguladores de crecimiento, en donde formaron las raíces que les permitió sobrevivir al ser trasplantadas a tierra (Fig. 3 A). Después de dos semanas en estas condiciones las plantas desarrollaron raíces, nuevas hojas con estomas normales y ceras en su cubierta, todo lo cual les permite una rápida adaptación al ser transferidas a tierra (Fig. 3B y C).

En cuanto a la preadaptación de estas plantas, esta se llevó a cabo en charolas de poliestireno, para lo cual fueron sembradas sobre una mezcla de turba y tierra (Fig. 3D-G), y colocadas en un sombreadero en invernaderos con riego por aspersión o neblina (Fig. 3 J-K). Este proceso no sólo permite adaptar decenas de miles de plantas simultáneamente, sino que reduce en gran medida los costos de producción.

Figura 3. Proceso general de aclimatización de plántulas de agaves mezcaleros micropropagadas. A-C) Plántulas obtenidas mediante cultivo in vitro, D) Preparación de charolas con una mezcla de tierra y Picmos, E-F) Siembra de las plántulas adicionando en la base un enraizador, H-I) Plantas aclimatadas en invernadero bajo riego de asperción y M) Planta de 4 meses de aclimatada

***Envío de material y recepción en zona de plantación***

Una vez pre-aclimatadas las plantas en los invernaderos del CICY por alrededor de 4-6 meses, y que generaron nuevas hojas y raíces (Fig. 4A-C), estas fueron empaquetadas en charolas de plástico con papel absorbente para evitar la deshidratación (Fig. 4D), y posteriormente acomodadas en cajas de cartón para su envío por paquetería para su recepción en las instalaciones de CICY en Acapulco, Guerrero al siguiente día de haber sido enviadas. Una vez que las plantas fueron recibidas, se procedió a distribuirlas a las diferentes comunidades para su trasplante en sus invernaderos o semilleros para su aclimatación en Guerrero y posterior siembra en campo.

Las plantas obtenidas también fueron enviadas directamente de las cajas magentas, las cuales fueron lavadas para eliminar el exceso de gelificante, y de igual manera que las aclimatadas en el invernadero fueron empaquetadas en charolas de plástico con papel absorbente para su envío a Guerrero (Fig. 4E y F). En este caso, las plántulas deben ser tratadas con mayor cuidado, ya que no han pasado por el proceso de aclimatación, y por ende la tasa de sobrevivencia puede ser menor.

En ambos casos, el proceso va acompañado de una capacitación de los productores para reducir al máximo la posible pérdida del material micropropagado. En nuestra experiencia, las plantas pre aclimatadas en los invernaderos del CICY, tienen mayor tasa de sobrevivencia, ya que se adaptan y se desarrollan a las condiciones ambientales de las diferentes comunidades.

Figura 4. Preparación de plantas de invernadero e in vitro para su envío y posterior siembra en campo. A) Plantas en invernadero aclimatadas en charolas, B y C) Selección de plantas para su empaquetamiento, D) Plantas empaquetadas en charola, D) Plántulas in vitro seleccionadas y limpiadas en el laboratorio, F) Plántulas empaquetas en charolas en el laboratorio

## Entrega de material vegetal a productores de la cadena agave-mezcal

En este subproyecto se ha trabajado con varias comunidades de Guerrero, principalmente de los municipios de Ahuacotzingo, Xochipala, Chilapa, Huitzuco de los Figueroa, Tixtla y Tepecoacuilco. El material vegetal generado se ha entregado a cerca de 50 productores que pertenecen a organizaciones como el sistema producto y consejo regulador de mezcal, así como a productores de la organización social Sanzekan Tanemi que trabaja con comunidades indígenas de la región centro montaña y el colectivo La Maroma de la comunidad de Omeapa; además de diferentes productores y sus familias de las comunidades de Zacazonapa, Omeapa, Ojitos de Agua, el Durazno y Ejido Plan de Guerrero del Municipio de Tixlta, así como también a una comunidad mixteca denominada el Calvario, del Municipio de Chilpancingo. Es importante mencionar que, en estas comunidades, la producción de mezcal es de manera artesanal, siguiendo la tradición de siglos, la cual se ha ido trasmitiendo y respetando de generación en generación.

En este sentido, se han generado mediante cultivo de tejidos y entregado plantas aclimatadas a diferentes productores del estado de Guerrero (Fig. 5A-C). El material entregado sirve como un instrumento que coadyuva y promueve el desarrollo regional tanto económico como social de las diferentes comunidades, así como un manejo sustentable de sus recursos, evitando la depredación de las poblaciones naturales de agaves y conservando esta actividad económica que es muy importante para muchas familias. Además, se cuenta con diversas líneas clonales con material que están en proceso de multiplicación en diversas etapas del cultivo de tejidos, las cuales servirán como reservorio o banco de germoplasma *in vitro*.

Actualmente, un total de 140,000 plantas se encuentran en plantaciones en campo y otro grupo se encuentra en el proceso de aclimatización *ex vitro* en las instalaciones del CICY y/o en semilleros de los productores, en espera de su adaptación para posteriormente ser transplantadas en campo.

Figura 5. Entrega de plantas y acompañamiento en el proceso de asimilación de la tecnología. A) Reunión con productores y entrega de plantas en las instalaciones de la ADESUR, B) Entrega de plantas en la comunidad de la Estacada, C) Entrega de plantas a productores del colectivo La Maroma de la comunidad de Omeapa en las instalaciones de la presidencia Municipal de Tixtla, D-F) Curso de capacitación del manejo de plantas derivadas del cultivo in vitro para la transferencia y asimilación de la Tecnología en las comunidades de Omeapa y la Estacada, en Tixtla

Es importante mencionar que, para el caso del Estado de Guerrero, el proceso es más largo, ya que las plantas deben permanecer en los invernaderos del CICY por un periodo mayor en un proceso de adaptación, esto

para aumentar la sobrevivencia en campo, derivado de la falta, en algunos casos, de invernaderos para el manejo de plantas generadas mediante cultivo *in vitro*. Además, su tasa de multiplicación ha sido más baja, en comparación a los agaves mezcaleros de Oaxaca. También, debemos destacar que la producción y envío de las plantas ha sido acompañada de una capacitación a las personas receptoras para garantizar su correcto manejo y disminuir al máximo pérdidas por manejo. Con relación al proceso *in vitro*, contamos con líneas clonales de diversos tipos de agaves mezcaleros de Guerrero y Oaxaca, y aunque el número de estructuras en las diversas fases es variable cada 28 días, se han mantenido activas y en fase productiva, resguardando la información a través de inventarios de los ciclos productivos.

## Acompañamiento en el proceso de asimilación de la tecnología

Tanto en Oaxaca como en Guerrero se han entregado plantas para el establecimiento de viveros o semilleros, y se han capacitado a los productores, productoras y a sus familias para el manejo adecuado del material derivado del sistema integral de micropropagación establecido en CICY. El material que se tiene en las diferentes regiones proviene de diversas líneas clonales y de varios tipos de agaves mezcaleros, caracterizados molecularmente y libres de fitopatógenos. Es importante mencionar que la capacidad para el establecimiento de viveros en Oaxaca y Guerrero es diferente entre las diversas regiones de incidencia, por lo que la asimilación de la tecnología se vuelve complicada en un inicio, ya que se tiene que establecer un proceso específico para la recepción y manejo, el cual depende de las capacidades y de la infraestructura con la que cuenten lo productores, por lo que entender estas necesidades y realidades, fue primordial para comenzar con la fase de asimilación de esta tecnología en el marco del proyecto.

Actualmente, las plantas se han adaptado muy bien en los viveros y semilleros de los diversos productores, los cuales están en general en áreas pequeñas pero distribuidas en sitios diversos (Fig. 6A y D). Aunque los viveros se han establecido, es necesario el seguimiento periódico y acompañamiento a las personas productoras, el cual, se puede considerar

como una actividad continua. Una parte del material entregado en Oaxaca ya se encuentra en marco de plantación, y en Guerrero se encuentra aún en fase de vivero, sin embargo, las plantas se han adaptado muy bien (Fig. 6C y E), y están en proceso de trasplante a campo.

Figura 6. Seguimiento al material micropropagado en semilleros e invernaderos en Guerrero. A y B) Siembra de plantas de Agave cupreata en la comunidad de El Calvario, del municipio de Chilpancingo, C) Mismo material después de 8 meses de haber sido trasplantado en semilleros y listo para plantaciones en campo, D) Siembra en invernadero de plantas de Agave espadín en la comunidad de la Estacada, del municipio de Tixlta, E y F) Mismo material después de 8 meses de ser trasplantado

Aunado a lo anterior, se propiciaron espacios de diálogo para intercambiar experiencias y saberes con los productores (se describe ampliamente en el capítulo 24 de este libro), que tuvieron como objetivo establecer estrategias para la asimilación y manejo adecuado del material recibido, así como conocer sus capacidades y necesidades (Fig. 5D-F). Para lograr el éxito de este objetivo, se realizaron diferentes talleres para la apropiación social del conocimiento, explicando de manera general el proceso de micropropagación de agaves en los laboratorios del CICY, hasta el establecimiento de lo que se denominan líneas clonales, originadas a partir del material colectado en su región (Fig. 2). Es importante mencionar que el compromiso de los productores fue una parte fundamental para la adaptación de las plántulas generadas mediante cultivo *in vitro,* sobre todo para asegurar su sobrevivencia y desarrollen en sus semilleros, hasta finalmente llevarlas de retorno al campo. En estos talleres participaron diversas personas productoras organizadas y a través del intercambio de experiencias, se construyó un conocimiento útil para convertir la ciencia y la tecnología en algo de valor para las familias mexicanas que se dedican a la producción de mezcal.

El desarrollo de este proyecto estuvo enfocado precisamente en brindar alternativas para el suministro del material, su manejo adecuado, cuidado, propagación y aprovechamiento en beneficio social. Si bien la cadena del mezcal es atractiva en términos de desarrollo social, económico y cultural, el nivel de desarrollo entre Oaxaca y Guerrero es asimétrico, razón por la cual el enfoque en cada región es marcadamente diferente; desde la aproximación con las personas, hasta la estrategia de asimilación de las herramientas generadas para que sea algo útil y complementario a sus sistemas productivos, lo cual ha llevado a un aprendizaje mutuo.

En este proyecto surgen varias preguntas a futuro que serán objeto de la escritura de proyectos enfocados a solventar cuestiones metodológicas sustantivas, como el establecimiento de plantaciones madre para obtención de semilla en *Agave cupreata*, y el entendimiento profundo de la diversidad genética de los agaves, para incluirlo en la estrategia productiva mediante el cultivo de tejidos, como herramienta complementaria a las prácticas agrícolas propias en cada región.

## Referencias

Salas, Jesús y Hernández, Laura (2015). "Mezcal cupreata, fuente de admiración". *Ciencia*, 66(3), pp. 41-47.

Aguirre-Dugua, Xitlali y Eguiarte, Luis (2013). "Genetic Diversity, Conservation and Sustainable Use of Wild *Agave cupreata* and *Agave potatorum* Extracted for Mezcal Production in Mexico". *Journal of Arid Environments*, 90, pp. 36-44.

Barrientos-Rivera, G., Hernández-Castro, E., Sampedro-Rosas, M. L., & Segura-Pacheco, H. R. (2020). Conocimiento tradicional y academia: productores de maguey y mezcal de pequeña escala en las regiones Norte y Centro de Guerrero, México. *Sociedad y Ambiente*, (23), 1-28.

SADER (Secretaria de Agricultura y Desarrollo Rural) (2023). Contribuye agroindustria del mezcal al desarrollo productivo de pequeños productores del Sur-Sureste del país. Recuperado de *https://www.gob.mx/agricultura/prensa/impulsa-agricultura-produccion-de-mezcal-en-13-entidades-del-pais?idiom=es*

Monja-Mio, K. M., Olvera-Casanova, D., Herrera-Herrera, G., Herrera-Alamillo, M. A., Sanchez-Teyer, F. L., & Robert, M. L. (2020). Improving of rooting and ex vitro acclimatization phase of Agave tequilana by temporary immersion system (BioMINT™). *In Vitro Cellular & Developmental Biology-Plant*, *56*, 662-66.

Monja-Mio K, Herrera-Alamillo MA, Robert ML (2016) Somatic embryogenesis in temporary immersion bioreactors. In: Loyola-Vargas MV, Ochoa-Alejo N (eds) Somatic embryogenesis: fundamental aspects and applications. *Springer International Publishing*, Cham, pp 435–454

Monja-Mio KM, Herrera-Alamillo MÁ, Sánchez-Teyer LF, Robert ML (2019) Breeding strategies to improve production of Agave (Agave spp.). In: *Advances in Plan Breeding Strategies: Industrial and Food Crops*. pp 319–362

Monja-Mio KM, Pool FB, Herrera GH, EsquedaValle M, Robert ML (2015) Development of the stomatal complex and leaf surface of

Agave angustifolia Haw. “Bacanora” plantlets during the in vitro to ex vitro transition process. *Sci Hortic* (Amsterdam) 189:32–40.

Monja-Mio KM, Robert ML (2016) Somatic embryogenesis in Agave: an overview Murashige T, Skoog F (1962) A revised medium for rapid growth and bioassays with tobacco tissue cultures. *Physiol Plant* 15:473–497.

Robert M, Herrera-Herrera J, Herrera-Alamillo M *et al* (2004*) Manual for the in vitro culture of Agaves.* United Nations Industrial Development Organization, Vienna.

Robert ML, Herrera JL, Chan JL, Contreras F (1992) Micropropagation of Agave spp. In: Bajaj YPS (ed) *Biotechnology in agriculture and forestry*, vol 19. Springer- Verlag, Berlin, pp 306–329

Robert ML, Herrera-Herrera JL, Castillo E *et al* (2006a) An efficient method for the micropropagation of Agave species. *Methods Mol Biol* 318:165–178. https://doi.org/10.1385/1-59259-959-1:165

Robert ML, Herrera-Herrera JL, Herrera-Herrera G *et al* (2006b) A new temporary immersion bioreactor system for micropropagation. Methods *Mol Biol* 318:121–129. https://doi.org/10.1385/1-59259-959-1:121.

Eastmond, A, Herrera JL, Robert ML (2000) *La biotecnología aplicada al Henequén: Alternetivas para el futuro.* Centro de Investigaciones Científica de Yucatán. México.p 17-25.

# Capítulo 9

# Aprovechamiento alternativo de los agaves mezcaleros del Pacífico Sur

*Javier Arrizon Gaviño[1*], Rosa María Camacho[1], Mirna Estarrón Espinosa[1], Anne C. Gschaedler Mathis[1]*

**Resumen**

La región Pacífico Sur de México, comprendida por los estados de Guerrero, Oaxaca y Chiapas, se caracteriza por el aprovechamiento de diferentes especies de agaves para obtener bebidas destiladas tales como el mezcal y el comiteco. La elaboración de estas bebidas constituye, en algunos casos, el principal sustento económico de algunas comunidades rurales en estos estados. Sin embargo, existen otros productos alternativos al mezcal con efectos benéficos a la salud que hasta el momento no se aprovechan, como los fructanos - contenidos en las cabezas de agaves (fibras prebióticas)- y compuestos fenólicos en las hojas (antioxidantes). En el caso de las hojas de los agaves, estas se desechan una vez que se jiman en la elaboración del mezcal, por lo que la determinación, extracción y caracterización de fructanos y antioxidantes contenidos en los agaves mezcaleros es de importancia relevante para su aprovechamiento alternativo en beneficio de las comunidades que elaboran estas bebidas destiladas.

Las actividades que fueron realizadas con la participación de diferentes productores de mezcal y comiteco en la región Pacífico Sur de México, en el marco del proyecto FORDECYT "Estrategias multidisciplinarias para

[1] Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco A.C., jparrizon@ciatej.mx

incrementar el valor agregado de las cadenas productivas del café, frijol, agave mezcalero y productos acuícolas (tilapia) en la región Pacífico sur a través de la ciencia, la tecnología y la innovación", son las que arrojaron los resultados que se desarrollan en este capítulo.

*Palabras clave*: Agaves, comiteco, compuestos fenólicos, fructanos, mezcal.

## Introducción

México se caracteriza por tener una gran biodiversidad de plantas crasuláceas o de metabolismo CAMP, entre ellas a la gran subfamilia *Asparagaceae*. En el país existen cerca de 200 especies de agaves, de las cuales alrededor de 20 se utilizan para la elaboración de bebidas alcohólicas destiladas o no. En el caso particular de la región Pacífico Sur, comprendida por los estados de Guerrero, Oaxaca y Chiapas, especies tales como *Agave angustifolia*, *A. cupreata*, *A. potatorum*, *A. karwinskii* y *A. americana* son las que principalmente se usan para elaborar bebidas como el mezcal, producido principalmente en Guerrero y Oaxaca; y el comiteco, en Chiapas. En el caso del mezcal, el proceso de elaboración involucra las etapas de jima -deshojado de las cabezas de agave-, cocimiento (normalmente en hornos de piedra sobre la tierra), molienda, fermentación y finalmente destilación. La bebida comiteco tiene un proceso similar al usado para elaborar pulque, en el cual se retira de una a dos hojas o pencas de agave para poder hacer una cavidad en la cabeza de agave. Esta herida ocasiona que se acumule la savia de la planta en dicha cavidad, conocida como aguamiel, rica en azúcares, minerales y vitaminas, la cual una vez fermentada produce el pulque: bebida viscosa con alto contenido de etanol, el cual se destila para obtener el comiteco.

La mayoría de estas bebidas todavía se elaboran a pequeña escala y de forma tradicional en comunidades rurales de las sierras de estos estados, constituyendo en muchas de ellas la principal actividad económica. Tanto en el proceso de elaboración de mezcal como en el de comiteco, el substrato o materia prima base para su obtención es el azúcar contenido en los agaves, el cual se encuentra de manera natural como polímeros ramificados

de fructosas (agavinas). Una vez hidrolizados por el cocimiento (mezcal) o por acción microbiana (comiteco), son transformados a etanol y compuestos volátiles por fermentación, los cuales contribuyen al buqué de estas bebidas. Sin embargo, de acuerdo con la literatura, los agaves también son una fuente de otras moléculas bioactivas, aparte de las agavinas concentradas en las cabezas o piñas de los agaves, a las que se les atribuyen propiedades funcionales por su poder prebiótico (estimulante de la flora benéfica estomacal), también es fuente de otras moléculas bioactivas tales como saponinas y compuestos fenólicos (antioxidantes) presentes principalmente en las hojas, de los cuales es posible su extracción para la elaboración de productos funcionales, cosmecéuticos o farmacéuticos.

Las especies de agaves más estudiadas en sus compuestos benéficos han sido *A. tequilana,* seguida de *A. angustifolia* y *A. salmiana*, agaves que han sido colectados del altiplano central mexicano. Los agaves de la región Pacífico Sur han sido poco caracterizados para su potencial aprovechamiento, razón por la cual en el marco del proyecto FORDECYT "Estrategias multidisciplinarias para incrementar el valor agregado de las cadenas productivas del café, frijol, agave mezcalero y productos acuícolas (tilapia) en la región Pacífico sur a través de la ciencia, la tecnología y la innovación", se colectaron y caracterizaron una mayor cantidad de agaves de diferentes especies para determinar el contenido de agavinas y antioxidantes contenidos en la elaboración de los diferentes tipos de mezcal y comiteco, provenientes de diferentes localidades de Guerrero, Oaxaca y Chiapas; esto en colaboración con los productores, mismos a los que se les transfirió un proceso casero de obtención de agavinas para consumo local.

## Materiales y métodos

### *Colecta de cabezas de agave para la extracción y caracterización de fructanos*

*Procedencia del material vegetal*

Las piñas de agave de diferentes especies recolectadas en diferentes regiones del sur de México son mostradas en la tabla 1. Se presenta la nomenclatura, la especie y la región de cada muestra. Las muestras descritas en esta sección

fueron utilizadas para la caracterización la distribución de tamaño molecular de los fructanos en la piña y su evaluación como prebióticos.

Tabla 1. Piñas de agaves colectados de la región Pacífico Sur de México

| Especie | Región/ Estado | Clave |
|---|---|---|
| ***Agave angustifolia***, espadín | Huitzuco, Guerrero | AAHG |
| ***Agave cupreata*** | Chilapa, Guerrero | ACCHG1 |
| ***A. cupreata***, primer muestreo | Mazatlán, Guerrero | ACMG |
| ***A. cupreata*** capón, primer muestreo | Los amates, Chilapa, Guerrero | ACCA1 |
| ***A. cupreata*** capón, primer muestreo | Los amates, Chilapa Guerrero | ACCA2 |
| ***Agave potatorum*** | San Juan del Rio, Oaxaca | APO |
| ***A. angustifolia***, espadín | San Juan del Rio, Oaxaca | AASRO1 |
| ***A. angustifolia***, espadín | San Juan del Rio, Oaxaca | AASRO |
| ***Agave americana***, piña | Comitán, Chiapas | AACHC |
| ***A. americana***, corazón y penca | Comitán, Chiapas | AACHCP |

### *Extracción de los fructanos de agave de la piña*

La obtención de los fructanos contenidos en las piñas provenientes de las diferentes muestras de la tabla 1 fueron extraídos con la siguiente metodología:

- Las piñas o cabezas de agave fueron lavadas con agua a presión para eliminar tierra y materia extraña.
- Se realizó la reducción de tamaño mediante cortes con cuchilla y coa, de forma manual.
- Los fragmentos de agave se procesaron en el molino de tres mazas, obteniéndose a partir de esta molienda el bagazo y el jugo de agave crudo.
- Al jugo de agave crudo se le practicó una coagulación térmica a 80 °C durante 30 min, seguido de un enfriamiento en hielo hasta 15 °C para evitar alguna fermentación o deterioro microbiológico.
- Centrifugación del jugo crudo de agave a 4000 rpm por 30 min.
- Recolección del sobrenadante y conservación a -12°C hasta su secado.
- Deshidratación por aspersión a 170 °C para lograr una temperatura

aproximadamente de 65-70 °C en la salida del producto.

- Envasado en bolsa plástica doble para evitar humectación de los fructanos.

***Análisis de distribución molecular por espectroscopia de masas por desorción ionización láser asistida por matriz acoplada al tiempo de vuelo (MALDI-TOF-MS)***

Los espectros de MALDI-TOF-MS, correspondientes distribuciones de peso molecular de diferentes fructanos de Agave (ATF), fueron llevados a cabo en un espectrómetro de masas UltraFlex I (Bruker Daltonics) equipado con un láser de nitrógeno con 377 nm y una fuente de extracción de iones sin rejilla. Las muestras fueron disueltas en el rango de mg/mL (2-5 mg.) en una solución agua:acetronitrilo 1:1 (v/v). La matriz fue el ácido 2,5-dihidroxi benzoico (DHB) a una concentración de 10 mg/mL, disuelto en una solución 1:1 agua:acetonitrilo (v/v). Las muestras y la matriz fueron aplicadas en un 1 µL en la placa de acero inoxidable y se dejaron secar a temperatura ambiente. Los espectros fueron tomados en modo linear positivo utilizando 200 disparos del láser en un rango de m/z de 100 a 5000 Da. La calibración del equipo se realizó utilizando el kit de calibración Pepmix (Bruker Daltonics) y el cálculo del grado de polimerización GP fue calculado con la ecuación (1) reportada de acuerdo a Moreno-Vilet *et al*. (2019), en donde $M_n$ es el valor de m/z encontrado por MALDI-TOF-MS.

$$GP = \frac{M_n - 18}{162.1} \quad (1)$$

***Cromatografía de exclusión de tamaño (HPLC-SEC)***

La distribución del grado de polimerización de los fructanos de agave (ATFs) de diferentes especies de *Agave* fueron cuantificados usando la metodología reportada por Moreno-Vilet (2017a). Las muestras fueron diluidas en 10 y 5 mL de agua MiliQ (18 MΩ) y filtradas a través de un filtro 0.45 µm de PES. El sistema consistió en un instrumento Waters e2695 Separation Module acoplado a un detector de índice de refracción (2414 RI). La fase estacionaria

fue una columna de exclusión de tamaño compuesta (Ultrahydrogel DP), equipada con una pre-columna (7.8 mm d.i. x 300 mm, Waters, Milford, Ma, USA), la cual tiene un rango de exclusión de 100 a 5000 Da. El volumen de inyección fue de 20 µL. La fase móvil fue agua MiliQ (18 MΩ) con un pH 5.4. El pH fue ajustado con NaOH o HCl y filtrada por membrana una de 0.22 µm. El flujo fue 0.36 mL $min^{-1}$ y la temperatura de la columna fue de 50 ºC. El sistema fue calibrado utilizando los siguientes estándares de peso molecular conocido: dextranos de 100 Da, maltoheptosa GP7, maltohexaosa GP6, maltopentosa GP5, maltotetraosa GP4, nistosa, 1-Kestosa, sacarosa y fructosa (Moreno-Vilet *et al*., 2017a). El cálculo de los parámetros de la distribución del peso molecular se realizó con las siguientes ecuaciones reportadas por Moreno-Vilet *et al.* (2017a):

$$M_n = \frac{\sum n_i M_i}{\sum n_i} \quad (2)$$

$$M_w = \frac{\sum n_i M_i}{\sum n_i M_i} \quad (3)$$

$$GP_n = \frac{M_n - 18}{162.1} \quad (4)$$

$$GP_w = \frac{M_w - 18}{162.1} \quad (5)$$

$$PD = \frac{M_w}{M_n} \quad (6)$$

Donde: n es el número de unidades de moléculas del polímero, $M_n$ es la masa molar promedio en número, $M_w$ es la masa molar promedio en peso, $GP_n$ es el grado de polimerización en número, $GP_w$ es el grado de polimerización en peso, y PD es la polidispersidad.

### *Cuantificación de sacarosa, glucosa y fructosa por HPLC-RI*

La cuantificación de la sacarosa, glucosa y fructosa presentes en las muestras de los fructanos de agave se realizó por HPLC-RI. Se utilizó un instrumento Waters e2695 Separation Module acoplado a un detector de índice de refracción 2414 RI. La fase estacionaria fue una columna Aminex HPX-87 C de intercambio iónico (300 x 7.8 mm, Biorad) equipada con una pre-columna, y la fase móvil fue agua MiliQ (18 MΩ). El flujo fue de 0.55 mL/min. La temperatura de operación de la columna fue de 60 ºC y el volumen de inyección fue de 10 µL. La curva de calibración de sacarosa, fructosa y glucosa fue realizada en un rango de 10 a 30 g $L^{-1}$ de cada componente. Los resultados se reportarán en porcentaje en base seca de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$\%\ base\ seca = \frac{peso\ del\ compuesto}{peso\ de\ la\ muestra} x100 \quad (7)$$

En donde el peso de compuesto será sacarosa, glucosa o fructosa dividido por el peso del polvo de los fructanos de agave.

***Evaluación del efecto prebiótico de fructanos de diferentes agaves***

Los fructanos de agave obtenidos en diferentes especies de agave y regiones fueron evaluados para conocer su efecto prebiótico La metodología fue la siguiente: primero se prepararon los pre-inóculos de las siguientes bacterias *L. plantarum, L. reuteri*, *L. rhamnosus*, *L. paracasei* y *L. fermentum,* las cuales fueron inoculadas en medio MRS y posteriormente incubadas a 37 ºC durante 24 h con agitación. Después, se preparó como medio de cultivo MRS utilizando como fuente de carbono 20 g $L^{-1}$ de fructanos de agave de diferentes especies, y como control se utilizó MSR. Las diferentes bacterias se inocularon de manera independiente a una concentración 1.2 *$10^6$ células $mL^{-1}$ de cada bacteria en matraces con medio MRS con presencia y ausencia de fructanos de agave, para así medir la cinética de crecimiento midiendo la densidad óptica (DO) a 600 nm durante 12 h a 37 ºC.

## *Colecta de hojas de agave para la extracción y caracterización de compuestos fenólicos*

### *Procedencia del material vegetal*

El origen de las hojas de agave usadas para obtener extractos sobre los que se evaluó el contenido de fenoles totales, flavonoides totales y la actividad antioxidante se describe en la tabla siguiente, donde se indica la clave asignada a cada material según la especie de *Agave* y su procedencia.

Para el caso de las muestras de *Agave americana* se analizó el contenido fenólico total y flavonoides totales en tres tipos de hoja definidas como hoja sana, hoja enferma y sección de hoja de jima alta (fotografías siguientes). Lo anterior se realizó con el objetivo de evaluar el contenido de compuestos fenólicos y la actividad antioxidante en diferentes secciones y estados fisiólogos de las hojas. De esta manera, la jima alta correspondió a la sección donde emergen las hojas de la misma piña.

Tabla 2. Origen, especie y clave de los extractos de las especies de agaves muestreados por región

| Especie | Región/ Estado | Clave |
|---|---|---|
| ***Agave angustifolia*** | Huitzuco, Guerrero | AAHG |
| ***Agave cupreata*** | Chilapa, Guerrero, primer muestreo | ACCHG1 |
| ***Agave cupreata*** | Chilapa Guerrero, segundo muestreo | ACCHG2 |
| ***Agave cupreata*** | Mazatlán, Guerrero | ACMG |
| ***Agave angustifolia,*** Haw | San Juan del Río, Oaxaca | AASRO |
| ***Agave angustifolia,*** Haw | San Francisco Sola, Oaxaca | AAOP |
| ***Agave potatorum*** | San Juan del Río, Oaxaca | APO |
| ***Agave karwinskii*** | San Juan del Río, Oaxaca | AK |
| ***Agave americana*** | Comitán, Chiapas | AAHS |
| ***Agave americana*** | Comitán, Chiapas | AAHE |

Figura 1. Muestreo de hoja sana (izq.), hoja enferma (centro) y jima alta (der) de ***Agave americana***, procedente de Comitán, Chiapas

## *Extracción y caracterización de compuestos fenólicos*

### *Diseño simplex-centroide*

Para determinar la mejor condición para la extracción de compuestos fenólicos se empleó un diseño en mezclas simplex-centroide, utilizando el modelo cúbico especial para determinar las interacciones de los tratamientos (mezclas o solventes de manera independiente) entre sí. Los solventes elegidos fueron A: Acetona (AcO), B: Etanol (EtOH) y C: Agua ($H_2O$). Los tratamientos propuestos en el diseño incluyeron a los disolventes de manera independiente, sus mezclas binarias 50:50 (v/v) entre ellos, así como ternaria. Esta información se resume en la tabla 3. Cada tratamiento se efectuó por triplicado n = 3, de forma aleatoria. Los datos de las variables evaluadas por este diseño se transformaron a la forma log10.

Tabla 3. Combinaciones experimentales derivadas del diseño experimental aplicado para la extracción de compuestos fenólicos por maceración

| Tratamiento | Composición de la mezcla de solventes |
|---|---|
| 1 | AcO 100% |
| 2 | EtOH 100% |
| 3 | Agua 100% |

| | |
|---|---|
| 4 | AcO-EtOH (50-50) % |
| 5 | AcO-Agua (50-50) % |
| 6 | EtOH-Agua (50-50) % |
| 7 | AcO-EtOH-Agua (33) % |
| 8 | AcO-EtOH-Agua (66-16-16) % |
| 9 | AcO-EtOH-Agua (16-66-16) % |
| 10 | AcO-EtoH-Agua (16-16-66) % |

***Obtención de extractos crudos mediante extracción por maceración***

Para efectuar la extracción, se adicionaron 0.1 g de polvo de agave seco tamizado a microtubos de 1.5 mL. Posteriormente, se añadió 1 mL de solvente acetona, etanol y agua en mezcla o de forma individual, según el tratamiento correspondiente al diseño experimental. Los tubos fueron protegidos de la luz y se dejaron macerar a temperatura ambiente durante 5 días; posteriormente fueron a centrifugados 3000 rpm por 5 min. El sobrenadante fue recuperado cuidadosamente y añadido a otro tubo eppendorf. Posteriormente, los extractos crudos fueron llevados a sequedad por centrifugación a vacío, mientras que los extractos acuosos fueron liofilizados a -40 °C durante 24 h (Puente-Garza *et al*., 2017). Cada extracto fue resuspendido en una mezcla etanol-agua 50:50 (v/v) y almacenado a -20°C hasta su determinación química.

***Caracterización química de los extractos crudos***

Para la determinación de fenoles totales se utilizó el método de Folin-Ciocalteau en microplaca para la determinación de los compuestos fenólicos totales, empleando el ácido gálico como estándar para cuantificación a una concentración de 0.5 g/L. Para la construcción de la curva de calibración se prepararon disoluciones en un rango de 5-300 mg/L según Rover y Brown (2013). Un volumen de 20 µL de extracto diluido se hizo reaccionar con 100 µL de reactivo de Folin al 10% (v/v) y se dejó reposar 5 min en oscuridad. Posteriormente, se añadieron 80 µL de Na2CO3 y se dejó un tiempo de 90

min en incubación a 30 °C en la oscuridad. La lectura de las diluciones para generar la curva de calibración fue efectuada por triplicado a 765 nm en un lector de placas marca ThermoFisher SCIENTIFIC®. Finalmente, las muestras correspondientes a los extractos crudos fueron igualmente medidas por triplicado en el lector de placas a una longitud de onda de 765 nm. Los resultados fueron expresaron como mg EAG/g de hoja seca.

***Determinación de flavonoides totales***

Se prepararon disoluciones de 5-600 µg/mL a partir de un patrón de quercetina con una concentración de 1 mg/mL. Posteriormente, se añadieron 1.5 mL de agua destilada, 0.225 mL de muestra de patrón y/o extracto, 70 µL de NaNO2 5% y 150 µL de AlCl3. En este punto, la mezcla se dejó reposar por 5 min posteriormente se adicionaron 0.5 mL de NaOH 1 M a la mezcla de reacción dejando reposar por 10 min más y, finalmente, se añadieron 2.5 mL de agua destilada. Una vez finalizado el tiempo de reacción y añadida el agua destilada, se homogenizó muy bien en un agitador. Posteriormente 200 µL fueron transferidos a una microplaca de 96 pocillos para su determinación de flavonoides. Las lecturas se llevaron a cabo en un espectrofotómetro UV-Vis marca ThermoFisher SCIENTIFIC ® a 510 nm (Dewanto *et al*., 2002). Las lecturas de los niveles de calibración y muestras fueron efectuadas por triplicado. Los resultados se expresaron como µg EQ/g de hoja seca.

***Evaluación de la actividad antioxidante por el método ABTS+***

Se preparó una solución de ABTS 7 mM y se hizo reaccionar con una solución de persulfato de amonio 2.45 mM para producir el radical ABTS+. El reactivo se dejó reposar 16 h en la oscuridad. Se empleó como estándar una solución de Trolox 1 mM, de la cual se prepararon disoluciones en un rango de 5-400µM para la construcción de la curva de calibración. La absorbancia del ABTS+ fue ajustada a 0.7 ± 0.02 a una longitud de onda de 734 nm. Para la determinación se emplearon 20 µL de extracto diluido, los cuales se hicieron reaccionar con 180 µL de ABTS+. Se dejó un tiempo de incubación de 6 min con 1 min de agitación en un lector de microplacas, y las mediciones se efectuaron por triplicado a la longitud de onda previamente

mencionada. Los resultados se expresaron como µM ET/g de hoja seca (López-Romero *et al.*, 2018).

***Evaluación de la actividad antioxidante por el método DPPH+***

Se preparó una solución de radical DPPH+ cuya concentración fue de 0.25 g/L diluida en metanol. Posteriormente la solución se ajustó a una absorbancia de 0.7 ± 0.02 a una longitud de onda de 515 nm. Como patrón se utilizó una solución de reactivo Trolox a una concentración de 1 mM, a partir del cual se elaboraron disoluciones en un rango de concentración de 400- 5 µM para la generación de la curva de calibración. Para la determinación se usaron 20 µL de extracto diluido y 180 µL de DPPH+. La medición se efectuó en un lector de microplacas con un tiempo de incubación de 30 min a la longitud de onda previamente mencionada. Las lecturas fueron efectuadas por triplicado. Los resultados se expresaron como µM ET/g de hoja seca (López-Romero *et al.*, 2018; Rahmani & Toumi Benali, 2016).

***Evaluación de la actividad antioxidante por el método de FRAP***

El reactivo FRAP se preparó mediante la mezcla de tres soluciones, las cuales fueron un buffer de acetatos 300 mM a un pH de 3.6 con acetato de sodio trihidratado/ácido acético glacial, una solución de TPTZ (Tri-Piridil-Triazina) 10 mM en una solución de HCl 40 mmol/L, y una tercera solución de FeCl3 anhidro 20 mM. Las tres soluciones en dicho orden se mezclaron en una relación 10:1:1. La solución de TPTZ (FeIII) posee una estabilidad de 3 h, por lo cual fue indispensable preparar reactivo fresco para su uso. Se añadieron 20 µL de extracto y 150 µL de solución de FRAP+III en los pocillos de una microplaca, posteriormente se dejó reposar 30 min. Transcurrido el tiempo, las muestras se leyeron por triplicado en un lector de microplacas UV-52 Vis a una longitud de onda de 593 nm. Los resultados se expresan como µmol equivalentes Trolox/g hoja seca (Yang *et al.*, 2018).

***Identificación de compuestos fenólicos en extractos crudos por UPLC-Qtof/MS***

La identificación de los compuestos fenólicos recuperados en los extractos crudos se efectuó mediante cromatografía líquida de alta resolución

(UPLC), utilizando un sistema Waters Acquity Ultra-Performance Liquid Cromatography (UPLC) H-Class (Milford, MA, EE. UU.). El equipo está equipado con un desgasificador de vacío, una bomba cuaternaria, un muestreador automático y un horno de columna. La separación se efectuó a una temperatura de 35 °C en una columna HPLC Zorbax-SB-C18 Agilent Technologies (4.6x150µm, 5µ). Se utilizaron como fases móviles A) agua acidificada con ácido fórmico 0.1% y B) acetonitrilo acidificado con ácido fórmico al 0.1%. El gradiente de elución inició con 100% de A, disminuyendo a 92% durante los siguientes 5 min, al 86.0% durante los próximos 10 min, al 77% durante los siguientes 14 min, al 68% durante los próximos 18.50 min, al 63% durante los siguientes 28 min, al 50% durante los próximos 30 min, al 92% por los siguientes 32 min, regresando a 100% de A a los 35 min, manteniéndose así hasta el final del análisis. El flujo de la fase móvil se mantuvo a 0.6 mL/min con un volumen de inyección de 10 µL. Posteriormente, fue efectuado un análisis de espectrometría de masas en un espectrómetro de masas Xevo G2-XS-QTof, equipado con una cámara de ionización por electroespray (IES). La adquisición de masas se operó en modo de iones negativos y positivos, cuyo rango de masas establecido fue de 50-2000 m/z. Las condiciones establecidas en el modo positivo fueron: voltaje del capilar 3.5 kV, voltaje de cono 20 kV, temperatura de desolvatación 400°C, temperatura de la fuente: 100 °C, utilizando argón como gas de colisiones, caudal del gas del cono 50 L/h y nitrógeno como gas de desolvatación a flujo de 700 L/h. Las condiciones para el modo de ionización negativo fue un rango de masas de 50-2000 m/z, voltaje del capilar 3.0 kV, voltaje del cono con 20 kV, temperatura de la fuente 100 °C, temperatura de desolvatación 400 °C, argón como gas de colisiones, flujo del gas en el cono a 50 L/h y nitrógeno como gas de desolvatación a flujo de 700 L/h. La identificación de las masas se basó en el criterio del error de la masa del metabolito tentativamente identificado con ayuda de las bases de datos de Pubchem: 54 https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/, Chemspider: http://www.chemspider.com/ y Metabolomics JP: http://metabolomics.jp/wiki/Index:FL, donde se encontraron las masas exactas de los flavonoides glicosilados. Posteriormente se calculó la diferencia de la masa expresada en ppm por la ecuación 1, considerando las diferencias de masas cercanas a cero

como valores aceptables para la identificación. Otros parámetros reportados del cromatograma iónico extraído fueron los tiempos de retención.

### *Cálculo del error de la masa:*

$$\Delta m=[(Masa\ exacta\ teórica-Masa\ exacta\ experimental)(Masa\ exacta\ teórcia)]*1*106 \quad \text{Ec. (1)}$$

## Resultados y discusión

### *Caracterización de fructanos y evaluación de su capacidad prebiótica*

*Análisis de la distribución de peso molecular de fructanos de agave por MALDI-TOF-MS*

En esta sección se describe el perfil de la distribución de peso molecular de diferentes muestras de fructanos de agave de la región del Pacífico Sur de México utilizado la técnica de MALDI-TOF-MS. La ilustración siguiente muestra los espectros de la distribución de peso molecular en diferentes especies de agave pertenecientes a la región del Pacífico Sur de México por la técnica de MALDI-TOF. En general, se puede apreciar que las especies de agave estudiadas contienen una mezcla de fructanos de cadena corta o fructooligosacários (GP 3-10) y de cadena larga fructanos (GP>10) en diferente porcentaje de abundancia relativa. Asimismo, se observa que solamente fue posible detectar con esta técnica fructanos con un valor de m/z 4800.86 Da, correspondiente a un GP 30 (Figura 2).

Figura 2. Espectros de la distribución de peso molecular de fructanos de agave de diferentes especies de la región del Pacífico Sur de México por MALDI-TOF-MS. a) AAHG b) ACCHG1 c) ACMG d) ACCA1 e) ACCA2, f) APO g) AASRO2 h) AASRO2, i) AACHC y j) AACHCP

En resumen, se puede inferir con la técnica de MALDI-TOF-MS el perfil de la distribución los fructanos hasta un GP de 30, en donde se observa la presencia de mezclas de fructanos de cadena larga y corta en diferente proporción en los agaves de diferente especie y lugares de muestreo. Sin embargo, para complementar la caracterización de los fructanos de agave es necesario analizar las muestras por HPLC-SEC para así poder cuantificar de manera más precisa la distribución de tamaño molecular de los fructanos de *Agave*.

***Análisis de la distribución del peso molecular de fructanos de agave por HPLC-SEC***

Los agaves colectados de diferentes especies y regiones del sur de México fueron estudiados para conocer la distribución de peso molecular de los fructanos contenidos en la piña del agave. La tabla 5 muestra la distribución de peso molecular de diferentes fructanos de agave contenidos en diferentes especies de agave pertenecientes a la región del Pacífico Sur de México. En general, se puede apreciar que las especies de agave estudiadas contienen una mezcla de fructanos de cadena corta o fructooligosacários (GP 3-10) y de cadena larga fructanos (GP >10) en diferentes proporciones, como se había observado de manera cualitativa por la técnica de MALDI-TOF-MS. Las especies de agave con un mayor porcentaje de fructanos de cadena larga observados son AAHG, ACCHG1, ACMG, APO, AASRO1 y AASRO2 con un porcentaje de 85.35,76.59, 86.74, 68.51, 83.18 y 83.22 % respectivamente. Por otro lado, los agaves ACCA1, ACCA2, AACC y AACHCP mostraron tener un mayor contenido en fructooligosacários de cadena corta (GP 3-10), con porcentaje de 58.40, 78.75, 61.96, 66.96%, respectivamente.

Tabla 4. Distribución del peso molecular de diferentes fructanos de Agave provenientes de diferentes especies de Agave de la región del Pacífico Sur de México obtenidos por la técnica de HPLC-SEC

| Muestra | Especie de agave | $M_n$ (g/mol) | $M_w$ (g/mol) | $GP_n$ | $GP_w$ | PD | $GP_n$>10 | $GP_n$ 3-10 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| AAHG | ***Agave angustifolia,*** *espadín*, Huitzuco, Guerrero | 3330.94 | 4071.57 | 20.44 | 25.01 | 1.22 | 85.35 | 14.65 |
| ACCHG1 | ***Agave cupreata*** Chilapa, Guerrero | 2834.08 | 3557.84 | 17.37 | 21.84 | 1.26 | 76.59 | 23.78 |
| ACMG | ***Agave cupreata***, Guerrero | 3551.52 | 4309.09 | 21.80 | 26.47 | 1.21 | 86.74 | 12.30 |
| ACCA1 | ***Agave cupreata*** *capón*, Guerrero | 1641.96 | 2044.75 | 10.02 | 12.50 | 1.25 | 41.60 | 58.40 |
| ACCA2 | ***Agave cupreata*** *capón*, Guerrero | 1338.33 | 2426.92 | 8.15 | 14.86 | 1.79 | 21.25 | 78.75 |
| APO | ***Agave potatorum***, San Juan del Río, Oaxaca | 2528.25 | 3185.72 | 14.87 | 19.54 | 1.31 | 68.51 | 31.49 |
| AASRO1 | ***Agave angustifolia***, San Juan del Río, Oaxaca | 2915.17 | 3473.38 | 17.89 | 21.39 | 1.19 | 83.18 | 16.82 |
| AASRO2 | ***Agave angustifolia*** *espadín*, San Juan del Río, Oaxaca | 2922.71 | 3488.80 | 17.92 | 21.41 | 1.19 | 83.22 | 16.51 |
| AACC | ***Agave americana*** (cabeza), Comitán, Chiapas | 2106.70 | 3745.93 | 12.89 | 23.00 | 1.78 | 38.04 | 61.96 |
| AACHCP | ***Agave americana*** (cabeza-penca), Comitán, Chiapas | 1872.76 | 3561.50 | 11.4 | 21.86 | 1.9 | 33.53 | 66.47 |

Donde:
n= Número de unidades de moléculas del polímero.
$M_n$=Masa molar promedio en número.
$M_w$=Masa molar promedio en peso.
$GP_n$= grado de polimerización en número
$GP_w$= grado de polimerización en peso.
PD=Polidispersidad.

En la literatura se encuentra reportado que la distribución de tamaño de los fructanos en el *Agave tequilana* va desde 3 a 30 unidades de fructosa,

en donde se puede observar que la distribución de tamaño con un DP de 4 a 42, con un contenido de fructanos de cadena larga (GP<10) del 70 %. En este sentido, al comparar los agaves muestreados en este proyecto de diferentes especies y regiones de México, se puede inferir que contienen un perfil de fructanos de manera similar; sin embargo, existen diferencias en la cantidad de fructanos de cadena larga y corta, lo cual puede variar por la edad y especie del agave. En conclusión, se puede inferir que los agaves de la especie *A. angustifolia* (Huitzuco, Guerrero), *Agave cupreata* (Chilapa, Guerrero), y *Agave potatorum* (San Juan del Río, Oaxaca) son los que contienen una mayor cantidad de fructanos de cadena larga y los agaves *Agave cupreata* capón (Los amates, Chilapa, Guerrero) y *Agave americana* (Comitán, Chiapas) contienen una mayor cantidad de fructanos de cadena corta.

***Evaluación del efecto prebiótico de fructanos de diferentes especies de Agave***

La figura siguiente muestra el crecimiento de diferentes probióticos sobre los fructanos extraídos de diferentes especies de agave del Pacífico Sur mexicano.

Figura 3. Curva de crecimiento 1.2x10$^{6}$ UFC ml$^{-1}$ de a) L. plantarum, b) L. reuteri, c) L. rhamnosus, d) L. paracasei y e) L. fermentum inoculados en medio MRS y medios MRS modificados con 20 g L$^{-1}$ fructanos de agave de diferentes especies y regiones de sur de México

Como se puede observar, la mayoría de los probióticos crecieron mejor sobre fructanos de *Agave cupreata*, con la excepción de *Lactobacillus paracacei*, que creció mejor sobre fructanos de *A. potatorum*. Como todas

estas fuentes de fructanos permiten el crecimiento de probióticos, se pueden usar para consumo humano como fibras prebióticas.

### *Caracterización de los compuestos fenólicos de hojas de agaves de diferentes especies*

Tabla 5. Contenido de fenoles totales y flavonoides totales en hojas de agaves de diferentes especies en diferentes regiones

| Agave (especie y región) | CPT (mg EAG/g hs) | CFT (µg EQC/g hs) |
|---|---|---|
| AAHG | 6.13 ± 0.91 | 3.06 ± 1.08 |
| ACMG | 18.7 ± 1.7 | 4.75 ± 0.3 |
| ACCHG1 | 15.7 ± 2.2 | 2.12 ± 0.2 |
| ACCHG2 | 22.8 ± 1.5 | 5.51 ± 0.6 |
| AASRO | 14.1 ± 1.5 | 4.71 ± 0.9 |
| AAOP | 27.9 ± 0.9 | 12.8 ± 0.5 |
| APO | 25.2 ± 1.3 | 5.2 ± 0.7 |
| AK | 39.0 ± 3.4 | 7.8 ± 0.4 |
| AAHE | 18.8 ± 1.1 | 5.4 ± 0.1 |
| AAHS | 10.3 ± 1.2 | 2.3 ± 0.8 |

Donde CPT: contenido de fenoles totales, CFT: contenido de flavonoides totales, EAG: equivalentes de ácido gálico, EQC: equivalentes de quercetina, hs: hoja seca.

Como se puede observar en la tabla anterior, los extractos de *A. karwinskii* (AK) y *A. angustifolia* (AAOP) de Oaxaca presentaron el mayor contenido fenólico total y de flavonoides totales, seguidos de los extractos de *Agave potatorum* (APO) de Oaxaca y *Agave cupreata* de Guerrero (ACCHG2). Se ha descrito que tanto el contenido fenólico como de flavonoides cambia con respecto la sección del tejido muestreado y edad del material (Medina-Galván *et al.*, 2018; Puente-Garza *et al.*, 2018). Recientemente Soto-Castro *et al.* (2021) obtuvieron extractos al 90% de etanol en hojas de *A. potatorum,* cuyo contenido de fenoles y flavonoides totales fue inferior a lo obtenido por la mezcla optimizada en el presente trabajo, lo cual evidencia que la alta proporción de disolvente acuoso permitió la mayor recuperación de polifenoles más solubles.

Es importante mencionar que el contenido fenólico y de flavonoides totales también cambió significativamente por condiciones medioambientales, ya que el extracto de hoja de *A. americana* con daño superficial (AAHE) tuvo un mayor contenido de estos metabolitos, comparado con el extracto del mismo agave con hojas sanas (AAHS). Los resultados de los tres ensayos de actividad antioxidante evaluados sobre los extractos obtenidos de cada especie bajo condiciones optimizadas se resumen en la tabla 6. De acuerdo con los análisis de varianza, la actividad antioxidante mostró diferencias estadísticas significativas con respecto a la región, especie y la interacción de ambos factores, ya que su valor-P fue (<0.05), como se muestra también en la tabla 6. Lo anterior indicó que la actividad antioxidante fue diferente al cambiar la especie y la región. Esto concordó con los resultados obtenidos por Ahumada-Santos *et al*. (2013) y Rahmani y Toumi Benali (2016).

Tabla 6. Actividad antioxidante medida con tres métodos diferentes en hojas de agaves de diferentes especies de diferentes regiones

| Agave | $ABTS^{+}$ | $DPPH^{+}$ | $FRAP^{Fe(III)}$ |
|---|---|---|---|
| AAHG | 45.1 ± 13.9 | 32.8 ± 1.05 | 30.5 ± 1.60 |
| ACMG | 48.1 ± 3.85 | 19.0 ± 4.23 | 25.0 ± 2.02 |
| ACCHG1 | 77.0 ± 11.5 | 33.5 ± 6.35 | 30.4 ± 1.82 |
| ACCHG2 | 66.2 ± 6.82 | 31.7 ± 1.24 | 31.3 ± 0.57 |
| AASRO | 57.3 ± 7.06 | 28.7 ± 3.10 | 32.2 ± 0.83 |
| AAOP | 32.6 ± 0.91 | 17.3 ± 0.36 | 13.9 ± 0.78 |
| APO | 72.0 ± 6.21 | 32.6 ± 3.45 | 34.3 ± 1.28 |
| AK | 90.3 ± 8.21 | 30.5 ± 4.08 | 44.7 ± 1.26 |
| AAHE | 49.0 ± 6.27 | 22.8 ± 4.3 | 19.8 ± 0.85 |
| AAHS | 42.9 ± 10.8 | 13.6 ± 1.8 | 26.6 ± 0.63 |

***Determinaciones ABTS+, DPPH+ y FRAP+III expresadas en µmol ET/g hs.***

El extracto etanol-agua de A. *karwinskii* presentó la mayor capacidad anioxidante en los ensayos ABTS+ y FRAP+III. Hasta la fecha no existen datos reportados sobre la composición fitoquímica de esta especie. Tanto la actividad antioxidante como contenido fenólico y de flavonoides de los extractos evaluados en este trabajo fueron diferentes con respecto a

lo reportado en literatura. Estas variaciones pueden atribuirse al método extractivo, especie de agave utilizada, condiciones climáticas y edad del material empleado (Puente-Garza *et al.*, 2018). Por ejemplo, el contenido de fenoles totales y actividad antioxidante por el ensayo DPPH+ del extracto de *A. angustifolia* (AAOP) fueron superiores a los reportados sobre esta especie por Ahumada-Santos *et al.* (2013). No obstante, sobre esta misma especie López-Romero *et al.* (2018) reportaron un contenido inferior de fenoles totales, pero superior en actividad antioxidante por los ensayos ABTS+, DPPH+ y FRAP+III con respecto a los evaluados en este trabajo. Estas diferencias se atribuyeron a la eficiencia de la extracción por ultrasonido, empleada por Lòpez-Romero *et al.* (2018). Con respecto al extracto de hoja deteriorada de *A. americana*, la actividad antioxidante fue similar a lo reportado del ensayo DPPH+ por Ben Hamissa *et al.* (2012). Sin embargo, los estudios realizados por Moumen y Rahmani (2015) y Rahmani y Benali (2016) describieron un contenido de fenoles totales y actividad antioxidante inferior a los obtenidos en ambos extractos de esta especie. Cabe mencionar que procedieron de extractos metanólicos y acuosos, lo cual evidencia la eficacia de las mezclas etanólicas por extraer compuestos fenólicos con actividad antioxidante. El contenido fenólico se correlacionó de manera significativa con la actividad antioxidante evaluada por ABTS+ y FRAP+III, cuyos r2 = 0,74 y 0,64. Asimismo, el contenido de flavonoides totales sobre los mismos ensayos obtuvo r2 = 0,44 y 0,48.

Las correlaciones significativas con respecto a estos dos métodos implican que el mecanismo de acción de los polifenoles presentes en los extractos predominantemente es su capacidad captora de radicales libres y moderadamente reductora sobre especies oxidantes (Lfitat *et al*., 2021; Rajurkar & Hande, 2011; Suleria *et al*., 2020). Esta correlación moderada puede atribuirse también a la naturaleza de los polifenoles glicosilados, cuya actividad antioxidante es menor que sus formas agliconadas (Baran *et al*., 2020; Li *et al*., 2009). Barriada-Bernal *et al.* (2014b) correlacionaron significativamente la actividad antioxidante reductora de flavonoides glicosilados derivados del kaempferol y la quercetina.

A continuación, se enlistan los perfiles de los metabolitos identifi-

cados en extracciones por maceración. Como se puede observar, algunos de ellos son comunes entre las diferentes especies de agave, tales como los derivados de kaempferol, quercetina y apigenina y otros compuestos se le pueden atribuir a cada especie.

***Compuestos fenólicos identificados por UPLC-Qtof/MS en extractos etanólicos de diferentes especies de agaves***

***Agave angustifolia***

Puerarin 6”-O-xyloside.
Phellavin.
Apigenin 6-C-α-L-arabinopyranoside-8-C-β-D-glucopyranoside.
4-Methoxycinnamic acid (2S)-2-[β-D-glucopyranosyl)oxy]propyl ester.
Lippioside II.
Delphinidin-3-fructoside.
Eugenol rutinoside.
Kushenol G.
Mexoticin 3’O-(6-O-D-apiofuranosyl-D-glucopyranoside).
5,4’-Dihydroxy-6-C-prenylflavanone 4’-xylosyl- (1->2)-rhamnoside.
Formononetin 7-O- (2”-p-hydroxybenzoylglucoside-tri-O-protocatechuoylglucose.
Chalconaringenin 2’-rhamnosyl-(1→4)-xyloside.
Amurensin.
2,3,6,8-Tetrahydroxy-7-[3-O-(4-hydroxybenzoyl)-beta-D-glucopyranosyl]-9H-xanthene-9-one.
Sarsasaponin monoglucoside.
Pieceid-2’’-O-gallate.
Kaempferol-3-gluco-7-rhamnoside.
Petunidin 3-[6-(rhamnosyl)-2-(xylosyl) glucoside].
Cyanidin 3-O-rutinoside.

***Agave karwinskii***

Apigenin 6-C-α-L-arabinopyranoside-8-C-β-D-glucopyranoside.
Puerarin 6”-O-xyloside.

4’-O-methyl-(-)-epicatechin-5-O-beta-glucuronide.
Kaempferol-3-O-(apiofuranosyl-(1’’’-2’’))-galactopyranoside.
Luteolin 7-arabinopyranosyl-(1→6)-glucoside.
Quercetin 3-xylosyl-(1→2)-rhamnoside.
Kushenol G.
4-Methoxycinnamic acid (2S)-2-[β-D-glucopyranosyl)oxy]propyl ester.
Delphinidin-3-fructoside.
Phlorizin dihydrate.
5-Hydroxy-6,7,3’,4’,5’-pentamethoxyflavanone 5-O-rhamnoside.
Lippioside II.
Sempervirenoside B.
Mexoticin 3’O-(6-O-D-apiofuranosyl-D-glucopyranoside).
Sempervirenoside B.
Platanionoside E.
5,4’-Dihydroxy-6-C-prenylflavanone 4’-xylosyl- (1→2) -rhamnoside.
Chalconaringenin 2’-rhamnosyl-(1→4)-xyloside.
3,4,5-Tri(galloyloxy)benzoic acid.
Afzelechin 7-O-β-D-apiofuranoside.
4.2 3,3’-(4-Hydroxybenzylidene)-bis(4-hydroxycoumarin).
Pelargonidina-3-O-feruloil-diglucósido.
2’-Methoxydihydrobonducellin.
2,3,6,8-Tetrahydroxy-7-[3-O-(4-hydroxybenzoyl)-β-D-glucopyranosyl]-9H-xanthene-9-one.
5-hydroxy-4’,7-dimethoxy-8-rhamnosylisoflavone.
3-Heptyl-6,8-dihydroxy-7-methyl-2-benzopyrylium.
Pieceid-2’’-O-gallate.
Sarsasaponin monoglucoside.
Ephedrannin A.

***Agave cupreata***

Formononetin 7-(2-p-hydroxybenzoylglucoside).
Epigallocatechin 3-O-(3,5-di-O-methylgallate).

Catechin 3-O- (1-hydroxy-6-oxo-2-cyclohexene-1-carboxylate).
tri-O-protocatechuoylglucose.
Amurensin.
Apigenin 6-C-α-L-arabinopyranoside-8-C-β-D-glucopyranoside.
4-Methoxycinnamic acid (2S)-2-[(β-D-glucopyranosyl)-oxy]-propyl ester.
Delphinidin-3-fructoside.
Kushenol G.
Lippioside II.
(+)-9'-O-(E)-Feruloyl-5,5'-dimethoxyariciresinol.
2-(3,4-Dihydroxyphenyl)-3,5,7-trihydroxy-8-[(2R,3R,4S,5S,6R)---3,4,5,6-tetrahydroxyoxan-2-yl]-oxychromen-4-one.
Mexoticin 3'O-(6-O-D-apiofuranosyl-D-glucopyranoside).
5,4'-Dihydroxy-6-C-prenylflavanone-4'-xylosyl-(1→2)-rhamnoside.
Platanionoside E.
Pelargonidina-3-O-feruloil-diglucósido*.
Peonidin 3-rutinoside.
Myricetin 3- (2"-galloylrhamnoside).
Sarsasaponin monoglucoside.
Kaempferol-3-gluco-7-rhamnoside.
Petunidin 3-[6-(rhamnosyl)-2-(xylosyl)-glucoside].
Cyanidin 3-O-rutinoside.

***Agave potatorum***

Quercetin 3-xylosyl-(1→2)-rhamnoside
Phellavin.
3,7,3',4'-tetramethylquercetin 2'-O-β-D-glucoside.
Lippioside II.
4-Methoxycinnamic acid (2S)-2-[β-D-glucopyranosyl)oxy]enzoi ester.
Eugenol rutinoside.
Delphinidin-3-fructoside.
Oregonin.
Platanionoside E.

Sempervirenoside B.
Mexoticin 3'O-(6-O-D-apiofuranosyl-D-glucopyranoside).
5,4'-Dihydroxy-6-C-prenylflavanone 4'-xylosyl-(1→2)-rhamnoside.
Chalconaringenin 2'-rhamnosyl- (1→4) -xyloside.
Formononetin 7-O- (2"-p-hydroxybenzoylglucoside.
tri-O-protocatechuoylglucose.
3,4,5-Tri(galloyloxy)enzoica cid.
Epigallocatechin 3-O- (3,5-di-O-methylgallate).
Amurensin.
Genistein 7-O-alpha-4'-anhydro-4',5'-didehydroglucuronide.
Pelargonidina-3-O-feruloil-diglucóside.
Sarsasaponin monoglucoside.
Myricetin 3- (2"-galloylrhamnoside).
Peonidin 3-rutinoside.
Cyanidin 3-O-rutinoside.

***Agave americana* (hoja sana)**

Apigenin 6-C-alpha-L-arabinopyranoside-8-C-beta-D-glucopyranoside.
Quercetin 3-rhamnoside-7-α-L-arabinopyranoside.
3,7,3',4'-tetramethylquercetin 2'-O-β-D-glucoside.
Phellavin.
4-Methoxycinnamic acid (2S)-2-[β-D-glucopyranosyl)oxy]propyl.
Platanionoside E.
5,4'-Dihydroxy-6-C-prenylflavanone 4'-xylosyl- (1→2) -rhamnoside.
5,4'-Dihydroxy-6-C-prenylflavanone 4'-xylosyl- (1→2) -rhamnoside.
Formononetin 7-(2-p-hydroxybenzoylglucoside).
Chalconaringenin 2'-rhamnosyl-(1→4)-xyloside.
Sarsasaponin monoglucoside.
Kaempferol-3-gluco-7-rhamnoside.
Cyanidin-3-O-rutinoside.
Petunidin 3-[6-(rhamnosyl)-2-(xylosyl)-glucoside].

***Agave americana* (hoja enferma)**

Apigenin 6-C-alpha-L-arabinopyranoside-8-C-beta-D-glucopyranoside.

Phellavin.

Lippioside II.

4-Methoxycinnamic acid (2S)-2-[β-D-glucopyranosyl)oxy]propyl ester.

Platanionoside E.

Mexoticin 3'O-(6-O-D-apiofuranosyl-D-glucopyranoside).

Sempervirenoside B.

5,4'-Dihydroxy-6-C-prenylflavanone 4'-xylosyl- (1->2) -rhamnoside.

tri-O-protocatechuoylglucose.

3,4,5-Tri(galloyloxy)benzoic acid.

Formononetin 7-O- (2"-p-hydroxybenzoylglucoside).

Sarsasaponin monoglucoside.

Pieceid-2''-O-gallate.

Kaempferol-3-gluco-7-rhamnoside.

Petunidin 3- 6-(rhamnosyl)-2-(xylosyl) glucoside].

Cyanidin 3-O-rutinoside.

## Conclusiones

Los resultados de este trabajo muestran que los agaves del Pacífico Sur mexicano, empleados en la elaboración del mezcal en Guerreo y Oaxaca y del comiteco en Chiapas, tienen diferente composición en sus compuestos bioactivos. En el caso de los fructanos, existen variaciones en el grado de polimerización debidas a las especies y a las características geográficas de donde fueron colectados. En el caso de los compuestos fenólicos (antioxidantes), las diferencias se atribuyen más a las especies, muchos de los cuales tienen propiedades biológicas benéficas a la salud. Por lo tanto, los agaves de la región Pacífico Sur constituyen una fuente de moléculas bioactivas como fibras prebióticas (fructanos) y antioxidantes (compuestos fenólicos), por lo que se pueden extraer para formular productos con efectos benéficos

a la salud, con beneficios potenciales sociales y económicos para las comunidades que elaboran estas bebidas.

## Refrencias

Ahumada-Santos, Y. P., Montes-Avila, J., Uribe-Beltrán, M. de J., Díaz-Camacho, ç S. P., López-Angulo, G., Vega-Aviña, R., López-Valenzuela, J. Á., Heredia, J. B., & Delgado-Vargas, F. (2013). Chemical characterization, antioxidant and antibacterial activities of six Agave species from Sinaloa, Mexico. *Industrial Crops and Products*, *49*, 143-149. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2013.04.050

Baran, M. Y., Emecen, G., Simon, A., Tóth, G., & Kuruuzum-Uz, A. (2020). Assessment of the antioxidant activity and genotoxicity of the extracts and isolated glycosides with a new flavonoid from Lotus aegaeus (Gris.) Boiss. *Industrial Crops and Products*, *153*, 112590. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2020.112590

Barriada-Bernal, L. G., Almaraz-Abarca, N., Delgado-Alvarado, E. A., Gallardo-Velázquez, T., Ávila-Reyes, J. A., Torres-Morán, M. I., González-Elizondo, M. D. S., & Herrera-Arrieta, Y. (2014b). Flavonoid composition and antioxidant capacity of the edible flowers of Agave durangensis (Agavaceae). *CYTA - Journal of Food*, *12*(2), 105-114. https://doi.org/10.1080/19476337.2013.801037

Ben Hamissa, A. M., Seffen, M., Aliakbarian, B., Casazza, A. A., Perego, P., & Converti, A. (2012). Phenolics extraction from Agave americana (L.) leaves using high-temperature, high-pressure reactor. *Food and Bioproducts Processing*, *90*(1), 17-21. https://doi.org/10.1016/j.fbp.2010.11.008

Dewanto, V., Wu, X., Adom, K. K., & Liu, R. H. (2002). Thermal Processing Enhances the Nutritional Value of Tomatoes by Increasing Total Antioxidant Activity. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, *50*(10), 3010–3014. https://doi.org/10.1021/jf0115589

Lfitat, A., Zejli, H., Bousraf, F. Z., Bousselham, A., El Atki, Y., Gourch, A., Lyoussi, B., & Abdellaoui, A. (2021). Comparative assessment of total phenolics content and in vitro antioxidant capacity variations of

macerated leaf extracts of Olea europaea L. and Argania spinosa (L.) Skeels. *Materials Today: Proceedings*, *xxxx*. https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.12.990

Li, C., Du, H., Wang, L., Shu, Q., Zheng, Y., Xu, Y., Zhang, J., Zhang, J., Yang, R., & Ge, Y. (2009). Flavonoid Composition and Antioxidant Activity of Tree Peony (Paeonia Section Moutan) Yellow Flowers. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, *57*(18), 8496–8503. https://doi.org/10.1021/jf902103b

López-Romero, J. C., Ayala-Zavala, J. F., González-Aguilar, G. A., Peña-Ramos, E. A., & González-Ríos, H. (2018). Biological activities of Agave by-products and their possible applications in food and pharmaceuticals. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, *98*(7), 2461-2474. https://doi.org/10.1002/jsfa.8738

Medina-Galván, M. I., Bernardino-Nicanor, A., Castro-Rosas, J., De La Luz Xochilt Negrete-Rodríguez, M., Conde-Barajas, E., & González-Cruz, L. (2018). Antimicrobial and antioxidant activity of flower scape extracts of Agave salmiana: Effect of the extraction solvent and development stage. *Research Journal of Biotechnology*, *13*(12), 1-9.

Moreno-Vilet L, Bostyn S, Flores-Montaño JL, Camacho-Ruiz RM (2017) Size-exclusion chromatography (HPLC-SEC) technique optimization by simplex method to estimate molecular weight distribution of agave fructans. Food Chem 237:833-840. doi: 10.1016/j.foodchem.2017.06.020

Moreno-Vilet L, Bostyn S, Flores-Montaño JL, Camacho-Ruiz RM (2019) Comparative data of molecular weight distribution of agave fructans fractions using MALDI-TOF and HPLC-SEC. Data Br. doi: 10.1016/j.dib.2019.103984

Moumen, F., & Rahmani, M. (2015). *First determination of phenolic compound concentration and antioxydant activity of Agave americana leaves extracts from different regions of Algeria ( NW )*. *3*(May), 1-6.

Puente-Garza, C. A., Espinosa-Leal, C. A., & García-Lara, S. (2018). Steroidal saponin and flavonol content and antioxidant activity during sporophyte Development of Maguey (*Agave salmiana*). *Plant Foods*

*for Human Nutrition*, *73*(4), 287–294. https://doi.org/10.1007/s11130-018-0684-z

Puente-Garza, C. A., Meza-Miranda, C., Ochoa-Martínez, D., García-Lara S. (2017). Effect of in vitro drought stress on phenolic acids, flavonols, saponins, and antioxidant activity in *Agave salmiana*. *Plant Physiology and Biochemistry, 115*, 400-407. https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2017.04.012

Rahmani, H., & Toumi Benali, F. (2016). Phenolic quantification and antioxidant activity of agave Americana leaves depending on solvent and geoclimatic area, (October). Retrieved from http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/

Rajurkar, N., & Hande, S. (2011). Estimation of Phytochemical Content and Antioxidant Activity of Some Selected Traditional Indian Medicinal Plants. *Indian Journal of Pharmaceutical Sciences*, *73*, 146-151. https://doi.org/10.4103/0250-474X.91574

Rover, M. R. and Brown, R. C. (2013). Quantification of total phenols in bio-oil using the Folin-Ciocalteu method. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, *104*, 366-371. https://doi.org/10.1016/j.jaap.2013.06.011

Soto-Castro, D., Pérez-Herrera, A., García-Sánchez, E., & Santiago-García, P. A. (2021). Identification and Quantification of Bioactive Compounds in Agave potatorum Zucc. Leaves at Different Stages of Development and a Preliminary Biological Assay. *Waste and Biomass Valorization*, *0123456789*. https://doi.org/10.1007/s12649-020-01329-2

Suleria, H. A. R., Barrow, C. J., & Dunshea, F. R. (2020). Screening and characterization of phenolic compounds and their antioxidant capacity in different fruit peels. *Foods*, *9*(9). https://doi.org/10.3390/foods9091206

Yang, X. J., Dang, B., Fan, M.T, (2018). Free and bound phenolic compound content and antioxidant activity of different cultivated blue highland barley varieties from Qinhai-Tibet plateau. *Molecules, Apr. 11, 23 (4)*, 879. https://doi.org/10.3390/molecules23040879.

# Capítulo 10

# Uso de biorreactores para el escalamiento en la producción de plántulas de ***Coffea spp.*** generadas mediante embriogénesis somática

*Hugo A. Méndez-Hernández[1,3], Rosa M. Galaz-Ávalos[1,3], Ana O. Quintana-Escobar[1], Rodolfo Pech-Hoil[1], Ana M. Collí-Rodríguez[2], Itzamná Q. Salas-Peraza[2] y Víctor M. Loyola-Vargas[1*]*

**Resumen**

En este proyecto se establecieron dos sistemas para la inducción de la embriogénesis somática (ES) en dos especies del género *Coffea,* así como los correspondientes protocolos para su producción masiva. Se emplearon dos sistemas de escalamiento: los reactores tipo BioMINT™ y los tipo SETIS™. El sistema SETIS™ dio mejores resultados que el sistema BioMINT™. También se probaron dos tipos de inóculo: plántulas de 2 cm de longitud y embriones somáticos en el estadio cotiledonar. Este último tipo de inóculo en los biorreactores tipo SETIS™ dio mejores resultados y acortó el tiempo de producción de las plántulas en ocho semanas. También se determinó que el mejor sustrato para el cultivo de las plantas durante la aclimatación fue una mezcla de suelo de jardín, turba y agrolita (1:1:0.5). Las plantas producidas en los biorreactores tuvieron una tasa de adaptación de más del 90%. Las plantas obtenidas fueron entregadas a cafeticultores del estado de Guerrero.

[1] Unidad de Biología Integrativa, Centro de Investigación Científica de Yucatán, Calle 43, No.130 x 32 y 34, Mérida, Yuc. 97205, México.

[2] Parque Científico y Tecnológico de Yucatán, Carretera Sierra Papacal - Chuburna Puerto, Km. 5.5, Sierra Papacal, Yuc. 97302, México. email: vmloyola@cicy.mx

[3] Estos autores contribuyeron igualmente.

*Palabras clave*: *Coffea arabica*; *Coffea canephora*; embriogénesis somática; escalamiento.

## Introducción

El café es, en términos económicos, el producto agrícola más importante del mundo. Su cultivo se extiende por más de 11 millones de hectáreas, principalmente en las regiones tropicales y subtropicales de África, Asia y América Latina (Guimarães *et al*., 2019). Más de 90 millones de personas trabajan en su cultivo. Se conocen más de 124 especies del género *Coffea* y todas ellas son árboles o arbustos leñosos perennes que varían en morfología, tamaño y adaptación ecológica (Davis *et al*., 2006; 2011; Denoeud *et al*., 2014; Ferreira *et al*., 2019). De todas las especies del género *Coffea*, solo dos se emplean para la producción comercial de café: *Coffea arabica* y *C. canephora*, que representan el 60% y el 40%, respectivamente, de la producción mundial.

La especie *C. arabica* es una especie alotetraploide autógama (2n= 4x = 44) formada por hibridación entre *C. canephora* y *C. eugenioides*, compuesta por poblaciones de individuos altamente homocigóticos bajos en cafeína (Lashermes *et al*., 1999; Venial *et al*., 2020). Por el otro lado, *C. canephora*, uno de los padres de *C. arabica*, es una especie diploide (2n = 2x = 22) de reproducción alógama y consiste en poblaciones polimórficas de individuos heterocigotos con un elevado contenido de cafeína (Denoeud *et al*., 2014). La producción de nuevas variedades de café, utilizando las técnicas agrícolas tradicionales, requiere de alrededor de 30 años. La embriogénesis somática (ES), un método biotecnológico, es una de las alternativas más viables para poder producir nuevas variedades en tiempos más cortos (Loyola-Vargas *et al*., 2016).

Los estudios sobre la ES del género *Coffea* se iniciaron hace un poco más de 50 años (Staritsky, 1970; Söndahl & Sharp, 1977; Dublin, 1984; Loyola-Vargas *et al*., 2016). La ES es un ejemplo de propagación basada en la totipotencia de las células vegetales, que ofrece una alternativa a los métodos de propagación estándar como es el uso de semillas, esquejes

e injertos. También es un método útil para crear plantas genéticamente idénticas (Fehér, 2019). Diversos grupos de investigación han desarrollado últimamente varios procedimientos para obtener un proceso de ES altamente efectivo, reproducible y confiable para las especies de *Coffea* de importancia económica (Quiroz-Figueroa *et al.*, 2006; Gatica *et al.*, 2008; Souza Pádua *et al.*, 2014). A partir de la década de 1990 se avanzó significativamente en el uso del cultivo de tejidos del cafeto para su escalamiento comercial. Se desarrollaron sistemas embriogénicos en medio de cultivo líquido en matraces Erlenmeyer o en biorreactores, permitiendo la propagación de clones élite de café con altos niveles de heterosis (Zamarripa *et al.*, 1991; Etienne-Barry *et al.*, 1999; Bertrand *et al.*, 2012). Inicialmente, los sistemas automatizados de inmersión temporal [récipient à immersion temporaire automatique (RITA©)] han sido una herramienta útil para la producción y germinación de embriones somáticos de *Coffea* spp (Etienne-Barry *et al.*, 1999).

Los sistemas de inmersión temporal (SIT) son actualmente uno de los métodos biotecnológicos más utilizados para la micropropagación de cultivos a gran escala de tejidos diferenciados (embriones, brotes, plántulas y raíces) (Bello-Bello *et al.*, 2019). Antes de la llegada de los SIT, el problema fundamental en el escalamiento era la vitrificación de los cultivos (Ziv, 1991a). Esta problemática se resolvió al utilizar ciclos alternos de inmersión del tejido vegetal en los medios de cultivo (Steinmacher *et al.*, 2011; Georgiev & Weber, 2014).

La mejor disponibilidad de nutrimentos y la prevención de las deformidades y cambios fisiológicos proviene del hecho de que en los biorreactores de inmersión la exposición al aire es de varias horas, en tanto que la inmersión del tejido vegetal en el medio de cultivo es de tan sólo unos minutos (Etienne & Berthouly, 2002). Otra ventaja de los sistemas de inmersión temporal es que la respiración, la fotosíntesis y el control estomatal se ven estimulados, lo que mejora el desarrollo del cultivo durante la aclimatación *ex vitro* (Bello-Bello *et al*., 2019).

Desde que Takayama y Misawa (1981) utilizaron fermentadores de jarra y columna por primera vez para escalar la micropropagación de begonia,

los sistemas de escalamiento de cultivo de tejidos vegetales han cambiado sustancialmente. El sistema RITA® fue publicado hace poco más de 25 años (Etienne *et al.*, 1997). Con este sistema se inició un número importante de propuestas de diferentes tipos de biorreactores, entre ellos el biorreactor de inmersión temporal (TIB) (Escalona *et al.*, 1999), los biorreactores modulares de inmersión temporal (BioMINT™ I y II) (Robert *et al.*, 2006; Monja-Mio *et al.*, 2016), los Gravity Immersion Bioreactors (BIG) (Ducos *et al.*, 2007a), el biorreactor Monobloc Advance Temporal Immersion System (MATIS®) (Etienne *et al.*, 2013) y los sistemas SETIS™ (Vervit, https://setis-systems.be/home). Este último sistema permite una mayor irradiación de luz, contiene una malla de acero inoxidable (tamaño del poro 0.9 mm) que facilita la manipulación del cultivo (embriones somáticos) y tiene una capacidad de almacenamiento para un medio de cultivo de hasta 4 L (Ramírez-Mosqueda & Bello-Bello, 2021).

Ante la variedad de biorreactores con las que se cuenta hoy en día para el escalamiento de la micropropagación, es importante escoger correctamente el tipo de biorreactor. Esta decisión dependerá de la especie, la morfología de los tejidos y la tasa de multiplicación deseada. El objetivo es proporcionar al cultivo un microambiente adecuado para permitirle un crecimiento y desarrollo fisiológico óptimo (Ducos *et al.*, 2007b).

El tipo de biorreactor a utilizar variará según la especie a escalar, el nivel de organización celular del tejido, el protocolo de propagación y las condiciones de crecimiento del cultivo, entre otros muchos factores. No existe un sistema único para escalar un cultivo en particular. Por lo tanto, cada laboratorio debe establecer su sistema de escalado, teniendo en cuenta los múltiples factores que intervienen en el proceso, incluidos los costos de producción. Se puede encontrar una descripción detallada de la mayoría de los sistemas de escalamiento en Valdini *et al.* (2019). Mientras que Mirzabe *et al.* (2022) publicaron una revisión exhaustiva de los SIT, Aguilar *et al.* (2022) realizaron una revisión sistemática en SIT para varias especies, incluida *C. arabica*.

En nuestro laboratorio hemos desarrollado protocolos eficientes para la obtención de embriones somáticos de explantes foliares de *C. canephora*

(Quiroz-Figueroa *et al.*, 2006) y *C. arabica* (Méndez-Hernández *et al.*, 2023). En este capítulo se reportan los resultados obtenidos del escalamiento de ambos procesos, utilizando el sistema SETIS™. Las 7,000 plantas obtenidas se entregaron a agricultores de diferentes zonas de cultivo de cafeto en el estado de Guerrero.

## Materiales y métodos

### *Inducción de la embriogénesis somática en C. arabica y C. canephora*

Los protocolos para la inducción de la ES, tanto en *C. canephora* (Quiroz-Figueroa *et al.*, 2006) como *C. arabica* (Méndez-Hernández *et al.*, 2023), han sido publicados previamente. Brevemente, en el caso de *C. arabica* se requieren de tres pasos para la obtención de embriones somáticos. Las plantulitas provenientes de la variedad Bourbon se cultivaron por dos semanas en un medio de pre-acondicionamiento. Para la inducción de los callos se toman explantes del segundo y tercer par de hojas y se incuban en el medio S1. Se colectan los callos y se subcultivan en el medio S2. Del callo que se subcultiva se toma material que se coloca en el medio S3 para la inducción de la suspensión embriogénica. El medio S3 se renueva cada dos semanas.

Para el caso de *C. canephora* el protocolo es más simple. Las plantulitas se pre-acondicionan por 14 días en un medio MS que contiene ácido α-naftalén acético y kinetina. Al término de las dos semanas se toman explantes del segundo y tercer par de hojas y se colocan en el medio de Yasuda (1985) modificado, adicionado con 5 µM de benciladenina y se incuban por ocho semanas.

### *Establecimiento del cultivo en los biorreactores*

Para llevar a cabo el escalamiento en la producción de plántulas se utilizaron biorreactores. Se probaron dos tipos de biorreactores, BioMINT™ (Robert *et al.*, 2006; Monja-Mio *et al.*, 2016) y SETIS™ (Vervit, Zelzate, Belgium). En el caso de los biorreactores BioMINT™, los primeros en ser utilizados en esta investigación se inocularon con plantulitas de 2 cm de tamaño. Para

inocular los biorreactores BioMINT™ se utilizaron plántulas de 1 a 2 cm de altura provenientes de la germinación de los embriones cotiledonares producidos en los matraces.

En el caso de los biorreactores SETIS™, el segundo tipo de biorreactores que se probaron se inocularon con embriones cotiledonares. El parámetro más importante a controlar es la frecuencia y duración de los ciclos de inmersión del material vegetal en el medio de cultivo. En el caso de los embriones cotiledonares, se probaron tiempos de inmersión en medio de cultivo MS de 1 min cada 6, 12 o 24 horas. Los biorreactores con los embriones somáticos de *Coffea* spp. se mantuvieron en condiciones de fotoperiodo de 10 a 12 semanas. Las plantas cosechadas se lavaron con agua destilada para eliminar el medio de cultivo adherido, a continuación se impregnaron con el enraizante RADIX®1500. Las plantas así tratadas se sembraron en charolas con 50 cavidades que contenían una mezcla de tierra de jardín, turba y agrolita (1:1:0.5 v/v) como sustrato. Con el fin de mantener la humedad relativa, las charolas se colocaron dentro de un recipiente plástico en forma de cúpula. Las plantas se aclimataron por un mes en un cuarto con fotoperiodo 55 ± 5% de humedad relativa. Las plantas se fertilizaron una vez por semana con Roottex® (COSMOCEL®). A continuación, las plantas se pasaron a bolsas que contenían el mismo sustrato.

## Resultados y discusión

El cafeto es uno de los cultivos más importantes del mundo. Decenas de millones de personas dependen de su cultivo y comercialización. Como cualquier planta cultivada afronta retos que el productor debe ayudar a superar. Además de plagas, enfermedades y extremos ambientales, el cambio climático ha introducido un reto adicional. En particular, para el cafeto que es cultivado en microclimas muy especiales en la montaña y de donde se obtiene el café para producir la mejor bebida, estos retos han puesto un mayor peso en la obtención de variedades con características diversas que afronten esta problemática. El cafeto, como planta perenne, requiere de tiempos largos para su mejoramiento; aquí interviene la biotecnología para acortar

los tiempos en los que se puede producir una nueva variedad y también para multiplicar las nuevas variedades masivamente. Para ello se requiere disponer de herramientas eficientes y confiables. La ES es una de dichas herramientas. Con este motivo se desarrolló este proyecto de investigación. La finalidad fue obtener protocolos que permitan la propagación masiva del cafeto.

A continuación, se describen y analizan los resultados obtenidos en esta investigación. Nuestro laboratorio ha estado trabajando desde hace años en el establecimiento de protocolos de ES para las dos especies comerciales del género *Coffea*. El protocolo para una de ellas es simple y directo y el otro, más elaborado.

Los protocolos para la inducción de la ES de las dos especies de *Coffea* empleadas en esta investigación fueron diferentes. Este fenómeno se ha visto en una gran variedad de especies (Carvalho Silva *et al.*, 2012; Henao Ramírez *et al.*, 2018; Sparjanbabu *et al.*, 2023). Incluso se da el caso de que variedades de la misma especie responden diferente a la inducción de la ES (Fuentes *et al.*, 1993). El género *Coffea* ha sido objeto de una gran cantidad de investigaciones para desarrollar protocolos eficientes de propagación por medio del cultivo *in vitro* (Loyola-Vargas *et al*., 2016). Sin embargo, se han observado resultados diferentes, dependiendo del laboratorio que lleve a cabo la investigación, en particular las tasas de conversión de los embriones somáticos a planta.

La inducción de la ES en *C. arabica* inicia con la obtención de callo a partir de los explantes de plantas que han estado durante 14 días en pre-acondicionamiento (Figura 1A). El callo (Figuras 1B y 1C) se coloca en medio líquido y se obtiene una masa celular (Figura 1D), la cual se utiliza para la inducción de la ES (Figura 1E). Los embriones somáticos obtenidos se desarrollan pasando por todos los estadios de desarrollo (Figura 1F). Los embriones que llegan al estadio cotiledonar son puestos a germinar, y cada uno de ellos produce una plántula sana y vigorosa (Figura 1G ).

No es de extrañar que dos especies del mismo género requieran protocolos diferentes para la inducción de la ES, como es el presente caso para dos especies del mismo género de *Coffea.* Ya se mencionaron los resultados

en alfalfa (Fuentes *et al.*, 1993) y esta variabilidad en la respuesta se ha extendido a un gran número de géneros y especies, como son los casos de *Glycine max* (Rajasekaran & Pellow, 1997), palma de aceite (Sparjanbabu *et al.*, 2023), *Vitis rotundifolia* Michx (Dhekney *et al.*, 2011), *Zea mays* (Tomes & Smith, 1985), *Gossypium hirsutum* (Wu *et al.*, 2004), *Vitis* spp. (Bouquet *et al.*, 1982), *Solanum lycopersicum* (Seabrook y Douglass, 2001) y varios más.

Figura 1. Embriogénesis somática en ***C. arabica***. (A) Explante de hojas. (B) Explantes después de 45 días de cultivo en oscuridad en medio de inducción de callos. (C) Explante que muestra el callo embriogénico. (D) Masa proembriogénica proveniente del cultivo de los callos de ***C. arabica*** en medio líquido. (E) Suspensión celular de callo embriogénico. (F). Embriones somáticos de ***C. arabica***. (G) Embriones en diferentes estadios de desarrollo (de izquierda a derecha globular, corazón, torpedo y cotiledonar). (H) Plántulas de ***C. arabica*** provenientes de la germinación de embriones somáticos

Para la inducción de la ES en *C. canephora* se utilizaron explantes del segundo y tercer par de hojas de las plantulitas sometidas al pre-acondicionamiento (Figura 2A). A los 21 días, después de colocar los explantes en el medio de inducción, se nota la formación de un callo de herida alrededor del

explante, así como la aparición de pequeñas estructuras globulares (Figura 2 B). Durante las siguientes semanas las estructuras embrionarias continúan su desarrollo (Figuras 2C – 2F), hasta formar embriones completos (Figuras 2G y 2H). Después de ocho semanas los embriones somáticos en el estadio cotiledonar se separan por sí solos de los explantes y se pueden colectar de forma individual (Figura 2G). Los embriones somáticos en el estadio cotiledonar colectados se sembraron en medio MS sin reguladores del crecimiento para su germinación y conversión a planta (Figura 2I). La conversión de los embriones somáticos en plántula es del 100 %.

Figura 2. Embriogénesis somática en ***C. canephora***. (A) Explantes de hojas de plántulas 14 días después de la **etapa de preacondicionamiento en medio MS, complementado con ANA 0.54 µM y KIN 2.32 µM. (B), (C), (D), (E) y** (F) explantes fotografiados a los 21, 28, 35, 42 y 56 días, respectivamente, después de la inducción de la ES. (G) Embriones vistos por debajo del fondo del matraz al final del periodo de producción de embriones somáticas. (H) Embriones somáticos en diferentes estadios de desarrollo (globular, corazón, torpedo y cotiledonar, respectivamente). (I) Plántulas de ***C. canephora*** provenientes de la germinación de embriones somáticos

Hasta esta etapa, la producción de los embriones es satisfactoria. Se produce una gran cantidad de embriones para su análisis y el estudio del proceso embriogénico. Sin embargo, esta producción no es suficiente para llevar plantas al campo. Para ello se estableció un protocolo de escalamiento de la producción de embriones somáticos para ambas especies. Cuando se iniciaron las técnicas de escalamiento en cultivo de tejidos se

usaron sistemas en medio líquido. Hubo varias razones para ello, desde la facilidad en la manipulación hasta la posibilidad de automatizar los sistemas de micropropagación (Redenbaugh *et al.*, 1987; Brewer, 1991). Sin embargo, muy pronto apareció el principal problema para el uso de esta metodología: la vitrificación de los materiales propagados (Debergh *et al.*, 1981; Ziv, 1991b). La vitrificación no estaba circunscrita a los sistemas de escalamiento, sino también a la presencia de citocininas (Leshem *et al.*, 1988) y etileno (Kevers & Gaspar, 1985) en el medio de cultivo, así como a la concentración de sacarosa (Zimmerman & Cobb, 1989) y la rigidez del medio de cultivo (Bornman & Vogelmann, 1984), entre las más importantes. El desarrollo de los biorreactores estuvo encaminado a resolver estos problemas. La tecnología pasó de los biorreactores de impelas a los de movimiento por aire para llegar a un sinnúmero de versiones de los reactores de inmersión temporal (Behera *et al.*, 2022; Mirzabe *et al.*, 2022; Murthy *et al.*, 2023). Este tipo de biorreactor se ha empleado para el escalamiento de plantas micropropagadas en una variedad de especies comerciales entre las que se incluyen plátano (Bello-Bello *et al.*, 2019), frambuesa (Arencibia *et al.*, 2013), eucalipto (Alister *et al.*, 2005), caña de azúcar (da Silva *et al.*, 2020), vainilla (Ramírez-Mosqueda & Bello-Bello 2021), entre varios más.

Nuestro grupo de trabajo tiene al alcance varias estrategias para el escalamiento de la micropropagación de los cultivos. En nuestro caso se decidió usar dos tipos de biorreactores. La diferencia entre los dos tipos de biorreactores que se utilizaron se aprecia en la Figura 3. Los biorreactores tipo BioMINT™ (Figura 3A) fueron desarrollados en el Centro de Investigación Científica de Yucatán (CICY) por el Dr. Manuel L. Robert (Monja-Mio *et al.*, 2016). El biorreactor consta de cuatro compartimentos. Tres de los compartimentos ocupan dos terceras partes del biorreactor, la otra tercera parte del biorreactor es ocupado por la cámara en la que se almacena el medio de cultivo; este compartimento está protegido de la luz con el fin de que algunos de los componentes del medio de cultivo no sean descompuesto por la luz. Una vez inoculado el biorreactor, este se coloca en un anaquel que oscila al frente y atrás, lo que permite que el medio de cultivo cubra por unos minutos a las plantas .

Figura 3. Los diferentes tipos de biorreactores utilizados en esta investigación. (A) BioMINT™. (B) SETIS™. Los biorreactores BioMINT™ tienen tres compartimientos además de uno que se encuentra protegido de la luz para el medio de cultivo. El biorreactor BioMINT™ se coloca en un sistema de balancín para mediante inclinación hacer llegar el medio a las plantulitas. En los biorreactores SETIS™ el medio se coloca en el recipiente 2 y las plantulitas en el recipiente 1. Los dos recipientes son independientes y están conectados mediante mangueras para hacer llegar el medio al material vegetal en los tiempos establecidos

Los otros tipos de biorreactores que se utilizaron fueron los SETIS™. Estos biorreactores constan de dos recipientes (Figura 3B). Las plantas se colocan en el recipiente superior (1) y el medio de cultivo se pone en el recipiente inferior (2). Ambos recipientes están conectados por mangueras. Una de ellas permite el paso del medio del recipiente inferior al superior. Otra de las mangueras permite la aireación del material vegetal a través de un filtro que filtra el aire para evitar la contaminación de los cultivos. Una ventaja de los biorreactores SETIS™ es que su configuración es simple, con un número mínimo de partes. También tienen la ventaja de que el material vegetal puede airearse con una frecuencia que se determina experimentalmente, lo que permite que las plantas crezcan mejor. En ambos casos el tiempo de inmersión y su frecuencia se determinan experimentalmente.

Una vez que los embriones somáticos de ambas especies de cafeto se cultivaron y se convirtieron en plántulas, estas fueron empleadas para inocular los biorreactores (Figura 3). El uso de los biorreactores disminuyó el tiempo en el que las plantas alcanzan el tamaño necesario para ser transferidas a la cámara de aclimatación. Como puede apreciarse en la Figura 3, las plantas crecen de forma importante y su aspecto es vigoroso y saludable. Los biorreactores tipo SETIS™ se emplearon para dos tipos de experimentos. En el

primero se inocularon con plántulas, igual que los biorreactores BioMINT™. En el segundo caso se inocularon con embriones somáticos. Después de tres meses de incubación, la mitad de las plantas habían alcanzado el tamaño para sembrarse en charolas para su aclimatación (Figura 3B).

Los embriones somáticos de *C. arabica* se pueden obtener tanto a partir de suspensiones celulares (Figura 4A) o directamente a partir de los explantes (Figura 4B), como se describe en Materiales y Métodos. Las plantulitas, producto de la germinación de los embriones en el estadio cotiledonar, se cultivaron hasta que alcanzaron tallas de alrededor de 1 cm (Figuras 4C y 4D). Estas plantulitas fueron inoculadas en los biorreactores tipo BioMINT™ (Figura 4F) y se mantuvieron en el biorreactor hasta que alcanzaron un tamaño de alrededor de 4 cm (Figura 4E). Cuando las plantulitas alcanzaron dicha talla se colectaron para ser transferidas a charolas y aclimatarlas .

Figura 4. Esquema de cultivo de ***C. arabica*** en biorreactores de inmersión temporal. (A) Suspensión celular de ***C. arabica***; esta suspensión da origen a la masa proembriogénica mostrada en la Figura 4A. (B) Otra forma de obtener embriones somáticos es a partir directamente de los explantes de ***C. arabica***. (C) y (D) Los embriones cotiledonares fueron depositados en el contenedor de los biorreactores. (E) Plantas obtenidas a partir de los biorreactores SETIS™. (F) Plantas obtenidas a partir de los biorreactores BioMINT™. El material vegetal inoculado se incubó de 8 a 10 semanas, hasta su conversión a planta

En el caso de *C. canephora,* a los embriones somáticos (Figura 5A) se les dejó en el medio líquido hasta que germinaron (Figura 5B). A continuación, los embriones somáticos se sembraron en medio semisólido MS sin reguladores del crecimiento (Figura 5C). Cuando las plantulitas rebasaron los 2 cm de altura se cosecharon en condiciones estériles y fueron empleadas para inocular los biorreactores tipo BioMINT™ y tipo SETIS™. Después de cuatro meses las plantulitas están listas para su aclimatación. En ambos tipos de biorreactores las plantas crecieron bien. Sin embargo, las plantulitas en los biorreactores tipo SETIS™ (Figura 5D) crecieron mejor que aquellas en los biorreactores tipo BioMINT™ (Figura 5E ).

Figura 5. Diagrama del cultivo de ***C. canephora*** en biorreactores de inmersión temporal tipo BioMint™. A) Embriones en el estadio cotiledonar listos para ser colocados en el medio de germinación. B) Embriones después de ser puestos a germinar y listos para sembrarse en el medio de crecimiento. C) Plantulitas listas para ser transferidas a los biorreactores. Plantas en los biorreactores tipo SETIS™ (D) y tipo BioMINTTM (E) después de diez semanas de cultivo

La suma de los tiempos de germinación de los embriones cigóticos y la del crecimiento hasta una talla de alrededor de 2 cm hacen un total de más de ocho meses. Por esta razón se decidió probar un camino alterno para reducir el tiempo en los cuartos de cultivo. En un segundo experimento, los embriones cotiledonares de *C. canephora* (Figura 6A y 6B), en lugar de ser

colocados en medio MS semisólido, se les permitió que continuaran hasta su germinación. Cuando las plantulitas se habían desarrollado hasta cerca de 1 cm se inocularon en los biorreactores tipo SETIS™ (Figura 6C y 6D). Se establecieron ciclos de inmersión de 1 min cada 12 horas, un cambio de medio cada 30 días y un ciclo de aireación cada 2 horas. En la Figura 6C se puede apreciar el crecimiento de las plántulas un mes después de la inoculación, en tanto que en la Figura 6D se ve el crecimiento de las plántulas tres meses después de la inoculación. El crecimiento de las plántulas en los biorreactores no es homogéneo, como se aprecia en la Figura 6E. Alrededor del 40% de las plantas alcanza unos 4 cm a los tres meses, mientras que el 60% tiene 2 cm o menos. Por ello, a los tres meses se decidió colectar las plantas grandes y dejar a las pequeñas en los biorreactores, con medio nuevo para que siguieran creciendo. Las plantas grandes se sembraron en charolas para su aclimatación. Esa estrategia permitió acortar los tiempos de cultivo casi a la mitad (ocho semanas ).

Figura 6. Diagrama del cultivo de ***C. canephora*** en biorreactores de inmersión temporal. (A) y (B) Embriones en estadio cotiledonar; los embriones cotiledonares fueron depositados en el contenedor de los biorreactores. (C) Plántulas de ***C. canephora*** que fueron depositadas en los biorreactores. (D) y (E) Plantas obtenidas a partir de los biorreactores SETIS™. El material vegetal inoculado se incubó de 8 a 10 semanas, hasta su conversión a plantas de alrededor de 4 cm de alto

Un aspecto muy importante a tener en cuenta a la hora de establecer los parámetros que se van a ensayar es el tipo de material que se coloca en el biorreactor. Si se colocan embriones para iniciar el proceso desde la germinación hasta la producción de plantas es diferente a si se inicia con plantulitas y sólo llevarlas a un tamaño adecuado para su aclimatación. Por ejemplo, otro laboratorio trabajando con *C. arabica* (Albarrán *et al*., 2005) determinó que tiempos breves de inmersión (1 min cada 4 horas) daban como resultado la producción de embriones de alta calidad; la calidad medida como el número de embriones cotiledonares obtenidos, mientras que la biomasa total obtenida disminuida ligeramente comparada con una inmersión de 15 min cada 4 horas. Desde luego el establecimiento de estos parámetros tan críticos dependen de la meta que se desea obtener; por ejemplo, en la micropropagación de *Gerbera jamesoni* Bolux ex Hooker (una planta de alto valor en la floricultura mundial) mediante un sistema de inmersión temporal la frecuencia de la aireación (12 min día$^{-1}$) es esencial para obtener material vegetal sin vitrificación (Mosqueda Frómeta *et al*., 2017).

La ventilación es un parámetro esencial ya que tiene varios efectos en los tejidos dentro de los biorreactores. Cuando el medio líquido cubre los explantes se forma una película sobre el material vegetal. Dependiendo de la especie, esta película puede ser mucha humedad o poca humedad y tiene dos repercusiones en el sistema. El primero es el recubrimiento de los explantes con una película del medio nutritivo, lo cual es bueno ya que hay una capa de nutrientes disponible para el explante. El segundo es el posible exceso de humedad sobre el material vegetal, lo cual puede producir hiper-hidricidad. De esta forma la frecuencia de la aireación elimina este exceso de humedad, pero por el contrario puede secar los explantes. Por el otro lado, la aireación también elimina el exceso de etileno que se suele producir en el sistema y que es muy dañino para el crecimiento de los explantes. Por ello, en los trabajos de escalamiento se pone mucha atención a estos dos parámetros, las frecuencias de la aireación y la inmersión en el medio de cultivo son esenciales para el éxito del escalamiento, ellos determinan el comportamiento final del material (Albarrán *et al*., 2005). Por ejemplo, una

inmersión de 15 min cada 6 horas favorece la conversión de embriones de café en plántulas, mientras que una inmersión de 1 min cada 24 h detiene la conversión y estimula la producción de brotes adventicios (Teisson & Alvard, 1995). En *C. arabica* se ha observado que la frecuencia de inmersiones cortas (1 min) en biorreactores RITA® de un litro estimula la formación y calidad de embriones somáticos (Albarrán *et al*., 2005).

Los requerimientos para que un embrión germine y se desarrolle son diferentes de los que requieren un embrión que ya germinó y dio origen a una planta y ahora tiene que crecer. En el presente caso, en el segundo experimento se colocaron embriones somáticos en estadio cotiledonar (Figura 6B). Su conversión a plántulas fue muy exitosa (100%); sin embargo, la talla de las plantas al cabo de 10-12 semanas no fue uniforme (Figura 6E). No obstante, este inconveniente, cuando las plantas se sacaron de los biorreactores para su aclimatación, prácticamente todas se pudieron recuperar. Unas plantas se pasaron directamente al sustrato en las charolas y otras se colocaron en medio MS semisólido. En trabajos previos con embriones somáticos del género *Coffea* se han obtenido resultados dispares. Por ejemplo, Sondahl *et al.* (2000) reportaron una conversión de embriones somáticos a plántulas del 50-70% y 80-95% de supervivencia después de cinco meses en el invernadero para *C. canephora*. Otro grupo utilizando la misma especie informó que el uso de biorreactores tipo RITA® y un sistema de biorreactor de inmersión temporal modificado específicamente para nutrir a la raíz convirtieron embriones somáticos en plántulas a una tasa del 20% y 84%, respectivamente (Afreen *et al*., 2002). Albarrán *et al.* (2005) reportaron una tasa de conversión embriones somáticos cotiledonares a plántulas de *C. arabica* del 75%.

Una vez que las plantas de cada una de las especies de *Coffea* alcanzaron una altura de alrededor de 4 cm (Figura 7A), se lavaron con agua para eliminar el medio de cultivo de ellas. La raíz de las plantulitas se impregnó con un enraizador comercial y fueron transferidas a charolas con 50 pozos que contenían una mezcla de tierra de jardín, turba y agrolita (1:1:0.5) (Figura 7B). Las charolas se cubrieron con un recipiente de plástico para mantener la humedad relativa. Después de seis semanas, las plantulitas (Figura 7C)

se transfirieron a bolsa (Figura 7D). Durante su estancia en las charolas y en presencia del enraizador las plantulitas adquieren un sistema radical abundante (Figura 7E). Las bolsas con las plantulitas se colocaron en un cuarto de aclimatación con fotoperiodo de 12 h de luz y 12h de oscuridad. Después de cuatro semanas en las bolsas, las plantas alcanzan una altura de alrededor de 10 cm y están listas para ser enviadas a los viveros .

Figura 7. Aclimatación ***ex vitro*** para plántulas de ***Coffea*** spp. (A) Las plántulas fueron recolectadas de los biorreactores y se depositaron en agua limpia para eliminar el exceso de medio. (B) La base de las plántulas se impregnó con un enraizador comercial y se trasplantaron en charolas de plástico de 50 cavidades que contenían una mezcla de tierra de jardín, turba y agrolita (1:1:0.5); las charolas se colocan dentro de un recipiente de plástico para mantener la humedad relativa. (C) Plantas seis semanas después del trasplante en sustrato. (D) Trasplante de charolas de cultivo a bolsa de vivero. (E) Plantas diez semanas después del trasplante en sustrato; se puede notar el vigoroso crecimiento de las raíces

Las elevadas tasas de multiplicación en condiciones *in vitro* se deben, entre otros factores, a que el material vegetal está expuesto a condiciones favorables como disponibilidad de nutrientes, alta humedad relativa y bajo intercambio de gases (Ziv, 1995). Sin embargo, en el momento del trasplante, las plántulas cultivadas *in vitro* presentan una baja tasa de fotosíntesis y una

autotrofía incompleta debido al bajo contenido de pigmentos fotosintéticos y al escaso desarrollo de los cloroplastos (Preece & Sutter, 1991; Hazarika, 2006), estomas poco funcionales con forma y estructura circulares (Ziv, 1995), así como un sistema radicular débil y una capacidad reducida para la formación de cutículas cerosas (Chandra *et al*., 2010). Cuando las plantas cultivadas *in vitro* son transferidas al ambiente exterior mejoran sus funciones fotosintéticas (Carvalho *et al*., 2001) y muestran una excelente sobrevivencia en campo (Bello-Bello *et al*., 2019), a pesar de la disminución en el número de estomas que se observa de manera importante de plantas producidas por micropropagación, ya sea en sistemas puramente *in vitro* o en sistemas de inmersión temporal (Revathi *et al*., 2018; Shiwani *et al*., 2022). En plantas *ex vitro*, el cierre de los estomas reduce la transpiración, manteniendo el estado hídrico ideal de las plantas (Shekhawat *et al*., 2017). Sin embargo, en los sistemas SETIS™ se ha observado que las plantas producidas en biorreactores poseen una gran cantidad de estomas funcionales (Ramírez-Mosqueda & Bello-Bello 2021; Méndez-Hernández *et al*., 2023). En suma, es importante considerar que los sistemas de producción masiva dependen de manera importante de la calidad del material con el que se inicia el escalamiento de la producción.

Cuando las plantas en las bolsas alcanzaron tallas alrededor de 8 cm, estuvieron listas para ser enviadas a los viveros (Figura 8A). Las bolsas, conteniendo una planta cada una, se empacaron en lotes de 40 bolsas por reja (Figuras 8B y 8C). Las rejas se colocaron en el transporte que las llevaría al estado de Guerrero, de modo que sólo hubiera una capa de cajas (Figura 8D). El material se recibió tres días después en las instalaciones de ADESUR. Inmediatamente después de su arribo se regaron (Figura 8D). El material llegó en excelentes condiciones, como puede apreciarse en la Figura 8E. Las plantas se distribuyeron a los productores, quienes las llevaron a sus respectivos viveros (Figura 8F ).

El total de plantas enviadas en dos lotes fue de 7 000, distribuidas a 20 productores cuyos viveros se ubican en La Estancia, Iliatenco, Colombia de Guadalupe, Malinaltepec, Río Santiago, El Paraíso, Puente de los Lugardos, Río Verde, La Pintada y San Vicente de Jesús. Para la logística de la

entrega de las plantas, la selección de los productores y las pláticas impartidas se contó con el apoyo de la SEFODECO, el Sistema Producto Café, CECAFE, el COCYTIEG y el Instituto Tecnológico Nacional de México Campus Acapulco. Cinco meses después de que las plantas se entregaran a los productores, estas se encontraban bien establecidas en los viveros y creciendo vigorosamente (Figura 9). Las plantas se transfirieron a tierra durante el verano de 2023 .

Figura 8. Transporte del material vegetal desde la biofábrica hasta los viveros en el estado de Guerrero. A) Material en bolsa listo para ser colocado en las cajas de transporte. B) Empacado y etiquetado del material. C) Cajas con material vegetal en transporte listo para llevarse al estado de Guerrero. D) Material vegetal siendo regado en las instalaciones de ADESUR al ser bajado del transporte. E) Material listo para entregar a los diez productores beneficiados en la primera entrega. F) Material en el transporte de un productor para ser llevado a su destino final

Figura 9. Plantas de cafeto en vivero después de cinco meses de haber sido entregadas a los productores

## Conclusiones

Se establecieron dos protocolos para la inducción de la ES en cafeto, uno para *C. arabica* y el otro para *C. canephora*. Se establecieron los parámetros para el escalamiento a nivel de biorreactor utilizando tanto embriones somáticos en el estadio cotiledonar como plántulas de uno a dos cm de longitud. También se establecieron las condiciones para la aclimatación de las plantas obtenidas de los biorreactores. Se produjeron 7 000 plantas que se entregaron a 20 cafeticultores en el estado de Guerrero.

## Agradecimientos

Agradecemos a todo el personal de la biofábrica “Manuel L. Robert” del CICY por su apoyo técnico y al MC Javier García Villalobos por su ayuda para alcanzar los objetivos de este proyecto. Igualmente agradecemos a la SEFODECO, al Sistema Producto Café, CECAFE y al COCYTIEG del estado de Guerrero, así como al Instituto Tecnológico Nacional de México Campus Acapulco por su apoyo en la logística para la selección de los productores, la entrega de las plantas y la impartición de los talleres. También agradecemos al CONACYT su apoyo al proyecto número 292474.

## Referencias

Afreen, F., Zobayed, S. M. A., & Kozai, T. (2002). Photoautotrophic culture of *Coffea arabusta* somatic embryos: Development of a bioreactor for large-scale plantlet conversion from cotyledonary embryos. *Annals of botany, 90* (1), 21-29. https://doi.org/10.1093/aob/mcf151.

Aguilar, M. E., Wang, X., Escalona, M., Yan, L., & Huang, L. f. (2022). Somatic embryogenesis of Arabica coffee in temporary immersion culture: Advances, limitations, and perspectives for mass propagation of selected genotypes. *Frontiers in Plant Science, 13,*994578. https://doi.org/10.3389/fpls.2022.994578.

Albarrán, J., Bertrand, B., Lartaud, M., & Etienne, H. (2005). Cycle characteristics in a temporary immersion bioreactor affect regeneration, morphology, water and mineral status of coffee (*Coffea arabica*) somatic embryos. *Plant Cell Tissue Organ Cult, 81* (1), 27-36. https://doi.org/10.1007/s11240-004-2618-8.

Alister, B. M., Finnie, J., Watt, M. A., & Blakeway, F. (2005). Use of the temporary immersion bioreactor system (RITA®) for production of commercial Eucalyptus clones in Mondi Forests (SA), En A. K. Hvoslef-Eide & W. Preil (eds.), *Liquid Culture Systems for in vitro Plant Propagation*. Springer, 425. https://doi.org/10.1007/1-4020-3200-5_33.

Arencibia, A. D., Vergara, C., Quiroz, K., Carrasco, B., & García-Gonzales, R. (2013). Establishment of photomixotrophic cultures for raspberry micropropagation in Temporary Immersion Bioreactors (TIBs). *Scientia Horticulturae, 160,* 49-53. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2013.05.010.

Behera, P. P., Sivasankarreddy, K., & Prasanna, V. S. S. V. (2022). Somatic embryogenesis and plant regeneration in horticultural crops, En S. Gupta, & P. Chaturvedi (eds.), *Commercial Scale Tissue Culture for Horticulture and Plantation Crops*. Springer, 197. https://doi.org/10.1007/978-981-19-0055-6_9.

Bello-Bello, J. J., Cruz-Cruz, C. A., & Pérez-Guerra, J. C. (2019). A new temporary immersion system for commercial micropropagation

of banana (*Musa* AAA cv. Grand Naine). *In Vitro Cellular & Developmental Biology - Plant, 55* (3), 313-320. https://doi.org/10.1007/s11627-019-09973-7.

Bertrand, B., Montagnon, C., Georget, F., Charmetant, P., & Etienne, H. (2012). Création et diffusion de variétés de caféiers Arabica: quelles innovations variétales? *Cahiers Agricultures, 21* (2-3), 77-88. https://doi.org/10.1684/agr.2012.0547.

Bornman, C. H., & Vogelmann, T. C. (1984). Effect of rigidity of gel medium on benzyladenine-induced adventitious bud formation and vitrification *in vitro* in *Picea abies*. *Physiologia Plantarum, 61* (3), 505-512. https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.1984.tb06364.x.

Bouquet, A., Piganeau, B., Lamaison, A.-M., & Cauderon, A. (1982). Influence du génotype sur la production de cals. d'embryoïdes et de plantes entières par culture d'anthères *in vitro* dans le genre Vitis. *Compte Rendue de l´ Académie des Sciences de Paris III-Vie, 295* (9), 569-574

Brewer, H. L. (1991). The use of automated field transplanters in plant propagation, En I. K. Vasil, (ed.) *Scale-up and Automation in Plant Propagation. Cell Culture and Somatic Cell Genetics of Plants, Vol. 8*. Academic Press, Inc., 245.

Carvalho Silva, R., Luis, Z. G., & Scherwinski-Pereira, J. E. (2012). Differential responses to somatic embryogenesis of different genotypes of Brazilian oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq.). *Plant Cell Tissue Organ Cult, 111* (1), 59-67. 10.1007/s11240-012-0170-5.

Carvalho, L. C., Leonor Osório, M., Manuela Chaves, M., & Amancio, S. (2001). Chlorophyll fluorescence as an indicator of photosynthetic functioning of *in vitro* grapevine and chestnut plantlets under *ex vitro* acclimatization. *Plant Cell Tissue Organ Cult. 67* (3), 271-280. https://doi.org/10.1023/A:1012722112406.

Chandra, S., Bandopadhyay, R., Kumar, V., & Chandra, R. (2010). Acclimatization of tissue cultured plantlets: from laboratory to land. *Biotechnology Letters, 32* (9), 1199-1205. https://doi.org/10.1007/s10529-010-0290-0.

da Silva, J. A., Solis-Gracia, N., Jifon, J., Souza, S. C., & Mandadi, K. K. (2020). Use of bioreactors for large-scale multiplication of sugarcane (*Saccharum* spp.), energy cane (*Saccharum* spp.), and related species. *In Vitro Cellular & Developmental Biology - Plant, 56* (3), 366-376. https://doi.org/10.1007/s11627-019-10046-y.

Davis, A. P., Govaerts, R., Bridson, D. M., & Stoffelen, P. (2006). An annotated taxonomic conspectus of the genus *Coffea* (Rubiaceae). *Botanical Journal of the Linnean Society, 152* (4), 465-512. https://doi.org/10.1111/j.1095-8339.2006.00584.x.

Davis, A. P., Tosh, J., Ruch, N., & Fay, M. F. (2011). Growing coffee: *Psilanthus* (Rubiaceae) subsumed on the basis of molecular and morphological data; implications for the size, morphology, distribution and evolutionary history of *Coffea*. *Botanical Journal of the Linnean Society, 167* (4), 357-377. https://doi.org/10.1111/j.1095-8339.2011.01177.x.

Debergh, P., Harbaoui, Y., & Lemeur, R. (1981). Mass propagation of globe artichoke (*Cynara scolymus*): evaluation of different hypothesis to overcome vitrification with special reference to water potential. *Physiologia Plantarum, 53* (2), 181-187. https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.1981.tb04130.x.

Denoeud, F., Carretero-Paulet, L., Dereeper, A., Droc, G., Guyot, R., Pietrella, M., Zheng, C., Alberti, A., Anthony, F., Aprea, G., Aury, J. M., Bento, P., Bernard, M., Bocs, S., Campa, C., Cenci, A., Combes, M. C., Crouzillat, D., Da Silva, C., Daddiego, L., De Bellis, F., Dussert, S., Garsmeur, O., Gayraud, T., Guignon, V., Jahn, K., Jamilloux, V., Joët, T., Labadie, K., Lan, T., Leclercq, J., Lepelley, M., Leroy, T., Li, L. T., Librado, P., Lopez, L., Muñoz, A., Noel, B., Pallavicini, A., Perrotta, G., Poncet, V., Pot, D., Priyono, Rigoreau, M., Rouard, M., Rozas, J., Tranchant-Dubreuil, C., VanBuren, R., Zhang, Q., Andrade, A. C., Argout, X., Bertrand, B., De Kochko, A., Graziosi, G., Henry, R. J., Jayarama, Ming, R., Nagai, C., Rounsley, S., Sankoff, D., Giuliano, G., Albert, V. A., Wincker, P., & Lashermes, P. (2014). The coffee genome provides insight into the convergent evolution

of caffeine biosynthesis. *Science, 345* (6201), 1181-1184. http://doi.org/10.1126/science.1255274.

Dhekney, S., Li, Z., & Gray, D. (2011). Factors influencing induction and maintenance of *Vitis rotundifolia* Michx. embryogenic cultures. *Plant Cell Tissue Organ Cult, 105* (2), 175-180. https://doi.org/10.1007/s11240-010-9849-7.

Dublin, P. (1984). Techniques de reproduction végétative *in vitro* et amélioration génétique chez les caféiers cultivés. *Café Cacao Thé, 28*(4), 231-244.

Ducos, J. P., Labbe, G., Lambot, C., & Pétiard, V. (2007a). Pilot scale process for the production of pre-germinated somatic embryos of selected robusta (*Coffea canephora*) clones. *In Vitro Cellular & Developmental Biology - Plant, 43*(6), 652-659. https://doi.org/10.1007/s11627-007-9075-0.

Ducos, J. P., Lambot, C., & Pétiard, V. (2007b). Bioreactors for coffee mass propagation by somatic embryogenesis. *International Journal of Plant Developmental Biology, 1*(1), 1-12.

Escalona, M., Lorenzo, J. C., González, B., Daquinta, M., González, J. L., Desjardins, Y., & Borroto, C. G. (1999). Pineapple (*Ananas comosus* L-Merr) micropropagation in temporary immersion systems. *Plant Cell Reports, 18*(9), 743-748. https://doi.org/10.1007/s002990050653.

Etienne, H., y Berthouly, M. (2002). Temporary immersion systems in plant micropropagation. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture, 69*(3), 215-231. http://dx.doi.org/10.1023/A:1015668610465.

Etienne, H., Bertrand, B., Georget, F., Lartaud, M., Montes, F., Dechamp, E., Verdeil, J. L., & Barry-Etienne, D. (2013). Development of coffee somatic and zygotic embryos to plants differs in the morphological, histochemical and hydration aspects. *Tree Physiol, 33*(6), 640-653. http://dx.doi.org/10.1093/treephys/tpt034.

Etienne, H., Solano, W., Pereira, A., Bertrand, B., & Berthouly, M. (1997). Protocole d'acclimatation de plantules de caféiers produites *in vitro*. *Plantations, Recherche, Développment, 4*(5), 304-306.

Etienne-Barry, D., Bertrand, B., Vasquez, N., y Etienne, H. (1999). Direct

sowing of *Coffea arabica* somatic embryos mass-produced in a bioreactor and regeneration of plants. *Plant Cell Reports, 19*(2), 111-117. https://doi.org/10.1007/s002990050720.

Fehér, A. (2019). Callus, dedifferentiation, totipotency, somatic embryogenesis: What these terms mean in the era of molecular plant biology? *Frontiers in Plant Science, 10,* 536. https://doi.org/10.3389/fpls.2019.00536.

Ferreira, T., Shuler, J., Guimardes, R., & Farah, A. (2019). Introduction to coffee plant and genetics, En: A. Farah (ed.), *Coffee: Production, Quality and Chemistry*. The Royal Society of Chemistry, 3. https://doi.org/10.1039/9781782622437-00001.

Fuentes, S. I., Suárez, R., Villegas, T., Acero, L. C., & Hernández, G. (1993). Embryogenic response of Mexican alfalfa (*Medicago sativa*) varieties. *Plant Cell Tissue Organ Culture, 34* (3), 299-302. https://doi.org/10.1007/BF00029720.

Gatica, A. M., Arrieta, G., & Espinoza, A. M. (2008). Direct somatic embryogenesis in coffea arabica L. CVS. caturra and catuaí: effect of triacontanol, light condition, and medium consistency. *Agronomía Costarricense*, 32(1), 139-147.

Georgiev, M. I., & Weber, J. (2014). Bioreactors for plant cells: hardware configuration and internal environment optimization as tools for wider commercialization. *Biotechnol. Lett, 36* (7), 1359-1367. https://doi.org/10.1007/s10529-014-1498-1.

Guimarães, R. J., Meira Borém F., Shuler J., Farah A., & Peres Romero J. C. (2019). Coffee growing and post-harvest processing. En A. Farah (ed.), *Coffee: Production, Quality and Chemistry* (pp 26-88). The Royal Society of Chemistry, 2. https://doi.org/10.1039/9781782622437-00026.

Hazarika, B. N. (2006). Morpho-physiological disorders in *in vitro* culture of plants. *Scientia Horticulturae, 108* (2), 105-120. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2006.01.038.

Henao Ramírez, A. M., de la Hoz Vasquez, T., Ospina Osorio, T. M., Garcís, L. A., & Urrea Trujillo, A. I. (2018). Evaluation of the potential of regeneration of different Colombian and commercial

genotypes of cocoa (*Theobroma cacao* L.) via somatic embryogenesis. *Scientia Horticulturae, 229,* 148-156. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2017.10.040.

Kevers, C., y Gaspar, Th. (1985). Vitrification of carnation *in vitro*: changes in ethylene production ACC level and capacity to convert ACC to ethylene. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture, 4* (3), 215-223. https://doi.org/10.1007/BF00040195.

Lashermes, P., Combes, M. C., Robert, J., Trouslot, P., D'Hont, A., Anthony, F., & Charrier, A. (1999). Molecular characterisation and origin of the *Coffea arabica* L. genome. *Molecular and General Genetics MGG, 261*(2), 259-266. https://doi.org/10.1007/s004380050965.

Leshem, B., Shaley, D. P., & Izhar, S. (1988). Cytokinin as an inducer of vitrification in melon. *Annals of Botany, 61*(2), 255-260. https://doi.org/10.1093/oxfordjournals.aob.a087552

Loyola-Vargas, V. M., Avilez-Montalvo, J. R., Avilez-Montalvo, R. N., Márquez-López, R. E., Galaz-Ávalos, R. M., & Mellado-Mojica, E. (2016). Somatic embryogenesis in *Coffea* spp., En V. M. Loyola-Vargas, & N. Ochoa-Alejo (eds.), *Somatic Embryogenesis. Fundamental Aspects and Applications* (pp 241-266). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-319-33705-0_15.

Méndez-Hernández, H. A., Galaz-Ávalos, R. M., Quintana-Escobar, A. O., Pech-Hoil, R., Collí-Rodríguez, A. M., Salas-Peraza, I. Q., & Loyola-Vargas, V. M. (2023). *In vitro* conversion of *Coffea* spp. somatic embryos in SETIS™ bioreactor system. *Plants, 12* (17), 3055. https://doi.org/10.3390/plants12173055.

Mirzabe, A. H., Hajiahmad, A., Fadavi, A., & Rafiee, S. (2022). Temporary immersion systems (TISs): A comprehensive review. *Journal of Biotechnology, 357,*56-83. https://doi.org/10.1016/j.jbiotec.2022.08.003.

Monja-Mio, K. M., Herrera-Alamillo, M. Á., & Robert, M. L. (2016). Somatic embryogenesis in temporary immersion bioreactors, En Loyola-Vargas, V. M., & Ochoa-Alejo, N. (eds.), *Somatic Embryogenesis: Fundamental Aspects and Applications* (435-454). Springer,. http://dx.doi.org/10.1007/978-3-319-33705-0_24.

Mosqueda Frómeta, O., Escalona Morgado, M. M., Teixeira da Silva, J. A., Pina Morgado, D. T., & Daquinta Gradaille, M. A. (2017). *In vitro* propagation of Gerbera jamesonii Bolus ex Hooker f. in a temporary immersion bioreactor. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture, 129* (3), 543-551. https://doi.org/10.1007/s11240-017-1186-7.

Murthy, H. N., Joseph, K. S., Paek, K. Y., & Park, S. Y. (2023). Bioreactor systems for micropropagation of plants: present scenario and future prospects. *Frontiers in Plant Science, 14,* 2023. https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1159588.

Preece, J. E., & Sutter, E. G. (1991). Acclimatization of micropropagated plants to the greenhouse and field, En Debergh, P. C., & Zimmerman, R. H. (eds.), *Micropropagation. Technology and Application* (71-93). Kluwer Academic Publishers. https://doi.org/10.1007/978-94-009-2075-0_5.

Quiroz-Figueroa, F. R., Monforte-González, M., Galaz-Ávalos, R. M., & Loyola-Vargas, V. M. (2006). Direct somatic embryogenesis in *Coffea canephora*. En Loyola-Vargas, V. M., & Vázquez-Flota, F. A. (eds.), *Plant Cell Culture Protocols* (111-117). Humana Press. https://doi.org/10.1385/1-59259-959-1:111.

Rajasekaran, K., y Pellow, J. W. (1997). Somatic embryogenesis from cultured epicotyls and primary leaves of soybean (*Glycine max (L.*) merrill). *In Vitro Cellular & Developmental Biology - Plant, 33* (2), 88-91. https://doi.org/10.1007/s11627-997-0002-1.

Ramírez-Mosqueda, M. A., & Bello-Bello, J. J. (2021). SETIS™ bioreactor increases *in vitro* multiplication and shoot length in vanilla (*Vanilla planifolia* Jacks. Ex Andrews). *Acta Physiologiae Plantarum, 43*. https://doi.org/10.1007/s11738-021-03227-z.

Redenbaugh, K., Viss, P., Slade, D., & Fujii, J. A. A. (1987). Scale-up: artificial seeds. En: Green, C. E., Somers, D. A., Hackett, W. P., & Biesboer, D. D. (eds.), *Plant Biology vol. 3. Plant Tissue and Cell Culture*. New York: Alan R. Liss, Co., 473.

Revathi, J., Manokari, M., & Shekhawat, M. S. (2018). Optimization of factors affecting *in vitro* regeneration, flowering, ex vitro rooting

and foliar micromorphological studies of *Oldenlandia corymbosa* L.: a multipotent herb. *Plant Cell Tissue Organ Culture, 134* (1), 1-13. https://doi.org/10.1007/s11240-018-1395-8.

Robert, M. L., Herrera-Herrera, J. L., Herrera-Herrera, G., Herrera-Alamillo, M. A., & Fuentes-Carrillo, P. (2006). A new temporary immersion bioreactor system for micropropagation. En: Loyola-Vargas, V. M., & Vázquez-Flota, F. (eds.) *Plant Cell Culture Protocols* (121-12-). Humana Press. https://doi.org/10.1385/1-59259-959-1:121.

Seabrook, J., & Douglass, L. (2001). Somatic embryogenesis on various potato tissues from a range of genotypes and ploidy levels. *Plant Cell Reports, 20* (3), 175-182. https://doi.org/10.1007/s002990000305.

Shekhawat, M., Manokari, M., & Kannan, N. (2017). Micromorphological response towards altered environmental conditions in subsequent stages of *in vitro* propagation of *Morinda coreia*, Environ. *Environmental and Experimental Biology, 15,* 37-46. https://doi.org/10.22364/eeb.15.06.

Shiwani, K., Sharma, D., & Kumar, A. (2022). Improvement of plant survival and expediting acclimatization process, En: Gupta, S., & Chaturvedi, P. (eds.), *Commercial Scale Tissue Culture for Horticulture and Plantation Crops* (277-291). Springer. https://doi.org/10.1007/978-981-19-0055-6_12.

Söndahl, M. R., & Sharp, W. R. (1977). High frequency induction of somatic embryos in cultured leaf explants of *Coffea arabica* L. *Zeitschrift für Pflanzenphysiologie, 81* (5), 395-408. https://doi.org/10.1016/S0044-328X(77)80175-X.

Söndahl, M. R., Söndahl, C. N., & Goncalves, W. (2000). Field testing of arabica bioreactor-derived plants. En: Sera, T., Soccol, C. R., Pandey, A., & Roussos, S. (eds.) *Coffee Biotechnology and Quality* (143-150). Kluwer Academic Publishers. https://doi.org/10.1007/978-94-017-1068-8_11.

Souza Pádua, M., Vilela Paiva, L., coutinho da Silva, L., Do Livramento, K. G., Alves, E., & Fonseca Castro, A. H. (2014). Morphological

characteristics and cell viability of coffee plants calli. *Ciência Rural, 44* (4), 660-665. https://doi.org/10.1590/S0103-84782014000400014

Sparjanbabu, D. S., Prathapani, N. K., Krishna, M. S. R., Ramajayam, D., & Susanthi, B. (2023). Differential response of oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq.) genotypes on somatic embryogenesis and plantlet regeneration from zygotic embryo. *Journal of Applied Biology & Biotechnology, 11* (3), 139-143. https://doi.org/10.7324/JABB.2023.106137.

Staritsky, G. (1970). Embryoid formation in callus tissues of coffee. *Acta Botanica Neerlandica, 19* (4), 509-514. https://doi.org/10.1111/j.1438-8677.1970.tb00677.x.

Steinmacher, D. A., Guerra, M. P., Saare-Surminski, K., & Lieberei, R. (2011). A temporary immersion system improves *in vitro* regeneration of peach palm through secondary somatic embryogenesis. *Annals of Botany, 108* (8), 1463-1475. https://doi.org/10.1093/aob/mcr033.

Takayama, S., & Misawa, M. (1981). Mass propagation of *Begonia hiemalis* plantlet by shake culture. *Plant and Cell Physiology, 22* (3), 461-467. https://doi.org/10.1093/oxfordjournals.pcp.a076188.

Teisson, C., & Alvard, D. (1995). A new concept of plant *in vitro* cultivation liquid medium: temporary immersion. En Terzi, M., Cella, R., & Falavigna, A. (eds.), *Proceedings of the VII$^{th}$ International Congress on Plant Tissue and Cell Culture* (105-110). Kluver Academic Publishers. https://doi.org/10.1007/978-94-011-0307-7_12.

Tomes, D. T., y Smith, O. S. (1985). The effect of parental genotype on initiation of embryogenic callus from elite maize (*Zea mays* L.) germplasm. *Theoretical and Applied Genetics, 70* (5), 505-509. https://doi.org/10.1007/BF00305983.

Valdiani, A., Hansen, O. K., Nielsen, U. B., Johannsen, V. K., Shariat, M., Georgiev, M. I., Omidvar, V., Ebrahimi, M., Tavakoli Dinanai, E., & Abiri, R. (2019). Bioreactor-based advances in plant tissue and cell culture: challenges and prospects. *Critical Reviews in Biotechnology, 39* (1), 20-34. https://doi.org/10.1080/07388551.2018.1489778.

Venial, L. R., Mendonça, M. A. C., Amaral-Silva, P. M., Canal, G. B., Passos, A. B. R. d. J., Ferreira, A., Soares, T. C. B., & Clarindo, W. R.

(2020). Autotetraploid *Coffea canephora* and auto-alloctaploid *Coffea arabica* from *in vitro* chromosome set doubling: New germplasms for *Coffea*. *Frontiers in Plant Science, 11,* 154. https://doi.org/10.3389/fpls.2020.00154.

Wu, J., Zhang, X., Nie, Y., Jin, S., & Liang, S. (2004). Factors affecting somatic embryogenesis and plant regeneration from a range of recalcitrant genotypes of Chinese cottons (*Gossypium hirsutum* L.). *In Vitro Cellular & Developmental Biology - Plant, 40* (4), 371-375. https://doi.org/10.1079/IVP2004535.

Yasuda, T., Fujii, Y., & Yamaguchi, T. (1985). Embryogenic callus induction from *Coffea arabica* leaf explants by benzyladenine. *Plant and Cell Physiology, 26* (3), 595-597. https://doi.org/10.1093/oxfordjournals.pcp.a076946.

Zamarripa, C. A., Ducos, J. P., Bollon, H., Dufour, M., & Petiard, V. (1991). Production d'embryons somatiques de caféier en milieu liquide: effects densité d'inoculation et renouvellement du milieu. *Café Cacao Thé*, 35(4), 233-244. https://publications.cirad.fr/une_notice.php?dk=403214

Zimmerman, T. W., y Cobb, B. G. (1989). Vitrification and soluble carbohydrate levels in *Petunia* leaves as influenced by media gelrite and sucrose concentrations. *Plant Cell Reports, 8* (6), 358-360. https://doi.org/10.1007/BF00716673.

Ziv, M. (1991a). Quality of micropropagated plants--Vitrification. *In Vitro Cellular & Developmental Biology - Plant, 27* (2), 64-69. https://doi.org/10.1007/BF02632130.

Ziv, M. (1991b). Vitrification: morphological and physiological disorders of *in vitro* plants. En Debergh, P. C., & Zimmerman, R. H. (eds.), *Micropropagation Technology and Application* (45-69). Kluwer Academic Publishers. https://doi.org/10.1007/978-94-009-2075-0_4.

Ziv, M. (1995). *In vitro* acclimatization. En Aitken-Christie, J., Kozai, T., & Smith, M. A. L. (eds.) *Automation and Environmental Control in Plant Tissue Culture* (493-516). Springer. https://doi.org/10.1007/978-94-015-8461-6_20.

# Capítulo 11

# Estrategias biorracionales para el control de la roya del cafeto ***(Hemileia vastatrix)***

*Joaquín A. Qui-Zapata[1*], Mayra I. Montero-Cortes[2], Soledad García-Morales[5], Hugo Espinosa-Andrews[3], Alberto Uc-Varguez[4], Julia Cano-Sosa[4], Jhony N. Enríquez-Vara[5], Ana L. Ramos-Díaz[4], Julio C. López-Velázquez[1], Iván Leal-García[2], Ana J. Cardoso-Magaña[2], Maribel Falcon-Bautista[1]*

**Resumen**

El café ocupa el primer lugar como producto agrícola generador de divisas y empleos en el medio rural. Sin embargo, uno de los principales padecimientos que le afectan es la roya del cafeto (*Hemileia vastatrix*), una enfermedad devastadora que ha infectado el cultivo del café durante más de 150 años. Esta enfermedad fúngica de la hoja ha desempeñado un papel en la historia al intervenir en los cambios del comercio colonial, en la migración masiva y en la desaparición del medio de subsistencia de los

[1] Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco, Biotecnología Vegetal, Camino Arenero 1227, El Bajío, Zapopan, México, 45019. * jqui@ciatej.mx.

[2] Instituto Tecnológico de Tlajomulco/TecNM, Km. 10 Carretera Tlajomulco-San Miguel Cuyutlán, Tlajomulco de Zúñiga, México, 45640

[3] Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco, Tecnología Alimentaria, Camino Arenero 1227, El Bajío, Zapopan, México, 45019.

[4] Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco, Subsede Sureste, Tablaje Catastral 31264 Km 5.5 Carretera Sierra Papacal-Chuburna Mérida, México, 97302.

[5] CONAHCYT-Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco, Biotecnología Vegetal, Camino Arenero 1227, El Bajío, Zapopan, México, 45019.

caficultores. Se considera una enfermedad que es muy difícil de erradicar, y con grandes epidemias que se presentan de manera cíclica. Además, la amenaza del cambio climático y sus consecuencias obligan al desarrollo de alternativas de control de bajo impacto ambiental. Partiendo de esta premisa, como parte del proyecto "Estrategias multidisciplinarias para incrementar el valor agregado de las cadenas productivas del café, frijol, mango, agave mezcalero y productos acuícolas (tilapia) en la región Pacífico Sur a través de la ciencia, la tecnología y la innovación", se abordó dentro de su Eje 2 la temática: "Diseño e implementación de un programa integral y sustentable para el manejo de la roya del café (*H. vastatrix*)". En este proyecto se buscó abordar dos estrategias biorracionales para el control de la roya del cafeto: la primera consistió en el uso de cepas de *Trichoderma* sp. que se asocien a la raíz de la planta, que tengan un efecto bioestimulante y que también permitan el control de la roya del café. En este trabajo se pudo obtener y evaluar diferentes cepas de *Trichoderma* que cumplieron con una o ambas características. Además, se comprobó que su mecanismo de acción estuvo relacionado con la inducción de defensa vegetal. Todo esto se realizó bajo condiciones controladas de laboratorio e invernadero experimental. El siguiente paso será la validación bajo condiciones de campo, así como el desarrollo de formulaciones que faciliten la transferencia de la tecnología a los productores.

La segunda estrategia fue evaluar el potencial del quitosano como un inductor de defensa vegetal para el control de la roya del café. Se evaluaron quitosanos de diferente origen, diferentes propiedades fisicoquímicas y diferentes disolventes para desarrollar una formulación de bajo costo y fácil manejo que pueda ser utilizado por los mismos productores e incluso que puedan ser preparados por ellos mismos. Fue posible validar el efecto de control de diferentes quitosanos, con origen diverso, y se logró definir las propiedades fisicoquímicas que son determinantes para la protección contra la roya. Además, fue posible elucidar los mecanismos de acción y mecanismos de defensa vegetal inducidos por el quitosano a nivel bioquímico y molecular. También se logró validar qué quitosanos de bajo costo y disponibilidad podían inducir una protección equivalente o mayor que

quitosanos con mayor grado de pureza y costo. Adicionalmente, se validó el uso de disolventes económicos y seguros para preparar formulaciones de quitosano, que facilitarían la incorporación en el manejo de cultivo de pequeños productores, sin los inconvenientes de la toxicidad y riesgo que implica su almacenaje y manejo. Todas estas validaciones se realizaron bajo condiciones controladas de laboratorio e invernadero experimental, el siguiente paso será la validación a nivel de campo.

*Palabras clave:* Bioestimulantes, inductores de defensa, microorganismos benéficos, quitosano, roya del café.

## Introducción

### *Importancia del cafeto*

La vida no sería la misma sin café, la bebida mundialmente famosa, imprescindible para que millones de personas empiecen su día, disfruten un libro o entablen una buena plática con sus amigos. La relevancia de esta bebida es tan grande que desde 2015 cada 1 de octubre se celebra el Día Internacional del Café. México es un país productor líder de café en el mundo, actualmente se encuentra en el lugar 10 a nivel mundial, con un volumen que oscila entre los 5 a 6 millones de sacos por año. Se cultiva en 12 estados de la República: Chiapas, Veracruz, Puebla, Oaxaca, Guerrero, Hidalgo, San Luis Potosí, Nayarit, Colima, Jalisco, Querétaro y Tabasco.

La época de recolección del café comienza en septiembre y concluye en marzo del siguiente año. El café ocupa el primer lugar como producto agrícola generador de divisas y empleos en el medio rural por las características del cultivo, que emplea para sus labores de limpia, cosecha y beneficiado del grano tanto a mujeres, hombres y jóvenes, por lo que cualquier miembro de una familia puede realizarlo.

En el ciclo cafetalero 2021/22 la producción mundial de café verde fue de 10 millones de toneladas (mdt), volumen que significó una disminución de 5.9% con respecto al ciclo previo. No obstante, para el ciclo 2022/23 se estimó que la producción mundial aumentará en 4%, al ubicarse en 10.4 mdt

(USDA 2023). En el cierre preliminar del ciclo 2022, en México se sembraron 700,994 ha; Chiapas (34.8%), Veracruz (20.6%) y Oaxaca (19.0%) son los estados con las mayores participaciones, los cuales aportan 74.4% (521,348 ha) de la superficie total nacional (SIAP 2022). La variedad del cafeto también juega un papel importante en cualquier sistema de producción, pues del genotipo y su adaptación al ambiente depende de la cantidad y la calidad de frutos a cosechar (López-García *et al*. 2016). Sin embargo, la gente está bebiendo más café que nunca. Se consumen más de 3 000 millones de tazas por día en todo el mundo. Durante las últimas dos décadas la demanda de productos de café ha aumentado en un 65%. Un punto importante es que el costo del café en los países ricos es engañoso; de los 12.5 millones de caficultores, alrededor de 5.5 millones viven por debajo del umbral de la pobreza, con un ingreso familiar de solo USD 3.20 por día. Aunado a esto, la producción del cafeto a nivel mundial se ve limitada por diferentes plagas y enfermedades, siendo la roya del cafeto (también conocida como roya del café o roya amarilla del café) la principal limitante.

***La roya del cafeto: origen y efectos en el cultivo***

El café se introdujo en Ceilán (hoy Sri Lanka) a principios del siglo XIX. Las laderas montañosas de las grandes tierras altas del oeste proporcionaron temperaturas frescas e ideales para el cultivo, lo que permitió que las plantas de café prosperaran y se establecieran extensas plantaciones. El auge del café se vio interrumpido abruptamente por el descubrimiento de una enfermedad de las hojas en 1869, caracterizada por manchas anaranjadas y polvorientas. Apodada por los oficiales coloniales británicos como “Devastating Emily”, un apodo derivado de su nombre científico (McCook 2006). La llegada de la roya del cafeto (*Coffee Leaf Rust* en inglés) marcó el comienzo del fin de la producción de café en Ceilán. La roya fue descubierta por primera vez en el café silvestre en 1861 cerca de las orillas del lago Victoria en Kenia. La enfermedad es causada por un hongo que se cree coevolucionó con el café silvestre en África ecuatorial. El hongo recibió su nombre científico (*Hemileia vastatrix)* por Berkeley y Broome en 1869. *Hemileia* se refiere a la superficie semilisa de las esporas (urediniosporas) y *vastatrix* a la naturaleza

dañina y devastadora de la enfermedad. Harry Marshall Ward en 1880 estableció el vínculo causal entre el hongo y la enfermedad (Ward 1882; Ayres 2005; Koutouleas *et al.,* 2022a). El creciente movimiento de plantas de café a medida que el cultivo del cafeto se extendía por todo el mundo a fines del siglo XIX y XX, junto con una gran expansión del comercio y el movimiento de personas, aceleraron la eventual propagación de la roya amarilla a muchos lugares nuevos (McCook 2006).

El cafeto es atacado por varias enfermedades y plagas dañinas (Koutouleas *et al*. 2022b); sin embargo, a pesar de muchos años de investigación científica, la roya del cafeto aún representa un desafío crítico para los agricultores de bajos recursos en la mayoría de las regiones productoras de café (Avelino *et al.,* 2012 a). El recordatorio más reciente de esto fueron los brotes renovados de la roya del cafeto en América Central y del Sur desde 2008 hasta alrededor de 2013. Las epidemias de la roya ocurrieron con mayor intensidad que la registrada anteriormente (Avelino *et al.,* 2015), denominada "Big Rust" por Baker (2014). La producción de café durante este período se redujo hasta en un 70% (Dupre *et al*. 2022), con graves impactos en los medios de vida de miles de pequeños agricultores y trabajadores del café, incurriendo en enormes pérdidas financieras. Otras enfermedades (como el marchitamiento del café y la enfermedad del fruto del café) están restringidas a África y aunque también son dañinas, sus impactos financieros y sociales son menos globales que la roya; esta se considera la enfermedad del café más importante con costos estimados para la industria del café de entre $1 y 2 mil millones de dólares anuales (Wellman 2021). Se ha estimado que sólo las recientes epidemias de roya en América Latina costaron hasta $1,000 millones en pérdidas y la desaparición de 250,000 empleos (Rey Mallén 2014). Existen diferentes estudios en donde se considera a *H. vastatrix* como el impulsor oculto detrás de la migración masiva de trabajadores indocumentados de México y América Central a los EE. UU. (Rey Mallén 2014; Milman *et al.,* 2018; Dupre *et al.,* 2022).

Como la mayoría de los patógenos fúngicos, el ciclo de la enfermedad de *H. vastatrix* está mediado principalmente por la temperatura y la humedad. Aunque los agricultores están a merced del clima, la tempera-

tura y la humedad dentro de las plantaciones de café y los jardines pueden modificarse mediante el uso de árboles de sombra y la densidad de plantación. La germinación de las esporas de *H. vastatrix* requiere de 6 a 24 horas de humedad de la hoja, con un rango de temperatura óptimo de 21 a 25 °C (Sera *et al*. 2022). Se ha especulado que el brote de roya de 2008 en Colombia fue provocado, en gran medida, por lluvias inusualmente altas (Rozo *et al.*, 2012; Avelino *et al.*, 2015). Los últimos brotes en América Central pueden deberse a precipitaciones anormalmente bajas en la estación húmeda y mayores precipitaciones durante la estación seca (Avelino *et al.*, 2015; McCook y Vandermeer 2015). También hubo una variación diurna reducida de las temperaturas durante los mismos períodos (es decir, temperaturas medias diarias mínimas más altas y máximas más bajas) en los países centroamericanos más afectados por las epidemias de roya (Avelino *et al*. 2015). Se ha informado una mayor gravedad de la enfermedad en los microclimas húmedos creados cuando las plantas están muy juntas y los doseles abarrotados de plantas individuales que se podan irregularmente. Los trabajos de Avelino *et al.* (2006, 2012 a) sugieren que los árboles de sombra, el pH del suelo, la fertilización y la altitud tienen un efecto prominente en el desarrollo y la severidad de la roya en comparación con la lluvia. Las interacciones entre la intensidad de la luz, la variación de la temperatura y las tasas de fertilización (suministro de N) y la esporulación de *H. vastatrix* se han examinado en condiciones controladas (Toniutti *et al.*, 2017).

Está claro que el cambio climático ha contribuido a una mayor incidencia de roya, aunque no se entiende completamente cómo sucede. Se ha sugerido que la pérdida resultante de diversidad de flora y fauna ha reducido la disponibilidad de enemigos naturales de las plagas y enfermedades del café, aumentando la vulnerabilidad de las plantas de café (Vandermeer *et al.,* 2014). Otra evidencia sugiere que los sistemas agroforestales de café conducen a tasas más altas de infección por roya debido a las condiciones microclimáticas favorables. Avelino *et al.* (2012b) encontraron que había una mayor dispersión de grupos de esporas de roya en plantaciones que crecían junto a pastizales y estaban expuestas a los vientos predominantes, conduciendo a más infecciones. Existen otros efectos indirectos que la

agrosilvicultura del café puede tener en la roya. Se ha informado que altas cargas de fruta coinciden con una alta incidencia de roya (Avelino *et al.*, 2006). Las razones exactas no están claras, aunque podría haber un vínculo con la migración de compuestos fenólicos protectores de las hojas a los frutos, exponiendo las hojas a la infección. El café bajo sombra podría ayudar a aliviar la presión de la enfermedad al reducir las variaciones en la producción de frutos y limitar la migración de compuestos fenólicos (Vaast *et al.*, 2006). Los rendimientos generales de café tienden a ser más bajos bajo sombra, pero son más estables año tras año (Koutouleas *et al.* 2022c).

No existe una explicación única de por qué los brotes de la roya amarilla en América fueron tan graves en los últimos años: los cambios en el patógeno, los sistemas agrícolas y el clima parecen haber contribuido. Los estudios para identificar su importancia relativa continúan, por ejemplo, a través de enfoques estadísticos avanzados que utilizan fuentes de datos geográficamente relevantes (Liebig *et al*., 2019; Merle *et al*., 2020), y están allanando el camino para una mejor comprensión de las epidemias de enfermedades vegetales complejas como la roya (Koutouleas *et al*. 2022a).

***Estrategias de control de la roya del cafeto***

Tras la llegada de la roya en la década de 1970, los caficultores de América aprendieron cómo manejar los brotes esporádicos de la enfermedad con fungicidas, pero no estuvieron preparados para la intensidad de los brotes severos cuatro décadas después. Los gobiernos estaban en estado de alarma por las pérdidas que se presentaban, aunque siempre actuando “a la defensiva”, luchando por mantenerse al día con la tasa de propagación y el impacto de la roya amarilla sobre la producción. Las respuestas tardías significaron que muchos caficultores sufrieron pérdidas tan catastróficas que les resultó más fácil abandonar el cultivo (Koutouleas *et al.* 2022a). El café orgánico fue más vulnerable a los ataques de la roya por la falta de métodos de control alternativos efectivos. Se consideró que el cultivo del cafeto recibiría apoyo del sector comercial y de los gobiernos deseosos de proteger una valiosa fuente de ingresos, dejando de lado el apoyo de la investigación internacional. Fue hasta 2019 que el CATIE (Centro Agronómico Tropical

de Investigación y Enseñanza), con sede en Costa Rica, elaboró un manual integral para personal técnico y servicios de extensión y facilitadores sobre cómo prevenir y controlar la roya amarilla, investigación que se consideró como una herramienta útil en el estudio de los sistemas de producción de café, incluidas las prácticas agronómicas (De Filho & Domian 2019). Actualmente existen diferentes métodos de control para la roya del cafeto, que incluyen los métodos químicos y no químicos, como el uso de fungicidas, manejo agronómico, variedades resistentes y control biológico.

Los fungicidas de contacto y sistémicos han sido ampliamente utilizados para el control de la roya del café. Existen tres grupos principales de fungicidas usados hoy en día: los que son a base de cobre (contacto), los basados en triazoles (sistémicos) y los que combinan triazoles con estrobilurinas (mixtas o mesosistémicas). Los fungicidas de contacto forman una barrera protectora en las hojas y evitan la entrada y penetración de las esporas del hongo. Los fungicidas sistémicos funcionan desde el interior de la planta, interrumpiendo las primeras etapas de infección. Los fungicidas mesosistémicos tienen una doble función, actuando tanto sobre la superficie de la hoja como dentro del tejido vegetal. El caldo bordelés, una combinación de sulfato de cobre, cal y agua, es uno de los fungicidas más antiguos en uso. Se utiliza regularmente para el control de la roya y es un fungicida de contacto. Es mucho menos efectivo que otros fungicidas a base de cobre y triazoles (Merle *et al.* 2020); sin embargo, sigue siendo la opción más atractiva en América Central al estar aprobado para su uso en la producción de café orgánico. El momento de las aplicaciones de fungicidas es crucial. Los tiempos críticos para las aplicaciones están determinados por la temporada de crecimiento, la carga de granos de café (de la cosecha anterior) o provocados por esquemas de monitoreo de enfermedades. La aplicación, generalmente, comienza al inicio de la temporada de lluvias. Se pueden realizar hasta cinco aplicaciones en países productores de café líderes como Brasil. Las evaluaciones de campo de la enfermedad, utilizando una matriz de puntaje y un ojo entrenado, también son útiles para determinar qué tipo de fungicida se usa. En Brasil los fungicidas de contacto se recomiendan para fincas que presenten una incidencia inferior al 5%

(Zambolim 2016). Los fungicidas sistémicos generalmente se recomiendan para incidencias más altas, pero esta recomendación difiere de un país a otro. La disponibilidad y asequibilidad de los métodos de control químico también determina las estrategias de control utilizadas por los agricultores (Sera *et al.,* 2022). Una mayor conciencia de la resistencia a los fungicidas destaca el peligro de confiar en el control químico. Otras consecuencias negativas del uso de pesticidas han resultado en un mayor interés por medios no químicos (Duong *et al.*, 2020; Hu & Chen 2021), junto con una adopción más amplia de métodos orgánicos para producir café. El café certificado orgánico es cada vez más atractivo para los consumidores de café y atrae un precio superior (Gatti *et al.*, 2022). La poda regular del café fue una de las principales prácticas promovidas después de los recientes brotes de roya del cafeto en la epidemia de América de 2012 para ayudar a la recuperación de las plantas de café y reducir futuras infecciones.

Las recomendaciones variaron según el tamaño de la finca y la mano de obra disponible, desde poda por hilera, por parcela o selectivamente, apuntando a plantas con ramas muertas e improductivas. La poda durante la estación seca tiene como objetivo abrir las copas y reducir las condiciones de humedad que favorecen la esporulación de *H. vastatrix*. La poda más avanzada en la temporada tiene como objetivo estimular el crecimiento de nuevas hojas y mejorar el flujo de aire dentro de las plantas y entre las hileras. Estas acciones reducen la humedad dentro de las parcelas. La poda oportuna de árboles de sombra antes del inicio de las temporadas de lluvias también tiene como objetivo mejorar el flujo de aire en las parcelas y reducir la humedad, restringiendo nuevamente la esporulación de *H. vastatrix* (Avelino *et al*., 2020). Las plantas de café más viejas requieren una fertilización más frecuente para mantener un buen vigor de crecimiento y fortalecer los mecanismos de defensa contra la roya. También se recomienda la renovación completa de las antiguas fincas cafetaleras, particularmente donde se han plantado cultivares altamente susceptibles. La promoción de buenas prácticas agronómicas es un buen camino a seguir en la gestión de la roya, pero su éxito siempre dependerá de la capacidad y voluntad de los agricultores para llevarlas a cabo (Koutouleas *et al.* 2022a). Por otra

parte, el uso de cultivares resistentes ha sido un pilar a largo plazo en los esfuerzos para controlar la roya del cafeto. Pero la resistencia es solo una de varias características clave para evaluar el material de plantación. Las razas autóctonas silvestres de Etiopía, como Geisha, tienen un potencial de calidad excepcional y exhiben una resistencia parcial; sin embargo, son menos populares para su uso en los sistemas modernos de cultivo de café debido a su altura y ramas quebradizas. El descubrimiento de un híbrido espontáneo denominado 'Híbrido de Timor' se ha utilizado en programas de mejoramiento genético centrados en la roya (Zambolim 2016; Talhinhas *et al*. 2017). Las variedades comerciales conocidas coloquialmente como Catimores y Sachimores portan genes de resistencia a la roya $S_H$ derivados de "Híbrido de Timor" (Sera *et al*., 2022). Los genotipos resistentes fueron mejorados con cultivares susceptibles como Catuaí y Mundo Novo para producir un conjunto adicional de cultivares resistentes con otras características preferidas, incluida la buena calidad del fruto y la estatura baja (Zambolim 2016). Estos cultivares resistentes se utilizaron en diferentes campañas nacionales para renovar los cafetales después de las principales epidemias de roya en América. Cualquier respiro contra futuras epidemias puede ser sólo temporal. La aparición frecuente de nuevas razas de *H. vastatrix* (49 descritas a la fecha; Barka *et al*., 2020) ha llevado a una ruptura de la resistencia durante la última década (Jibat 2020). La promesa de nuevos cultivares de café resistentes no se ha cumplido por completo, aunque existe una reducción definitiva de la enfermedad en comparación con los cultivares susceptibles a la roya (Cristancho *et al*., 2014). Los esfuerzos continúan con nuevas investigaciones y esfuerzos de mejoramiento de plantas que se utilizan para caracterizar los genes candidatos relacionados con $S_H$ para la resistencia (Barka *et al*., 2020) y desarrollar nuevos cultivares que pueden tolerar mejor las infecciones de la roya amarilla y aun así mantener altos rendimientos (Jibat 2020; Badillo-Chico 2021).

Finalmente, un método de control para la roya que se ha buscado y explorado es el uso de agentes de control biológico (ACB) o biocontrol. El uso de hongos, bacterias e insectos específicos contra la roya del cafeto en ensayos controlados se ha explorado, aunque todavía hay incógnitas

importantes en cómo estos agentes de control biológico funcionarían en el campo (Zambolim 2016; Koutouleas *et al*. 2022b). El agente de control biológico más documentado es el hongo *Akanthomyces lecanii* (Zimm.) (anteriormente *Lecanicillium lecanii*). Se ha reportado que se encuentra con frecuencia naturalmente en plantas de café infectadas por *H. vastatrix*. Se ha estudiado a través de evaluaciones *in vitro* durante las últimas tres décadas (Shaw 1987; Vélez y Rosillo 1995) y continúan las investigaciones sobre sus mecanismos antagónicos contra la roya (Koutouleas *et al*. 2022b). El momento de las aplicaciones de *A. lecanii* parece ser crítico en su efectividad contra la enfermedad (Vélez & Rosillo 1995), ya que debe establecerse en el campo antes de la introducción de *H. vastatrix*. Los cambios en el inicio de la roya determinarán si *A. lecanii* será efectivo contra ella.

Otros agentes de control biológico fúngicos que se sabe son efectivos contra la roya incluyen *Calonectria hemileiae*, *Mycodiplosis hemileiae* y *Trichoderma harzianum* (Nicoletti & Becchimanzi 2020; Ramírez-Rodríguez *et al*., 2020; Salcedo-Sarmiento *et al*., 2021). Los agentes de biocontrol bacterianos que se han evaluado incluyen *Bacillus cereus*, *B. lentimorbus*, *B. subtilis* y *Pseudomonas* sp. Se han investigado otros hongos: *Acremonium* sp, *Aspergillus* sp, *Cladosporium* sp., *Fusarium* spp. y *Penicillium* sp. (Koutouleas *et al*., 2022b). El ácaro *Ricoseius loxocheles* y el gasterópodo *Bradybaena similaris* han demostrado resultados prometedores y potencial como biocontrol (Oliveira *et al*., 2014; Vacacela *et al*., 2018; Hajian-Foroushani *et al*., 2020). Se descubrió que ambos se alimentan de las esporas de *H. vastatrix* en entornos controlados y en condiciones naturales solo para *B. similaris*. Otros esfuerzos de investigación han analizado el microbioma del café y el papel de los microorganismos endófitos en el desarrollo de la roya (Duong *et al*., 2020). Algunos hongos endomicorrízicos presentes en los sistemas radiculares del café se han relacionado con la reducción de las infecciones por *H. vastatrix* (Monroy *et al*. 2019). Estos son algunos de los primeros resultados que sugieren que tales hongos pueden ayudar a la planta de café a mitigar el estrés biótico como biocontrol y aumentar el potencial de inoculación del suelo con hongos autóctonos.

La aplicación en campo de los ACB requiere una cuidadosa reflexión. Para un control exitoso de la roya, el momento de la aplicación de ellos debe coincidir con las etapas vulnerables del ciclo de la enfermedad de *H. vastatrix*. Los ACB necesitan recursos alimentarios alternativos para sobrevivir durante los períodos de latencia de *H. vastatrix* cuando el hongo no está esporulando. Incluso después de 40 años de investigación sobre *A. lecanii*, este agente de biocontrol no ha cumplido las expectativas de control de la roya. Aún es necesaria investigación para ensayos de campo a gran escala para afinar los aspectos prácticos y de manejo del uso de *A. lecanii* contra la roya. Las instalaciones de producción necesarias para garantizar el suministro y el control de calidad de *A. lecanii* necesitan una inversión importante y la perspectiva de rendimientos financieros constantes. Existe la preocupación que el uso de ACB contra la roya no funcione en el campo porque no son específicos para la roya y la mayoría depende de tipos de suelo específicos para continuar con sus ciclos de vida. Ha resultado difícil hasta ahora encontrar los ACB que puedan prosperar en todos los entornos de cultivo de café. Por estos motivos es importante explorar nuevas alternativas para el control biológico, así como estrategias biorracionales para el control de la roya del cafeto.

***Estrategias biorracionales para el control de la roya del café***

El control biorracional es una herramienta importante para el control de plagas y enfermedades. El objetivo principal de este enfoque es optimizar el control de plagas de una manera económica y ecológicamente racional. El término biorracional se deriva de las dos palabras biológico y racional, que se refieren a pesticidas de origen natural que tienen efectos adversos limitados o nulos sobre el medio ambiente o para los organismos benéficos. Los pesticidas biorracionales se están volviendo populares debido a la conciencia ambiental y la preocupación de los consumidores. Estos productos para el manejo de plagas y enfermedades generalmente se ajustan bien a una estrategia de manejo integrado de plagas y enfermedades (MIPE), que se basa en el monitoreo para la detección temprana de plagas y enfatiza el uso de productos selectivos que protegen los cultivos y minimizan los

efectos negativos en el agua y el aire, suelo y sobre polinizadores e insectos benéficos. La definición federal de MIPE de EE.UU. experimentó un cambio de paradigma reciente hacia la "reducción de riesgos" como una forma de enfocarse en las consecuencias y los impactos de las plagas y las tácticas de manejo de plagas en lugar de solo los pesticidas, p*er se*. Una definición del término biorracional se puede tomar de Horowitz *et al*. (2009), quienes propusieron que el término se use de manera bipartita para (1) describir sustancias o procesos que, cuando se aplican en un sistema o contexto ecológico específico, tienen poca o ninguna consecuencia adversa para el medio ambiente y los organismos que no son el objetivo, pero (2) causan una acción letal u otra supresión o modificación del comportamiento en un organismo objetivo y aumentan el sistema de control. Independientemente del origen, estos agentes pueden desarrollarse a partir de modelos naturales o sintéticos y, en general, explotan la divergencia evolutiva de los sistemas fisiológicos en el organismo objetivo de las especies no objetivo, incluidos los humanos. Si se diseña e implementa correctamente, un agente biorracional debería ser casi totalmente compatible con los controles biológicos previstos para los "insecticidas selectivos" por Stern *et al*. (1959) (Stansly *et al*., 1996).

Dentro de este rubro incluiremos a los agentes de control biológico que no tienen un efecto antagónico directo contra el patógeno, y su mecanismo de acción se considera como un control "indirecto". Además, se pueden incluir a moléculas que no tienen un efecto directo sobre el patógeno, siendo su mecanismo de acción el estimular los mecanismos de defensa de la planta para reaccionar al ataque del patógeno, y de esta forma inducir una resistencia a la enfermedad. A partir de este conocimiento, como parte del proyecto "Estrategias multidisciplinarias para incrementar el valor agregado de las cadenas productivas del café, frijol, mango, agave mezcalero y productos acuícolas (tilapia) en la región Pacífico Sur a través de la ciencia, la tecnología y la innovación", se abordó dentro de su Eje 2 la temática: "Diseño e implementación de un programa integral y sustentable para el manejo de la roya del cafeto (*Hemileia vastatrix*)". En este proyecto se buscó abordar dos estrategias biorracionales para el control de la roya del cafeto: la primera con el uso de cepas de *Trichoderma* sp. que se asocien

a la raíz de la planta, que tengan un efecto bioestimulante y que también permitan el control de la roya del cafeto. La segunda estrategia abordada fue evaluar el potencial del quitosano como un inductor de defensa vegetal para el control de la roya del cafeto.

***Desarrollo de control biológico a base de Trichoderma sp.***

*Trichoderma* es un hongo considerado como un eficiente agente de control biológico (ACB) que ha sido ampliamente usado debido a su alta capacidad reproductiva, se caracteriza por tener un crecimiento micelial rápido y una abundante producción de esporas que ayuda a colonizar diversos sustratos del suelo. Presenta diversos mecanismos de protección para las plantas, puede inducir mecanismos de defensa produciendo enzimas extracelulares y metabolitos secundarios con efecto antibiótico que atacan directamente a otros hongos (micoparasitismo), así mismo, puede competir por los nutrientes y espacio, promover el crecimiento de la rizosfera y de la planta, además, posee la habilidad para sobrevivir bajo condiciones ambientales desfavorables (Enríquez, 2020).

Además del efecto biocontrolador, se ha reportado que la inoculación de algunas especies de *Tricoderma* aportan más beneficios como la liberación de nutrientes inmediatamente disponibles a partir de la descomposición de materia orgánica; también promueve el crecimiento y el desarrollo de los cultivos produciendo metabolitos que estimulan los procesos de desarrollo vegetal y la capacidad de multiplicarse en el suelo, además, al colonizar las raíces de las plantas libera factores de crecimiento (auxinas, giberelinas y citoquininas) que estimulan la germinación y el desarrollo de las plantas (Enríquez 2020). La abundancia de especies de *Trichoderma* en los suelos es una evidencia de su plasticidad ecológica y su habilidad para competir por espacio y recursos nutricionales. La rápida taza de crecimiento de sus colonias, su abundante esporulación, la amplia gama de enzimas que pueden sintetizar, así como la producción de diversas micotoxinas, ubican a las especies del género *Trichoderma* como hongos con una alta capacidad saprofítica competitiva (Arias-Moro & Heredia-Abarca 2022).

Diversas investigaciones se han centrado en el uso de *Trichoderma* como antagonista sobre las hojas y el ataque directo de las urediniosporas

de la roya. Otras investigaciones se han centrado en aprovechar la capacidad que tiene *Trichoderma* de asociarse a las raíces de las plantas, colonizarlas e incluso establecerse como un endófito dentro de la raíz. Este mecanismo de control es indirecto al estimular en la planta los mecanismos de defensa vegetal y resistencia. Se considera una activación del mecanismo de "priming" en las plantas, es decir, la planta activa sus mecanismos de defensa genéticos y de transducción de señales que preparan a la planta contra un ataque futuro de algún patógeno, disminuyendo el tiempo de reacción cuando el patógeno inicia su proceso de infección. De esta forma la planta es capaz de contrarrestar de manera eficiente el ataque de diferentes patógenos. Partiendo de esta premisa, en el proyecto se consideró buscar cepas de *Trichoderma* sp. que fueran capaces de asociarse a la raíz de plantas de cafeto, que presentaran un efecto bioestimulante y que además tuvieran un efecto de control de la roya del cafeto.

Para la obtención de cepas de *Trichoderma* que tuvieran estas capacidades, se recolectaron muestras de rizósfera en cafetales de la región de Ocosingo del estado de Chiapas. Los aislamientos se realizaron por medio de diluciones seriadas en medios selectivo para *Trichoderma* (THSM; Elad *et al*., 1982). Las cepas fueron identificadas mediante la observación microscópica en microcultivo. De los aislamientos identificados como *Trichoderma* sp. se evaluaron su efecto como estimulante en la germinación de semillas y su efecto bioestimulante, considerado como benéfico en parámetros anatómicos y fisiológicos de las plantas. Finalmente, de aquellos aislamientos que presentaron un efecto benéfico se evaluaron su efecto de protección contra la roya del café y el efecto de los filtrados sobre la germinación y efecto bioestimulante en las plantas de cafeto (Leal-García, 2021).

Con respecto al efecto de los aislamientos de *Trichoderma* sobre la germinación de las semillas, se observó un efecto diferenciado dependiendo de la cepa de *Trichoderma* (Figura 1). Algunas cepas evaluadas presentaron un efecto estimulante en la germinación, aunque algunas también presentaron un efecto adverso al aumentar el tiempo de germinación. La mayoría de los aislamientos colonizaron las raíces (Leal-García, 2021).

Figura 1. Efecto en la germinación de semillas de café y su colonización de cepas de ***Trichoderma sp. A)*** ***Trichoderma*** LE *21*, B) T. LE 47, C) T. LE 59, D) LE 63, E) LE 98, F) LE 116, G) LE 148, H) LE 0, I) ***Trichoderma*** comercial cepa TH 22, J) Testigo

En cuanto al efecto bioestimulante de las cepas de *Trichoderma* sobre las plántulas de cafeto, se observó un efecto benéfico en la mayoría de las plantas a nivel visual (Figura 2), presentando un mayor desarrollo foliar y de raíz con respecto a la planta no inoculadas e incluso que una versión comercial de *Trichoderma* (T-22).

Figura 2. Evaluación del efecto en el desarrollo de las plántulas de café inoculadas con los diferentes aislamientos de ***Trichoderma*** sp. 0: Testigo (agua destilada estéril), T22: Testigo (cepa comercial). Diferentes aislamientos de Trichoderma inoculados en plántulas de café: LE21, LE47, LE59, LE63, LE98, LE116, LE148, LE0

A nivel de los parámetros de crecimiento, se observaron diferencias significativas en algunos aislamientos de *Trichoderma*, considerándose un efecto benéfico en la altura, peso fresco y seco de las plantas inoculadas (Tabla 1.).

Tabla 1. Evaluación de los parámetros de crecimiento de plántulas de café

| Tratamiento | Altura de planta | Peso fresco en planta | Peso seco en planta |
|---|---|---|---|
| CONTROL | 4.5857[ab] | 1.5143[a] | 0.2452[a] |
| Testigo comercial | 5.0857[bc] | 2.2286[abc] | 0.3789[abc] |
| LE 21 | 4.9571[bc] | 4.9571[abc] | 0.4477[c] |
| LE 47 | 5.5429[c] | 5.5429[c] | 0.4268[c] |
| LE 59 | 5.0000[bc] | 5.0000[ab] | 0.2719[ab] |
| LE 63 | 5.5429[c] | 5.5429[c] | 0.4055[bc] |
| LE 98 | 8.5714[bc] | 5.0000[bc] | 0.3803[abc] |
| LE 116 | 3.9857[a] | 3.9857[bc] | 0.3928[abc] |
| LE 148 | 3.7857[a] | 3.7857[bc] | 0.3529[abc] |
| LE0 | 4.6286[abc] | 4.6286[bc] | 0.3490[abc] |

En cuanto al control de la roya del cafeto, se observó una disminución significativa de los síntomas de la enfermedad en las plantas que fueron inoculadas con las diferentes cepas de *Trichoderma* (Tabla 2). Aunque no todas las cepas presentaron un efecto protector (Leal-García *et al.* 2022). Adicionalmente a la prueba de efectividad biológica, se realizó la evaluación de la inducción de mecanismos de defensa bioquímicos. Se observó que se produjeron cambios en la actividad de algunas enzimas asociadas a la inducción de defensa vegetal efectiva contra la roya del cafeto, indicando que el mecanismo de protección de las cepas de *Trichoderma* pueden estar asociados a la inducción de resistencia. También se están explorando el potencial de los filtrados fúngicos de las cepas de *Trichoderma* en la estimulación de la germinación de semillas de café y el establecimiento de las plántulas provenientes de cultivo *in vitro* (Osorio-Carillo *et al*., 2022).

Tabla 2. Evaluación de la protección contra la roya del cafeto por la inoculación de ***Trichoderma*** sp.

| Día de muestreo | Tratamiento | % de incidencia | Severidad de la enfermedad | % de defoliación | % de hojas muertas |
|---|---|---|---|---|---|
| 60 | T1 control | 0 | 0 | 6.20 | 0 |
| | T2 roya | 100 | 3 | 0.69 | 36.80 |
| | T3 LE148 | 50 | 2 | 0 | 18.70 |
| | T4 LE98 | 70 | 2 | 1.40 | 22.50 |
| | T5 LE59 | 90 | 4 | 1.40 | 41.13 |
| | T6 LE116 | 100 | 3 | 1.40 | 42.20 |
| | T7 LE21 | 40 | 2 | 12.75 | 16.77 |
| 90 | T1 control | 0 | 0 | 7.90 | 0 |
| | T2 roya | 100 | 3 | 2.45 | 40.49 |
| | T3 LE148 | 90 | 2 | 0.57 | 28.70 |
| | T4 LE98 | 70 | 3 | 1.27 | 27.38 |
| | T5 LE59 | 90 | 3 | 0.60 | 30.30 |
| | T6 LE116 | 100 | 3 | 4.20 | 30.48 |
| | T7 LE21 | 40 | 3,4 | 13.15 | 14.47 |
| 120 | T1 control | 0 | 0 | 6.59 | 0 |
| | T2 roya | 100 | 4 | 5.40 | 31.80 |
| | T3 LE148 | 100 | 2 | 0.96 | 29.30 |
| | T4 LE98 | 90 | 3 | 4.06 | 22.30 |
| | T5 LE59 | 100 | 2 | 1.50 | 30.20 |
| | T6 LE116 | 100 | 3 | 5.40 | 31.30 |
| | T7 LE21 | 88 | 2 | 30.30 | 16.57 |

Después de la validación bajo condiciones controladas del efecto bioestimulantes y de control contra la roya del café de las cepas de *Trichoderma*, el siguiente paso será su validación a nivel de campo. De manera

paralela, se considera importante realizar el desarrollo de formulaciones a base de estas cepas de *Trichoderma* con diferentes sustratos que permitan un mejor manejo por parte de los productores, incluyendo el uso de sustratos que contengan residuos agroindustriales o provenientes del proceso de obtención de los granos de café, como pueden ser la pulpa de los frutos, cascarillas y otros componentes que actualmente no son utilizados, pero que tienen potencial para crecimiento de las cepas de *Trichoderma*.

***Desarrollo de formulaciones a base de quitosano***

Actualmente se desarrollan nuevas estrategias para el control de enfermedades que no caen dentro del control químico o el control biológico. Estas estrategias pueden incluirse dentro de la definición de biorracionales. Son componentes de naturaleza química, polimérica o peptídica que están relacionados con procesos de reconocimiento durante las interacciones entre las plantas y los patógenos, ya sea como moléculas de señalización, fitohormonas, bioestimulantes, partes de los patógenos o de la misma planta que funcionan como un tipo de antígeno. Es decir, funcionan como un tipo de "vacuna", donde el sistema de defensa de la planta lo reconoce y desencadena la respuesta de defensa efectiva o el proceso de señalización que lleva a una respuesta de resistencia. Estas moléculas son denominadas como inductores de defensa vegetal, inductores de resistencia o elicitores (este último concepto se relaciona con su nombre en inglés; Gowthami 2018).

Un método eficaz para el control de enfermedades son los inductores de resistencia o de defensa vegetal que sobreexpresan genes implicados en la síntesis de proteínas relacionadas con la patogénesis, la explosión oxidativa y el fortalecimiento de la pared celular, lo que sugiere un cambio general en el metabolismo, que pasa de un estado base a un proceso de defensa. Los inductores de resistencia o elicitores son moléculas que se unen a las proteínas receptoras especiales localizadas en las membranas celulares de las plantas. El receptor es una molécula de proteína que recibe señales químicas desde el exterior de una célula, una molécula que se une a un receptor (o ligando). Los receptores son capaces de reconocer el patrón molecular de los elicitores y desencadenan la señalización de la defensa intracelular que

resulta en el aumento de síntesis de metabolitos secundarios, fitoalexinas que reducen los daños y aumentan la resistencia a las plagas, enfermedades y estrés ambiental (Gowthami 2018).

Dentro de este grupo de moléculas destaca el quitosano. El quitosano es un polisacárido compuesto de glucosamina y N-acetil glucosamina unidos por enlaces β- (1-4), deriva de la desacetilación de la quitina que se obtiene de las paredes celulares de los hongos y crustáceos; presenta actividad antimicrobiana, no es tóxico, es biocompatible y biodegradable (Katiyar *et al.* 2014). La eficacia del quitosano en el control de enfermedades depende de la dosis y la virulencia del patógeno. Sin embargo, el grado de polimerización, el peso molecular, la composición química y las condiciones ambientales son los factores críticos. Una característica importante del quitosano para ser considerado como una alternativa interesante para el control de enfermedades vegetales e ideal para el manejo por pequeños productores es su disponibilidad en el mercado, su costo bajo, fácil manejo y almacenamiento y sin el inconveniente de una toxicidad que pueden presentar otras moléculas. En este sentido, en este proyecto se consideró evaluar el potencial del quitosano como un inductor de defensa vegetal para el control de la roya del café. Previamente se había descrito el uso del quitosano en el control de la roya del café, aunque describiendo su efecto antimicrobiano, y a dosis mayores que las necesarias para la inducción de defensa vegetal. Además, se evaluaron quitosanos de diferente origen, diferentes propiedades fisicoquímicas y diferentes disolventes para desarrollar una formulación de bajo costo y fácil manejo, que pueda ser utilizado por los mismos productores e incluso que puedan ser preparados por ellos mismos.

Como primer paso se evaluaron diferentes propiedades fisicoquímicas del quitosano junto con el quitosano de grado alimenticio de alta densidad para el control de *H. vastatrix* en plantas de cafeto. También se evaluó el efecto del quitosano de mejor rendimiento para inducir una respuesta de defensa a la interacción *H. vastatrix-Coffea arabica* (López-Velazquez *et al.*, 2021). Las características fisicoquímicas de los quitosanos evaluados fueron: viscosidad intrínseca [η], peso molecular promedio (Mv) y grados de desacetilación (DD) y se utilizaron dos concentraciones de 0.01% (**1**) y 0.05% (**5**; v/v) (Tabla 3).

**Tabla 3. Propiedades fisicoquímicas de los quitosanos. Viscosidad intrínseca [η], peso molecular promedio** (Mv) y grados de desacetilación (DD) de quitosanos

| Muestras | [η] | Mv (kD) | DD (%) |
|---|---|---|---|
| AH | 593.5 ± 2.87 | 260.6 ± 23.96 | 77.22 ± 3.05 |
| MH | 829.9 ± 3.49 | 452.8 ± 36.99 | 76.81 ± 2.87 |
| BH | 704.9 ± 3.06 | 295.4 ± 54.86 | 79.69 ± 0.54 |
| LH | 631.1 ± 10.90 | 314.4 ± 12.31 | 90.35 ± 2.57 |

Las muestras corresponden a quitosano de alto peso molecular, grado reactivo o practical grade (AH), quitosano de mediano peso molecular (MH), quitosano de bajo peso molecular (BH) y quitosano comercial de alta densidad de grado alimenticio (LH).

Se observó que la concentración y características fisicoquímicas del quitosano fueron determinantes para la inducción de protección contra la roya (Tabla 4). La mayor protección se observó en el quitosano de alto peso molecular (AH) y en el grado alimenticio (LH), y se consideró que la viscosidad fue la propiedad fisicoquímica determinante en la inducción de defensa. Se observó una inducción de defensa vegetal con la aplicación del quitosano de alto peso molecular a través de la actividad enzimática diferenciada y la acumulación de compuestos fenólicos totales (Figura 3). Esto fue el primer reporte de la inducción de protección contra la roya del café (*Hemileia vastatrix*) por medio del mecanismo de inducción de defensa vegetal (López-Velázquez *et al*., 2021).

Tabla 4. Efectividad biológica de quitosano con diferentes propiedades fisicoquímicas

| Tratamiento | Defoliación (%) | Hojas enfermas (%) | AUDPC | Incidencia de la enfermedad (%) |
|---|---|---|---|---|
| C | 0 ± 0 a | 0 ± 0 a | 0 ± 0 a | 0 |
| HV | 18.83 ± 5.81 c | 34.83 ± 8.23 bcd | 184 ± 2.58 e | 100 |
| BH1 | 17.93 ± 8.24 c | 36.56 ± 7.01 cd | 166 ± 5.86 de | 100 |
| BH5 | 24.67 ± 7.81 c | 39.05 ± 10.60 d | 180 ± 6.66 e | 100 |
| MH1 | 20.51 ± 6.05 c | 33.12 ± 6.55 bcd | 179 ± 7.97 e | 100 |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| MH5 | 16.72 ± 6.07 bc | 38.69 ± 10.47 d | 178 ± 6.99 e | 100 |
| AH1 | 15.58 ± 5.19 bc | 37.50 ± 8.32 cd | 153 ± 2.41 cd | 100 |
| AH5 | 19.55 ± 6.75 c | 22.23 ± 8.43 b | 76 ± 27.70 b | 80 |
| SH1 | 6.26 ± 3.49 ab | 29.94 ± 4.86 bcd | 136 ± 4.21 c | 100 |
| SH5 | 16.36 ± 4.73 bc | 42.64 ± 6.61 d | 142 ± 3.94 c | 100 |
| LH1 | 15.88 ± 5.79 bc | 42.64 ± 8.07 d | 79 ± 24.77 b | 90 |
| LH5 | 14.47 ± 5.81 bc | 24.47 ± 4.99 bc | 136 ± 20.97 c | 100 |

AH: quitosano de alto peso molecular, MH: quitosano de mediano peso molecular, BH: bajo peso molecular, SH: quitosano soluble, LH: quitosano de alta densidad, C: plantas sin tratar, HV: plantas con el patógeno, los quitosanos se aplicaron en concentraciones 0.01 (1) y 0.05 (5) %.

Por otra parte, el quitosano es posible obtenerlo mediante diferentes métodos. El método convencional y más utilizado es el químico; sin embargo, por la cantidad y tipo de sustancias que se utilizan para la extracción es el menos recomendado por el impacto al ambiente. El método de extracción se lleva a cabo en tres etapas: desmineralización, desproteinización y decoloración (Casadidio *et al*., 2019). Mientras que la extracción biotecnológica emplea principalmente enzimas, el proceso de la desproteinización se lleva a cabo utilizando proteasas extracelulares microbianas, las cuales sustituyen el uso de soluciones alcalinas, mientras que la desmineralización se realiza mediante el uso de bacterias ácido-lácticas. Cabe mencionar que en el proceso biológico tanto de la desmineralización como desproteinización ocurren simultáneamente (Rameshthangam *et al*., 2020). También se han descrito algunos otros métodos de obtención como la síntesis verde, incluyendo NADES (disolventes eutécticos profundos naturales).

Figura 3. Inducción de los mecanismos de defensa. Se determinó a actividad de las enzimas con actividad **de β-1,3 glucanasas (A), actividad de peroxidasas (B), producción de compuestos fenólicos totales** absorbidos a 650 nm (C) y producción de compuestos fenólicos totales absorbidos a 650 nm (D)

**Figura 4. Inducción de los mecanismos de defensa.** Se determinó a actividad de las enzimas con actividad de β-1,3 glucanasas (A), actividad de peroxidasas (B), producción de compuestos fenólicos totales absorbidos a 650 nm (C) y producción de compuestos fenólicos totales absorbidos a 650 nm (D)

En el proyecto se evaluaron moléculas de quitosano de origen químico (grado reactivo) y biotecnológico en el control de la roya del café a nivel laboratorio (López-Velázquez *et al*., 2022a). Se observó un efecto diferencial en la respuesta de defensa inducida en la planta de café, dependiendo del método de obtención del quitosano empleado (Figura 4; Tabla 5). El quitosano obtenido por el método químico tuvo un efecto positivo mayor en el control de la severidad de la enfermedad e incrementó los niveles de actividad de las enzimas PR y producción de compuestos fenólicos totales, por lo que representa una opción viable para ser utilizado como alternativa en el control de la roya del café.

Figura 4. Prueba de efectividad biológica con quitosano de diferentes orígenes. Los tratamientos corresponden a (c): Plantas sin tratamiento, (H): Plantas inoculadas con Hemileia vastatrix, (B1): plantas inoculadas con H. vastatrix y asperjadas con quitosano biotecnológico 0.01% y (B5): 0.05%; (P1): Plantas inoculadas con H. vastatrix y asperjadas con quitosano grado reactivo 0.01% y (P5): 0.05%

Tabla 5. Parámetros de la enfermedad en la efectividad biológica de quitosano con diferentes orígenes

| Tratamiento | Incidencia (%) | AUDPC* |
|---|---|---|
| C | 0 | 0.0 ± 0.0 [c] |
| HV | 100 | 102 ± 13.3 [a] |
| B1 | 100 | 91.4 ± 20.6 [a] |

| | | |
|---|---|---|
| B5 | 100 | 94.3 ± 20.3 [a] |
| P1 | 100 | 80.56 ± 8.9 [ab] |
| P5 | 100 | 61.1 ± 17.6 [b] |

*Área bajo la curva para el progreso de la enfermedad. Los tratamientos corresponden a (c): Plantas sin tratamiento, (H): Plantas inoculadas con Hemileia vastatrix, (B1): plantas inoculadas con H. vastatrix y asperjadas con quitosano biotecnológico 0.01% y (B5): 0.05%; (P1): Plantas inoculadas con H. vastatrix y asperjadas con quitosano grado reactivo 0.01% y (P5): 0.05%.

Por otra parte, el mecanismo de acción del quitosano como elicitor ha sido descrito para algunas plantas, aunque no completamente en café. En el mercado existen distintos quitosanos que varían en precio, pureza, fuente y proceso de obtención, lo que conlleva a tener propiedades fisico-químicas distintas y a su vez respuestas diferentes en las plantas. Tanto el quitosano grado reactivo o práctico como el quitosano grado alimenticio han presentado mayores grados de protección contra la roya del café. Sin embargo, el quitosano grado reactivo, que ha sido ampliamente estudiado, es de mayor pureza y mayor costo, lo que podría desalentar su uso. Mientras que el quitosano grado alimenticio, aunque de menor pureza, también es posible de encontrar a un menor precio y disponibilidad, lo que facilitaría su uso si presenta las mismas ventajas que el grado reactivo.

La respuesta de defensa inducida por el quitosano grado reactivo ya ha sido reportada para el café (López-Velázquez *et al*., 2021), aunque aún falta por describir a mayor detalle la respuesta bioquímica y molecular de esta resistencia inducida. Además, fue necesario comprobar que el efecto de inducción de defensa en otros quitosanos se mantiene o es equivalente a la inducida por el quitosano grado reactivo. En este proyecto se buscó evaluar dos concentraciones de quitosano grado alimenticio de alta densidad y su efectividad biológica en la protección contra la roya del café. En la concentración que indujo la mayor protección contra la roya se evaluó el mecanismo de defensa inducidos a nivel bioquímico y molecular que se desencadena en las plantas tratadas con quitosano grado alimenticio de alta densidad como inductor en plantas de café susceptibles a *H. vastatrix*.

Se observó una disminución significativa de los síntomas de la enfermedad con la aplicación del quitosano grado alimenticio (Tabla 6). Además de la inducción de la defensa bioquímica (López-Velázquez *et al*., 2023 ) y de diferentes genes relacionados con la defensa vegetal (Figura 5).

Tabla 6. Parámetros de la enfermedad evaluados después de aplicar quitosano grado alimenticio

| Tratamientos | Incidencia de la enfermedad (%) | AUDPC |
|---|---|---|
| C | 0 | 0.0 ± 0.0 [c] |
| H | 100 | 102.0 ± 14.3 [a] |
| Q1 | 100 | 40.0 ± 20.6 [b] |
| Q5 | 100 | 25.0 ± 11.6 [b] |

Los tratamientos corresponden a: **(C):** plantas sin tratamiento, **(H):** plantas inoculadas con *Hemileia vastatrix*, **(Q1):** plantas rociadas con 0.01% de quitosano alimenticio e inoculadas con *H. vastatrix*, **(Q5):** plantas rociadas con 0.05% de quitosano alimentario e inoculadas con *H. vastatrix*.* Los valores presentados son medias con desviación estándar. Los valores con letras diferentes muestran diferencias estadísticamente significativas con un nivel de confianza de Tukey del 95% ($p < 0.05$).

La aplicación de quitosano grado alimenticio de alta densidad redujo la severidad de la infección causada por *H. vastatrix* en concentración 0.05% de manera significativa, aunado a ello, incrementó la actividad y expresión génica de ß-1,3 glucanasas y presentó una respuesta diferenciada en enzimas relacionadas con el sistema antioxidante de las plantas. Además, se observó una correlación entre las actividades de la enzima polifenol oxidasa y producción de compuestos fenólicos totales, que permitió una respuesta de defensa efectiva en plantas de café (Figura 8).

**Figura 5. Expresión relativa de genes (a): β-1,3 glucanasas, (b): peroxidasa, (c): catalasa, (d): NPR1. (H):** plantas inoculadas con H. vastatrix, (Q): plantas rociadas con 0.05% de quitosano alimentario, (QH): plantas rociadas con 0.05% de quitosano alimentario e inoculadas con H. vastatrix

El validar que un quitosano con un menor precio y buena disponibilidad presentó una protección equivalente a quitosanos de mayor pureza y costos fue el primer paso para el desarrollo de una formulación que pueda ser utilizado a nivel de campo. El siguiente paso fue el validar que el solvente en donde se disuelve el quitosano concentrado sea de fácil acceso, seguro y

sin riesgo para quien lo utilice. El quitosano por su naturaleza química debe de ser disuelto en un ácido concentrado antes de poder ser disuelto en agua. Comúnmente se utiliza el ácido acético glacial a una concentración del 0.4 M para disolver el quitosano a una concentración del 1 al 5% (p/v). Una vez disuelto en el ácido acético, es fácilmente disuelto en agua destilada. Sin embargo, este paso puede presentar un problema para que personal no entrenado disuelva el quitosano. Por este motivo, se evaluaron alternativas más accesibles como son los vinagres comerciales: vinagre blanco de caña y vinagre de manzana. Ambos tienen una concentración de ácido acético del 5%. Se evaluaron las propiedades fisicoquímicas del quitosano grado alimenticio y la toxicidad de las soluciones resultantes en las hojas de plántulas de café. No se presentaron cambios fisicoquímicos en el quitosano grado alimenticio en comparación con el ácido acético, ni toxicidad en las hojas del café (López-Velázquez *et al*., 2022b). Adicionalmente, las formulaciones con ambos vinagres presentaron una efectividad biológica equivalente a las formulaciones con ácido acético (Figura 6).

Por otra parte, las formulaciones con vinagre mantuvieron un efecto de inducción de defensa bioquímica, siendo la formulación con vinagre de manzana la que presentó un efecto de inducción mayor que las demás formulaciones. Adicionalmente se realizan en paralelo la inducción de mecanismos de defensa asociados a la muerte celular programada, aunque los resultados se encuentran en proceso.

Figura 6. Prueba de efectividad biológica con quitosano grado alimenticio disuelto en diferentes vinagres. C: Plantas sin tratamiento; H: Plantas inoculadas con ***H. vastatrix***; A: Plantas tratadas con quitosano disuelto en ácido acético glacial 0.4 M; M: Plantas tratadas con quitosano disuelto en vinagre de manzana 5%; Ñ: Plantas tratadas con quitosano disuelto en vinagre de manzana 5%

A partir de los resultados del proyecto fue posible desarrollar una formulación a base de quitosano de grado alimenticio, disuelto en vinagre de manzana y que indujo una protección contra la roya del café bajo condiciones controladas de laboratorio e invernadero. El siguiente paso sería la validación de esta protección a nivel de campo. Además, es posible impartir talleres dirigidos a productores para la preparación de las formulaciones que estarían utilizando con ingredientes de fácil acceso y disponibilidad. Además de un almacenaje seguro de las formulaciones como de los ingredientes utilizados sin el riesgo para los productores y sus familias.

## Conclusiones

La roya del cafeto es una enfermedad devastadora que ha plagado el cultivo del café durante más de 150 años. Esta enfermedad fúngica de la hoja ha desempeñado un papel en la historia al influir en los cambios en el comercio colonial, la migración masiva de centroamericanos y la desaparición del medio de subsistencia de los caficultores. Se considera como una enfermedad que es muy difícil de erradicar y con grandes epidemias que se presentan de manera cíclica. Además, la amenaza del cambio climático y sus consecuencias obligan al desarrollo de nuevas alternativas de control y de nuevas investigaciones relacionadas principalmente con el control de bajo impacto ambiental de esta enfermedad.

En este proyecto se buscó abordar dos estrategias biorracionales para el control de la roya del cafeto: la primera fue el uso de cepas de *Trichoderma* sp. que se asocien a la raíz de la planta, que tengan un efecto bioestimulante y que también permitan el control de la roya del café. Se pudo obtener y evaluar diferentes cepas de *Trichoderma* que cumplieron con una o ambas características. Además, se comprobó que su mecanismo de acción estuvo relacionado con la inducción de defensa vegetal. Todo esto se realizó bajo condiciones controladas de laboratorio e invernadero. El siguiente paso será la validación bajo condiciones de campo, así como el desarrollo de formulaciones que faciliten la transferencia de la tecnología a los productores.

La segunda estrategia abordada fue evaluar el potencial del quitosano como un inductor de defensa vegetal para el control de la roya del café. Se

evaluaron quitosanos de diferente origen, diferentes propiedades fisicoquímicas y diferentes disolventes para desarrollar una formulación de bajo costo y fácil manejo, que pueda ser utilizado por los mismos productores e incluso que puedan ser preparados por ellos mismos. Fue posible validar el efecto de control de diferentes quitosanos, origen diverso y se logró definir cuáles propiedades fisicoquímicas eran determinantes para la protección contra la roya. Además, fue posible elucidar los mecanismos de acción y mecanismos de defensa vegetal inducidos por el quitosano a nivel bioquímico y molecular. También se logró validar que quitosanos de bajo costo y disponibilidad podían inducir una protección equivalente o mayor que quitosanos con mayor grado de pureza y costo. Adicionalmente, se validó el uso de disolventes económicos y seguros para preparar formulaciones de quitosano, que facilitarían la incorporación en el manejo de cultivo de pequeños productores sin los inconvenientes de la toxicidad y riesgo que implica su almacenaje y manejo.

## Referencias

Arias-Mota, R.M. & Heredia-Abarca, G. (2022) El género *Trichoderma* en fincas de café con diferente tipo de manejo y estructura vegetal en el centro del estado de Veracruz, México. *Alianzas y Tendencias BUAP, 7*(25), 1-20. http://doi.org/10.5281/zenodo.5881567

Avelino, J., Cristancho, M., Georgiou, S., Imbach, P., Aguilar, L., Bornemann, G., Läderach, P., Anzueto, F., Hruska, A.J.; & Morales, C. (2015) The coffee rust crises in Colombia and Central America (2008–2013): impacts, plausible causes and proposed solutions. *Food Security, 7*(2), 303-21

Avelino, J., Romero-Gurdián, A., Cruz-Cuellar, H.F. & Declerck, F.A. (2012a). Landscape context and scale differentially impact coffee leaf rust, coffee berry borer, and coffee root-knot nematodes. *Ecological Applications, 22*(2), 584-96.

Avelino, J., ten Hoopen, G.M. & DeClerck, F.A. (2012b). Ecological mechanisms for pest and disease control in coffee and cacao agroecosystems of the Neotropics. En B. Rapidel, F. DeClerk, J. Le Coq & J. Beer (eds.) *Ecosystem services from agriculture and agroforestry* (pp. 125-152). Routledge.

Avelino, J., Vilchez, S., Segura-Escobar, M.B., Brenes-Loaiza, M.A., Virginio-Filho, E.D.; & Casanoves, F. (2020). Shade tree *Chloroleucon eurycyclum* promotes coffee leaf rust by reducing uredospore wash-off by rain. *Crop Protection 129,* 105038. https://doi.org/10.1016/j.cropro.2019.105038

Avelino, J., Zelaya, H., Merlo, A., Pineda, A., Ordóñez, M., & Savary, S. (2006) The intensity of a coffee rust epidemic is dependent on production situations. *Ecological Modelling*, *197*(3-4), 431-47

Ayres, P. (2005). *Harry Marshall. Ward and the fungal thread of death.* American Phytopathological Society (APS Press).

Badillo-Chico, P.N. (2001*). Evaluation of genetic diversity and resistance genes of two rust-resistant coffee varieties, Limani and Fronton* [Tesis de doctorado, Universidad de Puerto Rico]. https://hdl.handle.net/20.500.11801/2804

Baker, P. (2014) The 'Big Rust': an update on the coffee leaf rust situation. *Coffee Cocoa Int. 40*(6), 37-39

Barka, G. D., Caixeta, E.T., Ferreira, S.S., & Zambolim, L. (2020). *In silico* guided structural and functional analysis of genes with potential involvement in resistance to coffee leaf rust: A functional marker based approach. *PloS one, 15*(7), e0222747.

Casadidio, C., Peregrina, D.V., Gigliobianco, M.R., Deng, S., Censi, R., & Di Martino, P. (2019). Chitin and Chitosans: Characteristics, Eco-Friendly Processes, and Applications in Cosmetic Science. *Marine Drugs, 17*(6), 369. doi: 10.3390/md17060369.

Cristancho, M.A., Botero-Rozo, D.O., Giraldo, W., Tabima, J., Riaño-Pachón, D.M., Escobar, C., Rozo, Y., Rivera, L.F., Durán, A., Restrepo, S., & Eilam, T. (2014). Annotation of a hybrid partial genome of the coffee

rust (*Hemileia vastatrix*) contributes to the gene repertoire catalog of the Pucciniales. *Frontiers in Plant Science*, 5, 594.

De Filho, E.V. & Domian, C.A. (2019). *Prevention and Control of Coffee Leaf Rust: Handbook of Best Practices for Extension Agents and Facilitators.* Tropical Agricultural Research and Higher Education Center (CATIE)

Duong, B., Marraccini, P., Maeght, J.L., Vaast, P., Lebrun, M., & Duponnois, R. (2020). Coffee microbiota and its potential use in sustainable crop management. A review. *Frontiers in Sustainable Food Systems,4*, 607935.

Dupre, S.I., Harvey, C.A. & Holland, M.B. (2022). The impact of coffee leaf rust on migration by smallholder coffee farmers in Guatemala. *World Development*, *156*, 105918. https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2022.105918.

Elad, Y., Chet, I., & Henis, Y. (1982) Degradation of plant pathogenic fungi by *Trichoderma harzianum*. *Canadian Journal of Microbiology, 28*, 719–725. doi: 10.1139/m82-110.

Enriquéz, S. (2020). *Efecto de diferentes cepas de Trichoderma en la produccion de ácido jasmonico en semillas y plantulas de café.* [Tesis de maestría, Universidad Veracruzana]. Repositorio institucional UV http://cdigital.uv.mx/handle/1944/50517

Gatti, N., Gomez, M.I., Bennett, R.E., Sillett, T.S., & Bowe, J. (2022). Eco-labels matter: Coffee consumers value agrochemical-free attributes over biodiversity conservation. *Food Quality and Preference, 98*, 104509.

Gowthami, L. (2018) Role of elicitors in plant defense mechanism. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry, 7*(6), 2806-2812.

Hajian-Forooshani, Z., Vandermeer, J., & Perfecto, I. (2020). Insights from excrement: invasive gastropods shift diet to consume the coffee leaf rust and its mycoparasite. *Ecology, 101*(5), e02966.

Horowitz, A., Ellsworth, P., & Ishaaya, I. (2010). Biorational Pest Control – An Overview. En I. Ishaaya & A. Horowitz (eds.), *Biorational Control of Arthropod Pests* (pp. 1 – 20). Spriger. 10.1007/978-90-481-2316-2_1.

Hu, M. & Chen, S. (2021). Non-target site mechanisms of fungicide resistance in crop pathogens: A review. *Microorganisms, 9*(3), 502.

Jibat, M. (2020). Review on Resistance Breeding Methods of Coffee Leaf Rust in Ethiopia. *International Journal of Research in Agriculture and Forestry, 7*(6), 32-41

Katiyar, D., Hemantaranjan, A., Singh, B., & Bhanu, N. A. (2014). A future perspective in crop protection: Chitosan and its oligosaccharides. *Advances in Plants Agricultural Research*, 1(1), 23 -30. DOI: 10.15406/apar.2014.01.00006

Koutouleas A; Collinge D., & Boa E (2022a). Coffee Leaf Rust: Back with a Vengeance. 10.13140/RG.2.2.28685.41444.

Koutouleas, A., Collinge, B.D., & Ræbild, A. (2022b) Alternative plant protection strategies for tomorrow's coffee. *Plant Pathology, 72*(3), 409-429. https://doi.org/10.1111/ppa.13676

Koutouleas, A., Sarzynski, T., Bordeaux, M., Skovmand Bosselmann, A., Campa, C., Etienne, H., Turreira-Garcia, N., Rigal, C., Vaast, P., Cochicho Ramalho, J., & Marraccini, P. (2022c) Shaded-coffee: a nature-based strategy for coffee production under climate change? A review. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 6, 877476.

Leal-García, I., Falcón-Bautista, M., López-Velázquez, J.C., Montero-Cortés, M.I., Uc-Várguez, A., & Qui-Zapata, J.A. (2022) Control biológico de la roya del café con cepas de *Trichoderma* asociadas a la raíz del café. XI Congreso REDBIO 2022. 14 de octubre de 2022. Mérida, Yucatán, México.

Leal García, I. (2021) Evaluación de control biológico y bioestimulantes de la roya en café en vitroplantas, bajo condiciones de invernadero. [Tesis de Maestría. Maestría en Agrobiotecnología. Instituto Tecnológico de Tlajomulco. Tlajomulco de Zuñiga, Jalisco, México].

Liebig, T., Ribeyre, F., Läderach, P., Poehling, H.M., Van Asten, P., & Avelino, J. (2019) Interactive effects of altitude, microclimate and shading system on coffee leaf rust. *Journal of Plant Interactions, 14*(1), 407-15.

López-García, F.J., Escamilla-Prado, E., Zamarripa-Colmenero, A., & Cruz-Castillo, J.G. (2016) Producción y calidad en variedades de

café (*Coffea arabica* L.) en Veracruz, México. *Revista Fitotecnia Mexicana, 39*(3), 297-304.

López-Velázquez, J.C., García-Morales, S., López-Sánchez, G.P., Montero-Cortés, M.I., Uc-Várguez, A., & Qui-Zapata, J.A. (2023). High-Density Chitosan Induces a Biochemical and Molecular Response in *Coffea arabica* during Infection with *Hemileia vastatrix*. *International Journal of Molecular Sciences, 24*(22):16165. https://doi.org/10.3390/ijms242216165.

López-Velázquez, J.C., García-Morales, S., Espinosa-Andrews, H., Montero-Cortés, M.I., & Qui-Zapata, J.A. (2022a). Control de la roya del café utilizando moléculas de quitosano de diferentes orígenes. *Avances en ingeniería química, 2* (1), 151-156.

López Velázquez, J.C., Espinosa Andrews, H., García Morales, S., Navarro López, D.E., & Qui Zapata, J.A. (2022b). Efecto del sistema soluto-solvente sobre los parámetros fisicoquímicos del quitosano para su uso como inductor de defensa vegetal. XI Congreso REDBIO 2022. 14 de octubre de 2022. Mérida, Yucatán, México.

López-Velázquez, J.C.; Haro-González, J.N.; García-Morales, S.; Espinosa-Andrews, H.; Navarro-López, D.E.; Montero-Cortés, M.I.; & Qui-Zapata, J.A. (2021). Evaluation of the Physicochemical Properties of Chitosans in Inducing the Defense Response of *Coffea arabica* against the Fungus *Hemileia vastatrix*. *Polymers, 13*, 1940. https://doi.org/10.3390/polym13121940.

McCook, S. & Vandermeer, J. (2015). The big rust and the red queen: Long-term perspectives on coffee rust research. *Phytopathology, 105*(9), 1164-1173.

McCook, S. (2006). Global rust belt: *Hemileia vastatrix* and the ecological integration of world coffee production since 1850. *Journal of Global History, 1*(2), 177-195.

Merle, I., Pico, J., Granados, E., Boudrot, A., Tixier, P., Virginio Filho, E.D., Cilas, C., & Avelino, J. (2020). Unraveling the complexity of coffee leaf rust behavior and development in different *Coffea arabica* agroecosystems. *Phytopathology, 110*(2), 418-27.

Milman, O., Holden, E., & Agren, D. (2018). The unseen driver behind the migrant caravan: climate change. *The Guardian*. https://www.theguardian.com/world/2018/oct/30/migrant-caravan-causes-climate-change-central-america Consultado 20 de agosto de 2023.

Monroy, S.H., Brindis, R.C., Moreno, J.P., & Velarde, E.V. (2019) Endomycorrhizal diversity in coffee plants (*Coffea arabica*) infected with rust (*Hemileia vastatrix*). *Nova Scientia, 11*, 102–123.

Nicoletti, R., & Becchimanzi, A. (2020) Endophytism of *Lecanicillium* and *Akanthomyces*. *Agriculture, 10*(6), 205.

Oliveira, C.M., Ferreira, J.A., Oliveira, R.M., Santos, F.O., & Pallini, A. (2014) *Ricoseius loxocheles*, a phytoseiid mite that feeds on coffee leaf rust. *Experimental and Applied Acarology, 64*(2), 223-33.

Osorio-Carrillo, M. del S., López-Medina, J. M., Montero-Cortes, M. I., Qui-Zapata, J. A., López-Velázquez, J. C. (2022). Efecto de filtrados de *Trichoderma* en la germinación de semillas de café *in vitro*. *Coloquio de Investigación Multidisciplinaria* 2022. *Journal CIM 10*(1), 1376-1385.

Rameshthangam, P., Solairaj, D., Arunachalam, G., & Ramasamy, P. (2020). Chitin and Chitinases: Biomedical and Environmental Applications of Chitin and its Derivatives. *Journal of Enzymes, 1*, 20-43

Ramírez-Rodríguez, R.F., Castañeda-Hidalgo, E., Robles, C., Santiago-Martínez, G.M., Pérez-León, M.I., & Lozano-Trejo, S. (2020) Efectividad de biofunguisidas para el control de la roya en plántulas de café. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas, 11*(6), 1403-1412.

Rey Mallén, P.R. (2014). *Coffee rust has claimed $1B in losses and 250,000 jobs in Central America, US fears increase of migration*. International Business Times.

Rozo, Y., Escobar, C., Gaitán, Á., & Cristancho, M. (2012) Aggressiveness and genetic diversity of *Hemileia vastatrix* during an epidemic in Colombia. *Journal of Phytopathology, 160*(11-12), 732-40.

Salcedo-Sarmiento, S., Aucique-Pérez, C.E., Silveira, P.R., Colmán, A.A., Silva, A.L., Mansur, P.S., Rodrigues, F.Á., Evans, H.C., & Barreto, R.W. (2021) Elucidating the interactions between the rust *Hemileia*

*vastatrix* and a *Calonectria* mycoparasite and the coffee plant. *Iscience, 24*(4), 102352.

Sera, G.H., de Carvalho, C.H., de Rezende Abrahão, J.C., Pozza, E.A., Matiello, J.B., de Almeida, S.R., Bartelega, L., & dos Santos Botelho, D.M. (2022) Coffee leaf rust in Brazil: Historical events, current situation, and control measures. *Agronomy, 12*(2), 496.

Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. (2022). *Escenario mensual de productos agroalimentarios Café. Dirección de Análisis Estratégico*. Consultado el 10 de agosto de 2023. Disponible en: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/784850/Cafe_Noviembre.pdf

Shaw, D.E. (1987). *Lecanicillium lecanii* a hyperparasite on the coffee rust pathogen in Papua New Guinea. *Australasian Plant Pathology, 17*, 2–3.

Stansly, P.A., Liu, T-X, Schuster, D.J., & Dean, D.E. (1996). Role of biorational insecticides in management of *Bemisia*. En Gerling D, Mayer RT (eds.), Bemisia 1995: *Taxonomy, Biology, Damage, Control and Management* (pp. 605–615). Intercept Ltd., Andover, Hants, United Kingdom

Stern, V.M., Smith, R.F., van den Bosch, R., Hagen, K.S. (1959). The integration of chemical and biological control of the spotted alfalfa aphid. The integrated control concept. *Hilgardia, 29*(2), 81–101.

Talhinhas, P., Batista, D., Diniz, I., Vieira, A., Silva, D.N., Loureiro, A., Tavares, S., Pereira, A.P., Azinheira, H.G., Guerra- Guimarães, L., & Várzea, V. (2017) The coffee leaf rust pathogen *Hemileia vastatrix*: one and a half centuries around the tropics. *Molecular Plant Pathology, 18*(8), 1039.

Toniutti, L., Breitler, J.C., Etienne, H., Campa, C., Doulbeau, S., Urban, L., Lambot, C., Pinilla, J.C., & Bertrand, B. (2017) Influence of environmental conditions and genetic background of arabica coffee (*C. arabica*) on leaf rust (*Hemileia vastatrix*) pathogenesis. *Frontiers in Plant Science, 8*, 2025.

United States Department of Agriculture Foreign Agricultural Service. (2023). *Coffee: World Markets and Trade report*. https://apps.fas.usda.gov/psdonline/circulars/coffee.pdf

Vaast, P., Bertrand, B., Perriot, J.J., Guyot, B., & Genard, M. (2006) Fruit thinning and shade improve bean characteristics and beverage quality of coffee (*Coffea arabica* L.) under optimal conditions. *Journal of the Science of Food and Agriculture, 86*(2), 197-204.

Vacacela Ajila, H.E., Ferreira, J.A., Colares, F., Oliveira, C.M., Bernardo, A.M., Venzon, M., & Pallini, A. (2018) *Ricoseius loxocheles* (Acari: *Phytoseiidae*) is not a predator of false spider mite on coffee crops: What does it eat? *Experimental and Applied Acarology, 74*(1), 1-1.

Vandermeer, J., Jackson, D., & Perfecto, I. (2014). Qualitative dynamics of the coffee rust epidemic: educating intuition with theoretical ecology. *BioScience, 64*(3), 210-8.

Vélez, P.E. & Rosillo, A.G. (1995). Evaluación del antagonismo del hongo *Verticillium lecanii* sobre *Hemileia vastatrix* en condiciones de invernadero y de campo. *Cenicafé, 46*, 45–55

Ward, H.M. (2021). Researches on the life history of *Hemileia vastatrix*. Journal of the Linnaean Society, 19(121), 299-335. https://doi.org/10.1111/j.1095-8339.1882.tb00377.x

Wellman, F.L. (2021). Americans face up to the threat of coffee rust. *Foreign Agriculture, 17*, 1–7.

Zambolim, L. (2016). Current status and management of coffee leaf rust in Brazil. *Tropical Plant Pathology, 41*(1), 1-8.

# Capítulo 12

# Transformando cosechas: tostando café en lecho fuente para agricultores del suroeste

*Enrique Arriola Guevara[1], Esaú Barajas Baltazar[1,2], Evaristo Urzúa Esteva[2], Priscilla Ruíz Palomino Haro[2], María Lourdes Flores López[2], Rosa Isela Corona González, Ernesto Rodríguez González[2], Guadalupe María Guatemala Morales[2*]*

**Resumen**

Los productores de café son un sector marginado, principalmente en el ámbito económico. Reciben ingresos muy bajos e insuficientes por el grano de café verde u oro. Debido a lo anterior, están en una continua búsqueda para incrementar sus ganancias. Por parte del tostado, demandan un proceso que les permita conservar la calidad de su materia prima, que resalte las características particulares que provee cada región y manejo de cada productor.

El proceso de desarrollo del módulo de tostado de café ha logrado validar su concepto, desarrollar prototipos, obtener patentes, formar recursos humanos y publicar artículos. Las características distintivas y novedosas de la tecnología, junto con su impacto social en los productores de café, prometen mejorar la calidad del café, permitiendo que produzcan sus propias marcas y aumenten las ganancias al agregar valor a su producto.

[1] Universidad de Guadalajara, Departamento de Ingeniería Química, Blvd. Gral. Marcelino García Barragán 1421, Olímpica, Guadalajara, Jalisco, México 44430.

[2] Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco, Unidad de Tecnología Alimentaria, Avenida Normalistas No. 800, Guadalajara, Jalisco, México, 44270. Email: gguatemala@ciatej.mx

El sistema de lechos fuente en multietapa es una tecnología con un TRL de 4 y opera en régimen continuo que, al igual que el tostador, producen por lote un café uniforme e higiénico que son las mayores ventajas respecto a los tostadores tradicionales. El prototipo del equipo desarrollado para el control basado en la masa del café que sale del sistema es más robusto y de fácil operación. Algo necesario actualmente dentro de la industria y que en particular para pequeños productores y cooperativas puede ser una herramienta para su desarrollo social.

Gracias al proyecto FORDECYT Cadenas se ha logrado un acercamiento con personajes clave dentro de la cadena de valor del café -como lo son los productores- y que de la mano con ellos se han desarrollado tecnologías innovadoras como lo son el módulo de tostado de café y el sistema de lechos fuente en multietapa (SLFM).

*Palabras clave:* Tostador de café; tostado de café por lote; tostado de café continuo; sistema de control de tostado; sistema de control de peso en línea.

## Introducción

### *Aspecto socioeconómico: el café y los productores del suroeste*

El café es una de las bebidas más consumidas alrededor del mundo. Tan solo en nuestro país un mexicano consume en promedio 1.6 kg de café al año. Hoy en día se le ha dado un valor agregado como café de especialidad y productos innovadores que dan nuevos sabores y más conveniencia a los consumidores (ICO, International Coffee Organization, 2019). La especie más consumida es la que se conoce como Arábica, que suele cultivarse en terrenos altos (1200 – 1700 m) y templados (15-24 °C). En cuanto a la producción de café en México, gracias a su geografía apta para el cultivo de este arbusto, 14 estados de la república están involucrados y de estos el 90 % de la producción se concentra en Chiapas, Veracruz, Puebla, Oaxaca y Guerrero, dando como resultado en el periodo de enero a julio del 2020 una exportación de 101.86 toneladas de café que tienen un valor de 427.51

millones de dólares (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP), 2020, 2021).

Debido a un incremento en el rendimiento del café, consumo, demanda y entre las muchas consecuencias de la pandemia del COVID-19, se ha ocasionado un excedente de producción, lo que ha disminuido el precio pagado a los productores y marginando aún más a este sector (SIAP, 2020). Actualmente la mayoría de los productores de café sólo se dedican a la comercialización del grano verde, lo que limita sus ganancias. Debido a esto, su búsqueda de mejores mercados y opciones para la comercialización ha ido en incremento.

A lo largo de la cadena de producción de café, uno de los procesos que genera un mayor margen de ganancia es el tostado del café y su venta directa al público, aspecto que ha llamado la atención de los productores que han comenzado a demandar un proceso de tostado que permita conservar la calidad de la materia prima, resaltando las características particulares, firma o sello sensorial que imparte el suelo y manejo del café de cada productor. Esto traería la posibilidad de crear sus propias marcas, a diferencia de obtener ingresos solo por la venta de café cereza u oro.

***Tostado de café***

El proceso de tostado juega un papel importante en la obtención de café de alta calidad, involucrando una serie de transformaciones físicas y químicas que impactan en el resultado final de aroma, sabor y color del producto final. Durante el proceso se desarrollan en el grano múltiples reacciones químicas que generan compuestos que impactan las propiedades organolépticas del grano.

Los factores importantes en este proceso involucran las características de diseño de los equipos de tostado (tamaño, forma de contacto, etc.), las condiciones de operación (tiempo, temperatura del medio calentante, etc.) y las características de procedencia y manejo de los granos de café.

El comportamiento del proceso de tostado es complejo y altamente no lineal, debido a esto las opciones en el mercado para llevar a cabo este proceso son variadas y cuentan con desventajas. Los principales tostadores

utilizados en la actualidad son el de tambor rotatorio, el de tambor vertical con paletas, el tostador de plato giratorio y el tostador de lecho fluidizado (Schenker, 2017). La mayoría de estos equipos no cuentan con un control adecuado e intuitivo para los usuarios, son sistemas cerrados con acumulación de gases y aceites en su interior, su uso es dependiente de un maestro tostador, no remueven efectivamente la cascarilla del grano (*silver skin*), funcionan con la quema de gases de combustión y son costosos.

### *El lecho fuente*

Debido a la necesidad de los productores mencionada anteriormente y a las desventajas de los equipos actuales de tostado de café, se ha propuesto la utilización de la tecnología desarrollada por Arriola-Guevara (1997) llamada "Lecho fuente" (Figura 1), que es una técnica para el contacto de fluidos con partículas sólidas (Tipo D de la clasificación de Geldart).

Figura 1. Lecho fuente desarrollado por Arriola-Guevara, 1997 y Arriola-Guevara et al., 2011). Patente No. 298223

En 2007 Arriola *et al*. demostraron que la estructura del lecho fuente puede modificarse de acuerdo con los requerimientos del proceso. Su técnica de contacto es única y adecuada para la transferencia de calor, masa y reacción química, en este caso, idónea para el tostado de café. En el sistema los granos de café verde entran por la parte superior, se depositan en el ánulo donde existe transferencia de calor por conducción entre los granos. Gracias a la geometría del sistema y a la gravedad los granos descienden e ingresan a la zona del tubo de arrastre donde existe transferencia de calor a los granos de café por convección del aire caliente que entra al sistema.

En el proyecto FORDECYT-Cadenas el lecho fuente se utilizó como base de dos tecnologías más: el *Módulo de tostado de café* (tostador en lote) y el *Sistema de lechos fuente multietapa (SLFM).*

***Módulo de tostado de café***

La patente con nombre "Aparato para tostar granos de café y método relacionado" con No. 395322 (Figura 2) consiste en un lecho fuente que puede operarse de forma automática o semiautomática, con un proceso reproducible y que garantiza la uniformidad del tostado.

Inspirados en resolver los problemas que presentan los equipos de tostado tradicionales por lote, encontramos una oportunidad para generar valor para los productores de café de la zona sudoeste del país con esta tecnología, ofreciéndola como una alternativa de desarrollo, de generación de nuevos sabores, aplicado a café de especialidad y la generación de nuevas marcas. Su uso se visualiza a corto plazo en cafeterías, restaurantes y hoteles que quieran ofrecer café gourmet recién tostado y la experiencia a los usuarios de tostar su propio café.

Figura 2. Aparato para tostar granos de café y componentes principales. Patente No. 395322. CIATEJ sede Guadalajara, Jalisco, México

### *Sistema de lechos fuente multietapa (SLFM)*

El sistema de lechos fuente multietapa (SLFM) consta de 10 lechos fuente colocados en serie de manera vertical, patente No. 376989 (Figura 3). Ha demostrado operar en régimen continuo tanto para semillas de limón (Arriola-Guevara *et al.*, 2006) y el tostado de café (Guatemala-Morales, 2007), a diferencia de los tostadores tradicionales.

Figura 3. Sistema neumático vertical multietapa para el procesamiento en continuo de sólidos con aire, gases y/o vapores. Patente No. 376989. CIATEJ sede Guadalajara, Jalisco, México

La alimentación del sistema se realiza por la parte superior y se llena por gravedad de manera ascendente. Los granos llenan la etapa inferior hasta que llegan al nivel del bloqueador que genera un sello de sólidos, permitiendo así el llenado del lecho siguiente y así sucesivamente hasta llegar al lecho superior (Virgen-Navarro *et al.*, 2016). El grano se tuesta mientras desciende etapa a etapa en el sistema y su tiempo de residencia está

determinado por una válvula de sólidos patente No. 347394, "Válvula–S", que se encuentra al final del sistema y funciona mediante pulsos de aire (Arriola-Guevara *et al.*, 2017).

***Sistemas de control automático***

En el sector industrial los equipos de procesamiento operan con distintas variables que se manejan de manera simultánea (temperatura, tiempo, peso, flujos, etc.), por tal razón, existe la necesidad de controlar esas variables para mantener los valores requeridos y poder lograr el objetivo de la operación de esos equipos.

Podemos definir un sistema de control automático como: "un conjunto de dispositivos, componentes y algoritmos diseñados para mantener las variables que se desean controlar en el punto de operación a pesar de las perturbaciones". Estas herramientas y técnicas se basan en el acoplamiento de circuitos electrónicos, controladores, pantallas, sensores, transductores, PLC, etc.; así como paquetes de programación de diferente software como: MatLab®, Labview®, Arduino®, entre otros, que incluyen modelos físico-matemáticos integrados que podrán ser resueltos mediante el uso de matemáticas complejas aplicables a los procesos, que serán abordados y solucionados por el ingeniero programador.

***Reto científico-tecnológico***

El SLFM no cuenta con un control automático, los operarios son los responsables de ajustar los parámetros para la salida del café y por lo tanto de su tiempo de residencia. Dentro del proyecto y con el objetivo de realizar la medición y registro de la masa de una manera automática y en línea, se desarrolló un prototipo con base en una celda de carga que cada vez que sale café del sistema realiza la medición y la registra.

***Reto social***

Como ya se mencionó, las condiciones sociales y de comercialización de café para los productores actualmente son muy complicadas, el sector cafetalero es uno de los más castigados a pesar de ser un producto de consumo básico

en muchas culturas. Existen muchas causas que pueden originar esta problemática, a continuación se describen algunas de ellas (Robles, 2011):

- Bajo nivel socioeconómico y de la infraestructura básica en zonas cafetaleras;
- Descapitalización del sector por bajos precios internacionales provoca emigración y escasez de mano de obra en regiones cafetaleras;
- Escasa participación de jóvenes y mujeres en la generación y ejecución de proyectos de desarrollo;
- Ausencia de obras de infraestructura básica y de servicios;
- Reducción y fragmentación de la superficie de cultivo;
- Rezago tecnológico.

Actualmente existe una necesidad por un mejor rendimiento y calidad del café que debe conservarse durante todo el proceso de transformación, principalmente en la etapa del tostado, acentuando las características organolépticas que cada región puede brindarle al grano. Las tecnologías de tostado propuestas, además de controlar y mantener la calidad de cada grano de café, pueden ser una ventana de oportunidades y desarrollo para los productores, creando sus propias marcas a diferencia de obtener ingresos sólo por la venta de café cereza u oro.

Nuestra aportación en este trabajo se basa en buscar alternativas para disminuir ese rezago técnológico que tendría un impulso socioeconómico. Dentro de un análisis de necesidades y problemáticas en las que se encuentran los productores de café encontramos una oportunidad para poder avanzar a la par con ellos: nosotros en los niveles de TRL de nuestras tecnologías y ellos actualizándose con la información que hemos venido desarrollando para dar valor agregado a su producto.

El objetivo de este proyecto es avanzar en las tecnologías de lecho fuente. Primero realizando mejoras y pruebas de operación del prototipo de tostado por lote; y segundo, diseñando un prototipo de pesaje para granos de café recién tostados en un sistema de lechos fuente en multietapa (SLFM),

con la intención de mejorar el sistema de control con el que actualmente se cuenta y que se lleva a cabo mediante una válvula que regula el flujo de salida del café tostado.

## Materiales y métodos

### *Módulo de tostado de café*

*Materiales e instrumentación*

La confiabilidad y calidad en el proceso de tostado de café dependen, en gran medida, de la tecnología empleada. El diseño y materiales utilizados son adecuados para el uso a altas temperaturas, sanitarios para su contacto con granos de café y resistentes para las condiciones de zonas agrícolas. La estructura soporte del módulo está construida en acero inoxidable grado alimenticio y sus dimensiones se establecieron de manera que fuera compacto y ergonómico para el usuario.

Para el proceso de tostado en lecho fuente es necesaria la alimentación de aire caliente a presión en el sistema. Para que esto fuera posible se utilizaron varios componentes, un compresor para la alimentación de aire, válvula solenoide, regulador de presión, rotámetro, resistencia eléctrica y esprea para la inyección de aire. Algunos de los componentes se enumeran y se ilustra su ubicación en la Figura 4.

La tubería es de acero inoxidable grado alimenticio. Para evitar accidentes y pérdidas de calor el lecho fuente, el ciclón para retirar los finos y la resistencia eléctrica se aislaron con fibra de vidrio y lámina de acero inoxidable.

La alimentación eléctrica es mediante dos líneas. El voltaje necesario para la resistencia eléctrica es de 220 V y para el sistema de control es de 110 V, cada uno se conecta por separado, pero el sistema de control controla el encendido y apagado de la resistencia eléctrica.

El sistema de control es mediante un microcontrolador Arduino UNO que se basa en la etapa del proceso y tiempo. Los componentes para el uso y control se enlistan en la Figura 4.

Figura 4. Componentes principales del sistema de control

1 Botón de encendido
2 Encoder de selección
3 Pantalla
4 PID de Temperatura de aire
5 Microcontrolador Arduino
6 Relevador de resistencia

*Actividades de mejoras para el Módulo por lote:*

- Redistribución de la línea de alimentación de aire
- Cambio de la conexión de entrada y salida al controlador
- Remplazo de la válvula de tres vías
- Corrección del código de programación.
- Inclusión de una válvula de seguridad (válvula de bola) en caso de falla eleéctrica.
- Pruebas de funcionamiento en planta piloto de CIATEJ Unidad Guadalajara.

***Sistema de lechos fuente en multietapa (SLFME)***

*Materiales e instrumentación*

El desarrollo en el SLFM se enfocó en el diseño de un prototipo de medición de la masa a la salida de manera automática, el diseño se muestra en la Figura 5 y se basó en el espacio disponible para su colocación, operación y resistencia de materiales (Barajas, 2022). El prototipo cuenta con:

- Estructura del prototipo
- Superficie de medición adecuada a la salida del sistema
- Celda de carga (5 kg)
- 2 microcontroladores (Arduino)
- Interfaz entre la celda de carga y el microcontrolador (HX711)
- Pistón con desplazamiento de 100 mm, velocidad de 30mm/s y fuerza de 300 N

***Actividades de diseño de prototipo de pesaje para el sistema de lechos fuente en multietapa:***

- Diseño y construcción del prototipo de control de peso en línea (Figura 5).
- Programación del código para calibrar el microcontrolador de carga (Figura 6).
- Programación del código de adquisición de datos del microcontrolador (Figura 7).
- Pruebas de operación.

Figura 5. Esquema ortogonal del prototipo de medición de masa (en mm) (Barajas, 2022)

Figura 6. Código de calibración para el prototipo de medición de masa

```
#include "HX711.h"

#define LOADCELL_DOUT_PIN  3
#define LOADCELL_SCK_PIN  2

HX711 scale;

float calibration_factor = -7050; //-7050 worked for my 440lb max scale
setup

void setup() {
  Serial.begin(9600);
  Serial.println("HX711 calibration sketch");
  Serial.println("Remove all weight from scale");
  Serial.println("After readings begin, place known weight on scale");
  Serial.println("Press + or a to increase calibration factor");
  Serial.println("Press - or z to decrease calibration factor");

  scale.begin(LOADCELL_DOUT_PIN, LOADCELL_SCK_PIN);
  scale.set_scale();
  scale.tare();  //Reset the scale to 0

  long zero_factor = scale.read_average(); //Get a baseline reading
  Serial.print("Zero factor: "); //This can be used to remove the need to
tare the scale. Useful in permanent scale projects.
  Serial.println(zero_factor);
}

void loop() {

  scale.set_scale(calibration_factor); //Adjust to this calibration
factor

  Serial.print("Reading: ");
  Serial.print(scale.get_units(), 1);
  Serial.print(" g");
  Serial.print(" calibration_factor: ");
  Serial.print(calibration_factor);
  Serial.println();

  if(Serial.available())
  {
    char temp = Serial.read();
    if(temp == '+' || temp == 'a')
      calibration_factor += 10;
    else if(temp == '-' || temp == 'z')
      calibration_factor -= 10;
  }
}
```

Figura 7. Código de adquisición de datos del microcontrolador (Arduino)

```
#include "HX711.h"
#include "math.h"

#define calibration_factor -436.8 //This value is obtained using the
SparkFun_HX711_Calibration sketch

#define DOUT  3
#define CLK  2

HX711 scale(DOUT, CLK);

float nilai;
float p;

void setup() {
  Serial.begin(9600);
  //Serial.println("HX711 scale demo");
  scale.set_scale(calibration_factor); //This value is obtained by using
the SparkFun_HX711_Calibration sketch
  scale.tare();//Assuming there is no weight on the scale at start up,
reset the scale to 0
  //Serial.println("Readings:");
}

void loop() {

//Serial.print(scale.get_units(), 1); //scale.get_units() returns a float
p= scale.get_units();

//pembulatan
 float a=p;
    nilai = floor(a);
    if (a-nilai <= 0.5){
      nilai=floor(a);
    }else {
      nilai = ceil(a);
    }
   int gram=nilai;

//kirim data ke labview
Serial.write(highByte(gram));
Serial.write(lowByte(gram));
delay(100);
}
```

## Resultados y discusión

*Módulo de tostado de café*

El módulo de tostado de café se muestra en la Figura 2 y su uso en la Figura 8. Es totalmente funcional y tiene una producción de 200g – 2000 g/lote. Se encuentra en un nivel de madurez tecnológica (TRL) de 5 y cuenta con las siguientes características particulares:

a) Produce un café tostado uniforme, que infiere al café un color homogéneo muy valorado por los tostadores expertos. Esta característica de tostado

uniforme tendrá como consecuencia un efecto positivo sobre el aroma y sabor.

b) La tecnología no emplea gas LP, por lo que evita la contaminación de los granos de café por gases producto de la combustión, debido a que el aire se calienta con resistencias eléctricas.

c) Ofrece un proceso altamente higiénico. El dispositivo provisto en la invención es desmontable, facilita su limpieza periódica y evita así la contaminación de los granos de café y la producción de compuestos dañinos como pueden ser los productos de la pirólisis, que comúnmente se acumulan en tostadores tradicionales. El aceite quemado provoca su adhesión a las cargas frescas, afectando negativamente la calidad del producto (sabor, aroma) y por ende la salud del consumidor.

d) Eliminación completa de la cascarilla (silver skin), que de no hacerse se quemaría al interior de la cámara de tostado provocando afectación del sabor y aroma del café. Esto debido a su diseño interno, al movimiento dinámico que se genera por la velocidad a la que circula el aire dentro de la cámara de tostado y las condiciones particulares de operación.

e) La automatización del sistema facilita su operación y control, reduciendo la intervención humana.

f) Mínima capacitación para uso del dispositivo. Con esta tecnología no se necesita ser un experto en el manejo de equipos de tostado de café para producir un lote.

g) Construida con partes fácilmente reemplazables, pensada y hecha totalmente por mexicanos y, por lo mismo, considerada una tecnología propia.

h) Es un dispositivo versátil, sirve para el secado y tostado de otras semillas dentro de un rango especifico de tamaño y densidad.

i) La practicidad de probar pequeñas cantidades y mezclas novedosas con condiciones particulares de tostado. Para la creación de nuevas marcas (temperatura y tiempo dentro del rango de operación del dispositivo o recetas personalizadas).

Actualmente la tecnología está siendo validada por usuarios que están dentro de la cadena de valor del café. La validación se realiza en las

instalaciones de CIATEJ, pero se busca que productores de otros estados tengan acceso a esta tecnología mediante el consorcio ADESUR.

Figura 8. Uso del Aparato para tostar granos de café y método relacionado. No 395322

También existen colaboraciones con expertos tostadores de café, productores, cafeterías y posibles usuarios con quienes se ha probado el equipo y obtenido café tostado (Figura 9). Se ha evaluado minuciosamente el desempeño del equipo, obteniendo valiosos comentarios y sugerencias para su mejora continua. Además, se han realizado encuestas de satisfacción para recopilar datos cuantitativos sobre la experiencia de los usuarios.

Figura 9.. Café tostado en tres diferentes niveles, claro, medio y oscuro

***Sistema de lechos fuente en multietapa***

La tecnología se encuentra en un nivel de madurez tecnológica (TRL) de 4. Se ha estado trabajando en el modelado matemático (balances de masa y energía y propuesta en espacio de estados) (Barajas, 2022), un sistema de enfriamiento por helicoide (nivel prototipo), el control del proceso mediante la medición de la masa a la salida (nivel prototipo) y cuenta con las siguientes características particulares:

a) Operación en continuo (20 – 30 kg/h);
b) Tostado uniforme;
c) Control del proceso automático y flexible para el grado de tueste deseado;
d) Operación a bajas presiones;
e) Es escalable;
f) Fácil montaje y desmontaje para mantenimiento y limpieza;
g) Sin partes móviles;
h) Ahorro energético por la operación en continuo y en gastos de importación (construcción nacional). El cuerpo principal del tostador se compone de materiales fácilmente reemplazables y se mantenimiento simple.

El prototipo de pesaje se instaló en línea al sistema, pesó el café en cada ciclo de la válvula – S y automáticamente activó un pistón que inclinó la superficie de pesaje y descarga el café, dejando así la superficie lista para la siguiente medición. El dispositivo terminado se muestra en la Figura 10. Se programó la adquisición de datos del microcontrolador en Labview® y el movimiento del pistón de acuerdo con el tiempo de ciclo de la válvula-S (Barajas, 2022). El código desarrollado se muestra en la Figura 11 y la imagen del panel de control se muestra en la Figura 12.

Durante el proceso de tostado en cada ciclo de operación se expulsa café, muestra la información de masa en la pantalla, registra los datos en un archivo de Excel, el pistón se extiende y por último se retrae dejando así la superficie limpia y lista para el siguiente ciclo.

Figura 10. Prototipo de pesaje. Se muestra el pistón extendido, etapa donde vacía el café

Figura 11. Diagrama de bloques en Labview. El control del pistón corresponde a la parte superior y la obtención y registro de los datos de la masa en la parte inferior

Figura 12. Panel de control en Labview para la válvula-S, se muestra la medición de masa y el registro en una tabla

## Impacto social

Con el uso de estas tecnologías se puede impulsar el desarrollo económico en las diferentes zonas cafetaleras de México, principalmente de la región del suroeste de México. Además, se trabaja en la elaboración de borradores de convenios para transferir la tecnología y para las pruebas *in situ* con usuario en ambiente real y en actividades de difusión tecnológica.

Como ya se mencionó, uno de los objetivos es que los productores del suroeste del país tengan acceso a estas tecnologías, que experimenten, utilicen y validen los equipos. Para lograrlo se han hecho visitas informativas para los productores de café a Acapulco, Guerrero, en las instalaciones de ADESUR, donde se ha iniciado el contacto directo con ellos y se les ha entrevistado para conocer sus principales requerimientos en cuanto al tostado y comercialización de café (Figura 13).

Los beneficios que brindarán al sector cafetalero y a la sociedad son:

1. Impulsarán el desarrollo económico en las diferentes zonas cafetaleras en México. Esto debido a que podrán pasar de vender de 7 pesos el café cereza a 300 pesos el kilogramo de café tostado;
2. Promoverán la generación de empleos por concepto de las nuevas alternativas de mercado, por ejemplo: para la empresa de construcción de equipos se generan cinco empleos directos y cuatro indirectos.
3. Ayudarán a ofertar nuevas alternativas de mercado. Las tecnologías podrán ser utilizadas por cooperativas, cafeterías, restaurantes y hoteles que podrán ofrecer a sus clientes café recién tostado (mediano plazo);
4. Promoverán el ingreso de mayores divisas por concepto de exportación del aromático. El precio de café gourmet tostado se encuentra en un rango de 25 a 45 USD/kg;
5. Detonarán la apertura de un nuevo nicho de mercado para fabricantes de equipos y maquinarias, como son las pailerías y servicios de construcción o venta de sistemas electrónicos para la construcción de partes y tostadores;
6. Originarán un incremento en las ventas de café tostado de productores que tuesten su café, como consecuencia de un aumento en el número de consumidores de café tostado en estas tecnologías;
7. Promueven su uso para pruebas de mezclas en el tostado de café gourmet.

Figura 13. Presentación de resultados a productores de café y exposición de cartel con metodología y resultados, dentro del programa FORDECYT Cadenas en las instalaciones de ADESUR, Acapulco, Guerrero, octubre 2022

## Conclusiones

El módulo de tostado de café actualmente es un equipo funcional y semiautomático, sus materiales y diseño han sido sometidos a las condiciones de tostado de café (200 – 230 °C) por periodos largos de trabajo. Lo anterior

demuestra que el equipo es confiable y robusto, que proponemos como una herramienta que tendrá un impacto positivo en la cadena de valor del café, sobre todo con los pequeños productores y empresarios que busquen dar mayor valor a su café verde de altura mediante tuestes uniformes a condiciones específicas.

El sistema de lechos fuente en multietapa (SLFM) es innovador y cuenta con diferenciadores respecto a los tostadores tradicionales, que lo colocan como un sistema factible que puede ser utilizado por productores y cooperativas de café y cubrir las necesidades de producción y calidad que demanda la cadena de producción, comerciantes y consumidores.

Aún existe un largo camino que recorrer para que las tecnologías alcancen el impacto deseado en el ámbito social para los productores de café, pero la sinergia generada por el proyecto FORDECYT Cadenas con algunos de los actores de la producción del grano en la región sudoeste es un gran avance para el desarrollo de equipos de tostado controlables, eficientes y confiables que estén diseñados de la mano de productores y para productores.

## Referencias

Arriola-Guevara, E. (1997). *Residence time distribution of solids in staged spouted beds.* [Tesis doctoral, Oregon State University]. https://www.researchgate.net/publication/35275811_Residence_time_distribution_of_solids_in_staged_spouted_beds

Arriola-Guevara, E., García-Herrera, T., Guatemala-Morales, G. María., & García-Fajardo, J. A. (2006). Estudio preliminar de las propiedades de la semilla de limón Mexicano (*Citrus aurantifolia swingle*) para su posible aprovechamiento. *Información Tecnológica*, *17*(6). https://doi.org/10.4067/s0718-07642006000600015

Arriola-Guevara, E., Guatemala-Morales, G. M., & García-Fajardo, J. A. (2011). *Dispositivo para el procesamiento de sólidos mediante la aplicación de gases o vapores*. IMPI, Patente No. 298223).

Arriola-Guevara, E., Guatemala-Morales, G. M., & García-Fajardo, J. A. (2017). *Dispositivo no mecánico para el control de flujo de sólidos granulares mediante la inyección intermitente de aire o gas*. IMPI, Patente No. 347394.

Barajas, E. (2022). *Caracterización, modelado fenomenológico y estimación paramétrica del proceso de tostado de café en un sistema de lechos fuente en continuo* [tesis de maestría, Universidad de Guadalajara]. Repositorio institucional UDG. https://riudg.udg.mx//handle/20.500.12104/91118

Guatemala-Morales, G. M. (2007). *Tostado del café (Coffea arábica) utilizando un sistema de lechos fuente en multietapa* [tesis de doctorado, Universidad de Guadalajara].

International Coffee Organization. (2019). *Profitability of coffee farming in selected Latin American countries*. *ICC 124-6*, 21. www.ico.org

Robles Berlanga, H. M. (2011). Los productores de café en México: Problemática y ejercicio del presupuesto. Monografía, Mexican *Rural Development Research Reports*. Wilson Center. https://www.wilsoncenter.org/sites/default/files/media/documents/publication/Hector_Robles_Cafe_Monografia_14.pdf

Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. (2020, October 1). *Café, la bebida que despierta a México*. Https://Www.Gob.Mx/Agricultura/Articulos/Cafe-La-Bebida-Que-Despierta-a-Mexico.

Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. (2021, October 1). *1 de octubre: Día Internacional del café*. Https://Www.Gob.Mx/Siap/Articulos/1-de-Octubre-Dia-Internacional-Del-Cafe?Idiom=es.

Virgen-Navarro, L., Herrera-López, E. J., Corona-González, R. I., Arriola-Guevara, E., & Guatemala-Morales, G. M. (2016). Neuro-fuzzy model based on digital images for the monitoring of coffee bean color during roasting in a spouted bed. *Expert Systems with Applications*, *54*, 162–169. https://doi.org/10.1016/j.eswa.2016.01.027.

# Capítulo 13

# Elaboración y validación de productos nutracéuticos y cosmecéuticos a partir de café y sus subproductos

*Guadalupe María Guatemala-Morales[1], Eugenia Lugo Cervantes[1], Eduardo Padilla Camberos[1], Hugo Esquivel Solís[1], Enrique Arriola-Guevara[2], Rosa Isela Corona-González[2], Miriam Granados Vallejo[1], Elisa Alejandra Beltrán Medina[1], Juan Carlos Mateos Díaz[1], Gustavo Adolfo Castillo Herrera[1*]*

**Resumen**

En este proyecto de investigación se evaluaron procesos a nivel laboratorio para la obtención de ingredientes nutracéuticos y cosmecéuticos a partir de granos, subproductos y residuos del café, permitiendo ampliar la cadena de valor y aumentando la posibilidad de comercialización más allá del grano verde, tostado, incluso de la bebida. Para ello se desarrollaron y caracterizaron dos productos novedosos: un *serum* para aplicación sobre la piel y un alimento tipo cereal para desayuno. Ambos a partir de subproductos y residuos de café. A los productos se les realizaron evaluaciones fisicoquímicas y biológicas necesarias que permiten afirmar que su consumo, en las cantidades recomendadas, pudieran promover un efecto positivo en la salud (reducción de triglicéridos en sangre) y un retraso del envejecimiento de la piel. En conclusión, tanto el *serum* como el alimento extruido son aptos para su uso como producto cosmético y alimenticio respectivamente.

[1] Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco, A.C. Unidad de Tecnología Alimentaria, Avenida Normalistas 800, Guadalajara, Jalisco, México, 44270.

[2] Universidad de Guadalajara, Departamento de Ingeniería Química, Blvd. Gral. Marcelino García Barragán 1421, Olímpica, Guadalajara, Jalisco, México, 44430.

* gcastillo@ciatej.mx.

*Palabras clave:* Café verde, cascarilla de café, cosmecéutico, nutracéutico, subproductos.

## Introducción

*Socioeconomía*

En México, el café es un cultivo estratégico, debido a que permite la integración de cadenas productivas, la generación de divisas y empleos; además, es un cultivo de enorme relevancia ecológica, ya que más del 90% de la superficie cultivada con café se encuentra bajo sombra diversificada, que contribuye a conservar la biodiversidad y provee servicios ambientales vitales a la sociedad (Figueroa Hernández *et al.*, 2015).

El año cafetalero 2021/22 fue un año de recuperación, se estima que el consumo mundial de café aumentó a 170.3 millones de sacos de 60 kg de café verde, un 3.3% más que el año anterior (ICO, 2022). En 2021 en México se produjeron 947 092 toneladas de café cereza, siendo los principales productores los estados de Chiapas, Veracruz, Puebla y Oaxaca, posicionando a México en el 12vo. lugar a nivel mundial en la producción de este cultivo. En ese mismo año, la exportación de café verde alcanzó las 109 379 toneladas, con un valor comercial de 427.8 millones de dólares, ocupando el octavo sitio en la exportación del aromático. El mercado más importante de ventas del grano mexicano fue Estados Unidos, consignándole 60 480 toneladas, el resto se destinó a 47 naciones (Ornelas Ruiz *et al.*, 2022).

*Procesamiento de industrialización*

Todas las plantas de café pertenecen al género *Coffea*, que posee cerca de 85 especies, pero solo tres de estas (*C. arabica, C. canephora* (robusta) y *C. libérica*) han sido utilizadas exitosamente como cultivo comercial. El 75% de la producción mundial de café es arábica (George *et al.*, 2008).

La cadena de producción del café comienza con la cosecha de las bayas maduras de café que serán tratadas con la finalidad de separar la pulpa del grano mediante uno de los siguientes dos procesos: (a) beneficio húmedo o (b) beneficio seco, de donde se obtiene el grano de café verde (Figura 1).

Finalmente, el grano es tratado con calor para su deshidratación, seguido del proceso de tostado, obteniendo así el café que se utilizará para la preparación de la bebida. Durante el secado de café se desprende la cascarilla de café (Figura 2), único subproducto obtenido en esta etapa del proceso (Belitz *et al*., 2009; Murthy & Naidu, 2012).

Figura 1. Granos de café verde (***C. arabica***). Figura 2. Cascarilla de café (***C. arabica***).

*Beneficios a la salud*

Los granos de café son una fuente rica en compuestos con una marcada actividad antioxidante. Se ha demostrado que los compuestos fenólicos como los ácidos clorogénicos, que se encuentran en los granos de café, tienen efectos benéficos como: antiobesidad, antidiabéticos, antioxidantes, antiinflamatarios, antimicrobianos, antihipertensivos, anticancerígenos y neuroprotectores (AG Eldin, 2021; Pourshahidi *et al.*, 2016). Los componentes del café como la cafeína, el ácido cafeico, el ácido clorogénico y el ácido ferúlico son posibles compuestos que juegan un papel en la disminución del riesgo de depresión (Zuhair Mohd Zain *et al.*, 2017). También se ha postulado que los antioxidantes presentes en el café son capaces de disminuir las especies reactivas de oxígeno, pudiendo dar lugar a una reducción del riesgo de enfermedad de Alzheimer (Pourshahidi *et al*., 2016).

Existen numerosos estudios realizados para demostrar los beneficios asociados con el consumo de café verde y sus compuestos bioactivos (AG Eldin, 2021). Se ha demostrado que el café verde mejora la presión arterial, los lípidos plasmáticos y el peso corporal, contribuyendo así a reducir los

factores de riesgo de Síndrome Metabólico. Además, se han reportado efectos benéficos para la piel debido a sus propiedades antioxidantes y antiinflamatorias, mejora la hidratación, la función de barrera de permeabilidad y la función microcirculatoria; así como beneficios en las funciones cognitivas (Bosso *et al.*, 2023).

El café verde pudiera ser utilizado como suplemento dietético, cosmético y producto farmacéutico; sin embargo, es importante investigar el efecto de los procesos de extracción, preparación de muestras, tecnología y otros aspectos que deben ser considerados para obtener una adecuada calidad y composición del café verde y sus extractos para ser aplicados en la industria (Beltran Medina, 2021; Bosso *et al.*, 2023).

*Subproductos y residuos de café verde*

En la industrialización del café se pueden recuperar subproductos y residuos de café verde como: “tozos” proveniente del trillado. En el proceso de trilla o trillado se separan los granos defectuosos de cada lote de café (granos mordidos, vinagres, brocados, blanqueados, etc.). Estos granos son vendidos a menor precio por su baja calidad y no se usan para exportación. Otros ejemplos son los granos de café picados por la broca y el residuo del café verde que proviene del proceso de obtención de aceite de café verde por prensado en frio. La Figura 3 muestra algunos ejemplos de los mencionados.

Figura 3. Residuos y subproductos de café verde: a) Café picado por broca; b) Café trozado; c) Residuos de café verde procesado por prensado (desgrasado)

*Cascarilla de café tostado (silver skin)*

Se sabe que el café es una bebida muy popular y apreciada alrededor del mundo, por lo que la industria del café es responsable de generar grandes cantidades de subproductos, entre ellos la cascarilla de café, la cual representa un 4.2% (p/p) del grano de café (Ballesteros *et al*., 2014; ICO, 2020). Se ha reportado que por cada 120 ton de café tostado se produce alrededor de 1 ton de cascarilla de café (Alves *et al*., 2017), la cual es actualmente utilizada como combustible y fertilizante (Bresciani *et al*.,

2014). Sin embargo, diversos estudios muestran a la cascarilla de café como fuente de ácidos clorogénicos, con concentraciones en el rango de 1,000 a 11,678 mg de ácido clorogénico (5-CQA)/kg de cascarilla de café (Bresciani *et al*., 2014; Iriondo-DeHond *et al*., 2019; Narita & Inouye, 2012; Regazzoni *et al*., 2016). Debido a su composición y origen, la cascarilla de café puede considerarse como un nuevo ingrediente nutracéutico a ser utilizado para incrementar la capacidad antioxidante de un amplio rango de productos alimenticios, así como aumentar el contenido de fibra dietética y minerales (Ballesteros *et al*., 2014; Beltrán-Medina *et al*., 2020; Borrelli *et al*., 2004; Bresciani *et al*., 2014; Fernández-Gómez, 2016; Toschi *et al*., 2014; Zengin *et al*., 2020).

*Nutracéutico:*

Este puede ser definido como un alimento o componente de un alimento que provee beneficios medicinales y para la salud, incluyendo la prevención y tratamiento de enfermedades (Cotabarren & Palla, 2022).

*Alimentos extruidos:*

Existe una gran variedad de sabores y formas de preparación de los cereales para desayuno, ejemplos típicos los encontramos en infinidad de marcas comerciales. Uno de los procesos más socorridos para preparar estos alimentos es la extrusión. La extrusión es un proceso que utiliza altas temperaturas y tiempos cortos (HTST) y ocasiona un efecto de cocción en los productos extruidos porque se presentan fenómenos de transferencia de calor (calentamiento y fricción), transferencia de masa (evaporación), reacciones químicas como las reacciones de Maillard, reacciones de destoxificación y cambios de presión y de cizallamiento que se combinan para producir efectos de cocción tales como: esterilización, interacciones fisicoquímicas, texturización, inactivación térmica de inhibidores, expansión, amasado, mezclado y secado (Guatemala-Morales *et al*., 2020).

Una de las ventajas del uso de esta tecnología en la industria alimentaria es la enorme gama de ingredientes novedosos y económicos que pueden

utilizarse para el desarrollo de alimentos nutraceúticos y sabrosos, como es el caso, en este proyecto, del uso de la cascarilla de café tostado (*silver skin*).

Figura 4. Extrusor (Medina Rendon, 2023)

Un alimento extruido se prepara alimentando una mezcla de ingredientes (harinas) en un equipo llamado extrusor (Figura 4), donde la mezcla de materiales es forzada a fluir a través de un cilindro que tiene un tornillo sin fin concéntrico (husillo) que gira a una velocidad determinada por el operador, cuyo objetivo es mezclar y transportar los ingredientes, que debido al calentamiento (resistencias) y a la fricción que se produce llevará a cabo el proceso de cocción. La salida es a través de una boquilla o "Dado" para expandir o dar forma. La Figura 5 muestra el equipo utilizado en esta investigación procesando muestras.

Figura 5. Extrusor en las instalaciones de CIATEJ

*Cosmecéutico:*

Entre los agentes tópicos se encuentran los medicamentos, los cosméticos y los cosmecéuticos. Los medicamentos son aquellos usados en el diagnóstico, cura, tratamiento o prevención y afectan estructuras o funciones del cuerpo. Un cosmético puede ser frotado, aplicado, salpicado o rociado en el cuerpo humano para la limpieza, embellecimiento, promover la atracción o alterar la apariencia de la piel (Bruce, 2008).

En dermatología, un grupo de productos con características de estas dos categorías, y llamado por primera vez cosmecéuticos por Albert Kligman (Kligman, 2005), se caracterizan porque contienen ingredientes biológicamente activos que persiguen fines estéticos, pero al mismo tiempo tienen una alta capacidad bioquímica sobre la piel y muchos se usan para atenuar el paso del tiempo. Existe una serie de productos que combinan estas características, entre los que destacan cremas, lociones faciales y los que han adquirido más popularidad los sueros (*serum)* (Granados Vallejo, 2023; Santa Vélez *et al*., 2017).

*Serum*

Un *serum* o suero es una fórmula cosmecéutica cuyas características diferenciales con respecto a una crema es su mayor concentración de ingredientes activos por su rápida absorción y su mayor penetración a capas más profundas de la piel.

Suelen ser geles o cremigeles, es decir, texturas más fluidas, lo que permite su absorción y penetración fácilmente en las capas más profundas de la piel para aportarle la nutrición interior necesaria. Existen también determinados *serum* de carácter hidratante que tienen una densidad mayor y una textura no tan fluida. Este tipo de productos suelen ser no comedogénicos (que no produce imperfecciones) y los *serum* que están orientados a pieles normales, mixtas y grasas están formulados con una base acuosa, mientras que los orientados a una piel seca se elaboran con una base oleosa de forma que aportarán una mayor nutrición a la piel (Granados Vallejo, 2023; Null, 2017).

El objetivo de este proyecto de investigación fue evaluar procesos a nivel laboratorio para la obtención de ingredientes cosmeceúticos y nutracéuticos a partir de residuos y subproductos de café, permitiendo ampliar la cadena de valor, aumentando la posibilidad de comercialización más allá del grano verde, tostado o incluso en bebida.

## Materiales y métodos

*Materia prima*

Para el desarrollo del proyecto se empleó café (*Coffea* arabica) proveniente de los estados de Chiapas, Oaxaca, Veracruz y Jalisco.

*Metodología para la evaluación y aplicación de un extracto de subproducto de café verde (Coffea arabica) en un producto cosmecéutico antienvejecimiento*

La materia prima utilizada para esta etapa proviene de un subproducto generado del proceso de desgrasado de grano de café verde (*Coffea* arabica) por prensado en frío. El proceso para la elaboración del *serum* se dividió

en tres etapas principalmente (Figura 6). La primera etapa consistió en el acondicionamiento de la materia prima, posteriormente se llevó a cabo un proceso de extracción sólido-líquido (maceración) evaluando factores como temperatura, tiempo, relación sólido/solvente y porcentaje de etanol, de esta manera se obtuvieron extractos con compuestos fenólicos. Dichos extractos se analizaron mediante distintas técnicas con la finalidad de identificar y cuantificar su compuesto principal, el ácido clorogénico o ácido 5-cafeoilquínico (5-CQA), así como sus propiedades antioxidantes.

Figura 6. Esquema de la metodología para la evaluación de un extracto de subproducto de café verde (Coffea arabica) en un producto cosmecéutico antienvejecimiento

En la segunda etapa se realizó la formulación del producto tipo *serum*, para la cual se utilizó el extracto que contenía la mejor concentración de compuestos bioactivos y reunía las mejores propiedades, obtenido de la primera etapa. Se realizó un diseño de mezclas para obtener una formulación que pudiera ajustarse a las características deseadas del producto y generar una emulsión estable que sirviera como vehículo para suministrar los componentes bioactivos y así obtener un producto cosmecéutico. Posteriormente, el *serum* se caracterizó con la finalidad de observar la estabilidad del producto. Finalmente, en la tercera etapa se realizaron pruebas biológicas para evaluar el extracto de café verde, componente del producto tipo *serum*, a fin de comprobar la seguridad de su aplicación, así como demostrar que tuviera el efecto de retardar el envejecimiento.

*Metodología para la formulación de un alimento extruido adicionado con cascarilla de café y su evaluación de la actividad hipocolesterolémica*

La materia prima utilizada para esta etapa del proyecto fue la cascarilla de café, la cual es el único subproducto obtenido del proceso de tostado de los granos de café (*C. arabica*), además se utilizó harina de amaranto reventado y harina de maíz blanco para el desarrollo del alimento. En la Figura 7 se muestra un esquema de la metodología llevada a cabo. Durante la primera etapa se caracterizaron las harinas de cascarilla de café, amaranto reventado y maíz. Además, para esta etapa se elaboró un alimento con la combinación de las tres harinas de tal forma que el alimento formulado tuviera las características de ser un alimento con alto contenido de fibra y que fuera fuente de proteínas de acuerdo con lo establecido en la normatividad (Reglamento CE No. 1924/2006). Esta formulación permitió explorar las condiciones de extrusión mediante un diseño de experimentos para determinar las mejores condiciones de extrusión conforme a la capacidad del equipo. También se evaluó la seguridad de la cascarilla de café por medio de la determinación de aflatoxinas y de una prueba de toxicidad aguda de acuerdo con el procedimiento descrito en la norma OECD 425 (Beltran Medina, 2021).

En la segunda etapa se obtuvo la mejor formulación donde se realizó un diseño de mezclas para determinar la mejor combinación de los

ingredientes propuestos, características físicas, contenido de fibra dietética y de 5-CQA. En la tercera etapa se evaluó la funcionalidad del alimento desarrollado mediante la determinación de la fibra dietética y el estudio de los niveles plasmáticos de lípidos *in vivo*. La experimentación animal se realizó en apego a lo establecido en la Norma Oficial Mexicana NOM-062-ZOO-1999, siendo el protocolo autorizado y revisado por el Comité Interno para el Cuidado y Uso de Animales de Laboratorio de CIATEJ, dictamen código 2019-002A.

Figura 7. Esquema de la metodología para la formulación de un alimento extruido adicionado con cascarilla de café y su evaluación de la actividad hipocolesterolémica

## Resultados

Los resultados obtenidos se pueden resumir en la Fichas de las figuras 8 y 9:

Figura 8. Ficha técnica del serum con extracto de subproductos de café verde

CIATEJ

**FICHA TÉCNICA**

**SERUM CON EXTRACTO DE SUBPRODUCTOS DE CAFÉ VERDE**

**DESCRIPCIÓN DEL PRODUCTO**

El **serum** se desarrolló a través de una metodología convencional para la formulación del producto obteniendo el extracto de subproductos de café verde (torta que queda después de la extracción del aceite por prensado en frío) mediante el método de lixiviación. Su objetivo es crear un producto con una presentación cremi-gel utilizando el extracto, garantizando la conservación óptima de los componentes bioactivos (principalmente el ácido clorogénico), la inocuidad y diversificando sus aplicaciones.

| DATOS GENERALES DEL EXTRACTO | |
|---|---|
| **Producto** | Extracto de subproducto (torta prensada de café verde) |
| **Categoría** | Antioxidantes |
| **Formato de empaque** | Frasco ámbar |

| DATOS SENSORIALES | |
|---|---|
| **Aspecto físico** | Líquido |
| **Color** | Amarillo traslucido |
| **Olor** | Típico sin olores extraños |

| CARACTERISTICAS FISICOQUÍMICAS | |
|---|---|
| **pH** | 6.54±0.1 |
| **Fenoles totales** | 149.12±0.008 EAG/g |
| **DPPH** | 775.96±0.009 µM Eq. TROLOX |
| **ABTS** | 511.78±0.014 µM Eq. TROLOX |
| **Concentración de 5-CQA** | 59.62±2.36 mg/g |

| DATOS GENERALES DEL PRODUCTO | |
|---|---|
| **Producto** | Serum |
| **Categoría** | Cosmecéutico antioxidante |
| **Formato de empaque** | Frasco ámbar |

| DATOS SENSORIALES | |
|---|---|
| **Aspecto físico** | Sólido |
| **Apariencia** | Cremi-gel |
| **Color** | Blanquecino traslucido |
| **Olor** | Floral-Frutal |

| CARACTERISTICAS FISICOQUÍMICAS | |
|---|---|
| **pH** | 5.4±0.1 |
| **Viscosidad** | 20150 cP |
| **Tamaño de partícula** | 680 nm |
| **Estabilidad** | 100% |

| CARACTERISTICAS MICROBIOLÓGICAS | |
|---|---|
| **Bacterias mesofílicas aerobias** | <10 UFC/g |
| **Hongos** | <10 UFC/g |
| **Levaduras** | <10 UFC/g |
| **Coliformes totales (NMP)** | <10 UFC/g |
| ***Escherichia coli*** | Ausencia en 10 g de muestra |
| ***Salmonella spp*** | Ausencia en 10 g de muestra |
| ***Staphylococcus aureus*** | Ausencia en 10 g de muestra |
| **Bacterias mesofílicas aerobias** | <10 UFC/g |

| CARACTERISTICAS FUNCIONALIDAD | |
|---|---|
| **Viabilidad (HFF-1; Ker-CT)** | 100 µM |
| **Cierre de heridas (HFF-1)** | 10 µM |
| **β-galactosidasa (HFF-1; Ker-CT)** | 50 µM |

| IDENTIFICACIÓN DEL LOTE Y CODIFICACIÓN |
|---|
| ☐ Cada unidad cuenta con una etiqueta de identificación con el código del lote al que pertenecen y la fecha de elaboración |
| ☐ La ubicación de esta identificación se encuentra en la tapa o cuerpo del envase |

| CADUCIDAD Y CONSERVACIÓN |
|---|
| ☐ Una vez abierto el envase, por cuestiones organolépticas se recomienda que el producto sea utilizado antes de los 12 meses desde su fecha de envasado, siempre y cuando sea almacenado en envases originales cerrados y manteniendo a condiciones normales de almacenamiento |
| ☐ El serum debe mantenerse preferiblemente en ausencia de luz UV directa |
| ☐ El serum se debe mantener lo más hermético posible en su envase, evitando una oxigenación excesiva del producto para evitar la formación de gránulos y oxidación de los componentes |
| ☐ Las condiciones idóneas de temperatura oscilan entre los 8 °C y los 20 °C |

CIATEJ

## FICHA TÉCNICA
## *SERUM* CON EXTRACTO DE SUBPRODUCTOS DE CAFÉ VERDE

### DESCRIPCIÓN DEL PRODUCTO

El *serum* se desarrolló a través de una metodología convencional para la formulación del producto obteniendo el extracto de subproductos de café verde (torta que queda después de la extracción del aceite por prensado en frío) mediante el método de lixiviación. Su objetivo es crear un producto con una presentación cremi-gel utilizando el extracto, garantizando la conservación óptima de los componentes bioactivos (principalmente el ácido clorogénico), la inocuidad y diversificando sus aplicaciones.

| DATOS GENERALES DEL EXTRACTO | |
|---|---|
| **Producto** | Extracto de subproducto (torta prensada de café verde) |
| **Categoría** | Antioxidantes |
| **Formato de empaque** | Frasco ámbar |

| DATOS GENERALES DEL PRODUCTO | |
|---|---|
| **Producto** | Serum |
| **Categoría** | Cosmecéutico antioxidante |
| **Formato de empaque** | Frasco ámbar |

| DATOS SENSORIALES | |
|---|---|
| **Aspecto físico** | Líquido |
| **Color** | Amarillo traslucido |
| **Olor** | Típico sin olores extraños |

| DATOS SENSORIALES | |
|---|---|
| **Aspecto físico** | Sólido |
| **Apariencia** | Cremi-gel |
| **Color** | Blanquecino traslucido |
| **Olor** | Floral-Frutal |

| CARACTERISTICAS FISICOQUÍMICAS | |
|---|---|
| **pH** | 6.54±0.1 |
| **Fenoles totales** | 149.12±0.008 EAG/g |
| **DPPH** | 775.96±0.009 µM Eq. TROLOX |
| **ABTS** | 511.78±0.014 µM Eq. TROLOX |
| **Concentración de 5-CQA** | 59.62±2.36 mg/g |

| CARACTERISTICAS FISICOQUÍMICAS | |
|---|---|
| **pH** | 5.4±0.1 |
| **Viscosidad** | 20150 cP |
| **Tamaño de partícula** | 680 nm |
| **Estabilidad** | 100% |

| CARACTERISTICAS MICROBIOLÓGICAS | |
|---|---|
| **Bacterias mesofílicas aerobias** | <10 UFC/g |
| **Hongos** | <10 UFC/g |
| **Levaduras** | <10 UFC/g |
| **Coliformes totales (NMP)** | <10 UFC/g |
| ***Escherichia coli*** | Ausencia en 10 g de muestra |
| ***Salmonella spp*** | Ausencia en 10 g de muestra |
| ***Staphylococcus aureus*** | Ausencia en 10 g de muestra |
| **Bacterias mesofílicas aerobias** | <10 UFC/g |

| CARACTERISTICAS FUNCIONALIDAD | |
|---|---|
| **Viabilidad (HFF-1; Ker-CT)** | 100 µM |
| **Cierre de heridas (HFF-1)** | 10 µM |
| **β-galactosidasa (HFF-1; Ker-CT)** | 50 µM |

| IDENTIFICACIÓN DEL LOTE Y CODIFICACIÓN |
|---|
| Cada unidad cuenta con una etiqueta de identificación con el código del lote al que pertenecen y la fecha de elaboración |
| La ubicación de esta identificación se encuentra en la tapa o cuerpo del envase |

| CADUCIDAD Y CONSERVACIÓN |
|---|
| Una vez abierto el envase, por cuestiones organolépticas se recomienda que el producto sea utilizado antes de los 12 meses desde su fecha de envasado, siempre y cuando sea almacenado en envases originales cerrados y manteniendo a condiciones normales de almacenamiento |
| El serum debe mantenerse preferiblemente en ausencia de luz UV directa |
| El serum se debe mantener lo más hermético posible en su envase, evitando una oxigenación excesiva del producto para evitar la formación de gránulos y oxidación de los componentes |
| Las condiciones idóneas de temperatura oscilan entre los 8°C y los 20°C |

Figura 9. Ficha técnica de la cascarilla de café

# FICHA TÉCNICA

## CASCARILLA DE CAFÉ

**DESCRIPCIÓN**

La cascarilla de café es un endospermo transparente amarillento que cubre cada grano de café verde, el cual se desprende cuando el grano es sometido al proceso de tostado, siendo el único subproducto generado durante el tostado del café.

**INFORMACIÓN SENSORIAL**

Color: Café-dorado
Olor: Café, cereal, tostado
Aspecto: Tegumento delgado ligero
Consistencia: Fibrosa

**INFORMACIÓN BROMATOLÓGICA**

| DETERMINACIÓN | CONTENIDO | METODOLOGÍA |
|---|---|---|
| Humedad, % | 7.2 | NMX-F-083-1986 |
| Proteína, % | 15.09 | NMX-F-608-NORMEX-2011 |
| Cenizas, % | 5.55 | NMX-F-607-NORMEX-2013 |
| Grasas, % | 1.99 | NOM-086-SSA1-1994 |
| Carbohidratos totales, % | 70.17 | 896.25 A.O.A.C. Vol.1 |
| Fibra dietética total, % | 67.6 | NMX-F-622-NORMEX-2008 |

**INFORMACIÓN MICROBIOLÓGICA**

| DETERMINACIÓN | CONTENIDO | METODOLOGÍA |
|---|---|---|
| Bacterias mesofílicas aerobias, UFC/g | 1,400 | NOM-092-SSA1-1994 |
| Hongos, UFC/g | 45 | NOM-111-SSA1-1994 |
| Levaduras, UFC/g | < 10 | NOM=111-SSA1-1994 |
| Coliformes totales, UFC/g | < 10 | NOM-113-SSA1-1994 |
| *Staphylococcus aureus*, UFC/g | < 100 | NOM-115-SSA1-1994 |
| *Escherichia coli*, NMP/g | < 3 | CCAYAC-M-004 |
| *Salmonella*, en 25 g de muestra | Ausencia | NOM-114-SSA1-1994 |

**INFORMACIÓN SOBRE PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS**

| DETERMINACIÓN | CONTENIDO | METODOLOGÍA |
|---|---|---|
| Índice de absorción de agua, g/g | 5.88 ± 0.07 | Anderson et al., 1970 |
| Índice de solubilidad en agua, % | 9.75 ± 0.39 | Anderson et al., 1970 |

**INFORMACIÓN SOBRE COMPUESTOS BIOACTIVOS**

| DETERMINACIÓN | CONTENIDO |
|---|---|
| Concentración de ácido 5-cafeoilquínico | 499.03 ± 7.45 $mg_{ASCQ}/kg_{extraído}$ b.s. |
| Capacidad antioxidante (DPPH) | 33.23 ± 0.02 µM eq Trolox/$g_{CC}$ |
| Capacidad antioxidante (ABTS) | 3.45 ± 0.02 mM Trolox/$g_{CC}$ |
| Polifenoles totales (Folin-Ciocalteau) | 16.48 ± 6.6 mgEAG/$g_{CC}$ |

**INFORMACIÓN TOXICOLÓGICA**

| DETERMINACIÓN | CONTENIDO, ppb |
|---|---|
| Aflatoxina B1 | < 0.20 |
| Aflatoxina B2 | < 0.06 |
| Aflatoxina G1 | < 0.02 |
| Aflatoxina G2 | < 0.06 |
| $LD_{50}$ | > 2,000 mg/kg peso corporal |

La cascarilla de café fue obtenida del proceso de tostado de café 100% arábica del estado de Chiapas, México. Como cualquier material orgánico, puede haber algunas variaciones en la composición bromatológica y contenido de compuestos bioactivos debido al origen, cosecha, entre otros.

**ALMACENAMIENTO**

Transportar y almacenar en empaque original cerrado, en un lugar limpio, fresco y seco. No exponer directamente al sol. El producto tiene que ser transportado en unidades que cumplan con las buenas prácticas de almacenamiento, libres de humedad, goteras y filtraciones; libres de polvo, astillas o clavos. No debe transportarse con productos perfumados y compuestos químicos, ya que absorbe estos olores.

*Evaluación del extracto de café verde mediante pruebas biológicas*

En el ensayo de citotoxicidad, el extracto óptimo evaluado no tuvo un efecto negativo sobre las líneas celulares estudiadas (Ker-CT y HFF-1) manteniendo su viabilidad superior al 85%, demostrando la ausencia de efectos tóxicos y destacando la compatibilidad de las líneas celulares cutáneas. El extracto de subproductos de café, probado a diferentes concentraciones en el ensayo de rasgado, reveló una mejora significativa en la migración de fibroblastos con respecto al control. Respecto a las pruebas de funcionalidad, la protección que brindó el extracto, frente a la aplicación de UVB, fue la reducción del número de células de positivas a beta galactosidasa y la expresión del gen p21, ya que presenta fuertes propiedades antioxidantes debido al contenido de compuestos polifenólicos.

*Desarrollo del alimento extruido adicionado con cascarilla de café y evaluación de su actividad hipocolesterolémica*

El diseño de experimentos propuesto permitió establecer las mejores condiciones de proceso de extrusión, respecto a los factores estudiados (flujo másico, velocidad del husillo, temperatura del dado y contenido de humedad de alimentación). Y, el diseño de mezclas de vértices extremos facilitó la obtención de la mejor formulación que combinara la cascarilla de café, harina de maíz blanco y harina de amaranto, obteniendo un alimento extruido alto en fibra y fuente de proteína.

Los resultados de la evaluación hipocolesterolémica del alimento extruido desarrollado evidenciaron que a la dosis administrada en el ensayo *in vivo*, no se ejerció una actividad importante en la disminución de colesterol, sin embargo sí manifiesta potencial en la reducción de niveles de triglicéridos en sangre.

Este trabajo fue motivado por la necesidad externada de los productores de café para encontrar un uso de valor agregado tanto para el uso de los residuos de la obtención de aceite de café verde como para la cascarilla de café (CC). Al mismo tiempo, proponer nuevas estrategias que coadyuven a generar opciones saludables para una mejor nutrición de la población mexicana con opciones económicas y fáciles de incorporar en la dieta.

## Conclusiones

Los extractos obtenidos a partir de subproductos de café verde, que actualmente se desechan, pueden considerarse como una fuente natural y con alto contenido de antioxidantes. El café verde puede usarse como una materia prima para la producción de extractos con fines cosmecéuticos, dándole un valor agregado y diversificando así su uso.

La cascarilla de café puede ser utilizada como un nuevo ingrediente, que puede incrementar el contenido de proteína y fibra dietética en los alimentos, además, provee compuestos bioactivos como el 5-CQA, que se ha demostrado ejerce efectos benéficos a la salud.

Para asegurar la seguridad del uso de la cascarilla de café, así como de los extractos de café verde, como ingredientes nutraceúticos y cosmeceúticos, se recomienda la aplicación de las buenas prácticas de manufactura y almacenamiento, desde su recolección hasta la industrialización, con el fin de eliminar posibles toxinas como ciertos hongos en cultivos agrícolas.

Si bien esta investigación contribuye a establecer rutas de valorización para los subproductos de la industria del café, es importante mencionar que aún es necesario realizar estudios para demostrar su la sustentabilidad, así como realizar pruebas complementarías, por ejemplo, estudios sobre logística y/o oportunidades de negocio para los tostadores/productores de café, así como estudios de factibilidad económica.

## Referencias

AG Eldin, T. (2021). Health Benefits of Green Coffee Beans. *Applied Medical Research*, *8*(1), 1–15. https://doi.org/10.47363/amr/2021(8)203

Alves, R. C., Rodrigues, F., Antónia Nunes, M., Vinha, A. F., & Oliveira, M. B. P. P. (2017). State of the art in coffee processing by-products. En C. M. Galanakis (ed.), *Handbook of Coffee Processing By-Products: Sustainable Applications* (pp. 1–26). Elsevier Inc. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-811290-8.00001-3

Ballesteros, L. F., Teixeira, J. A., & Mussatto, S. I. (2014). Chemical, Functional, and Structural Properties of Spent Coffee Grounds and Coffee Silverskin. *Food and Bioprocess Technology*, *7*, 3493–3503. https://doi.org/10.1007/s11947-014-1349-z

Belitz, H. D., Grosch, W., & Schieberle, P. (2009). *Food Chemistry* (H. D. Belitz, W. Grosch, & P. Schieberle (eds.); 4th ed.). Springer Berlin Heidelberg.

Beltrán-Medina, E. A., Guatemala-Morales, G. M., Padilla-Camberos, E., Corona-González, R. I., Mondragón-Cortez, P. M., & Arriola-Guevara, E. (2020). Evaluation of the use of a coffiee industry by-product in a cereal-based extruded food product. *Foods*, *9*(8), 1–15. https://doi.org/10.3390/foods9081008

Beltran Medina, E. A. (2021). *Evaluación de la actividad hipocolesterolémica de un alimento extruido elaborado con cascarilla de café, amaranto y maíz* [Tesis de…] . Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco.

Borrelli, R. C., Esposito, F., Napolitano, A., Ritieni, A., & Fogliano, V. (2004). Characterization of a New Potential Functional Ingredient: Coffee Silverskin. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, *52*, 1338–1343. https://doi.org/10.1021/jf034974x

Bosso, H., Barbalho, S. M., de Alvares Goulart, R., & Otoboni, A. M. M. B. (2023). Green coffee: economic relevance and a systematic review of the effects on human health. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, *63*(3), 394–410. https://doi.org/10.1080/10408398.2021.1948817

Bresciani, L., Calani, L., Bruni, R., Brighenti, F., & Del Rio, D. (2014). Phenolic composition, caffeine content and antioxidant capacity of coffee silverskin. *Food Research International*, *61*, 196–201. https://doi.org/10.1016/j.foodres.2013.10.047

Cotabarren, I. M., & Palla, C. A. (2022). Chapter 3 - Development of functional foods by using 3D printing technologies: application to oxidative stress and inflammation-related affections. In B. Hernández-Ledesma & C. B. T.-C. A. for D. of F. F. M. I. and O. S. Martínez-

Villaluenga (Eds.), *Current Advances for Development of Functional Foods Modulating Inflammation and Oxidative Stress* (pp. 33–55). Academic Press. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-12-823482-2.00009-1

Fernández-Gómez, B. (2016). *Sustainable use of coffee silverskin as a natural source of bioactive compounds for diabetes.* Autonomous University of Madrid.

Figueroa Hernández, E., Pérez Soto, F., & Godínez Montoya, L. (2015). Importancia de la comercialización del café en México. In F. Pérez Soto, E. Figueroa Hernández, & L. Godínez Montoya (Eds.), *Ciencias Sociales: Economía y Humanidades* (1st ed., pp. 64–82). Universidad Autónoma de Chapingo. http://hdl.handle.net/20.500.11799/41277

George, S. E., Ramalakshmi, K., & Mohan Rao, L. J. (2008). A Perception on Health Benefits of Coffee. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, *48*(5), 464–486. https://doi.org/10.1080/10408390701522445

Granados Vallejo, M. (2023). *Obtención, caracterización y aplicación de un extracto a partir de subproducto de café verde (Coffea arabica) en un producto cosmecéutico antienvejecimiento.* Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco.

Guatemala-Morales, G. M., Medina-Rendon, E. A., & Arriola-Guevara, E. (2020). Botanas y Salsas, saludables y novedosas. *NotiCIAJ*, *14*(7).

*International Coffee Organization*. (2020). *International Coffee Organization*. http://www.ico.org/

*International Coffee Organization*. (2022). Annual Review Coffee Year 2021/2022. In *International Coffee Organization* (Issue 1).

Iriondo-DeHond, A., Aparicio García, N., Fernandez-Gomez, B., Guisantes-Batan, E., Velázquez Escobar, F., Blanch, G. P., San Andres, M. I., Sanchez-Fortun, S., & del Castillo, M. D. (2019). Validation of coffee by-products as novel food ingredients. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, *51*, 194–204. https://doi.org/10.1016/j.ifset.2018.06.010

Medina Rendon, E. A. (2023). *Evaluación de la actividad hipoglucemiante e hipolipemiante de un alimento extruido formulado con subproductos*

*de mango*. Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco.

Murthy, P. S., & Naidu, M. M. (2012). Sustainable management of coffee industry by-products and value addition—A review. *Resources, Conservation and Recycling*, *66*, 45–58. https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2012.06.005

Narita, Y., & Inouye, K. (2012). High antioxidant activity of coffee silverskin extracts obtained by the treatment of coffee silverskin with subcritical water. *Food Chemistry*, *135*, 943–949. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2012.05.078

Null, N. (2017). *Composición de los sérum*. Unidad Editorial Revistas, S.L.U. https://www.correofarmaceutico.com/tododermo/dermoasesoria/asesor-6/composicion-de-los-serum.html

Ornelas Ruiz, P., Tenorio Sandoval, J., Guerrero Peña, E., Díaz Rodríguez, J., Saavedra Granja, L., Ramírez Guzmán, J., Sánchez Acosta, A., & Ruiz Arias, A. (2022). Paronama Agroalimentario 2022. In SIAP (Ed.), *Secretaria de Agricultura y Desarrollo Rural* (2022nd ed.). Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera.

Pourshahidi, L. K., Navarini, L., Petracco, M., & Strain, J. J. (2016). A Comprehensive Overview of the Risks and Benefits of Coffee Consumption. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, *15*(4), 671–684. https://doi.org/10.1111/1541-4337.12206

Regazzoni, L., Saligari, F., Marinello, C., Rossoni, G., Aldini, G., Carini, M., & Orioli, M. (2016). Coffee silver skin as a source of polyphenols: High resolution mass spectrometric profiling of components and antioxidant activity. *Journal of Functional Foods*, *20*, 472–485. https://doi.org/10.1016/j.jff.2015.11.027

Santa Vélez, C., Aristizábal, A. M., & Pérez Madrid, C. (2017). Estrategias antienvejecimiento. *Dermatologia Cosmetica, Medica y Quirurgica*, *15*(2), 103–113.

Toschi, T. G., Cardenia, V., Bonaga, G., Mandrioli, M., & Rodriguez-Estrada, M. T. (2014). Coffee Silverskin: Characterization, Possible Uses, and

Safety Aspects. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, *62*, 10836–10844. https://doi.org/10.1021/jf503200z

Zengin, G., Sinan, K. I., Mahomoodally, M. F., Angeloni, S., Mustafa, A. M., Vittori, S., Maggi, F., & Caprioli, G. (2020). Chemical Composition, Antioxidant and Enzyme Inhibitory Properties of Different Extracts Obtained from Spent Coffee Ground and Coffee Silverskin. *Foods*, *9*, 713. https://doi.org/10.3390/foods9060713

Zuhair Mohd Zain, M., Bakr Shori, A., & Salihin Baba, A. (2017). Composition and Health Properties of Coffee Bean. *European Journal of Clinical and Biomedical Sciences*, *3*(5), 97–100. https://doi.org/10.11648/j.ejcbs.20170305.13

# Capítulo 14

# Diversidad del frijol criollo del Pacífico Sur: una aproximación agronómica, fitosanitaria y nutricional

*Soledad García-Morales[1*], Johny Navat Enriquez-Vara[1], María Fernanda Hernández-Soltero[2], Eugenia Lugo-Cervantes[3], Andrés de Jesús López-Gervacio[4]*

**Resumen**

La diversidad de género *Phaseolus* es amplia. Es de las leguminosas comestibles más consumidas por su contenido de proteínas, almidón y fibra dietética. Sin embargo, las variedades criollas presentan una gran variación en sus características fisicoquímicas que influyen en su ciclo de cultivo. El objetivo de este trabajo es presentar un análisis general de los resultados agronómicos, fitosanitarios y nutricionales de las accesiones de frijol criollo colectados en la región del Pacífico Sur. Se realizaron recorridos por diferentes municipios de los estados de Chiapas, Oaxaca y Guerrero. Se obtuvieron un total de 56 accesiones y se clasificaron de acuerdo con sus características morfológicas. Como características agronómicas se determinó el porcentaje de germinación de las semillas, la emergencia de las plántulas y la forma-

[1] CONAHCYT-Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco, Biotecnología Vegetal, Camino Arenero 1227, El Bajío, Zapopan, México 45019.

[2] Universidad de Guadalajara, Licenciatura en Biología, Camino Ramón Padilla Sánchez 2100, Nextipac, Zapopan, México 45200.

[3] Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco, Tecnología Alimentaria, Camino Arenero 1227, El Bajío, Zapopan, México 45019.

[4] Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco, Biotecnología Vegetal, Camino Arenero 1227, El Bajío, Zapopan, México 45019. * Email: smorales@ciatej.mx.

ción de nódulos. Se aislaron e identificaron microorganismos bacterianos y fúngicos de las semillas y se calculó el índice de susceptibilidad a gorgojos. Se realizó un análisis proximal y se cuantificó el contenido de aminoácidos libres. Además, se realizó un análisis de correlación y de agrupamiento. En Chiapas se encontraron cuatro de las cinco especies de frijol domesticadas y cultivadas (*P. vulgaris, P. coccineus, P. lunatus* y *P. polyanthius*); en Guerrero, tres especies y en Oaxaca, dos. Las accesiones obtenidas mostraron resultados promisorios desde el punto de vista agronómico por su potencial para la formación de nódulos, por su índice de susceptibilidad al ataque por gorgojos y por su importancia alimenticia debido a su contenido de proteínas, aminoácidos y compuestos bioactivos; implicando la necesidad de generar estrategias para su conservación y su producción ya que estas variedades también son parte de la cultura gastronómica y la identidad de la población de los estados que conforman el Pacífico Sur.

*Palabras clave*: Aminoácidos libres; análisis de agrupamiento; formación de nódulos; índice de susceptibilidad; *Phaseolus*

## Introducción

El origen y la domesticación del frijol, en Latinoamérica, tiene dos orígenes geográficos: Mesoamérica y los Andes. Existe una diferencia genética entre los frijoles originarios de estos dos sitios que derivan de un ancestro común con una antigüedad de más de 100 000 años. Tanto en México como en América del Sur el frijol se domesticó hace aproximadamente 8 000 años (Lara, 2015).

En México se encuentran de 45 a 50 especies del género *Phaseolus*, por lo que se ha considerado como el centro de origen y uno de los centros de domesticación (SEMARNAT, 2018). Actualmente existen cinco especies de frijol domesticadas y cultivadas: *P. vulgaris* (frijol común), *P. coccineus* (frijol ayocote o botil), *P. lunatus* (frijol lima o comba), *P. acutifolius* (frijol tépari o escumite) y *P. polyanthius* (sinónimo de *P. dumosus*, frijol gordo o ibes) (Ruíz-Salazar *et al*., 2021). Según la CONABIO (2019), México es el

centro de diversidad del frijol, ya que cuenta con 58 de las aproximadamente 70 especies reportadas en el continente americano. Por su parte, SEMARNAT (2018) menciona que el Estado de México (las partes altas del centro del país), Jalisco y Chiapas (sureste mexicano) son los centros con mayor diversificación de especies del género *Phaseolus*.

La región del Pacífico Sur, que comprende los estados de Chiapas, Oaxaca y Guerrero, se caracteriza por su amplia diversidad de frijoles silvestres y domesticados. No obstante, los sistemas de producción de frijol de variedades criollas (donde se encuentra la mayor diversidad de especies de *Phaseolus*) se caracterizan por ser un cultivo de traspatio, de temporal, con baja capacidad de producción y de comercialización, en asociación con otros cultivos (sistema milpa), siguiendo los saberes campesinos (Alcázar-Valle *et al*., 2023). Estos sistemas de producción también son catalogados de bajos rendimientos, ya que las variedades criollas tienen bajo potencial de rendimiento, con alta incidencia y severidad de plagas y enfermedades debido a que la aplicación de insumos agrícolas incrementa los costos de producción, generando una mayor inversión para los pequeños productores y para los campesinos de bajos recursos (Lara *et al*., 2015; Ruíz-Salazar *et al*., 2021). Las leguminosas, como el frijol, también tienen la ventaja de desarrollar nódulos debido a su capacidad de formar simbiosis con bacterias fijadoras de nitrógeno (N), lo que permite generar un sistema agrícola sustentable (Lara *et al*., 2015).

Desde tiempos prehispánicos, en México las especies del género *Phaseolus* son de las leguminosas de mayor importancia alimenticia, económica y social, siendo el grano comestible más importante para la dieta de la población mexicana (Aguilar *et al*., 2019). El frijol es considerado una fuente importante de proteína con valores de 14 al 33%, vitaminas del complejo B, minerales como Ca, K, Mg, P, Fe y Zn y de fibra alimenticia; aunque se ha reportado que este grano presenta deficiencias de aminoácidos azufrados (Morales-Santos *et al*., 2017). Los frijoles criollos no sólo son una parte fundamental en la alimentación, por su contenido nutrimental, también son de suma importancia en la cultura gastronómica de los mexicanos (Lara *et al*., 2015).

El objetivo de este trabajo es presentar una aproximación y un análisis general de los resultados agronómicos, fitosanitarios y nutricionales de las accesiones de frijol criollo obtenidos en la región del Pacífico Sur.

## Materiales y métodos

### *Obtención y clasificación de frijol criollo en la región del Pacífico Sur*

El recorrido por los estados que comprenden la región del Pacífico Sur y la colecta de frijol criollo se realizó de acuerdo con lo reportado por García-Morales *et al.* (2022) y Alcázar-Valle *et al.* (2023). Se realizaron recorridos por distintas regiones de los estados de Chiapas, Oaxaca y Guerrero (Figura 1).

Figura 1. Estados que conforman la región del Pacífico Sur y regiones visitadas para la colecta de frijol criollo

En el estado de Chiapas se realizó la colecta en municipios y localidades aledañas en las regiones de los Altos de Chiapas y la Frailesca. En el estado de Oaxaca se recorrieron municipios que corresponden a la región de la Sierra Norte (Santa Catarina Lachatao, Ixtlán de Juárez y San Miguel Amatlán), la Mixteca (Asunción Nochixtlán y San Juan Sayultepec), Cañada (San Juan Bautista Cuicatlán), Central (Villa Díaz Ordaz y Ayoquezco de Aldama), Valles Centrales (San Pablo Huixtepec y Santa Lucía del Camino) y Costa (Santos Reyes Nopala). La colecta en el estado de Guerrero se realizó en los municipios de Iguala de la Independencia, Xochistlahuaca, Tepecoacuilco de Trujano, Mexcaltepec, Acatepc, Tecoanapa y Pilcaya.

La clasificación del frijol obtenido se llevó a cabo según lo reportado por Mariaca *et al.* (2007). Además, se siguió la clasificación publicada por la CONABIO (2019). Se estableció una nomenclatura para referirse a las accesiones del estado de Chiapas (CH), Oaxaca (OX) y Guerrero (GR), seguido por un número consecutivo de acuerdo con el orden de colecta.

***Determinación de los aspectos agronómicos de frijol criollo***

Se obtuvieron tres aspectos agronómicos: el porcentaje de germinación, el porcentaje de emergencia y el potencial de las raíces para formar nódulos. El porcentaje de germinación se determinó de acuerdo con lo establecido por Ortiz Lovera (2021). Las semillas de frijol se acomodaron en papel absorbente, después se enrollaron y se humedecieron con agua destilada para comenzar el proceso de germinación. Los rollos humedecidos se colocaron en una incubadora a 37 °C. Se realizaron tres repeticiones por accesión. Después de 3, 5 o 7 días se contó la cantidad de semillas germinadas, considerando la emergencia de la radícula (con un mínimo de 3 mm) como semilla germinada, se obtuvo porcentaje promedio de la germinación por especie.

La emergencia se realizó en charolas germinadoras de poliestireno de 72 cavidades, se utilizó un sustrato comercial de agrolita y turba con una relación 1:1. La emergencia se empezó a registrar después de los siete días de la siembra. Se determinó la emergencia promedio por especie.

Para determinar el potencial de formar nódulos, se utilizó un producto comercial de uso agrícola (Rhizobium LALRz86: 1 x $10^7$ UFC/mL), se aplicó una concentración de 5 mL Rhizomic©/L de agua, siguiendo las indicaciones del fabricante. Las semillas se sembraron en charolas de poliestireno (52 cm de largo x 26 cm de ancho, con 72 cavidades) con una mezcla de 60% turba y 40% agrolita. La formación de nódulos se identificó a la tercera y cuarta semana de desarrollo de las plántulas.

***Evaluación de los aspectos fitosanitarios de frijol criollo***

Los aspectos fitosanitarios evaluados fueron la presencia de bacterias y hongos en las semillas de frijol y el índice de susceptibilidad a gorgojos. Para identificar la presencia de microorganismos, las semillas de frijol se desinfectaron con una solución de hipoclorito de sodio al 2% durante 10 min, se realizaron tres enjuagues de 5 min con agua destilada estéril y se colocaron en PDA (Agar, Dextrosa y Papa) y en AN (Agar Nutritivo). Las cajas Petri se colocaron en oscuridad y se incubaron a temperatura ambiente, hasta que se presentó algún tipo de crecimiento de hongos o de bacterias. Para la identificación de los hongos y bacterias se utilizó un espectrómetro de masas MALDI-TOF Biotyper®, siguiendo los protocolos sugeridos por el manual de Procedimiento Operativo Estándar y preparando las muestras con el método de extracción con ácido fórmico.

Para las pruebas de índice de susceptibilidad a los gorgojos se utilizaron 30 accesiones de frijoles criollos de Chiapas y Oaxaca. De cada una de las accesiones se tomaron 100 semillas, se registró el peso y se depositaron en un frasco de vidrio. En cada frasco se colocaron 10 parejas de adultos de *Acanthoscelides obtectus* (Say) que a los 10 días se retiraron. Los frascos con las semillas y los huevecillos se incubaron a 25 °C y 50% de HR por 90 días. Por cada accesión se tuvieron tres repeticiones. El daño causado en las semillas por los gorgojos se determinó con el índice de susceptibilidad (IS), el porcentaje de semillas dañadas (SD) y el número de adultos/100 granos de frijol (García-Morales *et al.,* 2022).

### *Análisis nutricional de frijol criollo*

Como parte del análisis nutrimental se realizó un análisis bromatológico que comprende el contenido de proteína (%), grasas (%), carbohidratos (%) y fibra cruda (%); además del contenido de aminoácidos libres histidina (His), arginina (Arg), treonina (Thr), lisina (Lys), valina (Val), isoleusina (Ile), leusina (Leu), fenilalanina (Phe), metionina (Met), triptófano (Trp). Ambos análisis se realizaron de acuerdo con lo reportado por Alcázar-Valle *et al.* (2020, 2021).

### *Análisis de datos*

Se realizó una matriz de correlación de Pearson entre las variables agronómicas, fitosanitarias y nutricionales, usando el software R.
Se realizó un análisis CLUSTER más una prueba de análisis de perfil de similitud (SIMPROF) (nivel de significancia 0.5) y análisis de similitud de porcentajes (SIMPER) entre 46 accesiones de la especie *P. vulgaris* de los tres estados del Pacífico Sur.

## Resultados y discusión

### *Aspectos agronómicos*

*Clasificación de las accesiones de frijol*

En el estado de Chiapas se obtuvieron 18 accesiones de los seis municipios visitados, 72.2% de las variedades colectadas pertenecen a la especie *P. vulgaris* (13 accesiones con apariencia y características diferentes), 11.1% de las variedades corresponden a *P. coccineus*, 11.1% de las accesiones se clasificaron como *P. polyanthus* y 5.6% como *P. lunatus* (Figura 2). En el estado de Oaxaca se identificaron 95% de las accesiones como *P. vulgaris* y el 5% como *P. coccineus*. En tanto que en Guerrero se obtuvieron 14 accesiones de la especie *P. vulgaris* (77.8% de las variedades obtenidas), tres variedades de *P. lunatus* (16.7 %) y una de la especie *P. coccineus* (5.6%).

Aunque la diversidad del género *Phaseolus* es amplia en la región del Pacífico, principalmente en Chiapas (SEMARNAT, 2018), el mayor número de accesiones obtenidas corresponden a la especie *P. vulgaris*. Lo

que podría indicar que se está perdiendo la variabilidad genética de las especies que conforman el género *Phaseolus*. Este fenómeno obedece a varios factores, destacando la diversificación y la modernización en las prácticas agrícolas con una tendencia al monocultivo usando variedades mejoradas para satisfacer la demanda del consumidor. Aunado a los cambios de uso de suelo agrícola para otros cultivos con mayor rentabilidad o para uso urbano, también se ha incrementado el abandono de las áreas cultivables debido a la migración (Ruíz-Salazar *et al.*, 2021).

Figura 2. Representación fotográfica de las accesiones de frijol criollo colectado en la región del Pacífico Sur: Chiapas (CH), Oaxaca (OX) y Guerrero (GR)

***Germinación de las semillas y emergencia de las plántulas de frijol***

La germinación de las semillas es una etapa determinante en el ciclo de los cultivos y está en función del uso eficiente de los nutrientes y del estado hídrico disponible en las semillas (Aguilar *et al.*, 2019). La capacidad de germinación es uno de los principales atributos que determinan la calidad fisiológica de las semillas.

En este sentido, se obtuvo la germinación promedio por especies de *Phaseolus* y por estado, destacando Chiapas con una germinación superior al 85% en las cuatro especies colectadas y donde *P. lunatus* y *P. vulgaris* tuvieron 94% y 92.5% de germinación promedio, respectivamente; mientras que *P. coccineus* y *P. polyanthus* presentaron una germinación del alrededor del 87% (Tabla 1). En contraste, las especies de frijol obtenidas de Oaxaca tuvieron 75.5% en *P. vulgaris* y 33.3% en *P. coccineus*, en esta última especie se encontró la germinación más baja de los tres estados del Pacífico Sur. La germinación promedio más alta se encontró en el estado de Guerrero en las especies *P. coccineus* y *P. lunatus* (>95%); la germinación promedio de *P. vulgaris* fue similar a la obtenida en Oaxaca (Tabla X).

La emergencia promedio de la plántula, en general, fue menor que la germinación promedio. Las especies de *P. lunatus* fueron las más afectadas tanto en las accesiones colectadas del Chiapas como de Guerrero. Mientras que *P. coccineus* tuvo un comportamiento contrastante, las semillas de Chiapas y de Guerrero obtuvieron una emergencia de la plántula de 14.2% y 31.7%, respectivamente. En la accesión de Oaxaca se tuvo un valor de 40%, incluso mayor que en la prueba de germinación. Lo que podría indicar que estas semillas tienen mayor vigor, es decir, el potencial para el establecimiento rápido y uniforme de las plantas en condiciones de campo (Morales-Santos *et al*., 2017).

Tabla 1. Germinación y emergencia promedio por especies de Phaseolus colectadas en los estados del Pacífico Sur

| Especie | Germinación promedio (%) | | | Emergencia promedio (%) | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | Chiapas | Oaxaca | Guerrero | Chiapas | Oaxaca | Guerrero |
| P. vulgaris | 92.5 | 75.5 | 75.7 | 80.1 | 72.9 | 77.7 |
| P. coccineus | 87.2 | 33.3 | 96.7 | 14.2 | 40.0 | 31.7 |
| P. polyanthus | 86.8 | -- | -- | 59.2 | -- | -- |
| P. lunatus | 94.0 | -- | 95.6 | 13.3 | -- | 53.2 |

En la figura 3 se presenta la germinación de las semillas, que se define como el proceso fisiológico que involucra al embrión y consiste en la emergencia y el desarrollo de las estructuras esenciales para la formación de una planta (Aguilar *et al.*, 2019). Este proceso involucra una serie de procesos anabólicos y catabólicos. Se obtuvo un mayor número de accesiones de Oaxaca (OX) con germinación de 98-100%, Chiapas y Guerrero tuvieron cinco accesiones en este rango de germinación. También se señalan las accesiones que tuvieron una germinación menor al 50%, destacando Oaxaca con el mayor número y Chiapas con sola una variedad con este porcentaje de germinación (Figuras 3).

La emergencia de la plántula depende de las características bioquímicas y fisiológicas de la semilla, así como de la eficiencia en el uso de reservas durante el proceso de germinación y de los factores externos que rodean a la semilla (Morales-Santos *et al.*, 2017). La emergencia de la plántula involucra más factores, lo que podría explicar que se hayan encontrado un mayor número de accesiones con un porcentaje de emergencia menor al 50%, con al menos cinco accesiones en cada uno de los estados. Al mismo tiempo, se obtuvo un menor número de accesiones con una emergencia entre el 98-100% (Figura 3).

Se sabe que existen otros factores externos a la semilla que influyen en los procesos de germinación y emergencia, como es el caso del agua, el oxígeno, la luz y la temperatura. Particularmente, la temperatura es un factor que limita y afecta la germinación, la morfología y el establecimiento de

las plantas, por lo que se debe tomar en cuenta ante los efectos del cambio climático. Resulta importante identificar las accesiones que se adaptan a la variabilidad climática para fines de producción agrícola, pero también es primordial identificar aquellas variedades susceptibles a sufrir mayor afectación con fines de conservación de las especies.

Figura 3. Germinación y emergencia de las accesiones de frijol criollo colectado en la región del Pacífico Sur

### *Formación de nódulos en raíces de accesiones del Pacífico Sur*

Las leguminosas tienen la capacidad de asociarse con bacterias del suelo, este tipo de bacterias son del género *Rhizobium*. La asociación que resulta entre las leguminosas y *Rhizobium* es un proceso que consiste en la simbiosis

para la fijación de nitrógeno (N), que se lleva a cabo en las raíces de las plantas mediante la formación de nódulos. En estos órganos, las bacterias tienen la capacidad de convertir el nitrógeno atmosférico ($N_2$) en amonio ($NH_{4+}$), esta última es una de las principales fuentes de N para el desarrollo de las plantas (Lara *et al.*, 2015).

De las accesiones obtenidas, una accesión (CH-10) de la especie *P. vulgaris* mostró formación de nódulos. De Oaxaca, 10 accesiones de *P. vulgaris* presentaron nódulos; de Guerrero, 10 accesiones de *P. vulgaris* y una de *P. coccineus* (GR-15) (Figura 4). Hubo otras accesiones obtenidas que tuvieron bajos porcentajes de germinación y no se pudo determinar la formación de nódulos, principalmente de Chiapas. Sin embargo, se identificaron accesiones de gran valor para su potencial uso agrícola, ya que la fijación de N permite mantener la sustentabilidad de los sistemas productivos al reducir los costos de producción, disminuir el uso de fertilizantes nitrogenados y beneficiar las condiciones físico, químicas y biológicas del suelo (Nápoles *et al.*, 2016).

Figura 4. Accesiones de frijol criollo colectadas en el Pacífico Sur con potencial para formar nódulos

## Aspectos fitosanitarios

### *Aislamiento de microorganismos de semillas de frijol criollo*

En las semillas de frijol se pueden encontrar numerosas especies de microorganismos simbiontes no perjudiciales. Sin embargo, también se pueden presentar muchas especies patógenas, como aquellas del género *Salmonella* o la bacteria *Escherichia coli*. Estas especies bacterianas, generalmente, se transmiten por alimentos o aguas contaminadas. De las semillas de frijol colectadas en los estados de Chiapas y Oaxaca se aislaron e identificaron ocho y 12 especies de bacterias, respectivamente. Mientras que el número de hongos aislados e identificados fue menor (dos en las accesiones de Chiapas y una en Oaxaca).

Tabla 2. Bacterias y hongos aislados e identificados por MALDI-TOF en los granos de frijol colectados en los estados de Chiapas y Oaxaca

| Estado | Bacterias identificadas | Hongos identificados |
|---|---|---|
| Chiapas | ***Alcaligenes faecalis, Aureimonas altamirensis Enterobacter asburiae, Enterobacter cloacae, Pandoraea sputorum, Pseudomonas aeruginosa, Streptococcus oralis, Staphylococcus haemolyticus.*** | ***Aspergillus flavus oryzae, Aspergillus niger*** |
| Oaxaca | ***Bacillus cereus, Bacillus altitudinis, Bacillus atrophaeus, Bacillus asahii, Corynebacterium, Corynebacterium lipophiloflavum, Enterobacter cloacae, Paenibacillus amylolyticus, Pandoraea sputorum, Pseudomonas aeruginosa, Serratia marcescens, Staphylococcus hominis,*** | ***Alterinaria alternata*** |

Se identificaron bacterias del género *Pseudomonas*, *Bacillus*, *Enterobacter*, *Staphylococcus* y *Pandoraea* (Tabla 2). Varias especies de estos géneros bacterianos son causantes de enfermedades para los humanos. A diferencia de las bacterias, mediante la técnica de MALDI-TOF no se pudieron identificar muchos de los aislados fúngicos, aunque se determinaron géneros como: *Aspergillus*, *Alternaria* y *Fusarium* (Tabla 2). Existen especies

de estos dos últimos géneros que causan enfermedades devastadoras en los cultivos agrícolas.

Algunas de las bacterias encontradas en las semillas también son reconocidas como patógenas de humanos y agentes causantes de enfermedades. La diversidad de microorganismos (bacterias y hongos) presentes en las semillas de frijol indican la necesidad de proporcionar semillas libres de patógenos, así como alternativas para el almacenamiento y la desinfección del grano para el consumo humano.

***Índice de susceptibilidad a gorgojos***

Las accesiones OX-04, OX-08, OX-12 y GR-09 presentaron el menor daño en las semillas, un número reducido de gorgojos y, por lo tanto, los valores más bajos en el índice de susceptibilidad. Se destaca la correlación entre el menor índice de susceptibilidad y el mayor contenido de grasa de las accesiones OX-04 y OX-08 (Figura 5), ambas de la especie *P. vulgaris*. Las accesiones de Guerrero mostraron la mayor susceptibilidad al daño por los gorgojos (GR-05, GR-14 y GR-15), junto con una accesión de Chiapas (CH-01). La especie *P. lunatus* (GR-09) presentó el índice de susceptibilidad más bajo en comparación con las especies *P. polyanthus* y *P. coccineus*, en esta última especie se encontró la accesión con el mayor índice de susceptibilidad (GR-15) colectada en Guerrero (Figura 5).

De acuerdo con Kornegay y Cardona (1991), los frijoles resistentes a los gorgojos presentan valores bajos en el índice de susceptibilidad. En general, las accesiones obtenidas de los estados de Chiapas, Oaxaca y Guerrero presentaron una susceptibilidad alta a los gorgojos.

Figura 5. Correlación entre el contenido de grasas (%) y el índice de susceptibilidad a gorgojos de las accesiones colectadas en la región del Pacífico Sur

## Aspectos nutricionales

### *Contenido nutrimental*

La especie *P. vulgaris* (frijol común) es la que cuenta con más reportes sobre su composición nutricional, destacando su contenido de proteína que fluctúa entre 14 y 33% (Morales-Santos *et al.*, 2017). De las accesiones obtenidas en la región del Pacífico Sur, el contenido de proteína más alto se encontró en CH-09 (30.6%) de Chiapas y el valor más bajo se obtuvo en GR-11 (17.2%) de Guerrero, ambas accesiones de *P. vulgaris*. Las variedades de Oaxaca tienen un contenido de proteína entre 18.4 y 24.8%, valores inferiores a los reportados en otras variedades de frijol común del estado de Oaxaca donde se reportaron valores de 21.5 y 26.6% (Armendáriz-Fernández *et al.*, 2019).

En las accesiones de *P. polyanthus* y *P. lunatus* el contenido de proteínas es similar, alrededor del 20%. En *P. coccineus* se encontró una mayor variación entre los estados estudiados, en Chiapas se obtuvieron valores de 19.5 y 21.2%; en Oaxaca, 18.7% y en Guerrero, 15.8% (Tabla 3), el contenido de proteína más bajo encontrado en las cuatro especies. Los reportes sobre el contenido nutricional de *P. polyanthus*, *P. lunatus* o *P. coccineus* son escasos comparado con *P. vulgaris,* la especie más estudiada del género *Phaseolus*.

El contenido de grasas varía entre 1.4% de CH-11 (*P. polyanthus*) y 5.6% de OX-08 (*P. vulgaris*), valores superiores a los reportados en otras variedades de *P. vulgaris* de Oaxaca (Armendáriz-Fernández *et al.*, 2019). El contenido de carbohidratos se encontró en el rango de 54.1% (CH-09) y 67.3% (OX-17), ambas accesiones de *P. vulgaris*. En el contenido de fibra cruda destacan CH-09 con el valor más bajo (1.7%) y GR-08 con el dato más alto (10.9%) (Tabla 3).

Tabla 3. Accesiones de frijol criollo de la región del Pacífico Sur con mayor (+) y con menor (-) contenido de proteína, grasa, carbohidratos y fibra cruda

| Especie | Proteína (%) | | Grasas (%) | | Carbohidratos (%) | | Fibra cruda (%) | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | + | - | + | - | + | - | + | - |
| CHIAPAS | | | | | | | | |
| P. vulgaris | CH-09 (30.6) | CH-18 (20.0) | CH-04 (2.2) | CH-18 (1.5) | CH-18 (65.3) | CH-09 (54.1) | CH-15 (8.6) | CH-09 (1.7) |
| P. coccineus | CH-07 (21.2) | CH-16 (19.5) | CH-16 (2.1) | CH-07 (1.9) | CH-16 (60.8) | CH-07 (59.9) | CH-16 (5.2) | CH-07 (3.0) |
| P. polyanthus | CH-06 (20.6) | CH-11 (20.6) | CH-06 (1.6) | CH-11 (1.4) | CH-11 (60.3) | CH-06 (59.5) | CH-11 (3.7) | CH-06 (3.0) |
| P. lunatus | CH-17 (20.6) | | CH-17 (1.3) | | CH-17 (62.7) | | CH-17 (2.0) | |
| OAXACA | | | | | | | | |
| P. vulgaris | OX-04 (24.8) | OX-15 (18.4) | OX-08 (5.1) | OX-17 (1.6) | OX-17 (67.3) | OX-04 (55.6) | OX-14 (5.4) | OX-06 (2.4) |
| P. coccineus | OX-20 (18.7) | | OX-20 (1.6) | | OX-20 (64.4) | | OX-20 (3.9) | |

| GUERRERO | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| P. vulgaris | GR-13 (25.4) | GR-11 (17.2) | GR-18 (3.1) | GR-17 (1.9) | GR-07 (67.1) | GR-02 (61.0) | GR-05 (10.9) | GR-06 (3.0) |
| P. coccineus | GR-15 (15.8) | | GR-15 (2.2) | | GR-15 (66.4) | | GR-15 (4.4) | |
| P. lunatus | GR-09 (20.0) | GR-08 (19.0) | GR-08 (1.7) | GR-09 (1.6) | GR-08 (66.4) | GR-01 (64.7) | GR-09 (5.4) | GR-01 (5.0) |

### *Contenido de aminoácidos libres*

Lara (2015) menciona que la mayoría de las leguminosas tienen deficiencias de aminoácidos azufrados como la metionina y la cisteína, lo que coincide con lo encontrado en las accesiones del Pacífico Sur, ya que todas presentan un valor muy bajo de metionina (Met) (Figura 6). Las accesiones de Chiapas, además, presentan un contenido más bajo de isoleucina (Ile), comparado con las accesiones de Oaxaca y Guerrero (Figura 6a). Mientras que las variedades de Guerrero tienen menor contenido de treonina (Thr), lisina (Lys) y leucina (Leu) con respecto a los otros estados de estudio (Figura 6c). En los frijoles de los tres estados se destaca el contenido de arginina (Arg) y triptófano (Trp); aunque se ha reportado que las variedades domesticadas de frijol (alrededor de 300 mg/100 g PS) tienen menor contenido de Trp que las variedades silvestres (400-500 mg/100 g PS) (Morales-Santos *et al*., 2017), en este caso, todas las accesiones colectadas tuvieron 10 y 115 mg/100 g PS.

Particularmente, destacan CH-06 (*P. polyanthus*) por tener el contenido más alto de Thr, Val e Ile, pero también tuvo los valores más bajos de His, Lys, Leu, Trp y Arg (Figura 6a). De Oaxaca destacan OX-06 (*P. vulgaris*) por sus altos contenidos de Met, His, Thr, Lys, Val, Leu y Phe y la accesión OX-17 (*P. vulgaris*) por tener los menores contenidos de His, Thr, Val, Leu y Trp (Figura 6b). La accesión GR-06 (*P. vulgaris*) de Guerrero se distinguió por tener mayor contenido de Met, His, Lys, Ile y Phe, mientras que GR-15 (*P. coccineus*) tuvo los valores más bajos en la mayoría de los aminoácidos determinados (Figura 6c).

Figura 6. Fluctuación en el contenido de aminoácidos libres (mg por 100 g de peso seco) de las accesiones de frijol criollo colectado en la región del Pacífico Sur: a) Chiapas, b) Oaxaca y c) Guerrero. Histidina (His), arginina (Arg), treonina (Thr), lisina (Lys), valina (Val), isoleusina (Ile), leusina (Leu), fenilalanina (Phe), metionina (Met), triptófano (Trp).

## *Análisis de correlación y de agrupamiento*

Para el análisis de correlación se usó la información previamente reportada por Alcázar-Valle *et al.* (2020, 2021) sobre los aspectos fisicoquímicos, así como los resultados presentados en este trabajo. Se encontró una correlación positiva entre el contenido de aminoácidos y proteína, variables de tamaño con el peso de las semillas, el daño de las semillas con el índice de susceptibilidad, así como una ligera correlación positiva entre la proporción de la testa y la germinación (Figura 7).

Entre las correlaciones negativas se destaca el contenido de carbohidratos con la His, Arg y proteína, la proporción de la testa de la semilla con el contenido de Phe, Met, Ile y la más alta correlación con la proporción de los cotiledones, esta última variable también mostró una correlación negativa con la germinación (Figura 7).

Figura 7. Correlación de Pearson entre el contenido de aminoácidos, la actividad antioxidante (ABTS y DPPH), las variables fisicoquímicas (análisis proximal y tamaño), los compuestos fenólicos, las variables agronómicas (germinación, emergencia, proporción de la semilla) y fitosanitarios (daño, número de gorgojos e índice de susceptibilidad)

Además, se realizó una clasificación por grupos mediante un análisis de CLUSTER junto con un análisis de perfil de similitud SIMPROF. Para este estudio se incluyeron las accesiones de la especie *P. vulgaris* colectadas

en los tres estados del Pacífico Sur. Las variables que se incluyeron en el análisis fueron contenido de compuestos fenólicos (flavonoides, taninos, fenólicos totales), actividad antioxidante (ABTS y DPPH), análisis proximal, tamaño de la semilla (largo, ancho y grosor), pero de 100 semillas, proporción de la semilla (cotiledones, testa y eje embrionario), germinación de las semilla, emergencia de la plántula, número de gorgojos por 100 semillas, semillas dañadas, índice de susceptibilidad a gorgojos y el contenido de aminoácidos libres.

Se identificaron las accesiones con mayor disimilitud, señaladas como aquellas accesiones que al ser diferentes no formaron parte de grupos diferenciados y se presentan como una ramificación única. Se seleccionaron tres accesiones de Chiapas, cuatro de Oaxaca y tres de Guerrero, marcadas con flechas rojas (Figura 8).

Figura 8. Análisis de agrupamiento de 46 accesiones de frijol común (***Phaseolus vulgaris***)

Además, se identificaron las variables que contribuyen a la disimilitud entre accesiones (Tabla 4). La contribución de las variables a la disimilitud promedio entre las accesiones se estimó con un análisis de porcentajes

SIMPER. Las variables se presentan en un orden de mayor (1) a menor contribución (6); además, se indica si el valor de la variable es mayor (>) o (<) en la accesión seleccionada. En el caso de CH-03 es la accesión que presenta un menor porcentaje de emergencia de plántula, pero un mayor contenido de taninos, cenizas, proporción de eje embrionario, actividad antioxidante determinada por ABTS y DPPH, así como contenido de grasas y de Trp.

Tabla 4. Variables que permitieron discriminar a las accesiones de ***P. vulgaris***

| # Accesión | Variable | # Accesión | Variable |
|---|---|---|---|
| CH-03 | (1) % Emergencia plántula (<)<br>(2) Taninos (>)<br>(3) Cenizas (>)<br>(4) % Eje embrionario (>)<br>(5) ABTS (>)<br>(6) Grasas (>)<br>(6) Triptófano (>)<br>(6) DPPH (>) | OX-03 | (1) Valina (>)<br>(2) Treonina (>)<br>(3) Leucina (>)<br>(4) Lisina (>)<br>(5) Metionina (>)<br>(6) Grasas (>)<br>(6) % Germinación (>)<br>(6) Triptófano (>)<br>(6) Taninos (>)<br>(6) Fenoles (>) |
| CH-05 | (1) Triptófano (>)<br>(2) Taninos (>)<br>(3) Arginina (>)<br>(4) Histidina (>)<br>(5) Grasas (>)<br>(6) Número de gorgojos (>) | OX-06 | (1) Metionina (>)<br>(2) Leucina (>)<br>(3) Fenilalanina (>)<br>(4) Lisina (>)<br>(5) % Testa (<)<br>(6) % Cotiledones (>)<br>(6) Valina (>) |
| CH-09 | (1) Arginina (>)<br>(2) Proteína (>)<br>(3) Fenoles (>)<br>(4) Histidina (>)<br>(5) Carbohidratos (>)<br>(6) Grasas (>) | OX-13 | (1) % Germinación (<)<br>(2) Flavonoides (>)<br>(3) % Semillas dañada (>)<br>(4) % Emergencia plántula (<)<br>(5) Humedad (<)<br>(6) Grasas (>)<br>(6) DPPH (>) |
| GR-03 | (1) % Germinación (<)<br>(2) % Cotiledones (>)<br>(3) % Testa (<)<br>(4) Taninos (<)<br>(5) Flavonoides (<)<br>(6) Grasas (>) | OX-14 | (1) Isoleucina (>)<br>(2) Fenilalanina (>)<br>(3) Taninos (<)<br>(4) Humedad (>)<br>(5) Flavonoides (<)<br>(6) % Cotiledones (>) |

| | | | |
|---|---|---|---|
| GR-05 | (1) Fibra cruda (>)<br>(2) Triptófano (>)<br>(3) Número de gorgojos (>)<br>(4) % Semillas dañada (>)<br>(5) Humedad (<)<br>(6) Grasas (>)<br>(6) Isoleucina (<) | | |
| GR-18 | (1) Peso 100 semillas (>)<br>(2) Ancho semilla (>)<br>(3) Grosor semilla (>)<br>(4) Largo semilla (>)<br>(5) Humedad (>)<br>(6) % Cotiledones (>)<br>(6) Flavonoides (<) | | |

Los números entre paréntesis señalan el orden de contribución a la disimilitud de las accesiones seleccionadas, siendo el número (1) la variable con mayor influencia y el número (6) sólo contribuye a la disimilitud dos veces. El símbolo (>) indica que el valor de la variable es mayor en la accesión seleccionada y (<) que el valor de la variable es menor.

En general, las variables que más contribuyen a la disimilitud es el contenido de aminoácidos y de grasas, en menor proporción se encuentra el porcentaje de germinación, algunos elementos del análisis proximal y la proporción de la semilla. Accesiones como CH-09, OX-03 y 0X-14 se distinguen por su contenido nutrimental, mientras que OX-13 tiene menor porcentaje de germinación de semilla y emergencia de plántula, así como mayor porcentaje de semilla dañada, similar a la accesión GR-05.

## Conclusiones

La mayor diversidad de especies del género *Phaseolus* se encontró en Chiapas, seguido de Guerrero y por último Oaxaca. El porcentaje de germinación fue mayor en las accesiones de *P. vulgaris* y menor en *P. coccineus*, *P. polyanthus* y *P. lunatus*. La formación de nódulos sólo se identificó en accesiones de *P. vulgaris* o *P. coccineus*. El índice de susceptibilidad a la afectación por gorgojos fue menor en las variedades de Oaxaca y mayor en las de Guerrero.

Se identificaron tres accesiones de Chiapas (CH-03, CH-05 y CH-09), cuatro de Oaxaca (OX-03, OX-06, OX-13 y OX-14) y tres de Guerrero (GR-03, GR-05 y GR-18) que se distinguen del resto de las accesiones de *P. vulgaris,* ya sea por su contenido de aminoácidos, por su potencial antioxidante o por sus características fitosanitarias y agronómicas que pueden ser candidatas potenciales para su resguardo en un banco de germoplasma para su conservación.

Finalmente, las accesiones obtenidas mostraron resultados promisorios desde el punto de vista agronómico por su potencial para la formación de nódulos y su implicación en la fijación del N, así como su bajo índice de susceptibilidad al ataque por gorgojos y por su importancia alimenticia debido a su contenido de proteínas, aminoácidos y compuestos bioactivos. Esto implica la necesidad de generar estrategias para su conservación y su producción ya que estas variedades también son parte de la cultura gastronómica y la identidad de la población de los estados que conforman la región del Pacífico Sur.

## Referencias

Aguilar, B.G., Vázquez, D.E.G., Castro, R. R., Cruz, C.E., & Jarquín, G.R. (2019). Germinación de cultivares de frijol con características físicas contrastantes bajo condiciones de estrés osmótico. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, *10*(2), 239-251. https://doi.org/10.29312/remexca.v10i2.720

Alcázar-Valle, M., Lugo-Cervantes, E., Mojica, L., Morales-Hernández, N., Reyes-Ramírez, H., Enríquez-Vara, J. N., and García-Morales, S. (2020). Bioactive Compounds, Antioxidant Activity, and Antinutritional Content of Legumes: A Comparison between Four *Phaseolus* Species. *Molecules, 25*(15), 3528. http://dx.doi.org/10.3390/molecules25153528

Alcázar-Valle, M., García-Morales, S., Mojica, L., Morales-Hernández, N., Sánchez-Osorio, E., Flores-López, L., Enríquez-Vara, J. N., & Lugo-Cervantes, E. (2021). Nutritional, Antinutritional Compounds and

Nutraceutical Significance of Native Bean Species (Phaseolus spp.) of Mexican Cultivars. *Agriculture*, *11*(11), 1031. https://doi.org/10.3390/agriculture11111031

Alcázar-Valle, M., García-Morales, S., Olvera-Vargas, L.A., Sánchez-Osorio, E. & Lugo-Cervantes, E. (2023). Aspectos nutricionales y sociales del frijol criollo de la región Pacífico sur. *Horizontes Transdisciplinarios*, *1*(1), 147-156.

Armendáriz-Fernández, K., Herrera-Hernández, I., Muñoz-Márquez, E., and Sánchez, E. (2019). Characterization of Bioactive Compounds, Mineral Content, and Antioxidant Activity in Bean Varieties Grown with Traditional Methods in Oaxaca, Mexico. *Antioxidants*, *8*(1), 26. http://dx.doi.org/10.3390/antiox8010026

Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. (2019, mayo). *Frijoles domesticados en México*, *Cada pueblo de México tiene su frijol.* http://bioteca.biodiversidad.gob.mx/janium-bin/janium_zui.pl?fn=14176&jzd=/janium/Documentos/Cartel_Frijoles/d.jzd

García-Morales, S., Flores López, M.L., Sánchez Osorio, E., Enríquez Vara, J.N., Lugo Cervantes, E., & Gschaedler Mathis, A.G. (2022). Hallazgo social y agrícola de la cadena productiva del frijol en las regiones de los Altos y la Frailesca, Chiapas. En C. Elizondo y D. López (Eds.), Agroecología en México, Soberanía Alimentaria, Saberes, Cosmovisión y Patrimonio Biocultural, Tomo II (pp. 311-337). Editorial Chiapanero.

Kornegay, J. & Cardona, C. (1991). Breeding for insect resistance in beans. In A. von Schoonhoven and O.V. Voysest (eds.), *Common beans: Research for crop improvement* (pp. 619-641). CAB International - CIAT

Lara, F.M. (2015). El cultivo del frijol en México. *Revista Digital Universitaria, 16*(2), 1-11. http://www.revista.unam.mx/vol.16/num2/art09

Mariaca, R., Pérez, J., León, N. & López, A. (2007). *La milpa tsotsil de los Altos de Chiapas y sus recursos genéticos*. 1ª Edición, El Colegio de la Frontera Sur-Universidad Intercultural de Chiapas.

Morales-Santos, M.E., Peña-Valdivia, C.B., García-Esteva, A., Aguila-Benítez, G. & Kohashi-Shibata, J. (2017). Características físicas y de

germinación en semillas y plántulas de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) silvestre, domesticado y su progenie. *Agrociencia*, *51*, 43-62.

Nápoles, M., Cabrera, J., Onderwater, R., Wattiez, R., Hernández, I., Martínez, L. & Núñez, M. (2016). Señales producidas por *Rhizobium leguminosarum* en la interacción con frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.). *Cultivos Tropicales 37*(2), 37-44.

Ortiz Lovera, I.A. (2021). Caracterización por semilla de variedades criollas del género *Phaseolus* L. (Fabaceae) y sus microorganismos asociados colectadas en el estado de Chiapas, México [Tesis de Licenciatura, Universidad de Guadalajara].

Ruíz-Salazar, R., Hernández-Delgado, S., Vargas-Vázquez, M.L.P., & Mayek-Pérez, N. (2021). Estado actual de los recursos genéticos de *Phaseolus coccineus* (Fabaceae) en México. *Boletín de la Sociedad Argentina de Botánica*. *56*, 289-305. https://doi. org/10.31055/1851.2372. v56. n3.32297

Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2018). *Compendio de Estadísticas Ambientales 2018*. https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/dgeia/compendio_2018/dgeiawf.semarnat.gob.mx_8080/ibi_apps/WFServletb14e.html

# Capítulo 15

# Potencial nutracéutico y cosmecéutico del frijol criollo en la región Pacífico Sur de México

*Montserrat Alcázar Valle[1], David Fonseca Hernández[1], Jonhatan Contreras[1], Luis Mojica Contreras[1], Eugenia Lugo Cervantes[1*]*

**Resumen**

Los alimentos derivados de plantas proporcionan, además de nutrientes, compuestos bioactivos, como los compuestos fenólicos, que proporcionan beneficios adicionales a la salud humana. Estos compuestos están presentes en alimentos como cereales, frutas y leguminosas. Existen cerca de 20 especies de leguminosas que se utilizan como granos secos en cantidades considerables para la nutrición humana; una de las especies más consumidas es el frijol. En México se cultivan principalmente cinco especies de frijol: el frijol común (*Phaseolus vulgaris*), frijol comba (*Phaseolus lunatus*), frijol ayocote (*Phaseolus coccineus*), frijol ibes o gordo (*Phaseolus polyanthus*) y frijol tépari (*Phaseolus acutifolius*). Una de las regiones con mayor producción y diversidad de especies es la región del Pacífico Sur, que comprende los estados de Chiapas, Guerrero y Oaxaca. En el presente capítulo se presentan los resultados del muestreo de las accesiones de frijol criollo en la región del Pacífico Sur, con el objetivo de conocer su contenido nutricional, los posibles componentes antinutricionales y su potencial como fuente de compuestos bioactivos. Se observó que las accesiones colectadas

[1] Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco, Unidad de Tecnología Alimentaria, Camino Arenero 1227, El Bajío, Zapopan, México 45019.
* elugo@ciatej.mx

de colores obscuros (negros y rojos) fueron los que presentaron el mayor contenido de proteína, compuestos fenólicos y actividad antioxidante, independientemente del estado donde fue colectado. Además, se observó que los extractos de algunas accesiones de frijol que contienen compuestos fenólicos presentan potencial antiinflamatorio y antienvejecimiento. Por lo anterior, se podrían utilizar estas accesiones de frijol como ingredientes con potencial nutracéutico y/o cosmecéutico.

*Palabras clave:* Actividad antiinflamatoria, actividad antienvejecimiento, compuestos bioactivos.

## Introducción

Las leguminosas son fuentes de carbohidratos (55-60%), proteína (17-40%) y fibra (29-47%). Además, contienen otros compuestos minoritarios como vitaminas, carotenoides y compuestos fenólicos, a los cuales se les atribuye una alta actividad nutracéutica, es decir, que son compuestos que pueden ayudar a mejorar la salud (Carbas *et al.*, 2020). Estos compuestos han sido reportados como conservadores naturales de los alimentos y juegan un papel muy importante en la prevención de algunas enfermedades crónicas como la obesidad, diabetes tipo 2, enfermedades cardiovasculares e inclusive algunos tipos de cáncer (Alcázar-Valle *et al.*, 2021). Sin embargo, también contienen compuestos, que por sus características funcionales son considerados como antinutricionales, comprometen la disponibilidad y, consecuentemente, la calidad nutricional de las leguminosas, aunque en bajas cantidades estos compuestos también pueden ser benéficos para la salud (Carbas *et al.*, 2020).

El frijol (*Phaseolus* spp.) es una de las leguminosas más importantes debido a su valor nutricional y al aporte de moléculas que proporcionan beneficios a la salud de los consumidores. Es considerado como la segunda fuente de proteína en algunos países de África y la cuarta en América (Alcázar-Valle *et al.*, 2020). Además, es una de las especies de frijol más consumidas y por ende más estudiada, contiene altas cantidades de almidón,

fibra, minerales y vitaminas, y una gran variedad de metabolitos secundarios como flavonoides, antocianinas, taninos, flavonoles, ácidos fenólicos e isoflavones, a los cuales se les atribuye una alta actividad antioxidante. Esta actividad antioxidante se basa en la neutralización de los radicales libres, evitando la generación de procesos oxidativos en la célula. Algunos factores que inducen la producción de radicales libres provienen del medio ambiente, como la radiación ultravioleta, gases contaminantes y sustancias tóxicas. Por lo tanto, el consumo del frijol tiene una gran asociación con muchos beneficios fisiológicos a la salud como la prevención de enfermedades no transmisibles y en la reducción del proceso de envejecimiento prematuro (Yang *et al*., 2018; Fonseca *et al*., 2021).

Además del frijol común, en México existen otras cuatro especies domésticas que se cultivan principalmente: frijol comba (*P. lunatus*), ayocote (*P. coccineus*), frijol gordo o ibes (*P. dumosus* o *P. polyanthus*) y frijol tépari (*P. acutifolius*). Las especies de *P. lunatus* y *P. coccineus* ocupan el segundo y tercer lugar de consumo, respectivamente, a nivel mundial. Por lo anterior, estas especies requieren de atención y estudio para poder diseñar acciones de conservación y aprovechamiento (Chávez-Mendoza & Sánchez, 2017; Alcázar-Valle *et al*., 2021).

De acuerdo con la Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (SADER), en su último boletín mensual publicado en febrero del 2020, en el ciclo de producción de frijol primavera-verano 2018-2019, los estados de Chiapas, Oaxaca y Guerrero se encontraron dentro de los 10 estados con mayor producción de frijol. Estos estados, que conforman la región Pacífico Sur de México, presentan grandes desigualdades y asimetrías sociales y económicas. Por lo anterior, en el presente capítulo nos enfocaremos en presentar los resultados relacionados a la extracción, identificación y caracterización de los componentes fisicoquímicos, el contenido nutricional y actividad biológica de las variedades de frijol criollo de los estados de Guerrero, Oaxaca y Chiapas para determinar su potencial nutracéutico y cosmecéutico.

## Materiales y métodos

Se realizaron diversas colectas en los municipios productores de cada uno de los estados que comprenden la región Pacífico Sur. Este muestreo se realizó en los meses de marzo a septiembre del 2019, con el objetivo de colectar la mayor diversidad posible de las accesiones de frijol criollo que se cultivan en cada región (**Tabla 1**).

Tabla 1. Colecta de frijol criollo en los estados de Chiapas, Guerrero y Oaxaca

| Estado | Mes (2019) | Municipios |
|---|---|---|
| Chiapas | Marzo | **Tenejapa, Villaflores, Teopisca, Chenalhó, Patenlho, Chamula.** |
| Oaxaca | Julio | Nochixtlán, Sayultepec, Huixtepec, Nopala, Ayoquezco, Santa Lucía. |
| | Septiembre | Cuicatlan, Lachatao, Ixtlán, Díaz Ordaz. |
| Guerrero | Agosto | Mexcaltepec, Tecoanapa, Pilcaya, Iguala, Xochistlahuaca, Tepecoacuilco. |

Posteriormente, en el laboratorio se procedió a lavar y secar las accesiones de frijol para eliminar cualquier material extraño y proceder con los análisis fisicoquímicos, la extracción, cuantificación y caracterización de los compuestos fenólicos, y la determinación de la actividad antioxidante. También se analizaron los componentes antinutricionales y, finalmente, se analizó la actividad biológica de algunas variedades de frijol.

### *Análisis fisicoquímico, contenido nutricional y antinutricional de las accesiones de frijol criollo colectadas*

Se determinó el tamaño del frijol al medir y pesar aleatoriamente 100 semillas de frijol. Además, se realizó la evaluación del color de acuerdo a la escala CIE L*A*B*, mediante un espectrofotómetro (CM-5, Konica Minolta, China). Además, se efectuó el análisis proximal de las 56 accesiones de frijol (humedad, cenizas, grasas, proteína, carbohidratos y fibra cruda) y se determinó el contenido de aminoácidos libres esenciales y no esenciales. Se realizó el análisis del ácido fítico, oligosacáridos, actividad de lectina

y actividad inhibitoria de tripsina en las 56 accesiones de frijol colectadas (Alcázar-Valle *et al*., 2020, 2021).

***Extracción y cuantificación de los compuestos fenólicos y determinación de actividad antioxidante las accesiones de frijol criollo colectadas***

Se realizaron extracciones de las accesiones colectadas por maceración, lixiviación y fluidos supercríticos (Alcázar-Valle *et al*., 2020; Hsieh-Lo *et al*., 2020), con el objetivo de obtener extractos ricos en compuestos fenólicos. Se les determinó el contenido de fenoles totales por el método de Folin-Ciocalteu (Akillioglu & Karakaya, 2010), el contenido de flavonoides por el ensayo de cloruro de aluminio (Del Toro-Sánchez *et al*., 2015) y el contenido de taninos condesados por medio del método de vainillina-ácido sulfúrico (Sun *et al.*, 1998). La determinación de antocianinas se realizó a partir del análisis de la cascarilla de frijol, utilizando el método AOAC 2005.2 (Mojica *et al*., 2015). Posteriormente, se realizó la cuantificación de compuestos fenólicos por UHPLC, por medio de un detector PDA (Acquity Arc., Waters, EUA), con una columna C18 Cortecs 2.7 µm 4.6x150 mm (Alcázar-Valle *et al*., 2020). Finalmente, la actividad antioxidante se determinó mediante los ensayos de ABTS y DPPH (Tovar-Pérez *et al*., 2017).

***Análisis de la actividad biológica de las accesiones de frijol criollo colectadas***

Se determinó la actividad antiinflamatoria mediante kits de detección del inhibidor iNOS, COX-1 y COX-2 (Contreras *et al*., 2023). Además, se determinó la actividad antienvejecimiento y antiinflamatoria por la inhibición de las enzimas tirosinasa, elastasa, COX-2 y iNOS (Fonseca *et al*., 2021, 2023).

Se realizaron estadísticos que incluyen: promedio, desviación estándar, prueba t de student, análisis de varianza (ANOVA) con un nivel de confianza del 95% y análisis de grupos heterogéneos por prueba de Tukey. Además, se realizaron análisis de discriminantes y de componentes princi-

pales para observar si existe alguna correlación entre los compuestos bioactivos y la actividad antioxidante de las accesiones colectadas. Se utilizó el software estadístico STATGRAPHIS CENTURION XVI (Versión 16.1.03).

## Resultados y discusión

### *Muestreo del frijol criollo en las zonas productoras de la región Pacífico sur*

Se colectaron en total 56 accesiones en los estados Chiapas, Guerrero y Oaxaca (**Tabla 2**), de las cuales dos pertenecen a la especie *P. polyanthus,* cuatro a la especie *P. coccineus,* cuatro a la especie *P. lunatus* y 46 a la especie de *P. vulgaris.*

Tabla 2. Accesiones de frijol (Phaseolus spp.) criollo colectadas en la región Pacífico sur (Alcázar-Valle et al., 2020, 2021)

| Estado | Especies colectadas | Total, de accesiones |
|---|---|---|
| Chiapas | ***P. coccineus, P. lunatus, P. polyanthus, P. vulgaris*** | 18 |
| Guerrero | ***P. coccineus, P. lunatus, P. vulgaris*** | 18 |
| Oaxaca | ***P. coccineus, P. vulgaris*** | 20 |

El estado de Chiapas presentó la mayor diversidad de especies. De las cinco principales especies domesticadas en México (Chávez-Mendoza & Sánchez, 2017), se colectaron accesiones de cuatro de estas especies.

### *Análisis fisicoquímicos del frijol criollo colectado en la región Pacífico Sur*

Se obtuvo una amplia diversidad en cuanto a tamaño y color de las semillas de frijol (Alcázar-Valle *et al*., 2020, 2021). Los resultados concuerdan con algunos reportes donde mencionan que las accesiones de frijol común (*P. vulgaris*) son más pequeñas en las regiones del centro-sur del país, en especial en los estados de Guerrero y Oaxaca (Espinosa-Pérez *et al*., 2015).

De acuerdo al tamaño de las accesiones colectadas de frijol ayocote (*P. coccineus*), estas son consideradas como grandes en función del peso de 100 semillas. No obstante, en cuanto a su longitud, todas las accesiones se pueden considerar como medianas, ya que existe evidencia de que accesiones de *P. coccineus* pueden presentar longitudes mayores a los 25 mm, siendo que las semillas colectadas presentaron una longitud promedio de 15 mm (Sinkovic *et al*., 2019). Finalmente, en cuanto a su peso, las accesiones de frijol comba (*P. lunatus*) y frijol gordo (*P. polyanthus*) son consideradas como semillas grandes, lo anterior concuerda a las características de estas especies estudiadas en algunos reportes (Agostini-Costa *et al*., 2015). En cuanto a las características del color, algunos reportes mencionan que el color violeta de las variedades de frijol ayocote es característico de las semillas que pertenecen al germoplasma Andino (Sinkovic *et al*., 2019). En el presente estudio de las cuatro accesiones colectadas de frijol ayocote, tres cumplen con esta característica. Algunos reportes mencionan que las accesiones rojas de frijol común son las que predominan en el estado de Guerrero; en Oaxaca, la mezcla de colores en las semillas de frijol común (Espinosa-Pérez *et al*., 2015). Sin embargo, en el presente estudio se encontraron accesiones de diversos colores en los tres estados de colecta.

***Contenido nutricional del frijol criollo colectado en la región Pacífico Sur***

En el contenido nutricional de las semillas colectadas (**Gráfica 1**) se observó que todas las accesiones se encuentran dentro de los rangos reportados en otros estudios de leguminosas, donde los componentes mayoritarios son los carbohidratos y las proteínas (Grela *et al*., 2017). Las accesiones de frijol común (*P. vulgaris*) presentaron un mayor contenido de proteína (30.60%). Chávez-Mendoza & Sánchez (2017) reportan que el contenido de proteína en variedades de frijol común oscila entre el 14 al 33 %.

Gráfica 1. Análisis proximal de las especies de frijol criollo colectadas en la región Pacífico Sur (Adaptado de Alcázar-Valle et al., 2020,2021)

Finalmente, en cuanto al contenido de aminoácidos esenciales, se sabe que el frijol es fuente rica de aminoácidos como la lisina, leucina y fenilalanina (Grela *et al*., 2017), mientras que los aminoácidos no esenciales mayoritarios son el ácido glutámico y la arginina (Grela *et al*., 2017). Al realizar un análisis discriminante del contenido de aminoácidos libres esenciales y no esenciales, fueron utilizados las 56 accesiones de frijol para desarrollar el modelo entre las cuatro especies colectadas, donde 18 aminoácidos analizados fueron introducidos como variables predictivas. Las tres funciones discriminantes obtenidas son estadísticamente significativas con un nivel de confianza de 95% ($p<0.05$). Estas diferencias y similitudes en el contenido de aminoácidos hacen que las funciones discriminantes puedan agrupar y distinguir a las especies de frijol en un 100% (**Gráfica 2**) (Alcázar-Valle *et al*., 2020, 2021)

Gráfica 2. Análisis discriminante de las accesiones de frijol criollo en función de los aminoácidos libres esenciales y no-esenciales (Adaptado de Alcázar-Valle et al., 2020,2021)

***Componentes antinutricionales del frijol criollo de la región Pacífico Sur***

En el caso de componentes antinutricionales, las accesiones de frijol ayocote (*P. coccineus*) presentaron la mayor concentración de oligosacáridos; mientras que las accesiones de frijol comba (*P. lunatus*) un mayor porcentaje de ácido fítico y de actividad inhibitoria de tripsina. El mayor porcentaje de lectina se obtuvo en las accesiones de frijol común (**Gráfica 3**). Algunos estudios han reportado que el ácido fítico, la lectina y los inhibidores de tripsina pueden conferir algunos beneficios a la salud relacionado con enfermedades cardiovasculares, diabetes tipo 2 y algunos tipos de cáncer (Carbas *et al*., 2020). Por lo anterior, se puede concluir que no solo las variedades de frijol común presentan potencial nutracéutico, sino que también las especies de frijol comba y frijol ayocote.

Grafica 3. Relación de los componentes antinutricionales de las especies de frijol criollo de la región Pacífico Sur (Adaptado de Alcázar-Valle et al., 2020,2021)

***Extracción y caracterización de los compuestos bioactivos de las accesiones de frijol criollo de la región Pacífico Sur***

Se realizaron extracciones por maceración con acetona al 70% (Agostini-Costa *et al*., 2015) a partir de la harina de frijol de las 56 accesiones colectadas. Se determinó la concentración de los fenoles totales, flavonoides y taninos. La extracción etanólica de las antocianinas se realizó a partir de la cascarilla de las semillas de colectadas debido a que es ahí donde se concentran estos compuestos ya que proporcionan el color de la semilla (Mojica *et al*., 2015). Además, se analizó su actividad antioxidante por las técnicas de ABTS y DPPH (Alcázar-Valle *et al*., 2020, 2021).

En relación a los compuestos fenólicos totales, las especies colectadas no presentaron diferencias estadísticas significativas. Sin embargo, las accesiones de frijol común (*P. vulgaris*) fueron las que presentaron un mayor porcentaje de concentración de flavonoides, taninos y antocianinas (**Gráfica 4A**). Las accesiones de frijol ayocote (*P. coccineus*) secundan en porcentaje de flavonoides y taninos, mientras que las accesiones de frijol comba (*P. lunatus*) ocupan el segundo lugar en contenido de antocianinas. En este sentido, Díaz *et al*. (2010) encontraron que el genotipo rojo de diferentes accesiones de frijol común mostró diferencias estadísticas signi-

ficativas en la producción de antocianinas en comparación con accesiones de color morado y café. No obstante, en el presente estudio se observó que es el genotipo negro el que presenta diferencias estadísticas significativas en la concentración de antocianinas ($p<0.05$), independientemente del tipo de especie.

Gráfica 4. Relación de (A) compuestos fenólicos y (B) actividad inhibitoria de los radicales ABTS (%ARSA) y DPPH (%DRSA) de las especies de frijol criollo de la región Pacífico Sur (Adaptado de Alcázar-Valle et al., 2020,2021)

Además, se determinó la actividad antioxidante por las técnicas ABTS y DPPH al calcular el porcentaje de inhibición de ambos radicales (**Gráfica 4B**). Con ambos ensayos se observó que existe actividad antioxidante en todas las accesiones colectadas. Sin embargo, las accesiones de frijol común fueron las que presentaron una mayor actividad antioxidante, seguida de las accesiones de frijol comba.

Debido a que las accesiones de Chiapas presentaron un mayor contenido en compuestos fenólicos, se realizó la caracterización y cuantificación de estos extractos por UHPLC (Alcázar-Valle *et al*.,2020). Existe evidencia

reportada de cuáles son los compuestos fenólicos mayoritarios presentes en algunas variedades de frijol tanto comercial como silvestre de frijol común (Yang *et al*., 2018). Algunos reportes han demostrado que los flavonoides mayoritarios en algunas accesiones de frijol común son la quercetina y el kaempferol; ambos compuestos han demostrado disminuir el riesgo de enfermedades cardiovasculares y del cáncer pulmonar (Chávez-Mendoza & Sánchez, 2017). En el presente estudio el kaempferol 3-glucósido se detectó sólo en algunas accesiones del frijol común, mientras que la quercetina 3-glucósido se encontró en todas las accesiones colectadas (**Tabla 3**), excepto en las accesiones del frijol gordo o ibes (*P. polyanthus*). Sin embargo, la presencia de genisteína se observó en ambas accesiones del frijol gordo, inclusive en concentraciones más altas a las mostradas por las accesiones de frijol ayocote (*P. coccineus*) y frijol común (*P. vulgaris*). Este isoflavonoide es caracterizado como un compuesto fitoestrógeno que puede inhibir las células carcinógenas, incluyendo las de próstata y mama, y hasta el momento sólo se había reportado su presencia en algunas variedades de frijol común durante su germinación (Díaz-Batalla *et al*., 2006). Además, se detectó ácido ferúlico en las accesiones de frijol comba (*P. lunatus*) y frijol común. Finalmente, se detectó la presencia de antocianinas en las variedades de frijol común negro. La accesión CH-10 presentó una mayor concentración de antocianinas (Alcázar-Valle *et al*., 2020; Contreras *et al*., 2023). Lo anterior confirma que la composición de antocianinas en las semillas de frijol puede variar, inclusive si las variedades tienen el mismo color, por lo que el contenido de antocianinas depende tanto de factores externos (condiciones climáticas y de suelo) y factores internos (variación genética) (Akond *et al*., 2011). Algunos estudios han demostrado que diferentes especies de leguminosas tienen una amplia variación en su capacidad de absorber, transportar y almacenar flavonoides, polifenoles y antocianinas, estas interacciones causan una gran diversidad de compuestos presentes en las semillas de frijol (Capistrán-Carabarin *et al*., 2019).

Tabla 3. Compuestos fenólicos (µg/g de harina de frijol) en las especies de frijol criollo de Chiapas

| Especie | Ácido ferúlico | Cianidina 3-glucosido | Kaempferol 3-glucosido | Quercetina 3-glucosido | Genisteina |
|---|---|---|---|---|---|
| ***P. coccineus*** | ND | ND | ND | $187.87_{\pm 20.29}^{B}$ | $57.93_{\pm 16.49}^{B}$ |
| ***P. lunatus*** | $1.10_{\pm 0.62}^{C}$ | ND | ND | $265.5_{\pm 28.65}^{C}$ | ND |
| ***P. polyanthus*** | ND | ND | ND | ND | $91.01_{\pm 16.49}^{C}$ |
| ***P. vulgaris*** | $0.56_{\pm 0.17}^{B}$ | $27.01_{\pm 8.72}^{B}$ | $224.61_{\pm 22.41}^{B}$ | $263.77_{\pm 7.96}^{C}$ | $61.28_{\pm 6.47}^{B}$ |

ND= no detectado, datos promedio ± desviación estándar, diferentes letras indican diferencias estadísticas significativas de acuerdo a la prueba de Tukey ($p<0.05$) (Adaptado de Alcázar-Valle et al., 2020)

A partir de los resultados obtenidos, se realizó un análisis de componentes principales (PCA) con el objetivo de explicar la variabilidad de las accesiones colectadas a partir de su contenido fenólico, componentes nutricionales y antinutricionales y su actividad antioxidante. Por lo tanto, se generaron cuatro componentes principales que explican el 65.23% de los datos, obteniendo que las 56 accesiones colectadas se pueden clasificar en tres grupos (**Tabla 4**): Compuestos fenólicos, actividad antioxidante y contenido de proteína. Oligosacáridos y ácido fítico. Fibra cruda y actividad inhibitoria de tripsina

Se observa que las accesiones de frijol común de color rojo y negra, independientemente del estado donde fueron colectadas, presentan un mayor contenido de compuestos fenólicos, contenido de proteína y actividad antioxidante. Las accesiones de frijol gordo, ayocote y comba presentaron valores de interés en el contenido de fibra, actividad inhibitoria de tripsina, oligosacáridos y ácido fítico.

Tabla 4. Análisis de componentes principales, variedades agrupadas

| Grupo | Variedades |
|---|---|
| Compuestos fenólicos, proteína y actividad antioxidante | |
| Oligosacáridos, ácido fítico | |
| Fibra cruda, actividad inhibitoria de tripsina | |

(Adaptado de Alcázar-Valle et al., 2020,2021)

***Determinación del potencial antioxidante y antiinflamatorio***

La accesión CH-10 destacó como la de mayor contenido de antocianinas totales, por lo cual fue elegida para realizar los siguientes experimentos y determinación debido a la importancia que representan las antocianinas en la prevención y el cuidado de la salud (Alcázar-Valle *et al*., 2020).

A partir de frijol entero se obtuvo un extracto (EC) utilizando una mezcla de etanol/agua en un equipo de fluidos supercríticos. Posteriormente, dicho extracto se purificó haciéndolo pasar por la resina Amberlite® XAD-7HP en una columna de cromatografía (EP). El potencial biológico de ambos extractos (EC y EP) fue evaluado a través de metodologías para determinar el potencial antioxidante y el potencial antiinflamatorio.

El potencial antioxidante de los extractos (EC y EP) se cuantificó a través de la capacidad de los fitoquímicos presentes en los extractos para interactuar e inhibir directamente a radicales libres producidos en exceso en el entorno de reacción tales como ABTS y el DPPH (Hsieh-Lo *et al*., 2020). Los resultados de ABTS muestran una inhibición para EC y EP entre 21.6 y 28.3 mg EC3G/L. Mientras que el DPPH muestra una inhibición entre 9.2 y 10.6 mg EC3G/L para el $IC_{50}$ de EC y EP respectivamente. Además, se realizó el ensayo de óxido nítrico (NO) (Möler *et al*., 2019). Este ensayo mide el potencial antioxidante de los extractos debido a que los fitoquímicos presentes compiten por el oxígeno y disminuyen la producción de iones nitrito y NO (Goshi *et al*., 2019). Los resultados mostraron valores de 0.7 y 1.8 mg EC3G/L para el EC y el EP, respectivamente (**Gráfica 5A**).

Los tres ensayos de capacidad antioxidante demuestran que no hay diferencias entre los tratamientos, lo cual puede deberse a la conservación de la mayoría de los compuestos desde el extracto crudo al purificado, comprobando que este proceso no afecta las propiedades antioxidantes de estos. Así mismo, puede concluirse que los extractos de frijol negro pueden inhibir diferentes radicales libres (Gençdağ *et al*., 2022). Estos resultados podrían estar asociados con la presencia de compuestos fenólicos y antocianinas.

La inflamación es el proceso biológico en el cuál las células responden al estrés fisicoquímico, metabólico o mecánico producido en su entorno. Esta condición es comúnmente observada y desarrollada previo a otras pa-

tologías como la obesidad, la hipertensión y la diabetes tipo 2 (Boccellino & D'Angelo, 2020). Algunos estudios han informado sobre el potencial antinflamatorio de extractos de frijol negro (Contreras *et al*., 2020). Sin embargo, existen pocos trabajos que evalúan cómo se mantiene o modifica dicho potencial como efecto del proceso de purificación (Contreras *et al*., 2023).

El potencial antiinflamatorio de los extractos (EC y EP) (**Gráfica 5B**) se evaluó mediante la inhibición de enzimas relacionadas con el proceso inflamatorio tales como el óxido nítrico sintasa inducible (iNOS), la ciclooxigenasa 1 (COX-1) y la ciclooxigenasa 2 (COX-2).

Los resultados para la iNOS (**Gráfica 5B**) mostraron valores de $IC_{50}$ de 0.9 mg EC3G/L para EC y de 1.1 mg EC3G/L para EP con diferencias estadísticamente significativas. Con relación a COX-1, los valores de $IC_{50}$ fueron de 0.1 y 0.7 mg EC3G/L para EC y EP respectivamente, resultados que fueron diferentes de acuerdo con la prueba Tukey Post Hoc.

La COX-2 mostró valores de inhibición (**Gráfica 5B**) $IC_{50}$ de 0.09 mg EC3G/L para EC y de 0.01 mg EC3G/L para EP, los cuales fueron diferentes significativamente. Las diferencias encontradas entre los valores de inhibición para cada tipo de extracto pueden estar relacionadas con la concentración de los compuestos bioactivos, así como con la naturaleza y tipo de estos debido a que, dependiendo de esto, las moléculas tendrán o no la capacidad de asociarse e interactuar covalentemente con los sitios activos de las enzimas y desencadenar el mecanismo de inhibición (Hwang *et al*., 2011).

Dia *et al*. (2008) encontraron que compuestos fenólicos extraídos de soya inhibieron la iNOS con una concentración de 1 mg/ml (66%). Se encontraron reportes de que extractos de lúpulo entre 1 y 10 µg/mL inhibieron la actividad de iNOS del 23% al 67%, respectivamente (Chung *et al*., 2009). Un extracto de grosella negra fresca (*Ribes nigrum* L.) resultó eficaz para inhibir la COX-2 ($IC_{50}$ = 1.77 mg/L) y la iNOS ($IC_{50}$ = 0.61 mg/L) (Kowalski & Gonzalez de Mejia, 2021). En otro trabajo, 1 mg/mL de extracto de pericarpio de maíz morado inhibió la COX-2 (89,62%) y concentraciones superiores a 5 mg/mL inhibieron eficazmente la COX-1

(Chen *et al*., 2017). Estos resultados muestran que los fitoquímicos presentes en extractos naturales de distintas fuentes tienen la capacidad de inhibir las enzimas relacionadas con la inflamación. Por lo tanto, los compuestos bioactivos presentes en los extractos del frijol negro pueden inhibir las enzimas relacionadas con el proceso inflamatorio y actuar, por lo tanto, como moduladores moleculares relacionados con dicho proceso (Ganesan *et al*., 2017). Con relación a los resultados de inhibición, el EC tiene los valores más altos en dos de las pruebas en comparación con EP, mientras que este último fue más efectivo que EC para la inhibición de COX-2. Esta diferencia podría estar relacionada con un efecto sinérgico entre todos los componentes del extracto crudo como: azúcares, oligosacáridos, derivados glicosilados de fenólicos, saponinas, entre otros (Tan *et al*., 2022). Sin embargo, aun cuando ambos tratamientos tenían perfiles fitoquímicos diferentes, los compuestos presentes tienen la capacidad de interactuar con las enzimas. Además, hay que destacar que el potencial biológico no se afecta en gran medida con el proceso de purificación, esto dependerá del tipo y las diferentes enzimas con las que estos compuestos interactúen.

La información generada comprueba que las cascarillas del frijol pudieran ser utilizadas como ingredientes para la formulación de alimentos o consumidas directamente debido a sus efectos sobre el estrés oxidativo y la inflamación, lo cual puede prevenir numerosos problemas de salud y enfermedades y, en general, como auxilio en el cuidado y mantenimiento de la salud (Kumar & Goel, 2019).

Gráfica 5. Análisis de los extracto crudo y purificado de la accesión CH-10 (A) actividad antioxidante y (B) actividad antiinflamatoria (Adaptado de Contreras et al., 2023)

***Determinación de la actividad antienvejecimiento y antiinflamatoria. Inhibición de las enzimas tirosinasa, elastasa, COX-2 e iNOS***

Se seleccionó la accesión CH-15 de frijol negro del estado de Chiapas para la obtención de un extracto enriquecido en compuestos fenólicos. Se seleccionó esta variedad debido a su alto contenido en compuestos fenólicos totales y antocianinas (Alcázar-Valle *et al*., 2020). Los compuestos fenólicos obtenidos de fuentes naturales son de gran interés por parte de la industria cosmética debido a su potencial para reducir el proceso de envejecimiento prematuro (Fonseca *et al*., 2020). La inhibición de la actividad catalítica de las enzimas tirosinasa y elastasa en la piel permite la reducción de signos de envejecimiento como arrugas y manchas. La enzima tirosinasa regula las primeras reacciones de la vía metabólica de melanogénesis, encargada de la síntesis de melanina. La inhibición de esta enzima evita la síntesis excesiva de melanina cuando la piel es expuesta a factores externos dañinos como la radiación ultravioleta del sol (Lin & Fisher, 2007). Por otra parte, la elastasa es una metaloproteinasa encargada de degradar la elastina, la cual es una proteína conectiva encargada de brindar elasticidad a la piel y agrupar otras proteínas conectivas como el colágeno (Boran, 2018).

Se obtuvieron extractos a partir de un proceso de lixiviación convencional (LX) y extracción por fluidos supercríticos (FSC). Posteriormente se concentraron las antocianinas en extractos obtenidos por LX y FSC, a través del uso de la resina de adsorción XAD-7HP, los cuales fueron liofilizados al final del proceso. Además, se obtuvieron liofilizados de los extractos crudos obtenidos por ambas técnicas de extracción. Al evaluar el potencial inhibitorio *in vitro* de la tirosinasa, tanto el extracto concentrado obtenido por lixiviación (LX-P) como el de fluidos supercríticos (SFC-P) presentaron un potencial inhibitorio relevante (**Tabla 5**). En el caso de la enzima elastasa, el extracto LX-P presentó un potencial inhibitorio alto, seguido por el extracto SFC-P. Por lo anterior, se puede concluir que el proceso de concentración de las antocianinas incrementó el potencial inhibitorio de los extractos en estas enzimas relacionas al envejecimiento prematuro.

La exposición constante a la radiación ultravioleta del sol y a las partículas contaminantes del medio ambiente generan procesos inflamatorios en la dermis (Cao *et al*., 2020). Debido a esto, se opta por añadir ingredientes

antiinflamatorios en distintas formulaciones de productos cosmecéuticos (Baumann, 2018). Se evaluó la actividad antiinflamatoria de extractos concentrados y crudos obtenidos de dos accesiones (CH-01 y CH-15) donde la accesión de frijol pinto (PB) CH-01 presentó el mayor contenido de fenoles totales (Alcázar-Valle *et al*., 2020). El extracto PB presentó una mayor inhibición en la enzima COX-2 en comparación a los extractos obtenidos de frijol negro tanto concentrado como crudo (**Tabla 5**). La inhibición de COX-2 está relacionada al tratamiento de inflamaciones crónicas en distintos tejidos, por lo que es un blanco potencial para reducir el proceso inflamatorio en el tejido dérmico (Fonseca *et al*., 2023). También se evaluó el potencial inhibitorio de los extractos hacia la enzima óxido nítrico sintasa inducible (iNOS), la cual produce óxido nítrico (NO) para la defensa del organismo ante patógenos. Sin embargo, durante la inflamación crónica la sobreproducción de NO puede generar daños al organismo (Cinelli *et al*., 2020). El extracto de frijol negro CH-15 concentrado a través de la resina XAD-7HP presentó una mayor inhibición de la enzima iNOS a comparación de los extractos crudos (**Tabla 5**). Estos resultados nos indican que los extractos ricos en compuestos fenólicos poseen potencial antiinflamatorio para ser usados como ingredientes en la formulación de productos cosmecéuticos.

Tabla 5. Inhibición de las enzimas tirosinasa, elastasa, COX-2 y iNOS

| Potencial Cosmecéutico | | | |
|---|---|---|---|
| Análisis | Extracto | $IC_{50}$ (mg/mL) | Referencia |
| Tirosinasa | FSC – P | 0.147 ± 0.02 [a] | Fonseca et al., 2021 |
| | LX – P | 0.143 ± 0.02 [a] | |
| | FSC – C | 9.92 ± 1.73 [a] | |
| | LX – C | 2.59 ± 0.22 [b] | |
| Elastasa | FSC – P | 0.023 ± 0.07 [a] | |
| | LX – P | 0.005 ± 0.01 [b] | |
| | FSC – C | 0.142 ± 0.01 [a] | |
| | LX – C | 0.105 ± 0.01 [b] | |

| Potencial Antiinflamatorio | | | |
|---|---|---|---|
| Análisis | Extracto | $IC_{50}$ (µg/mL) | Referencia |
| COX-2 | BB – P | 26.9 ± 8.0 $^{B}$ | Fonseca et al., 2023 |
| | BB – C | 94.4 ± 7.6 $^{C}$ | |
| | PB – P | 10.5 ± 2.3 $^{A}$ | |
| | PB – C | 33.1 ± 7.6 $^{B}$ | |
| iNOS | BB – P | 62.6 ± 16.3 $^{A}$ | |
| | BB – C | 111.6 ± 14.6$^{B}$ | |
| | PB – P | 76 ± 7.6 $^{AB}$ | |
| | PB – C | 84.3 ± 22 $^{AB}$ | |

**Extracción por fluidos supercríticos (FSC), extracción por lixiviación convencional (LX), extracto concentrado** (P), extracto crudo (C), frijol negro (BB, CH-15), frijol pinto (PB, CH-01). Las letras minúsculas representan **diferencias estadísticamente significativas entre procesos de extracción a través de la prueba t de Student (p<0.05). Las letras mayúsculas representan diferencias estadísticamente significativas entre accesiones de** frijol criollo y métodos de extracción mediante la prueba de ANOVA con tukey post hoc (p<0.05).

## Conclusiones

Se colectaron 56 accesiones de frijol de los municipios productores de Chiapas, Oaxaca y Guerrero, siendo el estado de Chiapas en el que se encontró una mayor diversidad de especies. Las accesiones de frijol criollo colectadas en la región Pacífico Sur ofrecen una amplia variedad de compuestos fenólicos igualando o superando las concentraciones reportadas de estos compuestos bioactivos en otras variedades de frijol comercial. Dichas concentraciones y presencia de compuestos fenólicos son importantes para su uso y aplicación a través de la generación de nuevos productos alimentarios y su uso como ingredientes funcionales para el desarrollo de productos cosmecéuticos y/o nutracéuticos debido a su actividad antioxidante, antiinflamatoria y antienvejecimiento.

## Referencias

Agostini-Costa, T.S., Teodoro, A. F. P., Alves, R. B. N., Braga, L. R., Ribeiro, I. F., Silva, J. P., Quintana, L. P., & Burle, M. L. (2015). Total phenolics, flavonoids and antioxidant activity of lima beans conserved in a Brazilian genebank. *Ciencia Rural Santa Maria*, *45*, 335–341. https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20140030.

Akillioglu, H. G., & Karakaya, S. (2010). Changes in total phenol, total flavonoids, and antioxidant activities of common beans and pinto beans after soaking, cooking, and *in vitro* digestion process. *Food Science and Biotechnology*, *19*, 633–639.

Akond, G M., Khandaker, L., Berthold, J., Gates, L., Peters, K., Delong, H., & Hossain, K. (2011). Anthocyanin, total polyphenols and antioxidant activity of common bean. *American Journal of Food Technology*, 6, 385–394.

Alcázar-Valle, M., Lugo-Cervantes, E., Mojica, L., Morales-Hernández, N., Reyes-Ramírez, H., Enríquez-Vara, J. N., & García-Morales, S. (2020). Bioactive Compounds, Antioxidant Activity, and Antinutritional Content of Legumes: A Comparison between Four *Phaseolus* Species. *Molecules, 25*, 3528. https://doi.org/10.3390/molecules25153528 .

Alcázar-Valle, M., García-Morales, S., Mojica, L., Morales-Hernández, N., Sánchez-Osorio, E., Flores-López, L., Enríquez-Vara, J. N., & Lugo-Cervantes, E. (2021). Nutritional, Antinutritional Compounds and Nutraceutical Significance of Native Bean Species (*Phaseolus* spp.) of Mexican Cultivars. *Agriculture, 11*, 1031.

Baumann, L. (2018). How to Use Oral and Tropical Cosmeceuticals to Prevent and Treat Skin Aging. *Facial Plastic Surgery Clinics of North America, 26* (4), 407-413. https://doi.org/101016/j.fsc.2018.06.002

Boccellino, M., D'Angelo, S. (2020). Anti-Obesity Effects of Polyphenol Intake: Current Status and Future Possibilities. *International Journal of Molecular Sciences*, 21, 5642. https://doi.org/10.3390/ijms21165642

Boran, R. (2018). Investigations of anti-aging potential of *Hypericum origanifolium* Willd for skincare formulations. *Industrial Crops*

*and Products, 118* (March), 290-295. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2018.03.058

Cao, C., Xiao, Z., Wu, Y., & Ge. C. (2020). Diet and skin aging-from the perspective of food nutrition. *Nutrients, 12* (3), 1-25. https://doi.org/10.3390/nu12030870.

Capistrán-Carabarin, A., Aquino-Bolaños, E N., García-Díaz, Y. D., Chávez-Servia, J. L. Vera-Guzmán, A. M., & Carrillo-Rodríguez, J. C. (2019). Complementarity in Phenolic Compounds and the Antioxidant Activities of *Phaseolus coccineus* L. and *P. vulgaris* L. Landraces. *Foods*, *8*, 295. https://doi.org/10.3390/foods8080295.

Carbas, B., Machado, N., Oppolzer, D., Ferreira, L., Brites, C., Rosa, A. S. E., & Barros A., I. R. N. A. (2020). Comparison of near-infrared (NIR) and mid-infrared (MIR) spectroscopy for the determination of nutritional and antinutritional parameters in common beans. *Food Chemistry*, *306*, 125509. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.125509

Chávez-Mendoza, C., & Sánchez, E. (2017). Bioactive compounds from Mexican varieties of the common bean (*Phaseolus vulgaris*): Implications for health. *Molecules*, *22*, 1360. https://doi.org/10.3390/molecules22081360

Chen, C., Somavat, P., Singh, V., & Gonzalez de Mejia, E. (2017). Chemical characterization of proanthocyanidins in purple, blue, and red maize coproducts from different milling processes and their anti-inflammatory properties. *Industrial Crops and Products*, *109*, 464–475. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2017.08.046

Chung, W.G., Miranda, C.L., Stevens, J.F., & Maier, C.S. (2009). Hop proanthocyanidins induce apoptosis, protein carbonylation, and cytoskeleton disorganization in human colorectal adenocarcinoma cells via reactive oxygen species. *Food Chemical Toxicology*, 47, 827–836. https://doi.org/10.1016/j.fct.2009.01.015

Cinelli, M. A., Do, H. T., Miley, G. P., & Silverman, R. B. (2020). Inductible Nitric Oxide Synthase: Regulations, Structure, and Inhibition. *Physiology & Behavior, 40* (1), 139-148. https://doi.org/10.1002/med.21599. inducible

Contreras, J., Herrera-González, A., Arrizon, J., Lugo-Cervantes, E., & Mojica, L. (2020). Mexican Endemic Black Bean Phenolic Extract Antioxidant and Anti-Inflammatory Potential. *Current Deveveloppments in Nutrition*, *4* (2), 382. https://doi.org/10.1093/cdn/nzaa045_015

Contreras, J., Alcázar-Valle, M., Lugo-Cervantes, E., Luna-Vital., D. A., & Mojica, L. (2023). Mexican Native Black Bean Anthocyanin-Rich Extracts Modulate Biological Markers Associated with Inflammation. *Pharmaceuticals, 16*, 874. https://doi.org/10.3390/ph16060874

Del Toro-Sánchez, C. L., Gutiérrez-Lomelí, M., Lugo-Cervantes, E., Zurita, F., Robles-García, M. A., Ruiz-Cruz, S., Aguilar, J. A., Morales del Rio, J. A., & Guerrero-Medina, P. J. (2015). Storage effect on phenols and the antioxidant activity of extracts from *Anemopsis californica* and inhibition of elastase enzyme. *Journal of Chemistry*, 602136. http://dx.doi.org/10.1155/2015/602136.

Dia, V.P., Berhow, M., & Gonzalez-De Mejia, E. (2008). Bowman-Birk inhibitor and genistein among soy compounds that synergistically inhibit nitric oxide and prostaglandin E2 pathways in lipopolysaccharide-induced macrophages. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, *56*, 11707–11717. https://doi.org/10.1021/jf802475z

Díaz-Batalla, L., Widholm, J. M., Fahey, G. C., Castaño-Tostado, E., & Paredes-López, O. (2006). Chemical components with health implications in wild and cultivated Mexican common bean seeds (*Phaseolus vulgaris* L.). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, *54*, 2045–2052. https://doi.org/10.1021/jf051706l.

Díaz, A. M., Caldas, G. V., & Blair, M. W. (2010). Concentrations of condensed tannins and anthocyanins in common bean seed coats. *Food Research International*, *43*, 595–601. https://doi.org/10.1016/j.foodres.2009.07.014.

Espinosa-Pérez, E. N., Ramírez-Vallejo, P., Crosby-Galván, M. M., Estrada-Gómez, J. A., Lucas-Florentino, B., & Chávez-Servia, J. L. (2015). Classification of common dry bean landraces from the south-center of Mexico by seed morphology. *Revista Fitotécnica Mexicana.* 29, (**1**), 29-38.

Fonseca Hernández, D., Lugo Cervantes, E., Luna-Vital, D. A., & Mojica, L. (2020). Food-derived bioactive compounds with anti-aging potential for nutricosmetic and cosmeceutical products. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 0* (0), 1-16. https://doi.org/10.1080/10408398.2020.185407

Fonseca Hernández, D., Lugo-Cervantes, E., Escobedo Reyes, A., y Mojica, L. (2021). Black Bean (*Phaseolus vulgaris* L.) Phenolic Extract Exhibits Antioxidant and Anti-Aging Potential. *Molecules, 26* (6716), 14. https://doi.org/10.1093/cdn/nzaa040_024

Fonseca Hernández, D., Mojica, L., Berhow, M. A., Brownstein, K., Lugo Cervantes, E., & Gonzalez de Mejia, E. (2023). Black and pinto beans (*Phaseolus vulgaris* L.) unique mexican varieties exhibit antioxidant and anti-inflammatory potential. *Food Research Internation,* 169 (March, 14, https://doi.org/10.1016/j.foodres.2023.112816

Ganesan, K., & Xu, B. (2017). Polyphenol-Rich Dry Common Beans (Phaseolus vulgaris L.) and Their Health Benefits. *International Journal of Molecular Sciences*, *18*, 2331. https://doi.org/10.3390/ijms18112331

Gençdağ, E., Özdemir, E. E., Demirci, K., Görgüç, A., & Yılmaz, F. M. (2022). Copigmentation and stabilization of anthocyanins using organic molecules and encapsulation techniques. *Current Plant Biology*, *29*, 100238. https://doi.org/10.1016/j.cpb.2022.100238

Grela, E. R., Kiczorowska, B., Samolinska, W., Matras, J., Kiczorowski, P., Rybinski, W., & Hanczakowska, E. (2017). Chemical composition of leguminous seeds: part I-content of basic nutrients, amino acids, phytochemical compounds, and antioxidant activity. *European Food Research and Technology, 243*, 1385-1395. DOI: 10.1007/s00217-017-2849-7.

Goshi, E., Zhou, G., & He, Q. (2019). Nitric oxide detection methods *in vitro* and *in vivo*. *Medical Gas Research*. 9, 192–207. https://doi.org/10.4103/2045-9912.273957

Hsieh-Lo, M., Castillo-Herrera, G., & Mojica, L. (2020) Black Bean Anthocyanin-Rich Extract from Supercritical and Pressurized Extraction

Increased *In Vitro* Antidiabetic Potential, While Having Similar Storage Stability. *Foods*, 9 (5), 655. https://doi.org/10.3390/foods9050655

Hwang, Y.P., Choi, J.H., Yun, H.J., Han, E.H., Kim, H.G., Kim, J.Y., Park, B.H., Khanal, T., Choi, J.M., Chung, & Jeong, H. (2011). Anthocyanins from purple sweet potato attenuate dimethylnitrosamine-induced liver injury in rats by inducing Nrf2-mediated antioxidant enzymes and reducing COX-2 and iNOS expression. *Food and Chemical Toxicology*, *49*, 93–99. https://doi.org/10.1016/j.fct.2010.10.002

Kowalski, R., & Gonzalez de Mejia, E. (2021). Phenolic composition, antioxidant capacity and physical characterization of ten blackcurrant (Ribes nigrum) cultivars, their juices, and the inhibition of type 2 diabetes and inflammation biochemical markers. *Food Chemistry*, *359*, 129889. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.129889

Kumar, N., & Goel, N. (2019). Phenolic acids: Natural versatile molecules with promising therapeutic applications. *Biotechnology Reports*, 20, e00370. https://doi.org/10.1016/j.btre.2019.e00370

Lin, J. Y., y Fisher, D. E. (2007). Melanocyte biology and skin pigmentation. *Nature,* 445 (7130), 843-850. https://doi.org/10.1038/nature05660

Mojica, L., Meyer, A., Berhow, M. A., & González de Mejia. E. (2015). Bean cultivars (*Phaseolus vulgaris* L.) have similar high antioxidant capacity, *in vitro* inhibition of α-amylase and α-glucosidase while diverse phenolic composition and concentration. *Food Research International*, 69, 38–48. https://doi.org/10.1016/j.foodres.2014.12.007.

Möller, M.N., Ríos, N., Trujillo, M., Radi, R., Denicola, A., & Álvarez, B. (2019). Detection and quantification of nitric oxide–derived oxidants in biological systems. *Journal of Biology Chemistry,* 294, 14776–14802, https://doi.org/10.1074/jbc.REV119.006136

Sinkovic, L., Pipan, B., Sinkovic, E., & Meglic, V. (2019). Morphological seed characterization of common (*Phaseolus vulgaris* L.) and runner (*Phaseolus coccineus* L.) bean germplasm: a Slovenian gene bank example. *BioMed Research International*, 6376948. https://doi.org/10.1155/2019/6376948.

Sun, B., Ricardo-da-Silva, J. M., & Spranger, I. (1998). Critical factors of vanillin assay for catechins and proanthocyanidins. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 46, 4267–4274. https://doi.org/10.1021/jf980366j.

Tan, J., Han, Y., Han, B., Qi, X., Cai, X., Ge, S., & Xue, H. (2022). Extraction and purification of anthocyanins: A review. *Journal of Agriculture and Food Research.* 8, 100306. https://doi.org/10.1016/j.jafr.2022.100306

Tovar-Pérez, E. G., Guerrero-Becerra, L., & Lugo-Cervantes, E. (2017). Antioxidant activity of hydrolysates and peptide fractions of glutelin from cocoa (*Theobroma cacao* L.) seed. *CyTA - Journal of Food*, 15, 489–496. https://doi.org/10.1080/19476337.2017.1297963.

Yang, Q. Q., Gan, R. Y., Ge Y. Y., Zhang, D., & Corke, H. (2018). Polyphenols in common beans (*Phaseolus vulgaris* L.): chemistry, analysis, and factors affecting composition. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety,* 17, 1518-1539. https://doi.org/10.1111/1541-4337.12391.

# Capítulo 16

# Transformación e innovación tecnológica de procesos y productos con base en mango como alternativa de valor comercial

*María Dolores Muy Rangel[1*], César San Martín Hernández[2], Juan Pedro Campos Sauceda[3], Eber Quintana Obregón[4], Manuel Alonzo Báez Sañudo[1], Rosalba Contreras Martínez[1], Verónica Pérez Rubio[1], José Luis Valenzuela Lagarda[5], Werner Rubio Carrasco[1] y Eduardo Sánchez Valdez[1]*

**Resumen**

El mango (*Mangifera indica* L.) es una de las frutas tropicales de gran aceptación por su particular sabor y aroma; presenta una creciente demanda y alcanza precios razonables en el mercado internacional. Sin embargo, para algunas localidades productoras de mango en el Pacífico sur el acceso a estos mercados se dificulta porque las características de los frutos no satisfacen las normas de calidad establecidas y no se cumple con la disposición suficiente de producto para la venta o falta de acciones en campo y empaque para ofrecer producto de calidad en busca de mercados lejanos. Esto hace

[1] Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A.C. Subsede Culiacán. *Autor de correspondencia: mdmuy@ciad.mx

[2] Colegio de Postgraduados Campus Montecillo.

[3] Tecnológico Nacional de México. IT Culiacán.

[4] Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A.C. Hermosillo.

[5] Universidad Autónoma de Guerrero.

necesario los estudios de diagnóstico de la cadena mango para los estados del Pacífico sur, capacitaciones y manejo adecuado de fertilizantes y plaguicidas, manejo postcosecha y alternativas de valor agregado acorde a las condiciones de cada región.

## Introducción

El mango es uno de los frutos tropicales más importantes en el mundo debido a su característico sabor dulce, aroma, textura cremosa y a sus propiedades nutricionales. La cadena productiva mango representa un área de oportunidad que genera riqueza y bienestar en la sociedad por la derrama económica entorno a esta actividad agrícola. México ocupa el quinto lugar en la producción de mango a nivel mundial, superado únicamente por la India, China, Tailandia e Indonesia (FAOSTAT, 2022), pero es el número uno como exportador de esta fruta con alrededor del 24% de la producción nacional; esto debido a las condiciones óptimas para su cultivo: clima cálido y seco desde la costa oriente, centro y occidente del país, con temperaturas de 26 a 32 °C y precipitaciones de 1,000 a 1,500 mm y suelos de textura media, bien drenados, con pH de 6 a 8 que permiten producir de manera escalonada mangos con calidad comercial durante casi todo el año en los principales estados como Guerrero, Sinaloa, Nayarit, Chiapas, Oaxaca, Michoacán, Jalisco, Veracruz, Colima y Campeche (SAGARPA, 2017; EMEX, 2021; SIAP, 2021). México tiene 16 regiones potenciales para la producción de mango donde, además de su comercialización en fresco, se busca la elaboración de productos a partir de la pulpa, cáscara y hueso, con la finalidad de incrementar el valor agregado y la rentabilidad del cultivo tanto para los productores como para los procesadores y comercializadores de esta importante fruta.

Al igual que muchas otras frutas tropicales, el mango experimenta cambios físicos, químicos, nutricionales y en sus características de sabor, según del cultivar que se trate y el estado de madurez; así como cambios fisiológicos dependientes del manejo pre y postcosecha. El mango es considerado una fruta altamente saludable (fuente de vitaminas y minerales);

su elevado contenido de agua (86.1%) constituye una agradable forma de hidratarse. La cadena agroindustrial del mango en México está dirigida en dos terceras partes al sector primario o venta en fresco y una tercera parte al sector secundario o preparación y envasado de frutas, del cual el 80% se dirige a la producción de pulpas, jugos y néctares. La búsqueda de productos a base de mango con la máxima explotación de la biomasa podría ofrecer un alimento muy atractivo a los consumidores -más económico-, además de su valor nutritivo y nutracéutico, este último asociado al incremento de fibra dietaria y compuestos bioactivos.

Como parte estratégica para el aprovechamiento integral del cultivo de mango, se proyecta la adopción y aplicación de la transferencia de tecnologías para el desarrollo de alimentos de primera a cuarta gama en busca de competencias económicas. En particular, esta investigación se realizó para fortalecer la cadena productiva del cultivo de mango para el desarrollo sustentable de la región Pacífico sur (Michoacán, Guerrero, Oaxaca y Chiapas) a través de los productores y transformadores del cultivo de mango, con el apoyo de centros de investigación, el gobierno estatal y federal, hacia la búsqueda de un mejor valor comercial de los frutos en fresco y procesados.

## Diagnóstico de la Cadena Mango en el Pacífico Sur

*Michoacán***.** A pesar de la comercialización del fruto de mango, principalmente en estado fresco**,** existen aéreas de oportunidad que deben ser atendidas para mantener la competitividad internacional e impactar en la economía de las regiones donde se produce. Algunas zonas de producción se caracterizan por un alto número de pequeños y medianos productores y aún no han logrado posicionar todos sus cultivares de mango como una opción de exportación. Michoacán es uno de los principales estados productores de mango**;** la zona geográfica (Figura 1) donde se encuentra ubicado genera condiciones propicias para el cultivo. No obstante, la entidad estatal tuvo una reducción de 24,132 a 23,202 ha cultivadas, evidenciando problemas de manejo del cultivo. Por ello, surge la necesidad de identificar e implementar estrategias para potenciar su producción y favorecer la actividad

económica de la zona, aunque para lograrlo primero se necesitan conocer las condiciones actuales y los factores que impactan en la producción de mango en Michoacán.

Figura 1. Estados productores de mango en el pacífico sur (CONABIO, 2020)

La producción de mango en Michoacán es una actividad que se realiza desde hace más de 30 años y para la mayoría representa la única fuente de ingresos a pesar de la poca rentabilidad que puede presentar el cultivo por diversos factores. En 2017 Michoacán participó con el 11% de la producción de mango a nivel nacional, la cual generó un ingreso de 833 millones de pesos que llegan al productor. Los municipios con más de 1000 ha que más producen son: Lázaro Cárdenas, Gabriel Zamora, 19,683 y Nuevo Urecho; con menor aporte, pero importantes, se distinguen San Lucas, Parácuaro y Tepalcatepec. Los cultivares Tommy Atkins y Haden son los que sobresalen por superficie, siendo este último el principal con 79,052 t y participa con el 42 % de la producción nacional. A través del diagnóstico se detectó que los problemas que afectan la cadena productiva son: compactación del sue-

lo, reducida poda de mantenimiento anual del árbol, nutrición inadecuada del cultivo, falta de control de la enfermedad 'Escoba de bruja' (*Fusarium oxysporum* y *F. subglutinans*), concentración de la producción, ausencia de transformación industrial del fruto y limitada tecnología de producción. En este sentido, la cadena productiva del mango en Michoacán enfrenta retos desde el cultural, adecuación tecnológica empleada para su cultivo, hasta la transformación del fruto en nuevos productos que generen riqueza local, regional y nacional en beneficio de la sociedad (San-Martín-Hernández *et al*., 2022; CONABIO, 2020).

*Guerrero***.** En Guerrero (Figura 1) el mango se produce en la costa desde La Unión Isidoro Montes de Oca hasta Cuajinicuilapa, inclusive en la región de Tierra Caliente, lugares donde predominan los climas cálidos subhúmedos y suelos regosol éutrico, arenosol háplico, cambisol éutrico y cambisol crómico. Los principales cultivares de mango producidos en Guerrero son Ataulfo con 8,201 ha, Manila 9,062 ha y Haden con 4,085 ha. Durante el desarrollo del árbol el cultivo de mango pasa una etapa juvenil de 3 a 4 años, posteriormente inicia la producción con alrededor del 25 %, hasta alcanzar la plenitud productiva entre 10 y 15 años de edad. Durante el ciclo se realiza el control de plagas y enfermedades, algunas de las cuales resultan agresivas y se descontrolan como la escoba de bruja en la zona de Tierra Caliente, la mosca de la fruta en la Costa Grande y Costa Chica, aspectos que limitan la producción, reducen la calidad y la comercialización del fruto**.** Otros como las termitas 'Comején' atacan los tallos del árbol, la antracnosis y el manchado 'fumagina' (*Capnodium mangiferae* Cooke & Brown) del fruto influyen en la venta de la cosecha.

En el último lustro las cifras oficiales de la producción de mango en Guerrero con 385,125 a 404,561 t indican que la venta de este fruto logra ganancias en alrededor de $ 2,167,098,375 a 3,036,633,130, ingresos que son favorecidos porque en la entidad se tienen los mayores precios por tonelada con $ 5,627 a 7,506 y los mayores rendimientos a nivel nacional con 15 hasta 16 t $ha^{-1}$. A pesar de que Guerrero cuenta con volumen de 404,561 t producidas en 27,000 ha, solo se tiene posibilidades de exportación del 14%

(3,869 ha), equivalente a 56,636 t. La industrialización del fruto es un aspecto incipiente con apenas entre 30 y 50 t en producto deshidratado para su venta nacional y de exportación. El avance económico a partir del cultivo de mango debe de estar acompañado por: 1. Manejo agronómico adecuado del cultivo (poda, limpieza y fertilización), 2. Mayor disponibilidad y capacitación en el uso de insumos agrícolas, 3. Atención oportuna para el control de plagas y enfermedades, 4. Mejorar la infraestructura de los empaques, 5. Búsqueda de valor agregado incipiente, entre otros. Estos aspectos demandan atención de los distintos actores involucrados en la cadena mango, con el propósito de mejorar la rentabilidad de esta actividad en beneficio de los productores guerrerenses y de la sociedad y 6. Comercialización directa, entre otras (San Martín-Hernández *et al*., 2023; CONABIO, 2020).

*Oaxaca*: La producción de mango en Oaxaca (Figura 1) es de gran relevancia ya que representa una fuente de empleos y de ingreso para un sector importante de la región. Oaxaca aportó alrededor del 10% de la producción nacional de este producto agrícola en 2020, lo cual generó un ingreso que superó los 700 millones de pesos. Los municipios con mayor producción de mango fueron San Pedro Tapanatepec, Santo Domingo Zanatepec y Chahuites con más de 160 000 toneladas. Las variedades de mango que sobresalen por superficie sembrada son Criollo, Ataulfo, Oro y Tommy Atkins; donde los mangos Ataulfo y Tommy Atkins superaron los 420 millones de pesos. San Pedro Tapanatepec es el municipio más relevante en la producción de las variedades Tommy Atkins, Ataulfo, Oro y Criollo, mientras que Chahuites es un municipio importante productor de la variedad Criollo. La producción de los mangos de variedades Ataulfo y Tommy Atkins están destinados principalmente para el mercado internacional, siendo su destino final usualmente Estados Unidos y Canadá. Durante el análisis de la información de la cadena mango en Oaxaca se encontró que la cadena productiva se ve afectada por: disparidad económica entre los productores, reducida poda de producción, nutrición inadecuada, presencia de mango niño, pérdidas por presencia de antracnosis, trips y/o gusano barrenador, concentración de la producción al mismo tipo de mercado, así como la

baja o nula transformación del fruto. Sin embargo, hay interés por parte de la asociación y los productores de mango para atender las necesidades, buscar la capacitación, reducir la venta de intermediarios, cuidar la calidad postcosecha de los frutos y buscar nuevos mercados (Muy-Rangel *et al*., 2023; CONABIO, 2020).

*Chiapas*: El mango se cultiva en alrededor de 31 entidades municipales de Chiapas, pero únicamente sobresalen siete regiones que presentan una superficie cultivada con más de 1000 ha (Figura 1). La producción de mango se encuentra distribuida en la zona sur y oeste, que comprende la zona costera del territorio estatal, donde los municipios de mayor producción son Acapetahua, Huehuetán, Mapastepec, Mazatán, Tapachula, Tonalá y Villa Comaltitlán. El estado de Chiapas proporciona el 37% del total de la producción nacional para el año 2020 con 235,918 toneladas. Los mangos Ataulfo, Kent, Tommy Atkins, Haden y Criollo son las variedades de mango que se cultivan en Chiapas, siendo el mango Ataulfo con la mayor superficie cultivada para 2022 y aporta el 50 % a nivel nacional. La importancia del mango de chiapaneco es la apertura de la fruta a los mercados, la cual inicia desde enero a junio, con precios muy competitivos. En la región del Soconusco, ubicada en el sureste de Chiapas, existe una gama de tipos de mangos nativos, los cuales podrían ser portadores potenciales de genes que pudieran aprovecharse en el mejoramiento genético de la especie a fin de resolver problemáticas locales tales como el tamaño del árbol, la producción irregular de frutos, el amarre escaso de frutos y la sensibilidad al frío y enfermedades. La significativa producción de mango de excelente calidad que se produce en la región de la costa en el Océano Pacífico, al sur de Chiapas, se debe a que se reúnen las condiciones agroecológicas ideales y cuatro tipos de suelos (fluvisoles eútricos, luvisoles crómicos, andosol mólico y gleysoles eútricos) que favorecen la nutrición del árbol y el fruto. Sin embargo, la calidad del producto final debe de ir acompañada desde el campo, empaque, transporte y comercialización. En los recorridos que se realizaron en los huertos de mango en Chiapas es evidente la falta de acompañamiento por un asesor en nutrición vegetal, sanidad de los

huertos, poda, uso de fertilizantes y uso adecuado de los mismos; trabajo en equipo entre los productores de mango, estudios de transformación y comercialización directa (Pérez-Rubio *et al.,* 2023; CONABIO, 2020, Gálvez-López, 2007).

## Acciones de Pre y Post Cosecha del Mango a Beneficio de la Producción y de la Calidad

### *Reconocimientos de huertos de mango en Guerrero*

El mango, al igual que todas las plantas, requiere de nutrimentos para su desarrollo y fructificación, y debido a su porte necesita altas dosis de fertilizantes para cubrir sus necesidades de nutrición. El mango tiene la característica de extraer los nutrimentos minerales de la mayor parte de los suelos en los que prospera; además, su raíz es muy extensa y explora una gran cantidad de suelo en busca de agua y nutrimentos (Rebolledo-Martinez *et al*., 2008).

El suelo del cultivo de mango Ataulfo se clasificó como arcilloso, el cultivo de mango Haden presentó textura franca, mientras en los huertos de mango Manila y Criollo el suelo fue franco-arenosa. La calidad nutricional de los suelos de los huertos de mango influye de forma determinante en la producción; por lo tanto, para corregir deficiencias o desbalances nutrimentales en las plantas es necesario primeramente conocer la naturaleza y el carácter del problema con el fin de aplicar medidas apropiadas, mediante una fertilización equilibrada para evitar deficiencias o excesos (Armstrong, 1991). Además, la aplicación de fertilizantes no consiste solamente en obtener elevadas producciones, sino que también una alta calidad de los frutos (Figura 2). Se reporta la extracción mineral y calidad de mango Ataulfo, Manila, Haden y Criollo cultivados en la Costa Chica de Guerrero representativos con prácticas de manejo local estándar. La textura de los suelos fue franco, franco-arenosa y arcillosa, con pH de 5.73 a 7.28, contenido de materia orgánica menor a 2.0 %, conductividad eléctrica menor a 2.0 dS $m^{-1}$ y capacidad de intercambio catiónico menor a 20 meq 100 $g^{-1}$

suelo. Entre cultivares la demanda nutricional es cambiante, en Ataulfo es N>Ca>K>Mg>P>S>Mn>Fe>Zn>Cu, en Manila Ca>N>K>Mg>P>S>Mn>Fe>Zn>Cu, en Haden K>Ca>N>P>Mg>S>Fe>Mn>Zn>Cu y en Criollo Ca>N>K>P>Mg>S>Mn>Fe>Zn>Cu.

Figura 2. Evaluación de la calidad del mango Ataulfo en Guerrero

En la calidad postcosecha el cultivar Ataulfo al día 12 fue el que presentó mayor contenido de sólidos solubles totales (15°Brix) y el cultivar criollo fue el que presentó el mayor contenido de fibra dietaria. La calidad de los frutos de mangos producidos en la costa chica de Guerrero es aceptable; sin embargo, por cuestiones fitosanitarias no cumple con las características que se requieren para el mercado de exportación, por lo que se tienen que buscar otros mercados como producto fresco o de valor agregado.

### *Colletotrichum* spp. en mango cv Ataulfo

Durante el proceso de maduración del fruto de mango se llevan a cabo reacciones bioquímicas como la pérdida de firmeza causada por enzimas que degradan polisacáridos complejos de la pared celular y el incremento en el contenido de azúcares en la pulpa (Tharanathan *et al.*, 2006; Brecht and

Yahia, 2009). Estos cambios facilitan que los frutos sean más susceptibles al ataque de fitopatógenos o al desarrollo de hongos presentes en estado latente como *Colletotrichum* spp., lo que reduce la calidad pre y postcosecha (Tovar-Pedraza *et al.*, 2020; Fuentes *et al.*, 2020). La mayoría de las pérdidas postcosecha del fruto de mango son generadas por la antracnosis causada por el hongo *Colletotrichum gloeosporioides*, con pérdidas entre 30 y 60 % de la producción, el cual además afecta a hojas e inflorescencias (Benítez-Camilo *et al.*, 2003; Carrillo-Fasio *et al.*, 2005; Huerta-Palacios *et al.*, 2009). En condiciones inadecuadas de manejo agronómico del cultivo de mango, la antracnosis puede estar presente en cualquier estado de desarrollo de los frutos. En frutos tiernos, el hongo puede prevalecer en su forma latente, manifestándose después de su madurez fisiológica con lesiones irregulares hundidas de color café oscuro o negro en la cáscara, así como también pequeñas lesiones circulares oscuras en el pedicelo y pedúnculo. Se estudió el efecto fisiológico del fruto de mango cv. Ataulfo en estado de madurez fisiológica como respuesta a la infección inducida por *Colletotrichum siamense* y *Colletotrichum asianum*.

Figura 3. Mango Ataulfo con C. siamense

El mango Ataulfo fue mayormente afectado por *C. siamense* (Figura 3) con daños evidentes como manchas necróticas en la zona infectada de la cáscara de los frutos con pérdida de calidad visual, con mayor actividad respiratoria y menor textura. La calidad física y química en los frutos mostraron diferencias significativas con respecto al tiempo de almacenamiento, pero no por la presencia del hongo. La resistencia de los frutos a esta enfermedad y la calidad postcosecha hacen necesaria la búsqueda de alternativas efectivas contra estos fitopatógenos mediante el entendimiento de la señalización y los mecanismos de defensa vegetal.

***Fertilizante orgánico enriquecido con pulpa de mango para forraje verde hidropónico de maíz***

La producción de fertilizantes orgánicos utilizando residuos de producción agrícola y procesamiento de alimentos está tomando mayor auge en los últimos años, esto debido a la necesidad de buscar alternativas del uso integral de los recursos naturales que permitan disminuir el uso de fertilizantes sintéticos en la agricultura. Por otra parte, la producción de mango en la Costa Chica de Guerrero presenta deficiencias en la comercialización de la fruta con importantes residuos de fruta que pudieran aprovecharse, que en su mayoría son fuentes de contaminantes en el huerto. Por ello, el manejo integral de los residuos de la producción de mango aplicados al sistema agrícola podría favorecer la economía de los productores, así como disminuir las fuentes contaminantes que se originan en la cadena mango.

La generación de fertilizantes agrícolas a partir de fuentes vegetales mediante la fermentación aeróbica o anaeróbica con estiércol de rumiantes y agua permite generar un fertilizante orgánico (biol) rico en nutrientes y con un bajo contenido de bacterias patógenas, además de que esta fermentación puede generar metabolitos como el ácido indolacético (AIA), que son de interés para el desarrollo de la planta (Carrasco-Nina *et al*., 2018). La eficacia de fertilizante orgánico elaborado con una formulación denominada Agroplus (agua, estiércol, mango, melaza) (CORPOICA, 2006) se evalúo en forraje verde hidropónico de maíz. En la etapa de producción de forraje estos se produjeron en bandejas de 32x50 cm a una densidad de siembra de

3.5 kg·m$^{-2}$ y dos dosis de aplicación (1:100 y 1:1000 biol:agua), se evaluó el rendimiento final, así como los parámetros nutrimentales de los forrajes. Las formulaciones presentaron un pH final comprendido entre 4.01 y 4.61, así como una conductividad eléctrica entre 3.3 a 3.7 dS·m$^{-1}$, de igual manera los fermentados presentaron un contenido de bacterias totales entre 1.7 a 56.0 x10$^{-6}$ UFC y un contenido mineral similar, además se encontró que dosis entre 1:1 y 1:100 presentan inhibición en germinación de semillas, así como un contenido de AIA entre 10.1 a 12.1 µg de AIA/ml de biol. El mayor rendimiento se encontró en los forrajes adicionados con biol con respecto al blanco (agua pura), de igual manera se cuantificó una mayor producción de follaje con respecto a raíz en los tratamientos adicionados con biol.

Figura 4. Biol de mango y estiércol y su respuesta a forraje verde hidropónico de maíz

En cuanto al contenido nutrimental, se observó que los forrajes fertilizados con la dosis más baja de biol presentaron los contenidos más altos en cuanto a proteína y fibra cruda. Se confirma que la adición de pulpa de mango repercute de manera positiva en el contenido de microelemen-

tos y AIA en bioles fermentados por vía aerobia, mientras que su uso en la producción de forraje verde hidropónico de maíz los tratamientos con biol adicionado con pulpa de mango presentaron los valores más altos de ambos compuestos, así como el uso de bioles con adición de mango mejoró el contenido de proteína y la calidad final del forraje verde hidropónico de maíz (Figura 4).

***Aprovechamiento de la biomasa del mango de Chiapas y Guerrero***

En busca del valor agregado de los cultivares de mango de la región Pacífico sur, se han realizado estudios del mango Ataulfo producido en Acapetahua, Chiapas, los cuales se descartan por no presentar calidad de comercialización (Figura 5). En estos mangos se logró cuantificar un 85% de pulpa de color naranja intenso (°Hue =63 y Croma= 57) y más del 60% de aceptabilidad de color y sabor con excelente calidad. El mango Ataulfo descartado tiene características químico-proximales (fibra cruda, pH y sólidos solubles °Brix) de interés para la industria que permite promover su aprovechamiento y diversificación en productos para consumo humano. Además, un estudio sensorial arrojó resultados de “me gusta mucho el aroma y sabor de la pulpa del mango Ataulfo descartado”, por lo que se considera que este tipo de frutos debería de ser aprovechada en la industria de los alimentos.

Figura 5. Mango Ataulfo de descarte con posible aprovechamiento industrial

A partir de los resultados de este trabajo se sugiere procesos de transformación tales como la elaboración de néctar para el aprovechamiento de la pulpa. La composición de la cáscara podría ser utilizada como fuente de carbono y nitrógeno en sustrato de fermentación de origen orgánico. Así mismo, en Guerrero se analizó la calidad nutrimental y anatómica de cultivares de mango no comerciales (criollo y panameño) y comerciales, logrando cuantificar hasta un 65% de pulpa y del 5-6% de proteína en los mangos no comerciales, los cuales ofrecen buenas posibilidades de comercialización en forma de valor agregado. A pesar de los grandes volúmenes de producción de mango en el estado de Guerrero, se requiere buscar alternativas de comercialización para maximizar el aprovechamiento de los frutos. Por otro lado, en busca del aprovechamiento integral del mango Ataulfo y Manililla, se elaboraron composta y lixiviados a partir de residuos de mango y estiércol de ganado vacuno para su potencial uso en la agricultura; se logró obtener el composteo de los componentes bajo condiciones de temperatura entre 35 y 52°C y de pH de 3.5-9.5. La composta del mango Ataulfo y Manililla (Figura 6) presentaron un 32 y 30% de materia orgánica, mientras que en los lixiviados fue de 23 y 13%. Ambos procesos presentaron un buen aporte de minerales (calcio y nitrógeno: 1.75 y 1.6% y en los lixiviados 183 y 317 $mg \cdot L^{-1}$).

Figura 6. Composta de mango Ataulfo y Manila producido en Chiapas para uso agrícola

***Tecnologías postcosecha para incrementar vida de anaquel***

El mango es un fruto climatérico que puede madurar después de su cosecha en madurez fisiológica, es muy susceptible al etileno y madura rápidamente. Por ello, en postcosecha se acompaña de condiciones de almacenamiento en refrigeración, principalmente, atmósferas modificadas y controladas, tratamientos hidrotérmicos, entre otros, para prolongar su vida de anaquel (Mahajan *et al.*, 2014). Para la exportación de mango hacia mercados distantes usualmente se utilizan temperaturas frías (≥10 °C) y frutos menos maduros para asegurar la llegada de mangos firmes que toleren el manejo en el mercado destino. Sin embargo, mangos que se envían a temperaturas por debajo de 10 °C y con baja madurez tienen poca aceptación por parte del consumidor debido a lesiones de daño, oscurecimiento de la pulpa por frío y pérdida de calidad (Lobo & Sidhu, 2017).

Figura 7. Mango Ataulfo expuesto a atmósferas controladas

Una alternativa para alcanzar mercados lejanos es el uso de atmósferas controladas, donde los frutos disminuyen la tasa de respiración y retrasan la senescencia. Se evaluó el efecto de dos atmósferas controladas durante la simulación del transporte por 20 días a 12.5 °C en la calidad de consumo mango Ataulfo. Se aplicaron atmósferas controladas: aire (testigo), AC-1 (5% $O_2$+10% $CO_2$) y AC-2 (5% $O_2$+20% $CO_2$) en una cámara refrigerada a 12.5 °C durante 20 días; posteriormente se colocaron a 20 °C y 70-80% de humedad relativa para simular las condiciones de mercadeo y analizar la calidad de los frutos. Después de 20 días de tratamiento a 12.5 °C y durante mercadeo a 20 °C los mangos almacenados en atmósferas controladas fueron más firmes que los expuestos en aire. Estos mostraron un menor cambio en el color de cáscara y de pulpa (Figura 7), con colores más verdes. Todos los frutos desarrollaron valores aceptables de sólidos solubles totales y acidez; desórdenes internos, externos y pérdida de sabor no se observaron en ninguno de ellos: testigo y tratados. La atmósfera de 5% $O_2$+20% de $CO_2$ resultó más efectiva en reducir el ablandamiento y prolongar la vida postcosecha de mango Ataulfo.

## Alimentos con base en mango para consumo humano

### *Botana nutritiva y nutracéutica de avena-mango*

El consumo de botanas a nivel mundial ha aumentado debido a los cambios de hábitos alimenticios en la población relacionado principalmente al poco tiempo para preparar los alimentos en casa, la distancia de desplazamiento y la búsqueda de alimentos listos para su consumo (Clementz & Delmoro, 2011). Con el propósito de atender la necesidad de alimentación, es importante considerar algunos aspectos de: convivencia (alimentos preparados), placer (alimentos atractivos) y salud (alimentos saludables). Sin embargo, la selección inadecuada y la falta de botanas saludables ha contribuido al desarrollo de obesidad de los consumidores de este tipo de alimento, volviéndose el principal problema de salud en México. Para atender esta problemática es necesario incrementar en el mercado la disponibilidad de botanas saludables, las cuales tienen la ventaja de ser de

fácil consumo, proporción adecuada, bajas en grasa y sodio, algunas con ingredientes a base de insumos de origen vegetal que proporcionan fibra dietaria, minerales y vitaminas y otras con aportes importantes de proteínas, principalmente (Pineda, 2007). Para el desarrollo de botanas saludables se buscó la incorporación de subproductos de frutas como el mango por su atractivo sabor, aroma, propiedades nutricionales y nutracéuticas; también es una materia prima de fácil disponibilidad en México. Por ello, se trabajó en el desarrollo de una botana nutricional y nutracéutica a base de avena y mango. La botana se elaboró con avena, harina de cáscara y pulpa de mango e ingredientes. Se realizaron 10 mezclas con diferentes proporciones de los componentes antes citados. Se encontró que la botana de avena y mango que presentó las mejores características de calidad fueron las elaboradas con la mezcla del 45.3, 5.5 y 28.2% de avena, cáscara de mango y pulpa de mango, respectivamente; con valores de proteína 7.1 y fibra dietaria 20.3 $g \cdot 100^{-g}$, fenoles totales 3.4 mg de ácido gálico/g e inocuas. Los resultados de la calidad química y aceptabilidad de la botana elaborada a base de avena y mango indican que este alimento tiene características de una botana saludable (Figura 8), de fácil manejo, buena aceptación sensorial y con capacidad de mantener su forma durante las etapas de su comercialización.

Figura 8. Botana nutritiva de avena-mango

***Capacidad fermentativa de cepas específicas de Lactiplantibacillus plantarum utilizando mango como materia base***

La fermentación es una de las técnicas más antiguas utilizadas para aumentar la vida útil y mejorar el valor nutricional y las propiedades sensoriales del alimento o bebida. Durante el proceso de fermentación las bacterias son capaces de convertir los hidratos de carbono en ácidos orgánicos (ej. ácido láctico). La producción del ácido láctico durante la fermentación se ve influenciada por la temperatura, los nutrientes y el género de la cepa utilizada, siendo la más común la especie *Lactiplantibacillus plantarum*, por su adaptabilidad ecológica (Punia *et al*., 2022). Las cepas de *L. plantarum* se pueden utilizar con éxito para la formulación de bebidas de frutas como el mango y verduras, mejorando las propiedades fisicoquímicas expresadas en compuestos volátiles, ácido ascórbico, contenido fenólico y antioxidantes (Yang *et al.*, 2018); esto podría tener un efecto benéfico para la salud humana, lo que a su vez lo posiciona como sustrato para el desarrollo de bebidas funcionales (García *et al.*, 2020). Las bebidas funcionales son una de las categorías de los alimentos funcionales de mayor crecimiento, esto debido al conocimiento e interés de los consumidores por alimentos y bebidas más saludables (WHOE, 2021; Ahmed *et al.*, 2023). En este sentido, existe un interés por la búsqueda de diferentes sustratos fermentables que permitan generar otros productos con valor añadido para el mango cv. Ataulfo, rico en compuestos bioactivos que incluyen carotenoides, fibra, polifenoles, minerales, vitaminas. El mango Ataulfo es sensorialmente atractivo por su consistencia, sabor dulce, baja acidez y aroma intenso. Además, por su alto contenido de azúcar puede actuar como sustrato para el crecimiento de bacterias fermentativas (Kesa *et al.*, 2021).

Para el desarrollo de una bebida fermentada a base de mango Ataulfo (Figura 9) se logró la capacidad de fermentación de dos bacterias potencialmente probióticas, *Lactiplantibacillus plantarum* Lp6. Los resultados mostraron que ambas cepas poseen capacidad fermentativa al aumentar la acidez y disminuir el pH y el contenido de sacarosa. Además, se registró un crecimiento celular de cuatro ciclos logarítmicos después de 12 h de fermentación, sin cambios considerables en el color de la bebida, lo que sugieren

que las bacterias evaluadas pueden usarse como cultivos iniciadores para la elaboración de bebidas funcionales a base de mango Ataulfo.

Figura 9. Bebida de mango fermentada con Lactiplantibacillus plantarum

***Néctar de mango Ataulfo estandarizado mediante altas presiones hidrostáticas y dinámicas***

El Plan Nacional Agrícola 2017-2030 para mango mexicano contempla dentro de sus puntos estratégicos la transformación y otorgamiento de valor agregado al mango mexicano mediante tecnologías innovadoras (SAGARPA, 2016), especialmente para el mango producido en las zonas del Pacífico sur mexicano, donde la variedad 'Ataulfo', sobresale al tener denominación de origen en el Soconusco chiapaneco.

De las tecnologías emergentes de preservación con mayor aceptación entre la comunidad científica e industria alimentaria se encuentran las altas presiones hidrostáticas y existe un interés creciente en las altas presiones dinámicas (Ortiz-Rodríguez *et al.*, 2022). El deterioro de atributos de calidad

como la textura y el color de productos a base de frutos se relaciona con la actividad de enzimas como pectinasas y oxidorreductasas. El procesamiento con altas presiones supone una alternativa a la pasteurización de bebidas frutales para reducir la actividad enzimática y extender la vida de anaquel. Sin embargo, los sistemas biológicos presentan múltiples isoenzimas con diferente grado de resistencia hacia la alta presión, reduciendo la eficiencia del procesamiento. Este trabajo se enfocó en estudiar el efecto de alta presión hidrostática y dinámica como alternativa de conservación de la calidad del néctar de mango Ataulfo, variedad endémica de México. Se encontró que la alta presión hidrostática no tuvo un efecto de inactivación sobre las enzimas evaluadas, y en la mayoría de los tratamientos propició un incremento de actividad con respecto a la del control.

Figura 10. Néctar de mango expuesto en cámara de alta presión

La alta presión dinámica solo tuvo efecto en la reducción de la actividad de polifenol oxidasa, ya que la pectin metilesterasa resultó tolerante a los tratamientos por ambos tipos de alta presión. Referente a la calidad del néctar de mango, ambas tecnologías retuvieron satisfactoriamente atributos

como pH, sólidos solubles (°Brix), viscosidad y color. En el caso de color, la alta presión dinámica incrementó los valores de luminosidad y color b*, en cambio la presión hidrostática incrementó los valores de color a*. En cuanto a viscosidad, ambas tecnologías modificaron la viscosidad aparente del néctar, el cual se comportó como fluido no-newtoniano.

En busca de productos alimenticios procesados de mayor similitud a los productos frescos, las tecnologías de alta presión para néctar de mango son alternativas de alimentos de quinta gama listos para su consumo con excelente calidad química, microbiológica y sensorial. Es evidente que la aplicación de estas técnicas puede ser útil en la evaluación de la eficiencia de procesos de preservación de alimentos basados en altas presiones con respecto a la activación enzimática. El procesamiento de bebidas frutales como el néctar de mango para su preservación por altas presiones hidrostáticas y dinámicas constituye una alternativa atractiva para productores e inversionistas de la industria de alimentos en México.

## Diseño y elaboración de productos de mango con procesos tecnológicos óptimos para mantener su calidad

El mango es una fruta ampliamente cultivada y comercializada en México (SAGARPA, 2016). El cultivo del mango en la zona Pacífico sur representa un pilar del desarrollo económico-social, por lo que se busca mantener la producción y calidad de los mismos. Sin embargo, la comercialización de la fruta presenta serios problemas, entregándola a mayoristas, lo que reduce las ganancias, así como la necesidad de buscar el valor agregado. En respuesta a esta problemática, se busca una alternativa mediante la trasformación del mango a nuevos productos con valor basados principalmente en las preferencias de los consumidores, para aumentar la posibilidad de comercialización y el valor agregado del fruto.

Sulistyawati (2020) señala que el desarrollo de nuevos productos debe abordarse desde la perspectiva de los consumidores a fin de desarrollar productos exitosos en el mercado. Los nuevos productos deben satisfacer las

preferencias de los consumidores, tales como: gustos individuales subjetivos, agrados y desagrados y predisposiciones de los consumidores por ciertos productos o servicios, lo cual se determina principalmente por la calidad final de los productos y sus atributos (Escobedo-Garrido *et al.*, 2019).

Figura 11. Barra nutritiva de mango y semillas, lista para su consumo.

Se buscó diseñar y elaborar un producto a base de mango, que fuera de calidad y de satisfacción de los consumidores, esto basado en un estudio de mercado aplicando encuestas a consumidores de productos. Se buscó seleccionar un producto de mango de mayor preferencia, los atributos del producto y sus hábitos de compra y consumo. Para la selección del prototipo se realizaron evaluaciones sensoriales mediante pruebas afectivas y de preferencia en tres productos a base de mango en diferentes marcas y presentación. El producto de mayor preferencia por los encuestados fue mango deshidratado y moldeado tipo barra, acompañado de cacahuate, almendra o nuez; y de avena con mango deshidratado, preferidos por sus ingredientes naturales, aporte de energía, sabor a mango natural, ser práctico de consu-

mir, su contenido de fibra y reemplazar una comida. Finalmente, se elaboró una barra de mango con fruta deshidratada, nuez y cacahuate, moldeada (Figura 11) y envasada en bolsa metalizada. Se logró un producto que es de humedad intermedia, con buena estabilidad, valores de humedad <14% y actividad de 0.7-0.6. El desarrollo de un producto de valor a base de mango, bajo la consideración de las demanda y necesidades de los consumidores, permite obtener un alimento a base de mango y semillas, de fácil acceso, nutritivo y sensorialmente aceptable.

## Caracterización de la cáscara de cultivares mexicanos de mango y extracción de pectina

En México cerca del 40% de la cosecha de mango se pierde por problemas de comercialización y la industria del mango genera desechos de cáscara y semilla que van del 35 al 60% del peso total de los frutos procesados. El uso de esta biomasa del mango no aprovechada representa un recurso potencial en la elaboración de subproductos de valor agregado. Los desechos del mango pueden utilizarse para obtener subproductos con potencial nutracéutico, prebiótico y farmacéutico (Palafox-Carlos *et al.*, 2012; Forero & Pulido, 2016; Sommano *et al.*, 2018). Una alternativa de mercado es el aprovechamiento de la cáscara de mango como fuente de compuestos nutracéuticos como la pectina (San Martín-Hernández *et al.*, 2020), con aplicación en la industria farmacéutica, cosmética y alimenticia.

Los componentes de la cáscara de los cultivares Ataulfo (A), Panameño (P), Manila (M) y Haden (H) fueron cuantificados. La cáscara de los mangos presentó un aporte considerable de fibra dietética (37-45% peso seco, p.s.), minerales (1,018-2,156 mg-/100 g p.s.), fenoles (2,123-4,851 mg EAG/100 g p.s.), flavonoides (0.74-2.7 mg EQ/g p.s.) y capacidad antioxidante (375-937 µM ET/g p.s.). Los cuatro cultivares presentaron pectinas con un alto grado de metilesterificación (66-71%). El peso molecular de las pectinas analizadas fue de 957 a 4859 kDa, donde el cultivar Panameño presentó la mayor cantidad de pectina (Figura 12) y viscosidad con respecto a la cáscara de los otros cultivares, así como un mayor contenido de glucomananos

(≈28.21%). La cáscara de mango de los cultivares Ataulfo, Panameño, Manila y Haden puede utilizarse en la elaboración de alimentos nutracéuticos por su alto contenido de minerales, polifenoles, capacidad antioxidante, fibra dietética y pectina, o como fuente de estos compuestos, lo que puede contribuir a darle valor agregado a este subproducto de la industria del mango, considerado como desecho, al mismo tiempo que se ayudaría a reducir la contaminación que esta genera. Además, el rendimiento y las propiedades moleculares de la pectina de la cáscara de mango de los cultivares analizados son comparables con las pectinas comerciales, por lo que podría utilizarse este subproducto como fuente de pectina.

Figura 12. Extractos de pectina de cáscara de mango. A:Ataulfo, P:Panameño, M:Manila y H: Haden

## Conclusiones

Los hallazgos encontrados en los estudios de diagnóstico de la cadena mango en la región Pacífico sur señalan la necesidad inmediata de la búsqueda de mercados para la comercialización del mango de todas las variedades; independientemente del mercado que ha alcanzado el mango *var.* Ataulfo. Además, es necesario la implementación de prácticas de cultivo y manejo postcosecha de mango para mejorar y mantener la calidad del fruto para su comercialización. Entre las metas alcanzadas, se logró realizar en el estado de Guerrero actividades de campo para mejorar el rendimiento y calidad de los frutos mediante la nutrición del cultivo y prácticas culturales. Así mismo, se generó información de tecnologías postcosecha, alternativas para el control de enfermedades y valor agregado de la biomasa de fruto de mango en busca de productos de valor para nuevos mercados; entre otros estudios se ofrecen aprovechamiento de frutos no comercializables, fertilizantes orgánicos, botanas, bebidas, pectinas, entre otros. Además, este proyecto estuvo acompañado de capacitación en sitio a los productores de mango de la región Pacífico sur en los temas de nutrición vegetal, manejo pre y postcosecha, inocuidad de alimentos y valor agregado de alimentos.

## Agradecimientos

Se agradece el apoyo y disponibilidad de recepción y trabajo a: Junta Local de Sanidad Vegetal de Michoacán. Presidenta en turno. Sra. Teresa Contreras Guzmán. Sistema Producto Mango. Presidente en turno. Ing. Daniel Radilla Ríos. Comité Oaxaqueño Sistema Producto Mango. Chahuites y Zacatepec, Oaxaca. Presidenta en turno. Sra. Leticia Gotoo Toledo. Asociación Agrícola Local de Fruticultores del Soconusco. Presidente en turno Ing. Gerardo Enrique Cabal Arribillaga, así como a todos los integrantes que se sumaron al proyecto, como participantes y receptores de diversos temas de capacitación de la región Pacífico Sur.

## Referencias

Ahmed, T., Sabuz, A.A., Mohaldar, A., Fardows, H.S., Inbaraj, B.S., Sharma, M., Rana, M. R. & Sridhar, K. (2023). Development of novel whey-mango based mixed beverage: effect of storage on physicochemical, microbiological, and sensory analysis. *Foods,* 12,2,237. https://doi.org/10.3390/foods12020237.

Armstrong, D L. (1991). Best management practices with the diagnostic approach. *Better Crops*, 75,4-31.

Benítez-Camilo, F. A., Huerta-Palacios, G., Holguín-Meléndez, F. & Toledo-Arreola, J. (2003). Efecto de *Colletotrichum gloeosporioides* (Penz.) Penz. y Sacc. en la caída de frutos de mango (*Mangifera indica* L.) cv. Ataulfo en el Soconusco, Chiapas, México. *Revista Mexicana de Fitopatología*, 21,2,223-227.

Brecht, J.K. & Yahia, E.M. (2009). Postharvest Physiology. In: The Mango: Botany, Production and Uses. Litz R.E. (Ed.). Cabi, 484-528.

Carrasco-Nina, K. E, Chilon-Camacho, E. & Mena-Herrera, C. (2018). Efecto de tres niveles de abono orgánico líquido aeróbico en la producción de espinaca (*Spinacea oleracea* L.) en el centro experimental Cota. *Revista de Investigación e Innovación Agropecuaria y de Recursos Naturales, La Paz. 5*,1,79-88.

Carrillo Fasio, J.A., García Estrada, R.S., Muy Rangel, M.D., Sañudo Barajas, A., Márquez Zequera, I., Allende Molar, R., de la Garza-Ruiz, Z., Patiño Vera, M. & Galindo Fentanes, E. (2005). Control biológico de antracnosis [*Colletotrichum gloeosporioides* (Penz.) Penz. y Sacc.] y su efecto en la calidad poscosecha del mango (*Mangifera indica* L.) en Sinaloa, México. *Revista Mexicana de Fitopatología, 23*,1,24-32. https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=61223104.

Clementz, A & Delmoro, J. (2011). Snacks Frutales. *Invenio, 14*,27,153-163. ISSN-e 0329-3475

CONABIO. 2020. División política. Topografía. Subdirección de Sistemas de Información, Geográfica Subdirección de Sistemas de Información Geográfica. Climas. Edafología. Portal de geoinformación. Comisión

Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. Ciudad de México, México. http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/.

CORPOICA. 2006. Corporativo Colombiano de Investigaciones Agropecuaria. Cartilla de divulgación: Uso y manejo de biopreparados microbianos "Agroplus y EM". Palmira Valle del Cuca, Colombia.

FAOSTAT 2022. Search data mango. Food Agriculture Organization of the United Nation. https://www.fao.org/faostat/en/#search/mango.

EMEX. 2021. 1er exportador de mango fresco a nivel internacional. Empacadoras de Mango de Exportación. https://mangoemex.com/temporadas-tipos-de-mango-mexico/.

Escobedo-Garrido, J. S. & Jaramillo-Villanueva, J. L. (2019). Consumer preferences for corn tortillas. The case of Puebla, Mexico. *Journal of Contemporary Food and Regional Development, 29*,53,9627. doi: https://doi.org/10.24836/es.v29i53.627.

Forero, L. F. & Pulido, D. A. (2016). Extraction, purification and quantification of mangiferin in the bark of some mango (*Mangifera indica* L.) cultivars. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, *10*,2,292-300. doi:10.17584/ rcch.2016v10i2.5652

Fuentes, A. D., Guarnaccia, V., Rebollar, A. A., Juárez, V. S., Aguirre, R. F. & Silva, R. H. (2020). Multilocus identification and thiophanate-methyl sensitivity of *Colletotrichum gloeosporioides* species complex associated with fruit with symptoms and symptomless leaves of mango. *Plant Pathol*, *69*,6,1125-1138. https://doi.org/10.1111/ppa.13195.

Gálvez-López, D., Salvador-Figueroa, M. & Mayek-Pérez, N. (2007). Diversidad morfológica del fruto en germoplasma nativo de mango *Mangifera indica* L. (*Anacardiaceae*) nativo de Chiapas, México. *Cuadernos de Biodiversidad*, *24*,10-19. https://doi.org/10.14198/cdbio.2007.24.02.

García, C., Guerin, M., Souidi, K. & Remize, F. (2020). Lactic fermented fruit or vegetable juices: past, present and future. *Beverages*, *6*,1,8. https://doi.org/10.3390/beverages6010008.

Huerta-Palacios, G., Holguín-Meléndez, F., Benítez-Camilo, F.A., & Toledo-Arreola, J. (2009). Epidemiología de la Antracnosis [*Colletotrichum gloeosporioides* (Penz.) Penz. and Sacc.] en Mango (*Mangifera*

*indica* L.) cv. Ataulfo en el Soconusco, Chiapas, México. *Revista Mexicana de Fitopatología, 27*,2,93-105. http://www.scielo.org.mx/scielo. php?script=sci_arttext&pid=S0185-33092009000200002&lng=es&tlng=es.

Keșa, A.L., Pop, C.R., Mudura, E., Salanță, L.C., Pasqualone, A., Dărab, C., Burja, U.C., Zhao, H. & Coldea, T.E. (2021). Strategies to improve the potential functionality of fruit-based fermented beverages. *Plants*, 10,11,2263. https://doi.org/10.3390/plants10112263.

Mahajan, P.V., Caleb, J., Singh, Z., Watkins, C.B. and Geyer, M. (2014). Postharvest treatments of fresh produce. *Philosophical Transactions: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*. 13,372. doi:10.1098/rsta.2013.0309.

Muy-Rangel, D., Uranga-Soto, A., Sánchez-Valdez, E. & Leyva-López, N. (2023). *Cultivo de mango en Oaxaca: estado actual y necesidades, 2011-2020*. Informe Técnico. Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A. C. Coordinación Culiacán, Sinaloa, México. 1-32.

Lobo, M.G. & Sidhu, J.S. (2017). Biology, Postharvest Physiology, and Biochemistry of mango. In Siddiq M., J.K. Brecht and J.S. Sidhu (Eds.), Handbook of Mango Fruit: Production, Postharvest Science, Processing Technology and Nutrition. John Wiley & Sons Ltd., 37-59.

Ortiz-Rodríguez, L., Sandoval-Salas, F., Morales-Olán, G. & Darcila-Lozano, C. (2022). *Handbook Tecnologías Emergentes Aplicadas en Alimentos*. ECORFAN-México, S.C. México. 1-22.

Palafox-Carlos, H., Gil-Chávez, J., Sotelo-Mundo, R., Namiesnik, J., Gorinstein, S. & González-Aguilar, G. (2012). Antioxidant interactions between major phenolic compounds found in 'Ataulfo' mango pulp: chlorogenic, gallic, protocatechuic and vanillic acids. *Molecules, 17*,11, 12657-12664. doi:10.3390/ molecules171112657.

Pérez-Rubio, V., Alcántar-Elizondo, N. & Muy-Rangel, D. (2023). *Cultivo de mango en Chiapas: estado actual y necesidades del periodo del 2011 al 2020*. Informe Técnico. Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A. C. Coordinación Culiacán, Sinaloa, México. 1-51.

Pineda, D. (2007). Tendencias en snacks nutritivos. Célula de alimentos y

bebidas. ttps://es.scribd.com/document/390419312/Pineda-s-f-Tendencias-en-Snacks-Nutritivos

Punia, B.S., Suri, S., Trif, M. & Ozogul, F. (2022). Organic acids production from lactic acid bacteria: A preservation approach. *Food Bioscience, 46*, 101615. doi.org/10.1016/j.fbio.2022.101615

Rebolledo-Martinez, A., Del Angel-Perez, A.L. & Rey, M.J. (2008). Effects of paclobutrazol and $KNO_3$ over flowering and fruit quality in two cultivars of mango Manila. *Interciencia*, 33,7,523-527. https://www.redalyc.org/ pdf/339/33933708.pdf

SAGARPA (2016). *El Plan Nacional Agrícola 2017-2030 para mango mexicano*. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/257078/Potencial-Mango.pdf

SAGARPA (2017). Planeación agrícola nacional 2017-2030. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file /257078/Potencial-Mango.

San Martín-Hernández, C., Muy-Rangel, M.D., Quintana-Obregón, E., Rivera-Vargas, G., & Volke-Haller, V. H. (2023). *Diagnóstico de la cadena productiva del mango en el estado de Guerrero*. Informe Técnico. Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A. C. Coordinación Culiacán, Culiacán, Sinaloa, México. 1-79.

San Martín-Hernández, C., Quintana-Obregón, E., Vargas-Ortiz, M., Osuna-Enciso, T. & Muy-Rangel, D. (2022). *Cultivo de mango en Michoacán: Estado actual y necesidades del Periodo de 2008 a 2017.* Informe Técnico. Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A. C. Coordinación Culiacán, Sinaloa, México. 1-51.

San Martín-Hernández, C., Pérez-Rubio, V., Muy-Rangel, D., Vargas-Ortiz, M. & Quintana-Obregón, E. (2020). Caracterización del polvo y pectina del pericarpio del mango (*Mangifera indica* L.) Ataulfo maduro y análisis FODA para su procesamiento. *TIP Revista Especializada en Ciencias Químico-Biológicas*, 23, 1-10. doi: 10.22201/fesz. 23958723e.2020.0.274.

SIAP. (2021). *Anuario estadístico de la producción agrícola*. Sistema de Información Agroalimentaria y Pesquera https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/.

Sommano, S., Ounamornmas, P., Nisoa, M. & Sriwattana, S. (2018). Bioactive functionality of pectin from peels of seven Thai mango cultivars. *Acta Horticulturae, 1213*, 423-428. doi: 10.17660/actahortic.2018.1213.62.

Sulistyawati, I., Dekker, M., Verkerk, R. & Steenbekkers, B. (2020). Consumer preference for dried mango attributes: A conjoint study among Dutch, Chinese, and Indonesian consumers. *Journal of Food Science, 85*,3527-3535. DOI: https://doi.org/10.1111/1750-3841.15439.

Tharanathan, R. N., Yashoda, H. M. & Prabha, T. N. (2006). Mango (*Mangifera indica* L.) The king of fruits-An overview. *Food Reviews International*, 22,2,95-123. https://doi.org/10.1080/87559120600574493.

Tovar, P.J., Mora, A.J., Nava, D.C., Lima, N.B., Michereff, S.J., Sandoval, I.J. & Leyva, M. S. (2020). Distribution and pathogenicity of *Colletotrichum* species associated with mango anthracnose in Mexico. *Plant Disease*, 104,1,137-146. https://doi.org/10.1094/PDIS-01-19-0178-RE

WHOE. (2021). *Plant-based diets and their impact on health, sustainability and the environment: A review of the evidence.* World Health Organization European. Office for the prevention and control of non-communicable diseases. https://apps.who.int/iris/handle /10665/349086.

Yang, X., Zhou, J.L., Quin, Z., Chen, Q. & Zhao, L. (2018). Propiedades antioxidantes de una bebida de vegetales y frutas fermentada con dos cepas de *Lactobacillus plantarum*. *Food Science and Biotechnology, 27,*1719–1726.

# Capítulo 17

# El mango y sus subproductos: alternativas de aprovechamiento como posible fuente de compuestos bioactivos

*Teresa del Rosario Ayora Talavera[1*], Socorro Josefina Villanueva Rodríguez[2], Guadalupe María Guatemala Morales[3], Neith Aracely Pacheco López[1], Juan Carlos Cuevas Bernardino[1], Enrique Arriola Guevara[4], Eugenia Lugo Cervantes[3]*

**Resumen**

Los subproductos del mango, como la cáscara y la almendra de la semilla, son ricos en compuestos con actividades biológicas que pueden ser obtenidos y darles un valor agregado. Entre estos están los compuestos fenólicos y los fitoesteroles. Además, los azúcares que se encuentran en estos subproductos pueden ser utilizados como fuente de carbono para la obtención de ácido hialurónico a través de fermentación. Utilizando ultrasonido y etanol como solvente, se obtuvieron compuestos fenólicos de cáscara y almendra de mango Haden que tuvieron actividad antioxidante y actividad antimicrobiana sobre *Cutibacterium acnes*. También se evaluó la presencia de fitoesteroles en mangos no comerciales del estado de Guerrero y se encontró que tanto la cáscara como la almendra de la semilla tienen estigmasterol, β-sitosterol y campesterol, ya sea en estado verde o maduro. Por último, la presencia

[1] Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco (CIATEJ), Subsede Sureste, Parque Científico Tecnológico de Yucatán, Tablaje Catastral 31264 Km 5.5 Carr. Sierra Papacal-Chuburná Puerto, Mérida, Yucatán. Email: *tayora@ciatej.mx

[2] CIATEJ, Sede Central, Av. Normalistas No 800, Colinas de la Normal, Guadalajara, Jalisco.

[3] CIATEJ, Subsede Zapopan, Camino Arenero 1227, El Bajío, 45019 Zapopan, Jalisco.

[4] Instituto de la Autora, Facultad de Agronomía, Av. Juan Palomar, Jardines del Bosque, Zapopan, Méx. 45150.

de azúcares como glucosa y fructosa presentes en los hidrolizados ácidos y enzimáticos de estos subproductos permitieron la fermentación por *Streptococcus equi* subsp. *zooepidemicus* para la producción de ácido hialurónico.

*Palabras clave:* Polifenoles, fitoesteroles, ácido hialurónico.

## Introducción

El mango (*Mangifera indica* L.) es un árbol tropical, cuya fruta se puede consumir en fresco, y su pulpa puede ser transformada en néctar, jugo, mermeladas, yogurt, deshidratada para adicionarse a cereales o como botana.

México es el tercer productor de esta fruta a nivel mundial (Panorama Agroalimentario 2022) y ocupa el primer lugar como exportador (FAO 2023). La producción en el año 2022 fue de 2,156,040 ton, de las cuales se exportaron 468,350 ton, esto equivale al 21.7% de la producción; la diferencia, 78.2%, fue para autoconsumo. Los principales estados productores en el territorio nacional son Sinaloa, Guerrero, Nayarit, Chiapas, Oaxaca y Michoacán (Panorama Agroalimentario 2022). En el año 2022, entre los estados de Guerrero, Oaxaca y Chiapas se produjeron 900,765 ton (Tabla 1), lo que equivale en ese año al 41.4% de la producción nacional (SIAP 2023).

Tabla 1. Producción de mango en los estados de Chiapas, Guerrero y Oaxaca en los últimos 5 años

| Año | Producción en toneladas por Estado | | | Total |
|---|---|---|---|---|
| | Chiapas | Guerrero | Oaxaca | (Ton) |
| 2022 | 273,659 | 411,172 | 215,934 | 900,765 |
| 2021 | 272,384 | 404,561 | 213,552 | 890,497 |
| 2020 | 270,695 | 395,396 | 207,701 | 873,792 |
| 2019 | 268,344 | 390,571 | 208,798 | 867,713 |
| 2018 | 266,464 | 386,891 | 198,449 | 851,804 |

Fuente: SIAP 2023

En México se producen de manera comercial diferentes variedades de mango, los principales son Ataulfo, Tommy Atkins, Haden, Keitt, Manila y Kent. Adicional a estas variedades, también se producen otras a menor escala que no forman parte de los que se comercializan en grandes cantidades, pero sí se consumen localmente y podrían ser utilizados para la obtención de otros productos para darles valor agregado. Ejemplo de estos está el mango criollo, el mango bola y el mango piña, producidos en los estados de Chiapas, Guerrero y Oaxaca.

Esta fruta está constituida por la pulpa, la cáscara y la semilla; esta última, por la testa y la almendra. La cáscara y la semilla son subproductos que se obtienen después de la obtención de la pulpa para comercializar y pueden representar desde el 35 al 60% de la fruta (Jahurul *et al*., 2015), dependiendo del cultivar del mango, por lo que se estima que anualmente aproximadamente más de 20 millones de toneladas de estos desperdicios de la industria del mango son liberados al ambiente como basura (Arora *et al*., 2018).

En la búsqueda de alternativas para darle un uso a estos frutos y subproductos del mango, se ha realizado una amplia investigación revelando que contienen altos niveles de diversas sustancias que mejoran la salud, como compuestos fenólicos, carotenoides, vitamina C y fibra dietética (Ajila & Prasada Rao, 2013; Siddiq *et al.*, 2013; Sudha *et al.*, 2015).

Las semillas y la cáscara del mango contienen una cantidad significativa de proteínas, grasas, carbohidratos y algunos compuestos bioactivos específicos. La semilla de mango contiene entre un 53.34% y un 76.81% de hidratos de carbono, 5.20 a 10.48% de proteínas, 9.84 a 18.0% de grasa/aceite y 0.26 a 10.60% de fibra bruta. También es fuente de fitoquímicos con potencial para mejorar la salud humana y prevenir el crecimiento de microorganismos patógenos. Entre estos compuestos destacan los fitoesteroles (campesterol, estigmasterol, β-sitosterol), carotenoides, tocoferoles, polifenoles (mangiferina, hesperidina, vainillina, penta-o-galloil-glucósido, rutina, quercetina, kaempferol y catequina) y ácidos fenólicos (ácido gálico, ácido cafeico, ácido elágico, ácido ferúlico, etc.) (Choudhary *et al.*, 2023; Jahurul *et al.*, 2015).

Las cáscaras son ricas en almidón, celulosa, lignina, proteínas y pectina (Asif *et al.*, 2016), así como de pigmentos como antocianinas y carotenos. También se ha reportado la presencia de fenoles y polifenoles, dentro de los cuales destacan mangiferina, ácido gálico, ácido elágico, quercetina, ácido clorogénico y rutina (da Silva Sauthier *et al.*, 2018; Sánchez-Mesa *et al.*, 2020).

Con esta información se puede observar que los subproductos de mango son ricos en ingredientes que pueden ser obtenidos para ser utilizados en la elaboración de diferentes productos como alimentos funcionales, nutraceúticos, nutricosméticos, etc. y darles un valor agregado.

En este capítulo se presentan tres alternativas de aprovechamiento de los frutos de mango no comerciales, así como de sus subproductos para la obtención de compuestos activos y su posible aplicación como alimentos funcionales o nutricosméticos.

## Actividad antimicrobiana de compuestos fenólicos obtenidos de subproductos de mango sobre la bacteria causante del acné *Cutibacterium acnes*.

Los compuestos fenólicos son un grupo de biomoléculas clasificadas en diferentes subgrupos dependiendo de sus características estructurales, así tenemos a los fenoles simples, ácidos fenólicos, flavonoides, estilbenos, cumarinas, ligninas y taninos por mencionar algunos (Ayora-Talavera & Gástelum-Martínez, 2016). Está reportado que estos compuestos se caracterizan por tener actividad antioxidante, antimicrobiana, anticancerígena y antinflamatoria (Khalifa *et al.*, 2018; Lesjak *et al.*, 2018; Yi *et al.*, 2019).

Los compuestos fenólicos reportados en mango tienen diferentes actividades biológicas entre las que destacan como: antidiabéticos, antitumorales, antiplaquetarios, inhibidores de la α-glucosilasa y α-amilasa, antimicrobiana, antiviral y antioxidante. Cabe destacar que también tienen efectos benéficos sobre el sistema respiratorio, el sistema inmune y el sistema cardiovascular (Alañón *et al.*, 2019; Du *et al.*, 2018; Poomanee *et al.*, 2018; Sekar *et al.*, 2019).

*Cutibacterium acnes* (Ibarra-Morales *et al*., 2019) es una bacteria anaerobia, de crecimiento lento, grampositiva, que suele encontrarse normalmente dentro de los folículos sebáceos de los seres humanos y en menor cantidad sobre la epidermis, su excesiva presencia puede contribuir al acné en algunas personas. Este padecimiento es una enfermedad crónica de la piel que causa lesiones inflamatorias dejando cicatrices, pudiendo llegar hasta un desfiguro permanente. Aun cuando este microorganismo forma parte del microbioma de la piel, su presencia en exceso provoca una serie de respuestas en el sistema inmune que causan la inflamación, la lesión, la acumulación de pus y la formación de radicales libres que destruyen el epitelio folicular (Dessinioti & Katsambas, 2010; Ogé *et al*., 2019). Esta reportado que extractos de la almendra del mango tuvieron actividad inhibitoria sobre este microorganismo y en menor medida sobre *Staphylococcus aureus* y *Staphylococcus epidermidis*, bacterias que también se encuentran en la piel (Poomanee *et al*., 2018) y pueden causar úlceras, por lo que el uso de estos extractos en forma de nutricosmético podría ser una alternativa adicional al tratamiento del acné.

Los nutricosméticos son suplementos dietéticos y nutricionales para producir un beneficio de apariencia visual y mejora de la salud de la piel. Por lo que esta parte del proyecto busca desarrollar un producto con propiedades nutricosméticas para darle valor agregado a los subproductos del mango y que esto beneficie a los productores de esta fruta.

Por lo tanto, el objetivo es evaluar la propiedad antimicrobiana de extractos fenólicos de subproductos de mango como alternativa de valor agregado para la elaboración de un producto que puede ser utilizado como base de un nutricosmético.

## *Materiales y métodos*

### *Material biológico*

Los mangos de la variedad Haden (Figura 1) fueron colectados en Cantón de los Llanos en Tapachula (14°46’04.1”N, 92°20’40.8”W), Chiapas. Los mangos en estado de madurez para consumo fueron lavados y secados.

Posteriormente, con un cuchillo fueron descascarados y consecutivamente se les quitó la pulpa para obtener las semillas. Las cáscaras y las semillas fueron secadas en un deshidratador a vapor de charolas marca JERSA a 40ºC con flujo de aire alto. Después, las cáscaras fueron pulverizadas a un tamaño de partícula de 0.5 mm (malla 35 ASTM) en un molino marca PULVEX; las harinas fueron almacenadas en frascos de plástico a -20ºC. A las semillas secas se les extrajo la almendra y esta fue molida de igual manera que las cáscaras. Estas harinas fueron almacenadas de la misma manera.

Figura 1. Mangos Haden colectados en Cantón de Los Llanos, municipio de Tapachula, Chiapas. A) Fruto de mango, B) Semilla completa, C) Almendra

**Extracción de fenoles de harinas de cáscara y almendra de mango.** Se obtuvieron extractos polifenólicos de la almendra y la cáscara del mango mediante un proceso de extracción asistida por ultrasonido, utilizando los parámetros reportados por Castañeda-Valbuena *et al*. (2021). El equipo utilizado fue un procesador de sonda ultrasónica GEX130PB (Sonics and Materials Inc., Newtown, EE.UU.) a una potencia constante de 130W y una frecuencia de 20 kHz. Por último, los extractos se filtraron con papel de filtro Whatman n.º 2 y se almacenaron para su uso posterior a -21 °C.

**Fenoles totales**. Los polifenoles totales se determinaron por espectrofotometría, siguiendo la metodología descrita por Mugwagwa y Chimphango (2019). Se utilizó ácido gálico como estándar (100 - 800 mg).

**Actividad antioxidante**. Se emplearon tres métodos, DPPH, ABTS y FRAP.

**Método del DPPH**. Método de Chen *et al*. (2011) con algunas modificaciones: Se preparó una solución 20 mg/L del reactivo DPPH• en metanol, ajustando su absorbancia entre 0.7-0.9 (λ=515 nm), con metanol. Se tomaron 3.9 mL de la solución DPPH• ajustada y se hicieron reaccionar con 100 µL de la muestra dejando reposar por 30 min en oscuridad; la absorbancia fue leída en un espectrofotómetro UV-visible Jenway (6715) a una λ=515 nm. El porcentaje de inhibición se calculó de acuerdo con la ecuación 1; además los resultados se expresaron como µg/mL de Trolox usando una curva de calibración de 60-420 ppm de Trolox. Se utilizó metanol como blanco para las lecturas en el espectrofotómetro.

$$\%Inhibición = \left( \frac{A_{Control} - A_{Muestra}}{A_{Control}} \right) \times 100 \quad (1)$$

Dónde: $A_{control}$ es la absorbancia del control, $A_{Muestra}$ es la absorbancia del extracto

**Método FRAP**. Se siguió la metodología descrita por Wootton-Beard *et al*. (2011) con ligeras modificaciones. Se prepararon tres soluciones primarias: $FeCl_3 \cdot 6H_2O$ 20mM, TPTZ 10mM en HCl 40mM, y un buffer de acetatos 300mM pH 3.6 (preparado a partir de 3.1 g de acetato de sodio trihidratado y 16 mL de ácido acético por litro de agua); y a partir de estas se preparó la solución de trabajo FRAP (el mismo día de uso) en proporción 1:1:10 respectivamente, la cual fue calentada a 37ºC. Se hicieron reaccionar 150 µL de muestra con 2850 µL de la solución FRAP dejando reposar por 5 min en oscuridad; la absorbancia fue leída en un espectrofotómetro UV-visible Jenway (6715) a una λ=593 nm. Los resultados se expresaron en µg/mL de Trolox usando una curva de calibración con concentraciones de 40-300 ppm de Trolox usando la solución de FRAP como blanco.

**Método ABTS**. Se evaluó la reducción del radical activo ABTS• siguiendo el método descrito por Zhuo *et al*. (2017). La absorbancia fue leída en un espectrofotómetro UV-visible Jenway (6715) a una λ=734 nm. El porcentaje de inhibición se calculó de acuerdo con la ecuación 2. Los resultados se expresaron como µg/mL de Trolox usando una curva de cali-

bración de 50-875 ppm de Trolox. Se utilizó buffer PBS como blanco para las lecturas en el espectrofotómetro.

$$\% \text{ inhibición ABTS} \bullet = (Aa-Ab)/Aa \times 100 \qquad (2)$$

### *Evaluación de la actividad antimicrobiana*

*Cutibacterium acnes* ATCC 6919 se cultivó en condiciones anaerobias en medio Tioglicollato (Sigma-Aldrich, EE.UU.) a 35°C.

El efecto de los extractos sobre *C. acnes* se evaluó determinando la concentración inhibitoria mínima mediante un ensayo de microdilución. El ensayo se realizó en microplacas de 96 pozos en las que primero se añadió la solución salina [NaCl al 0.9%], seguida de las muestras (los extractos en diluciones seriadas). A continuación, se adicionó el medio de cultivo y, por último, la solución bacteriana (0.5 McFarland's equivalente a $1\times10^8$ UFC/mL). Las microplacas se incubaron a 35°C durante 24 h. Transcurrido este tiempo, se utilizó una solución de cloruro de p-yodonitrotetrazolio (2 mg/mL), que sirvió como indicador y se dejó incubar durante 2h. Cada experimento se realizó por triplicado. La CMI se definió como la concentración más baja de cada extracto que inhibe el crecimiento de las bacterias (Balouriri *et al*., 2016).

La concentración bactericida mínima (CBM), que es la concentración más baja que provoca la muerte del 99.9% de la población bacteriana, se evaluó después de la prueba de microdilución, tras 24 h de incubación a 35°C. Cada muestra se transfirió a placas de 35 mm x 10 mm con 3 mL del medio de cultivo con agar al 17% previamente diluido para la cuantificación de UFC/mL. Cada experimento se realizó por triplicado.

## *Resultados y discusión*

### *Presencia de compuestos fenólicos y actividad antioxidante en extractos etanólicos obtenidos de cáscara y almendra de mago Haden*

La presencia de compuestos fenólicos y su actividad antioxidante en los subproductos de mango utilizando extracción asistida por ultrasonido ya

se ha reportado (Martínez-Ramos *et al*., 2020). Sin embargo, la presencia y actividad en los subproductos de la variedad Haden es escasa. La extracción de estos compuestos y su actividad antioxidante se presentan en la Tabla 2.

Tabla 2. Presencia de fenoles totales y su actividad antioxidante (ABTS, DPPH y FRAP) de extractos etanólicos obtenidos de cáscara y almendra de mango Haden utilizando ultrasonido

| Muestra | Fenoles totales (mg AG*/g MS) | ABTS (mg ET**/g MS) | DPPH (mg ET/g MS) | FRAP (mg ET/g MS) |
|---|---|---|---|---|
| Cáscara | 126.38 ± 10.34 | 1155.77 ± 66.13 | 138.12 ± 18.73 | 55.09 ± 6.67 |
| Almendra | 160.72 ± 11.17 | 1356.92 ± 76.11 | 562.65 ± 23.06 | 422.73 ± 21.80 |

*AG: Ácido gálico; ** ET: Equivalentes de Trolox.

La concentración de fenoles totales en los extractos etanólicos son consistentes con los valores reportados para extractos de semillas de once variedades diferentes de mango obtenidos por maceración empleando siete disolventes diferentes (Ekorong-Akouan *et al*., 2018) y para la almendra de Tommy Atkins extraída con una solución ácida de ácido meta-fosfórico, ácido acético, ácido sulfúrico y agua (Sogi *et al*., 2013). El contenido de compuestos fenólicos de las cáscaras también es similar para los extractos obtenidos de las cáscaras de mango cv “Kent” por el método de maceración convencional utilizando una mezcla de etanol, ácido acético y agua (Mugwagwa & Chimphango, 2019).

La actividad antioxidante *in vitro* de los extractos se midió por tres métodos diferentes, dos basados en la estabilización de radicales libres (DPPH y ABTS) y uno relacionado con la capacidad de los extractos para reducir un ion metálico ($Fe^{3+}$) (FRAP). Los resultados de todos los métodos se expresaron como mg TE/g MS. La capacidad antioxidante de los extractos de semillas fue superior a la de los extractos de semillas en los tres métodos evaluados: DPPH, ABTS y FRAP.

Los valores de la capacidad antirradical ABTS y DPPH encontrados para los extractos de semilla son superiores a los reportados por Bernal-Mercado *et al*. (2018) para extractos obtenidos después de maceración etanol-agua seguida de un proceso de hidrólisis ácido-alcalino de semillas

de mango (*M. indica* L.) cv. "Haden". Los valores para el análisis de DPPH y FRAP de los extractos de semillas y cáscaras FRAP fueron significativamente más bajos que los reportados por Nguyen *et al.* (2019) para semillas de mango.

Con estos resultados se puede suponer que la presencia de estos compuestos fenólicos puede tener actividad antimicrobiana sobre bacterias como *C. acnes*; por lo tanto, el siguiente paso fue evaluar su capacidad antimicrobiana sobre esta bacteria.

*Actividad antimicrobiana de extractos etanólicos de cáscara y almendra de mango Haden sobre C. acnes*

Esta reportado que los extractos de almendra de mango, obtenidos utilizando diferentes concentraciones de etanol-agua y acetato de etilo, tienen actividad sobre *C. acnes* (Poomanee *et al.*, 2018). Sin embargo, en la búsqueda de utilizar ambos subproductos y reducir las operaciones unitarias para obtener los extractos etanólicos, se realizó la evaluación de su actividad sobre esta bacteria. En la tabla 3 se presentan los resultados de la concentración mínima inhibitoria (CMI) y mínima bactericida (CMB).

Tabla 3. Concentración Mínima Inhibitoria y Concentración Mínima Bactericida de extractos etanólicos de cáscara y almendra de mango Haden

| Cepa | Extracto | CMI (mg/mL) | CMB (mg/mL) |
|---|---|---|---|
| Cutibacterium acnes | Cáscara | 2.19 | 8.51 ± 0.17 |
| | Semilla | 1.56 | 10.87 ± 0.3 |

Se observa que ambos extractos tienen actividad sobre *C. acnes*. Comparando con lo reportado por Poomanee *et al.* (2018), la CMI de sus extractos metanólicos de almendra sobre esta bacteria son similares a los obtenidos de la almendra de mango Haden; sin embargo, referente a CMB los extractos de mango Haden resultaron mejores, ya que se necesita menos concentración para lograr la muerte del 99.9% de las bacterias. Con respecto a los extractos de cáscara, no hay reportes de alguna variedad de mango que

se haya probado sobre el crecimiento de esta bacteria. Se puede observar con los resultados obtenidos en este trabajo que para evitar el crecimiento de esta bacteria se requiere menor concentración de su extracto que el de semilla.

Se sugiere que esta actividad antimicrobiana se debe a la presencia de estos compuestos fenólicos, tal y como lo reporta Poomanee *et al*. (2018) para extractos de la cáscara de mango variedad Kaew-Moragot.

## Conclusiones

Los extractos metanólicos obtenidos a partir de cáscara y almendra de mango Haden tienen compuestos fenólicos y actividad antioxidante, así como actividad antimicrobiana inhibiendo el crecimiento de *C. acnes*. Estos extractos pueden ser útiles para la elaboración de nutricosméticos o cremas para el tratamiento del acné.

*Obtención de fitoesteroles a partir de variedades de mango no comerciales*

Como ya se mencionó, el estado de Guerrero es el productor principal de mango a nivel nacional. En el año 2017 se cosecharon aproximadamente 358 235 toneladas, siendo el 22% de la producción total del país. El 54% de la cosecha total es desperdiciado debido a que algunas variedades no pasan los estándares de calidad para su venta en fresco. Entre las causas de esta baja calidad se encuentra el mal manejo del cultivo o del fruto durante la cosecha, de este modo, una buena proporción de los frutos presentan diferentes defectos físicos y daños por las plagas. Además de estas problemáticas, en este estado también se cultivan variedades criollas como: bola, panameño, oro, petacón, nativo, etc. que, al no ser conocidas por los consumidores, son poco solicitadas, lo que provoca que la mayoría de su producción sea desaprovechada. La composición promedio que se ha reportado para la mayoría de las variedades es un argumento para pensar que estas variedades poco comercializadas podrían destinarse para extraer de ellas sustancias bioactivas o, a través de desarrollos, convertirse en ingredientes de alto valor agregado para la innovación en el desarrollo de alimentos, particularmente de alimentos funcionales.

Dentro estos compuestos destacan los fitoesteroles, los cuales son compuestos parecidos al colesterol tanto en su estructura como en su función biológica. Son componentes estructurales de la membrana celular, donde regulan su permeabilidad, así como los procesos metabólicos asociados a ella. Existen trabajos que reportan los efectos beneficiosos de los fitosteroles relacionados con el metabolismo del colesterol y el riesgo de aterosclerosis junto a otros procesos metabólicos en el humano. Adicional a esto, también se han reportado que estos terpenos tienen efectos anti-inflamatorios y anticancerígenos (Trautwein & Demonty, 2007). En el ámbito del aprovechamiento de los fitoesteroles con propiedades benéficas para la salud presentes en los mangos no comerciales y los subproductos, el conocimiento es escaso, si no es que ausente. Debido a esto, parece de gran importancia la realización de investigación científica, orientada a explorar su presencia y darles un valor agregado.

## Materiales y métodos

### *Preparación de la materia prima para la extracción*

Se evaluaron dos métodos de secado para conservar los compuestos bioactivos. El mango fue dividido en dos lotes para someterlas a diferentes métodos de secado: liofilizado y deshidratado con calor. Para la liofilización se introdujeron 100 g de muestra (cáscara, pulpa y/o semilla) previamente congeladas por 48 horas a -40ºC en la liofilizadora (Operon) por un tiempo de 48 horas a -45 °C. Para el secado por calor se colocaron 100 g de muestra (cáscara, pulpa y/o semilla) en el deshidratador eléctrico (Hamilton Beach) a 40 °C por 24 horas, hasta obtener una actividad de agua de 0.51 ± 0.018.

### *Extracción y cuantificación de fitoesteroles*

Se obtuvieron extractos de la pulpa, cáscara y semilla de las tres variedades de mango, siguiendo el método descrito por Feng *et al*. (2015) y Muñoz (2010) para la identificación y cuantificación de fitoesteroles (Simin Feng, 2015). Se pesaron 2.5 g de muestra, se mezclaron con 25 mL de KOH a una concentración de 4 M, se calentaron a 70 °C durante 60 minutos. Después

de la saponificación, se extrajo la materia insaponificable con 50 mL de éter dietílico. Esta extracción se realizó dos veces. El extracto se colectó y se lavó dos veces con 50 mL de agua destilada. El extracto se sometió a un secado con sulfato de sodio anhídrido en un rotavapor a 30°C. El residuo fue disuelto en 125 mL de metanol absoluto y se concentró en el rotavapor hasta obtener 5 mL. El extracto concentrado se pasó por un filtro Millipore (13 mm Ø, 0.45 µm). Los extractos fueron analizados en un cromatógrafo de líquidos (VARIAN Pro Star), la columna que se utilizó fue una Lichrosorb RP-18 con medidas de: 4.6x200 mm, 5 µm grosor de la fase estacionaria a 30°C; el volumen de inyección fue de 20 µL, el flujo utilizado fue de 1.2 ml/min, la fase móvil utilizada fue acetonitrilo:metanol (20:80) y el detector fue de UV-Vis a 210 nm; por último, el tiempo de corrida fue de 30 minutos. Para la cuantificación se preparó una curva de calibración con los estándares: β-sitoesterol, estigmasterol y campesterol a 300, 250, 200, 150, 100 y 50 ppm.

## Resultados y discusión

La presencia de fitoesteroles en mangos ha sido muy poco estudiada. Los reportes se centran principalmente en el contenido de las pulpas (Vilela *et al.*, 2013), así que es de esperarse que en variedades criollas la información es nula, de ahí la importancia de cuantificarlos en los subproductos para darles un valor agregado. Por lo tanto, se determinó el contenido de fitoesteroles en cáscara, pulpa y semilla de las tres variedades de mango en dos estados de maduración (verde y maduro).

En la Figura 2A se observan los resultados obtenidos en la cuantificación de fitoesteroles: estigmasterol, campesterol y β-sitoesterol en las cáscaras. Con respecto al estigmasterol, la variedad “bola” presentó diferencias significativas $P>0.05$ entre verde y maduro (33.973 mg/L=10.44 mg/100 g), el mango en estado verde presentó mayor concentración de este terpeno.

Por otro lado, las variedades criollo y manila oro mostraron un contenido de β-sitoesterol significativamente ($P<0.05$) mayor en estado verde. Es importante resaltar que, independientemente del estado de madures, la

variedad criolla mostró el mayor contenido β-sitoesterol, especialmente en estado de madurez verde (106.338 mg/L=18.3818 mg/100 g).

El estado de madurez no mostró efecto significativo sobre el contenido de campesterol; sin embargo, la variedad sí tuvo un efecto significativo ($P<0.05$), siendo la variedad criolla (54.501 mg/L= 10.5119 mg/100 g) la que presentó mayor concentración de este fitoesterol.

En la Figura 2B se muestran los resultados obtenidos de la cuantificación de fitoesteroles en semilla. Se observa que el contenido de estigmasterol no fue afectado ni por el estado de madurez ni por la variedad. El valor máximo fue de 34.356 mg/L= 5.342 mg/100 g, estos resultados son inferiores a los reportados por Abdalla *et al*. (2007), donde su valor máximo fue de 17.22 mg/100 g. Por otro lado, el β-sitoesterol fue afectado de manera significativa tanto por el estado de madurez ($P<0.05$) como por la variedad. Las variedades criollo y oro mostraron mayor cantidad de este compuesto en el estado verde, en cambio, la variedad bola mostró mayor contenido en estado maduro. La variedad que presentó mayor concentración de este fitoesterol fue la variedad "criolla" verde (22.012 mg/100 g) y madura (14.823 mg/100 g), Abdalla *et al.* (2007) cuantificó 154 mg/100 g de este compuesto en semilla de mango maduro de variedades egipcias.

Figura 2. Resultados de fitoesteroles cuantificados por HPLC en A) cáscaras y B) semillas. Letras iguales **no son estadísticamente diferentes en cada factor (Fisher LSD, P≤0.05). Letras en cursivas representan la** prueba de medias en función del estigmasterol, letras en mayúsculas representan la prueba de medias en **función del β-sitoesterol, letras en minúsculas representan la prueba de medias en función del campesterol**

Por último, en el campesterol se observó un efecto del estado de madurez y solo la variedad bola mostró un mayor contenido de este fitoesterol en el estado verde. Para las otras variedades no se observó un efecto signifi-

cativo en el contenido de este compuesto. Por su parte, Abdalla *et al*. (2007) reportaron resultados de 25.83 mg/100 g siendo este su valor máximo. En este estudio el valor máximo fue 54.501 mg/L (13.86 mg/100 g) , donde la variedad "criolla" en verde presento la concentración más alta.

Con base en los resultados del presente estudio sobre el contenido de fitoesteroles y los datos de producción de mango, podemos decir que por cada tonelada de mango desperdiciado, se podría obtener la siguiente cantidad de fitoesteroles (Tabla 4):

Tabla 4. Estimación de la concentración de fitoesteroles que se podrían obtener a partir de los subproductos de mango de variedades no comerciales

| Variedad | Concentración (g/ton) |
|---|---|
| Bola-verde | 815.33 |
| Bola-maduro | 890.38 |
| Criollo-verde | 952.68 |
| Criollo-maduro | 1292.37 |
| Oro-verde | 913.21 |
| Oro-maduro | 692.98 |

## Conclusiones

Se cuantificó estigamasterol, sitosterol y campesterol en los subproductos de mangos criollos del estado de Guerrero. Estos fitoesteroles, dependiendo de la variedad, están presentes en mayor cantidad en subproductos verdes que en los maduros. Estos fitoesteroles son una alternativa de aprovechamiento de los subproductos para darles un valor agregado.

### *Aprovechamiento de subproductos de mango para la obtención de ácido hialurónico*

El ácido hialurónico (AH) es un polisacárido presente en todos los vertebrados, incluido el humano. En condiciones fisiológicas se encuentra como hialuronato de sodio, principalmente en la piel, cartílago, articulaciones y el humor vítreo ya que posee una alta capacidad de retención de agua y un

comportamiento viscoelástico. Se ha estimado un mercado mundial actual para el AH superior a un billón de dólares, como reflejo en su variedad de funciones naturales y a sus múltiples aplicaciones médicas y cosméticas. Además, el creciente número de usos biomédicos para el AH ha fomentado el desarrollo de una amplia gama de productos con propiedades mejoradas o moduladas, así como en la administración de fármacos anticancerígenos.

El AH puede obtenerse por extracción de tejidos como el humor vítreo bovino, cresta del gallo y cordón umbilical humano y también a través de cultivos bacterianos controlados. El AH producido por animales y bacterias es idéntico, pero la extracción de tejidos animales exhibe un riesgo potencial de contaminación por virus y proteínas. Además, existe el riesgo de presentarse fenómenos de hidrólisis parcial causada por acción de las enzimas con actividad hialuronidasa endógena en los tejidos y, en conjunto con las condiciones de extracción, desestabilizan al polímero, por lo que la purificación es compleja y costosa.

Por su parte, el hialuronato bacteriano presenta una excelente biocompatibilidad, baja toxicidad, características no inmunogénicas, totalmente biodegradable y su purificación es más sencilla en comparación con la extracción de tejidos animales y se obtienen elevados rendimientos. Las cepas utilizadas con mayor frecuencia para producir AH son *Streptococcus equi* subsp. *equi*, *S. equi* subsp. *zooepidemicus* y *S. thermophilus* alimentadas con monosacáridos puros y costosos; sin embargo, su rendimiento es bajo. No obstante, surge la necesidad de que estas tengan la capacidad para metabolizar carbohidratos más económicos y disponibles como los contenidos en los desechos o subproductos agroindustriales del mango.

## Materiales y métodos

**Microorganismos.** Se utilizó la cepa de *Streptococcus equi* subsp. *zooepidemicus* ATCC 35246.

**Medio de cultivo.** Se utilizó la pulpa de mango y los hidrolizados ácidos y/o enzimáticos de la cáscara y semilla de mango Haden obtenidos de acuerdo con Contreras-Mendoza (2019).

**Fermentación.** *S. equi* subsp. *zooepidemicus* fue reactivada en placas de medio de cultivo infusión cerebro corazón (BHI). Para preparar el inóculo se tomó una asada del cultivo en placa y se inocularon 100 mL de caldo BHI por 12 h a 37°C y 200 rpm en un agitador orbital. Transcurrido el tiempo de incubación, se inoculó 1 L del medio de cultivo (Glucosa 20 g/L, extracto de levadura 10 g/L, $K_2HPO_4$ 2.5 g/L, NaCl 2.0 g/L, $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ 1.5 g/L) con una relación del 10% v/v en un biorreactor Applikon con 1.5 L de capacidad total. En el biorreactor se mantuvo constante la temperatura a 37°C, 300 rpm de agitación y 1vvm de aire filtrado. El pH se controló por la adición de una solución de NaOH 4 M. Para evaluar la producción de AH con los subproductos de mango se sustituyó la glucosa por los hidrolizados ácidos y enzimáticos de la cáscara y hueso de mango de la variedad Haden. Se diluyó cada hidrolizado hasta una concentración de 20 g/L de monosacáridos totales con agua y se mantuvo constante la relación del resto de los componentes del medio de cultivo. Los hidrolizados se esterilizaron en autoclave a 110°C por 20 min. Se determinó el crecimiento celular, la producción de ácido hialurónico y el consumo de carbohidratos a lo largo de los cultivos en el biorreactor.

**Crecimiento celular por peso seco**. Se utilizaron tubos Eppendorf de 2 mL de capacidad, previamente tarados. Se tomó 1 mL de muestra y se adicionó 1 mL de agua destilada, posteriormente se centrifugaron los tubos Eppendorf a 10,000 rpm por 10 min y se descartó el sobrenadante. Las muestras se secaron en estufa a 80°C durante 18-24 h o hasta la determinación de su peso constante en una balanza analítica. El peso seco en g/L se obtuvo de la siguiente forma:

$$\text{Peso seco (g/L)} = \frac{A - B}{V} \times 1000$$

Donde:
A: peso tubo + biomasa seca (g)
B: peso tubo (g)
V: volumen de muestra (mL)

***Cuantificación de la concentración de AH.***

Para el análisis de la concentración de AH primero se tomó la muestra y se adicionó un volumen igual de una solución de dodecilsulfato de sodio al 0.1 % por 10 min para liberar el AH y facilitar la separación de las células. Posteriormente las células se removieron por centrifugación a 10,000 x g 10 min y al sobrenadante se le adicionaron cuatro volúmenes de etanol al 95 % y se refrigeró durante 1 h a 4 °C para precipitar el AH. El precipitado se recuperó por centrifugación a 3,000 x g 10 min y a continuación se disolvió nuevamente en agua destilada (Chen *et al.*, 2009).

Después, se colocó un tubo limpio y seco en un baño frío, se le adicionaron 1.5 mL de una solución de tetraborato de sodio decahidratado 0.025 M (disuelto en ácido sulfúrico) y 0.25 mL del AH disuelto en agua destilada, se agitó cuidadosamente y se colocó en un baño isotérmico a ebullición por 10 min. Se dejó enfriar en el baño frío y se adicionaron 50 µL de la solución de carbazol 0.125 % (disuelto en etanol absoluto y almacenado a 4°C protegido de la luz), se mezcló y colocó en un baño isotérmico a ebullición por 10 min. Se dejó enfriar a temperatura ambiente y se determinó su absorbancia a 530 nm en un espectrofotómetro Spectronic Genesys 2 UV/VIS. Se utilizó agua destilada como blanco. Se preparó una curva de calibración con ácido D-glucurónico como estándar (Bitter y Muir, 1962).

## Resultados y discusión

Con el propósito de evaluar la producción de ácido hialurónico a partir de monosacáridos obtenidos del proceso de hidrólisis de la cáscara y el hueso, se realizaron cultivos con la cepa de *Streptococcus equi* subsp. *zooepidemicus* en medio sintético, utilizando hidrolizados ácidos y enzimáticos como fuente de carbono, tanto de cáscara como de almendra. Los azúcares presentes en estos hidrolizados eran glucosa y fructosa.

En la Tabla 5 se presenta los resultados de la biomasa obtenida y la concentración de AH después de 12 horas de fermentación. Cabe resaltar que se realizaron las cinéticas para determinar estos parámetros. Los resultados están reportados en la tesis de Contreras-Mendoza (2019).

Tabla 5. Crecimiento y producción de ácido hialurónico por Streptococcus equi subsp. zooepidemicus utilizando hidrolizados ácidos y enzimáticos de subproductos de mango.

| Subproducto de mango | Tipo de hidrolizado | Biomasa (g/L) | Ácido hialurónico (g/L) |
|---|---|---|---|
| Cáscara | Ácido | 2.1 | 0.5 |
| | Enzimático | 2.1 | 0.6 |
| Almendra semilla | Ácido | 1.5 | 0.0 |
| | Enzimático | 2.1 | 0.91 |

La producción de ácido hialurónico resultado del presente trabajo fue similar a la reportada por Pires *et al*. (2010), quienes utilizaron licor de maíz como sustrato y reportaron una concentración final de 0.8 g/L de AH. Sin embargo, en dicho trabajo utilizaron una concentración de 100 mL/L de licor de maíz, por lo que la bacteria tenía una mayor concentración de sustrato y por lo cual se pudo favorecer la producción de AH. Estos resultados son los mayores reportados a la fecha para la producción de ácido hialurónico utilizando subproductos agroalimentarios, por lo que los subproductos de mango resultan una atractiva opción para la producción microbiológica de AH.

## Conclusiones

El hidrolizado ácido de almendra de la semilla de mango propició la producción de mayor concentración de ácido hialurónico 0.9 g/L, seguido del hidrolizado ácido y enzimático de cáscara de mango con una producción de 0.6 y 0.5 g/L respectivamente. El hidrolizado ácido de almendra no produjo AH.

Con los resultados obtenidos se demostró que los subproductos de mango (cáscara y almendra) son un atractivo sustrato para la obtención de monosacáridos por hidrólisis ácida y enzimática y que dichos hidrolizados ricos en carbohidratos pueden ser usados en la producción de ácido hialurónico con *Streptococcus equi* subsp. *zooepidemicus* en cultivo por lote.

***Conclusión general***

La obtención de diferentes compuestos con actividad biológica a partir de los subproductos de mango muestra el gran potencial que tienes estos "desperdicios" para darles un valor agregado.

Estos compuestos biológicos que se pueden obtener de estos subproductos pueden ser utilizados en la elaboración de nutricosméticos, alimentos funcionales o productos farmacéuticos que pueden impactar en la economía de los productores.

Es importante destacar que estas tres alternativas de obtención de productos con valor agregado deben de ser escaladas y realizarse el análisis económico de su producción. Y muy importante, se deben de realizar las pruebas *in vivo* para asegurarse que son inocuos para el uso humano.

## Referencias

Abdalla Ahmed E.M., Darwish Saeid M., Ayad Eman H.E., El-Hamahmy Reham M. (2007). Egyptian mango by-product 1. Compositional quality of mango seed kernel. *Food Chemistry, 103,* 1134–1140.

Ajila, C.M., Prasada Rao, U.J.S. (2013). Mango peel dietary fibre: Composition and associated bound phenolics. *Journal of Functional Foods, 5*, 444–450. https://doi.org/10.1016/j.jff.2012.11.017

Alañón, M.E., Palomo, I., Rodríguez, L., Fuentes, E., Arráez-Román, D., Segura-Carretero, A. (2019). Antiplatelet activity of natural bioactive extracts from mango (*Mangifera indica* l.) and its by-products. *Antioxidants, 8*. https://doi.org/10.3390/antiox8110517

Arora, A., Banerjee, J., Vijayaraghavan, R., MacFarlane, D., Patti, A.F. (2028). Process design and techno-economic analysis of an integrated mango processing waste biorefinery. *Industrial Crops and Products. 116,* 24-34. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2018.02.061

Asif, A., Farooq, U., Akram, K., Hayat, Z., Shafi, A., Sarfraz, F., Sidhu, M.A.I., Rehman, H.U., Aftab, S. (2016). Therapeutic potentials of bioactive compounds from mango fruit wastes. *Trends in Food Science & Technology, 53*, 102–112. https://doi.org/10.1016/j.tifs.2016.05.004

Ayora-Talavera, T., Gastélum-Martínez, E. (2016). Fenoles y polifenoles. En H. Espinosa-Andrews, E. García-Márquez & E. Gastélum-Martínez (eds.) *Los compuestos bioactivos y tecnologías de extracción*. Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño A.C. Cap. 5: 59-72.

Balouiri, M., Sadiki, M., Ibnsouda, S. K. (2016). Methods for in vitro evaluating antimicrobial activity: A review. *Journal of Pharmaceutical Analysis, 6*, 71–79, https://doi.org/10.1016/j.jpha.2015.11.005

Bernal-Mercado, A.T., Ayala-Zavala, J.F., Cruz-Valenzuela, M.R., González-Aguilar, G.A., Nazzaro, F., Fratianni, F., Alcantara, M.R., & Silva-Espinoza, B.A. (2018). Using sensory evaluation to determine the highest acceptable concentration of mango seed extract as antibacterial and antioxidant agent in fresh-cut mango. *Foods, 7* (8), 120,http://dx.doi.org/10.3390/foods7080120

Bitter T. & Muir H.M. (1962). A modified uranic acid carbazole reaction. *Analytical Biochemistry, 4*, 330-334.

Castañeda-Valbuena, D., Ayora-Talavera, T., Luján-Hidalgo, C., Álvarez-Gutiérrez, P., Martínez-Galero, N., & Meza-Gordillo, R. (2021). Ultrasound extraction conditions effect on antioxidant capacity of mango by-products extracts. *Food and Bioproducts Processing, 127*, 212-224. https://doi.org/10.1016/j.fbp.2021.03.002

Choudhary, P., Devi, T.B., Tushir, S., Kasana, R.C., Popatrao, D.S., & Narsaiah, K. (2023). Mango seed kernel: A bountiful source of nutritional and bioactive compounds. *Food and Bioprocess Technology, 16*, 289-312, https://doi.org/10.1007/s11947-022-02889-y

Chen, M. L., Yang, D. J., & Liu, S. C. (2011). Effects of drying temperature on the flavonoid, phenolic acid and antioxidative capacities of the methanol extract of citrus fruit (*Citrus sinensis* (L.) Osbeck) peels. *International Journal of Food Science and Technology*, *46*, 1179–1185. https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2011.02605.x

Chen S., Chen J., Huang W., & Chen H. (2009). Fermentation process development for hyaluronic acid production by *Streptococcus equi* subsp. *zooepidemicus* ATCC 39920. *Korean Journal of Chemical Engineering, 26*, 428-432.

Contreras-Mendoza, J. (2019). Producción de ácido hialurónico por *Streptococcus equi* subsp. *zooepidemicus* a partir de hidrolizados de subproductos de mango variedad Haden. Tesis de Maestría en Ciencias. Centro Universitario de Ciencias Exactas e Ingenierías, Universidad de Guadalajara, Jalisco, México.

da Silva Sauthier, M.C., da Silva, E.G.P., da Silva Santos, B.R., Silva, E.F.R., da Cruz Caldas, J., Cavalcante Minho, L.A., dos Santos, A.M.P., & dos Santos, W.N.L. (2018). Screening of *Mangifera indica* L. functional content using PCA and neural networks (ANN). *Food Chemistry, 273*, 115–123. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.01.129

Dessinioti, C., & Katsambas, A.D. (2010). The role of *Propionibacterium acnes* in acne pathogenesis: facts and controversies. *Clinics in Dermatology, 28*, 2–7. https://doi.org/10.1016/j.clindermatol.2009.03.012

Du, S., Liu, H., Lei, T., Xie, X., Wang, H., He, X., Tong, R., & Wang, Y. (2018). Mangiferin: An effective therapeutic agent against several disorders (Review). *Molecular Medicine Reports, 18*, 4775–4786. https://doi.org/10.3892/mmr.2018.9529

FAO (2023). Major Tropical Fruits Market Review – Preliminary results 2022. Rome.

Ibarra-Morales, D., Escandón-Pérez, S., Fierro-Arias, L., & Bonifaz, A. (2019). Reclasificación de *Propionibacterium acnes* a *Cutibacterium acnes*. *Dermatologia, 63*, 98–100.

Jahurul, M.H.A., Zaidul, I.S.M., Ghafoor, K., Al-Juhaimi, F.Y., Nyam, K.-L., Norulaini, N.A.N., Sahena, F., Mohd & Omar, A.K. (2015). Mango (*Mangifera indica* L.) by-products and their valuable components: a review. *Food Chemistry,* 183, 173–80. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.03.046

Khalifa, I., Zhu, W., Li, K.K., & Li, C.M. (2018). Polyphenols of mulberry fruits as multifaceted compounds: Compositions, metabolism, health benefits, and stability—A structural review. *Journal of Functional Foods, 40*, 28–43. https://doi.org/10.1016/j.jff.2017.10.041

Lesjak, M., Beara, I., Simin, N., Pintać, D., Majkić, T., Bekvalac, K., Orčić, D., & Mimica-Dukić, N. (2018). Antioxidant and anti-inflammatory

activities of quercetin and its derivatives. *Journal of Functional Foods, 40*, 68–75. https://doi.org/10.1016/j.jff.2017.10.047

Martínez-Ramos, T., Benedito-Fort, J., Watson, N. J., Ruiz-López, I. I., Che-Galicia, G., & Corona-Jiménez, E. (2020). Effect of solvent composition and its interaction with ultrasonic energy on the ultrasound-assisted extraction of phenolic compounds from Mango peels (*Mangifera indica* L.). *Food and Bioproducts Processing, 122*, 41–54. https://doi.org/10.1016/j.fbp.2020.03.011

Mugwagwa, L. R., Chimphango, A. F. A. (2019). Box-Behnken design based multi-objective optimisation of sequential extraction of pectin and anthocyanins from mango peels. *Carbohydrate Polymers, 219*, 29–38, https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2019.05.015

Nguyen, N.M.P., Le, T.T., Vissenaekens, H., Gonzales, G.B., VanCamp, J., Smagghe, G., Raes, K. (2019). In vitro antioxidantactivity and phenolic profiles of tropical fruit by-products. *International Journal of Food Science and Technology, 54*, 1169–1178,http://dx.doi.org/10.1111/ijfs.14093.

Ogé, L.K., Broussard, A., Marshall, M.D. (2019). Acne vulgaris: Diagnosis and treatment. *American Family Physicians, 100*, 475–484.

Panorama Agroalimentario (2022). https://nube.siap.gob.mx/gobmx_publicaciones_siap/pag/2022/Panorama-Agroalimentario-2022

Pires, A., Macedo, A., Eguchi, S., & Santana, M. (2010). Microbial production of hyaluronic acid from agricultural resource derivatives. B*ioresource Technology, 101*, 6506-6509.

Poomanee, W., Chaiyana, W., Mueller, M., Viernstein, H., Khunkitti, W., & Leelapornpisid, P. (2018). In-vitro investigation of anti-acne properties of *Mangifera indica* L. kernel extract and its mechanism of action against *Propionibacterium acnes*. *Anaerobe*, *52*, 64–74. https://doi.org/10.1016/j.anaerobe.2018.05.004

Sánchez-Mesa, N., Sepúlveda-Valencia, J.U., Ciro-Velásquez, H.J., & Meireles, M.A. (2020). Bioactive compounds from mango peel (*Mangifera indica* L. var. Tommy Atkins) obtained by supercritical fluids and pressurized liquids extraction. *Revista Mexicana de*

*Ingeniería Química, 19*, 755–766. https://doi.org/10.24275/rmiq/Alim657

Sekar, V., Chakraborty, S., Mani, S., Sali, V.K., & Vasanthi, H.R. (2019). Mangiferin from *Mangifera indica* fruits reduces post-prandial glucose level by inhibiting α-glucosidase and α-amylase activity. *South African Journal of Botany, 120*, 129–134. https://doi.org/10.1016/j.sajb.2018.02.001

SIAP (2023). Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. http://infosiap.siap.gob.mx:8080/agricola_siap_gobmx/ResumenProducto.do.

Siddiq, M., Sogi, D., & Dolan, K. (2013). Antioxidant properties, total phenolics, and quality of fresh-cut Tommy Atkins mangoes as affects by different pre-treatments. *LWT –Food Science and Technology, 53*, 156–162.

Sogi, D.S., Siddiq, M., Greiby, I., & Dolan, K.D. (2013). Total phenolics, antioxidant activity, and functional properties of 'TommyAtkins' mango peel and kernel as affected by drying methods. *Food Chemistry, 141*, 2649–2655, http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.05.053

Sudha, M.L., Indumathi, K., Sumanth, M.S., Rajarathnam, S., & Shashirekha, M.N. (2015). Mango pulp fibre waste: characterization and utilization as a bakery product ingredient. *Journal of Food Measurement and Characterization, 9*, 382–388. https://doi.org/10.1007/s11694-015-9246-3

Tharanathan, R.N., Yashoda, H.M., & Prabha T.N. (2006). Mango (*Mangifera indica* L.), The King of Fruits—An Overview. *Food Reviews International, 22*, 95-123.

Trautwein, E.A., & Demonty, I. (2007). Phytosterols: natural compounds with established and emerging health benefits. *Oilseeds and fats, Crops and Lipids, 14*, 259-266. http://dx.doi.org/10.1051/ocl.2007.0145

Vilela, C., Santos Sónia, A. O., Oliveira L., Camacho, J. F., Cordeiro, N., Freirea, C.S.R, & Silvestre-Armando, J.D. (2013). The ripe pulp of *Mangifera indica* L.: A rich source of phytosterols and other lipophilic phytochemicals. *Food Research International, 54*, 1535-1540.

Wootton-Beard, P. C., Moran, A., & Ryan, L. (2011). Stability of the total antioxidant capacity and total polyphenol content of 23 commercially available vegetable juices before and after in vitro digestion measured by FRAP, DPPH, ABTS and Folin-Ciocalteu methods. *Food Research International, 44*, 217–224. https://doi.org/10.1016/j.foodres.2010.10.033

Yi, J., Li, S., Wang, C., Cao, N., Qu, H., Cheng, C., Wang, Z., Wang, L., & Zhou, L. (2019). Potential applications of polyphenols on main ncRNAs regulations as novel therapeutic strategy for cancer. *Biomedicine & Pharmacotherapy, 113*, 108703. https://doi.org/10.1016/j.biopha.2019.108703

Zhou, T., Xu, D. P., Lin, S. J., Li, Y., Zheng, J., Zhou, Y., Zhang, J. J., Li, H. Bin, & Chatel, G. (2017). Ultrasound-assisted extraction and identification of natural antioxidants from the fruit of *Melastoma sanguineum* Sims. *Molecules, 22*, 1–15. https://doi.org/10.3390/molecules22020306

# Capítulo 18

# Diagnóstico sanitario de tilapia cultivada en granjas rurales de Guerrero, Oaxaca y Chiapas

*Selene M. Abad-Rosales[1], Rodolfo Lozano-Olvera[1], Francis I. Marrujo-López[1], Karla G. Aguilar-Rendon, Rosa M. Medina-Guerrero[1], Francisco N. Morales-Serna[2], Emma J. Fajer-Ávila[1], Sonia Soto-Rodríguez, María Cristina Chávez-Sánchez*

**Resumen**

Los cultivos de tilapia pueden ser afectados por microorganismos patógenos. Quizá esta problemática es más reconocida en granjas grandes; sin embargo, las pequeñas no están exentas. El objetivo de este estudio fue realizar un diagnóstico sanitario en cultivos de tilapia de Guerrero, Oaxaca y Chiapas. En 2018 y 2019 se muestrearon 73 granjas rurales; además, en 2022 se realizó un muestreo participativo en comunidades de los tres estados. Las muestras se procesaron para determinar la presencia de parásitos y bacterias patógenas y daños histológicos en diferentes órganos. Una de las bacterias que se encontró con mayor frecuencia fue *Streptococcus agalactiae*. En la mayoría de las granjas los peces estuvieron parasitados por tricodinas y monogeneos con prevalencia alta, pero intensidad baja. El análisis histológico reveló diversos signos patológicos como inflamación, desarrollo de centros melanomacrófagos y de granulomas. Estos resultados indican que en las granjas rurales la tilapia vive bajo un estado de estrés constante y es susceptible a enfermedades infecciosas. Aquí se presentan

[1] Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A.C., Av. Sábalo-Cerritos s/n, Mazatlán, México 82112.

[2] Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, Universidad Nacional Autónoma de México, Av. Joel Montes Camarena s/n, Mazatlán, México 82040
efajer@ciad.mx

algunas recomendaciones que podrían ayudar a los productores a mejorar las condiciones de cultivo.

*Palabras clave:* Parásitos; bacterias; histopatología; acuicultura; sanidad

## Introducción

A nivel mundial, uno de los peces que más se cultiva es la tilapia (*Oreochromis* spp.). Existen granjas de tilapia que son muy grandes y, por lo tanto, muy productivas y rentables. También hay muchas granjas pequeñas, que constan generalmente de 2 a 5 tanques chicos (Figura 1), aun así estas granjas ayudan al desarrollo rural sostenible ya que son una fuente de alimento y empleo (Zongli *et al.*, 2017). Al estar localizadas en zonas rurales, muchas veces de difícil acceso, las granjas pequeñas reciben poca atención por parte de expertos en sanidad e inocuidad acuícola.

Figura 1. Granjas rurales de tilapia de los estados de Guerrero y Oaxaca, México

Los cultivos de tilapia no están a salvo de problemas causados por organismos patógenos, tales como bacterias, virus, hongos y parásitos. Entre las bacterias que más afectan a la tilapia cultivada están las especies de *Aeromonas, Edwardsiella, Francisella, Pseudomonas, Staphylococcus, Streptococcus* y *Vibrio.* Particularmente, las infecciones por *Francisella noatunensis* subsp. *orientalis* son una de las enfermedades emergentes más importantes en la tilapia cultivada a nivel mundial (Soto *et al.*, 2013). Varias especies de *Aeromonas*, tales como *A. sobria*, *A. dhakensis* y *A.*

*veronii* pueden causar septicemia (Li & Cai, 2011; Dong *et al.*, 2015; Soto *et al.*, 2018). Los peces afectados por *Aeromonas* muestran oscurecimiento en la piel, ojos saltados (exoftalmia), anorexia, áreas hemorrágicas o úlceras en la base de las aletas pectorales y ventrales y en la región ocular (Soto *et al.*, 2018). La estreptococosis es una enfermedad re-emergente causada principalmente por *Streptococcus iniae* y *S. agalactiae* que puede causar mortalidad masiva en los cultivos de tilapia alrededor del mundo (Maulu *et al.*, 2021); adicionalmente, estos patógenos bacterianos pueden transmitirse a las personas y causar dermatitis. Las tilapias enfermas por bacterias muestran una variedad de signos clínicos, que en la mayoría de los casos no se relacionan con una enfermedad en particular (Figura 2). Entre los signos clínicos podemos observar pérdida del apetito, exoftalmia, oscurecimiento de la piel, descamación, nado errático, exceso de mucus y hemorragias en diferentes partes del organismo.

Figura 2. a) Tilapia con descamación y hemorragias en piel y ojo. b) Tilapia con quistes en aleta dorsal

Si hablamos de parásitos, la tilapia en cultivo es afectada principalmente por unos gusanos muy pequeños llamados monogeneos y por unos protozoos ciliados llamados tricodinas. Estos parásitos pueden causar lesiones en la piel, aletas y branquias, provocando molestias en los peces en los primeros estadios de vida. Si los peces llegan a tener muchos de estos parásitos pueden enfermarse, crecer lento, dejar de comer, comportarse de forma extraña e incluso morir. En México se ha investigado poco acerca de la presencia de tricodinas y monogeneos, así como sus efectos en la salud

de la tilapia en granjas rurales. No obstante, aunque pocos, existen trabajos como el de Paredes-Trujillo *et al*. (2021), quienes determinaron que en granjas de Yucatán los parásitos tienen un impacto negativo en la salud de la tilapia. Además, estos investigadores señalaron que los parásitos podrían disminuir las ganancias en 15 % por cada tonelada de tilapia.

Para evitar en lo posible la aparición de enfermedades infecciosas, se deben aplicar las buenas prácticas de manejo durante el cultivo de la tilapia. Estas prácticas consisten en: a) adquirir tilapias (huevos, crías y adultos) solamente si hay un certificado que garantice que no están infectados con algún patógeno; b) ubicar las granjas lejos de fuentes de contaminación de plaguicidas, aguas negras, metales pesados etc.; c) limpiar las instalaciones y cuidar la higiene del personal; d) limpiar y desinfectar los instrumentos de trabajo tales como redes, cubetas, lanchas, equipos de medición etc., e) evitar la presencia de otros animales en la granja porque contaminan con sus heces y orines; f) evitar el uso de químicos que contaminen el agua, suelo y peces; g) usar agua y hielo potable para limpiar y empacar las tilapias a la venta y h) proporcionar a los peces el mejor alimento, la mejor calidad de agua y el menor manejo para evitar que se estresen y enfermen.

Bajo este contexto, es importante establecer protocolos de monitoreo o vigilancia que permitan detectar problemas de salud en la tilapia. Estos protocolos incluyen estudios bacteriológicos, parasitológicos e histopatológicos de órganos y tejidos de los peces para determinar la existencia de patógenos que no se pueden observar a simple vista, sino que se requiere del uso de técnicas y equipos especiales para su observación. Esto ayudaría a tomar decisiones informadas basadas en datos para mejorar las medidas de prevención o control de enfermedades en la tilapia cultivada.

El presente estudio tuvo como objetivo hacer el diagnóstico del estado de salud de las tilapias que son cultivadas por productores rurales de Guerrero, Oaxaca y Chiapas con el fin de apoyarlos para reducir los riesgos de enfermedades, incrementar su producción, y obtener productos inocuos de manera sustentable.

## Materiales y métodos

### *Trabajo de campo*

Entre agosto 2018 y noviembre 2019, con el apoyo de los Comités de Sanidad Acuícola de cada estado, se obtuvieron muestras de tilapia (*Oreochromis niloticus*) de un total de 73 granjas ubicadas en diferentes regiones de Guerrero, Oaxaca y Chiapas (Figura 3). Estas muestras se destinaron para análisis histopatológicos, bacteriológicos y parasitológicos. Además, en 2020 se muestrearon cuatro granjas de Oaxaca, específicamente de Cosolapa, Ocotlán, Tuxtepec y Valle Nacional; estas muestras se destinaron sólo para análisis bacteriológicos.

Figura 3. Zonas de muestreo en granjas de tilapia en los estados de Guerrero, Oaxaca y Chiapas de la región sur de México

En cada granja se obtuvieron al azar entre 6 y 15 peces, los cuales se sacrificaron mediante punción cerebral (OIE 2022) para obtener muestras de mucus y de los distintos tejidos y órganos (Figuras 4 y 5). El mucus de todo el cuerpo y aletas se retiró con la hoja de un bisturí, se depositó en portaobjetos y se dejó secar a temperatura ambiente para la posterior búsqueda de parásitos.

Figura 4. a) Obtención de mucus de la aleta caudal mediante raspado con la hoja de un bisturí. b) El mucus se extiende a lo largo de laminillas (portaobjetos) de vidrio

Los arcos branquiales del lado derecho y las aletas se removieron y preservaron en alcohol al 96% para su posterior análisis parasitológico. Una parte de cada órgano interno (i.e., hígado, riñón, bazo, estómago, corazón, ojos, secciones de intestino y arcos branquiales del lado izquierdo) se fijaron en formalina para su posterior análisis histológico. Otra parte (hígado, bazo, riñón y cerebro) se fijó en alcohol al 96% para la detección de bacterias mediante métodos moleculares.

Figura 5. a) Equipo de trabajo en campo. b) Disección y observación de órganos internos de la tilapia

## Trabajo de laboratorio

### *Análisis bacteriológico*

Las muestras de órganos internos (hígado, bazo, riñón y cerebro) fijadas en alcohol al 96% se procesaron para la detección molecular de bacterias patógenas, particularmente *Francisella* sp. con la técnica de reacción en cadena de la polimerasa (PCR) punto final en un termociclador SimpliAmp Thermal Cycler (Applied Biosystems®) y *Aeromonas* sp., *Streptococcus iniae, Streptococcus agalactiae* y *Staphylococcus* sp. con la técnica de PCR tiempo real (qPCR) en un termociclador CFX96 Touch Real-Time PCR Detection System (BioRad). Para tal fin, a cada muestra se le extrajo el ADN genómico mediante el método de buffer bromuro de hexadeciltrimetilamonio (CTAB). La calidad y cantidad de ADN se determinó mediante el uso de un espectrofotómetro (DeNovix, DS-11).

### Detección de *Francisella* sp

Para detectar esta bacteria empleamos las recomendaciones de Forsman *et al*. (1994). Los productos de PCR se sometieron a electroforesis en geles de agarosa de 1.0 % a 120 V durante 30 min y se visualizaron en un sistema de documentación en gel (AxygenTM Gel). Como control positivo se utilizó ADN genómico de *F. noatunensis* subsp. *orientalis* donada por el Dr. Esteban

Soto de la Universidad de California (Davis, EEUU). El ADN se mantuvo almacenado a -20°C en un congelador del CIAD Unidad Mazatlán.

**Detección de *Aeromonas* sp., *Streptococcus iniae, Streptococcus agalactiae y Staphylococcus* sp.**

La detección molecular de *Aeromonas* sp. se realizó siguiendo la metodología propuesta por Pridgeon *et al*. (2011). Se utilizó como control positivo ADN de la cepa CAIM 1873 *Aeromonas dhakensis*. La detección de *S. iniae* se realizó de acuerdo a Zhou *et al*. (2011). Como control positivo se utilizó ADN de la cepa tipo *Streptococcus iniae* CAIM 527$^{T}$. El protocolo de amplificación para la detección de *S. agalactiae* se basa en la metodología modificada por Berridge *et al.* (2001). Como control positivo se utilizó ADN de la cepa *Streptococcus agalactia*e Tw346/18 (serotipo 1b) proporcionada por el Dr. Gustavo Ramírez. La detección de *Staphylococcus* sp. se hizo de acuerdo a Drancourt y Raoult (2002). Como control positivo se utilizó ADN de la cepa *Staphylococcus gallinarum* CAIM 659. Todas las cepas utilizadas como controles positivos se encuentran criopreservadas a -80°C y pertenecen a la colección de cepas CAIM del CIAD Unidad Mazatlán.

***Análisis parasitológico***

Las muestras de mucus se tiñeron con nitrato de plata siguiendo la técnica de impregnación argéntica de Klein de Lom y Dykova (1992). Después se observaron con un microscopio a una magnificación de 1000x para la búsqueda y cuantificación de tricodinas. Las muestras de branquias se observaron cuidadosamente bajo un estereomicroscopio para la búsqueda y cuantificación de monogeneos. Con una cámara digital acoplada al microscopio se tomaron fotografías de tricodinas que estuvieran bien teñidas para su identificación a nivel de especie con base en el tamaño y forma de sus dentículos y disco adhesivo. En el caso de los monogeneos, de cada granja se tomó una submuestra aleatoria de 50 especímenes, a los cuales se les aplicó proteinasa K para digerir el tejido blando y exponer los ganchos y aparato copulador, los cuales se observaron con un microscopio para analizar su forma e identificar especies.

Tanto para las tricodinas como para los monogeneos se calculó su prevalencia e intensidad mediana de infección en cada granja. La prevalencia es el porcentaje de peces infectados con cada grupo de parásitos. La intensidad mediana se calcula tomando en cuenta sólo los peces infectados y es el número central que se obtiene al disponer en orden de magnitud el número de parásitos de cada pez.

***Análisis histopatológico***

Los tejidos fueron procesados por el método histológico convencional de Tonguthai *et al*. (1999). Se obtuvieron secciones de cinco micrómetros de cada tejido con un micrótomo manual (Leica RM2125RT) y se tiñeron con hematoxilina-eosina-floxina (H&E) para diferenciar los componentes celulares. Dichas secciones se observaron al microscopio (OLYMPUS CX41) para identificar alteraciones en tejidos de los peces analizados. Cada alteración detectada fue registrada en una base de datos para determinar su prevalencia. Las alteraciones representativas fueron documentadas con una cámara (QIMAGING) en objetivos de 10x, 40x y 60x.

Se identificaron las alteraciones más frecuentes en los peces y se calculó su prevalencia con base al número de casos identificados durante el periodo de estudio. Para esto, se dividió el número total de los peces con alteraciones entre el total de organismos revisados y luego se multiplicó por 100 para representar el resultado en porcentaje.

***Trabajo participativo***

Durante 2022 se desarrolló un taller de trabajo participativo para fortalecer las competencias de los productores sobre la identificación de signos clínicos en tilapias, la relevancia del uso de las Buenas Prácticas de Inocuidad para asegurar la calidad de su producto y concientizar a la población de los riesgos de enfermedades para el consumidor; el cuidado de los estándares de calidad requeridos en el mercado nacional e internacional y, finalmente, se capacitó para que los mismos productores realizaran el muestreo de órganos y tejidos para envío a revisión del estado de salud de sus tilapias. Este

trabajo se realizó en las comunidades de Acapulco (Guerrero), Palomares (Matías Romero, Oaxaca), y Rosendo Salazar (Cintalapa, Chiapas). Los productores se comprometieron a que una vez al mes durante los siguientes tres meses repetir el muestreo de forma independiente y enviar las muestras para su procesamiento a los laboratorios del CIAD Unidad Mazatlán. Las muestras fueron procesadas para su análisis histológico, parasitológico y bacteriológico, como se describió previamente. Los resultados de los análisis fueron socializados con los productores mediante reuniones presenciales y virtuales.

## Resultados y discusión

### *Bacteriología*

Durante el muestreo que se realizó en 2018, las granjas de Oaxaca y Chiapas presentaron la mayor prevalencia de *S. agalactiae* (Figura 6a), uno de los patógenos más peligrosos para el cultivo de tilapia. En 2019 de nuevo Oaxaca presentó la mayor prevalencia de este patógeno, aunque también encontramos *Staphylococcus* al igual que en Chiapas (Figura 6b). Las muestras de Oaxaca obtenidas en 2020 presentaron una alta prevalencia (64%) de *Staphylococcus* (Figura 6c), mientras que el resto de los patógenos no fueron detectados. En 2022 se detectó de nuevo *S. agalactiae* en las granjas de los tres estados, donde Guerrero registró la mayor prevalencia (Figura 6d). En este año también se detectó *Staphylococcus* en los tres estados, pero con menor prevalencia.

Figura 6. Patógenos bacterianos detectados por PCR en el periodo de cuatro años en Guerrero, Oaxaca y Chiapas

La detección de *S. agalactiae* constituye un riesgo sanitario debido a que esta bacteria es de difícil erradicación de los cultivos. Este tipo de bacteria puede transmitirse por el agua. El desarrollo de estreptococosis causada por esta bacteria en tilapia generalmente sucede cuando las temperaturas del agua son mayores de 30°C, aspecto difícil de controlar, sobre todo en los cultivos en jaulas flotantes. Otro aspecto importante a considerar es que esta bacteria puede transmitirse al humano a través del contacto directo con las tilapias enfermas y puede causar dermatitis.

### *Parasitología*

Los parásitos fueron encontrados prácticamente en todas las granjas de tilapia. En 2018 y 2019, de las 73 granjas muestreadas en 52 presentaron tricodinas y en 68 con monogeneos en una prevalencia variada (Tabla 1). En Guerrero, en 15 de 25 granjas no hubo tricodinas y en las que sí hubo la prevalencia fue generalmente < 50%, sólo una granja tuvo una prevalencia del 80%, con valores de intensidad mediana de 1 a 23 tricodinas por pez.

Por el contrario, los monogeneos se encontraron prácticamente en todas las granjas, con prevalencia alta (>80%) en 9 granjas, pero valores de intensidad mediana bajos (de 2 a 15 monogeneos por pez) en la mayoría de los casos, excepto una granja en 2018 con un promedio de 250 monogeneos por pez.

Tabla 1. Prevalencia e intensidad mediana mínima y máxima de tricodínidos y monogeneos en granjas de tilapia en Guerrero,Oaxaca y Chiapas. Modificado de Osuna-Cabanillas et al. (2022)

| Número de Granjas | Estado | Año | P (%) Tricodínidos | IM Tricodínidos | P (%) Monogeneos | IM Monogeneos |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 13 | Guerrero | 2018 | 0-80 | 0-23 | 0-93 | 0-250 |
| 12 | Oaxaca | 2018 | 0-73 | 0-4.5 | 70-100 | 4-130 |
| 12 | Chiapas | 2018 | 0-100 | 0-155 | 7-100 | 2-140 |
| 12 | Guerrero | 2019 | 0-17 | 0 | 17-100 | 2-15 |
| 12 | Oaxaca | 2019 | 17-100 | 0-34.5 | 17-100 | 3-298 |
| 12 | Chiapas | 2019 | 0-83 | 0-4 | 0-100 | 0-2754 |

En Oaxaca y Chiapas los peces de casi todas las granjas tuvieron tanto tricodinas como monogeneos. La prevalencia de tricodinas fue muy variada (de 0 a 100%) y la prevalencia de monogeneos fue del 100% en 12 granjas de 24 que se muestrearon en cada estado. Respecto a la intensidad mediana, los valores fueron generalmente bajos, aunque en una granja de la Mixteca, Oaxaca, se observó una intensidad mediana de casi 300 monogeneos por pez y hubo un caso extremo en la parte norte de Chiapas con casi 3000 monogeneos por pez. Estos resultados sugieren que los parásitos se dispersan fácilmente entre las granjas rurales, lo cual podría deberse al transporte de peces vivos infectados, densidad alta de siembra y falta de limpieza de las unidades de cultivo, pero puede haber otras causas. Por ejemplo, en Yucatán, Paredes-Trujillo *et al*. (2016) observaron que hubo más monogeneos en las granjas con poco recambio de agua y elevadas concentraciones de amonio en el agua.

En total se identificaron seis especies de *Trichodina*, siendo *Trichodina compacta* la especie más común en los tres estados. Esta especie es capaz de causar daños en los tejidos de los peces, provocando molestias y alteraciones en el sistema inmune (Abdelkhalek *et al.*, 2018; Khallaf *et al.*, 2020). En cuanto a monogeneos, se identificaron un total de nueve especies, siendo *Cichlidogyrus sclerosus* y *C. tilapiae* las especies más comunes en los tres estados. Los *Cichlidogyrus* no son reconocidos como causantes de enfermedades; sin embargo, otros estudios han encontrado que su presencia puede causar lesiones en las branquias y anemia en la tilapia (Igeh y Avenant-Oldewage, 2020; Aguirre-Fey *et al*., 2015). Por lo tanto, el hallazgo de tricodinas y monogeneos en la mayoría de las granjas no debe ignorarse, sino considerarse como una alarma que está dando aviso de posibles riesgos de salud en los peces cultivados.

Las muestras de 2022 indicaron que los parásitos están presentes durante todo el ciclo de producción, las tricodinas con prevalencia e intensidades bajas y los monogéneos con intensidades bajas (en promedio 10 monogeneos por pez), pero prevalencia alta de 80 a 100%.

***Histopatología***

El análisis histológico reveló alteraciones en los tejidos que incluyen diversas patologías. En los peces de Chiapas, el hígado fue el más afectado por muerte celular (necrosis) (Figura 7a), con baja severidad, pero alta prevalencia (65% de los peces), acompañado por una respuesta inflamatoria en el 95% de los peces. Le secundó el sistema respiratorio (branquias), afectando en el 98% de los organismos por hiperplasia (Figura 7b) y con inflamación en el 94% de los organismos. Por último, el bazo, encargado de la producción de sangre, mostró la presencia de centros de melanomacrófagos en el 93% de los organismos, además de granulomas en 28% de los organismos.

**Figura 7. Histopatología de las tilapias de Chiapas. a) Células del hígado (hepatocitos) con muerte celular (flechas). b) Branquias con hiperplasia (incremento anormal del número de células) afectando la capacidad respiratoria (flechas)**

En los peces de Guerrero, el riñón fue el que tuvo la mayor prevalencia (51%) de daño por muerte celular (necrosis), acompañado de granulomas en 42% de los peces (Figura 8a) y de procesos degenerativos como dilatación glomerular y degeneración hialina en un 51 y 42% respectivamente. La hiperplasia e inflamación se detectaron en alta prevalencia (97% de peces) en las branquias. El bazo mostró la presencia de centros de melanomacrófagos en el 88% de los casos. Fue posible detectar una respuesta inflamatoria de origen desconocido en el sistema digestivo (Figura 8b) afectando a 85% de los peces.

**Figura 8. Histopatología de las tilapias de Guerrero. a) Granuloma en el riñón (flecha). b) Inflamación en el estómago (flechas)**

En Oaxaca se presentó la prevalencia más baja de necrosis (33%) y fue detectada en el sistema digestivo; sin embargo, se detectó inflamación en este sistema (Figura 9a) en el 93% de los peces. Se identificaron problemas de hiperplasia en las branquias en el 100% de los organismos, además de quistes de epiteliocistis en el 55% de los peces (Figura 9b). El 96% de los bazos estudiados mostró la presencia de centros de melanomacrófagos, aunado a granulomas en un 31% de los peces revisados.

Figura 9. Histopatología de las tilapias de Oaxaca. a) Estómago con inflamación severa (flechas). b) Branquias con células hipertrofiadas a causa de bacterias, ocasionando la formación de quistes (flechas) a lo que se le conoce como epiteliocistis

Los peces analizados de los tres estados mostraron afectación del tracto digestivo (Figuras 8b y 9a); sin embargo, con la evidencia histológica no se logró identificar el o los agentes causantes de estas patologías, posiblemente debido a que se encontraban en baja severidad. Un porcentaje alto de los peces analizados mostraron signos patológicos como inflamación, desarrollo de centros melanomacrófagos y de granulomas, los cuales están asociados a una respuesta del sistema inmune para contrarrestar agentes dañinos bióticos y abióticos. En las branquias de los peces se detectaron parásitos, aunque con prevalencia baja, pero en más del 90% de los peces analizados se encontró hiperplasia e inflamación de filamentos branquiales. Como se describió anteriormente, el análisis parasitológico indicó que las branquias de casi todos los peces son infectadas por monogeneos; sin embargo, el método de fijación y procesamiento histológico parece influir

en la pérdida de estos parásitos, por lo que es probable que sólo se detecte el daño y no el parásito.

Las observaciones histopatológicas indicaron que, en las granjas de los tres estados, si bien las tilapias presentaron epiteliocistis, hubo además numerosas patologías cuyo origen aparentemente no fueron derivadas de virus, bacterias, hongos o parásitos, sino ocasionadas por otros factores estresantes (Abad-Rosales *et al.,* 2022). Las observaciones durante las visitas a las granjas nos indican que la causa probable podría ser la mala calidad del agua, problema que puede provocar que los organismos se debiliten y se enfermen; por lo que se recomienda que esta sea evaluada por alguna institución de investigación con el fin de dar recomendaciones para reducir este problema.

***Trabajo participativo***

Durante el taller participativo el personal académico del CIAD capacitó a pequeños productores rurales de tilapia de Guerrero, Oaxaca y Chiapas con un curso diseñado para impulsar el desarrollo productivo y la seguridad alimentaria. Se consideraron en el diseño las características locales de cultivo y las necesidades específicas de las granjas de peces. Este acercamiento participativo con las comunidades del sureste de México tuvo la finalidad de fortalecer sus conocimientos y habilidades técnicas en aspectos de sanidad e inocuidad de sus granjas productoras, además que la capacitación facilitó la comprensión de las necesidades de las propias granjas y su entorno ambiental. Los productores comprendieron, con base en herramientas sencillas de carácter didáctico, la importancia del seguimiento y constancia en la aplicación de las Buenas Prácticas de Sanidad e Inocuidad (Figura 10), y el beneficio a corto y largo plazo en relación al incremento de la producción acuícola, con miras en ventas en el mercado a nivel nacional e internacional.

Figura 10. Actividades didácticas sobre importancia de las buenas prácticas de inocuidad durante taller participativo celebrado en marzo 2022 en Rosendo Salazar (Cintalapa, Chiapas) y Acapulco (Guerrero)

Además, con la finalidad de fomentar y fortalecer el capital humano en producción de tilapia, se logró la incorporación y participación de las nuevas generaciones de productores de tilapias, cuya edad iba desde los 12 años. Cabe mencionar que dentro del programa no sólo participaron productores de tilapia, pues también se invitó a líderes locales y a instituciones académicas, entre otros, con el fin de establecer redes de colaboración local, indispensables en el intercambio de conocimientos técnicos y para asegurar un mayor impacto y arraigo del aprendizaje en cada región (Figura 11).

Figura 11. Participación del personal invitado durante el intercambio de conocimiento en un taller participativo celebrado en marzo 2022 en Palomares (Matías Romero, Oaxaca)

La continuidad en este tipo de trabajos permitió que los productores de zonas rurales adquieran más conocimientos para la atención y prevención de enfermedades de sus peces de cultivo. Se espera que la presencia de actores locales reproduzca el método de transferencia de conocimientos e impacte favorablemente en la producción acuícola y la seguridad alimentaria (Figura 12).

Figura 12. Productores rurales, líderes locales e instituciones académicas invitadas y participación durante los talleres impartidos celebrados en marzo 2022 en Guerrero, Oaxaca y Chiapas

## Recomendaciones

Los productores deben asegurarse de adquirir alevines libres de agentes patógenos, como bacterias y parásitos. Para tratar de evitar o disminuir las enfermedades bacterianas o parasitarias en las tilapias cultivadas, se recomienda disminuir la densidad de siembra, aumentar los recambios de agua y vigilar estrictamente cualquier comportamiento anormal que se observe en los peces. En caso de detectar parásitos, se pueden aplicar baños de agua con sal. Para controlar las enfermedades bacterianas se pueden aplicar antibióticos, pero solamente bajo indicaciones de un especialista para saber el tipo y cantidad de antibiótico que se debe usar y por cuánto tiempo. Antes de aplicar antibióticos, es necesario tener un diagnóstico clínico. En caso de observar un comportamiento anormal en los peces, avisar inmediatamente a personal de campo de los comités de sanidad estatales para la colecta y análisis de muestras de tilapias enfermas.

## Conclusiones

Los resultados de este estudio indican que la tilapia cultivada en granjas rurales de Guerrero, Oaxaca y Chiapas se encuentra bajo un estrés constante. Si bien los parásitos detectados no son patógenos serios, su presencia es un factor de estrés. Además, demostramos que la presencia de bacterias patógenas es prevalente. Los análisis histológicos sugieren que en el medio de cultivo existen otros factores de estrés, quizá agentes tóxicos en el agua o en el alimento de los peces.

## Agradecimientos

A los Comités de Sanidad Acuícola de los estados de Chiapas, Guerrero y Oaxaca, México. A la M en C Julissa Enciso Ibarra por su apoyo técnico durante la implementación de las técnicas moleculares. A Circe Romero por su apoyo durante el trabajo participativo. A Juan M. Osuna Cabanillas y Selena Camacho Zepeda por su colaboración en la identificación de parásitos.

## Referencias

Abad-Rosales, S., Lozano-Olvera, R. & Chávez-Sánchez, M. (2022). Epitheliocystis prevalence and histopathological alterations in gills of Nile tilapia *Oreochromis niloticus* Linnaeus cultured in southwestern Mexico. *Latin American Journal of Aquatic Research, 50*(3), 439-450.

Abdelkhalek, N., El-Adl, M., Salama, M.F., Elmishmishy, B., Ali, M., El-Asharam, A., *et al*. (2018). Molecular identification of *Trichodina compacta* Van As and Basson, 1989 (Ciliophora: Peritrichia) from cultured *Oreochromis niloticus* in Egypt and its impact on immune responses and tissue pathology. *Parasitology Research, 117,* 1907-1914.

Aguirre-Fey, D., Benítez-Villa, G., Pérez-Ponce de León, G., & Rubio-Godoy, M. (2015). Population dynamics of *Cichlidogyrus* spp. and

*Scutogyrus* sp. (Monogenea) infecting farmed tilapia in Veracruz, México. *Aquaculture, 443*, 11-15.

Berridge, B.R., Bercovier, H., & Frelier, P.F. (2001). *Streptococcus agalactiae* and *Streptococcus difficile* 16S-23S intergenic rDNA: genetic homogeneity and species-specific PCR. *Veterinary Microbiology, 78 (2)*, 165-173.

Dong, H., Nguyen, V., Le, H., Sangsuriya, P., Jitrakorn, S., Saksmerprome, V., Senapin, S. & Rodkhum, C. (2015). Naturally concurrent infections of bacterial and viral pathogens in disease outbreaks in cultured Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) farms. *Aquaculture*, *448*, 427-435.

Drancourt, M. & Raoult, D. (2002). rpoB gene sequence-based identification of *Staphylococcus* species. *Journal of Clinical Microbiology, 40*(4), 1333–1338.

Forsman, M., Sandstrom, G. & Sjostedt, A. (1994). Analysis of 16S ribosomal DNA sequences of *Francisella* strains and utilization for determination of the phylogeny of the genus and for identification of strains by PCR. *International Journal of Systematic Bacteriology, 44*(1), 38–46.

Igeh, P. C., & Avenant-Oldewage, A. (2020). Pathological effects of *Cichlidogyrus philander* Douëllou, 1993 (Monogenea, Ancyrocephalidae) on the gills of *Pseudocrenilabrus philander* (Weber, 1897) (Cichlidae). *Journal of Fish Diseases*, *43*(2), 177–184. https://doi.org/10.1111/jfd.13121

Khallaf, M., El-Bahrawy, A., Awad, A. & Elkhatam, A. (2020). Prevalence and histopathological studies of *Trichodina* spp. infecting *Oreochromis niloticus* in Behera Governorate Egypt. *Journal of Current Veterinary Research*, *2*(1), 1–7.

Li, Y. & Cai, S. (2011). Identification and pathogenicity of *Aeromonas sobria* on tail rot disease in juvenile tilapia *Oreochromis niloticus*. *Current Microbiology, 62*(2), 623– 627.

Lom, J. & Dyková, I. (1992). *Protozoan Parasites of Fishes*. Amsterdam: Elsevier.

Maulu, S., Hasimuna, O., Mphande, J. & Munang'andu, H. (2021). Prevention and control of streptococcosis in tilapia culture: a systematic review. *Journal of Aquatic Animal Health*, *33*(3), 162-177.

OIE (World Organisation for Animal Health) (2022). Chapter 7.3. Welfare aspects of stunning and killing of farmed fish for human consumption. *Aquatic Animal Health Code*. https://www.woah.org/en/what-we-do/standards/codes-and-manuals/aquatic-code-online-access/?id=169&L=1&htmfile=chapitre_welfare_stunning_killing.htm

Osuna-Cabanillas, J., Medina-Guerrero, R., Camacho-Zepeda, S., Morales-Serna, F.N. & Fajer-Ávila, E. (2022). Prevalencia e intensidad de tricodínidos y monogeneos en tilapia cultivada en el suroeste de México. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios, 9*(2), e3290, 2022.

Paredes-Trujillo, A., Velázquez-Abunader, I., Torres-Irineo, E., Romero, D., & Vidal-Martínez, V. M. (2016). Geographical distribution of protozoan and metazoan parasites of farmed Nile tilapia *Oreochromis niloticus* (L.) (Perciformes: Cichlidae) in Yucatán, México. *Parasites & Vectors*, *9*, 66.

Paredes-Trujillo, A., Velázquez, I., Papiol, V., del Rio-Rodríguez, R.E. & Vidal-Martínez, V. (2021). Negative effects of ectoparasite burdens on the condition factor from farmed tilapia *Oreochromis niloticus* in the Yucatan, Mexico. *Veterinary Parasitology, 292*, 109393

Pridgeon, J. & Klesius, P. (2011). Virulence of *Aeromonas hydrophila* to channel catfish *Ictaluras punctatus* fingerlings in the presence and absence of bacterial extracellular products. *Diseases of Aquatic Organisms*, *95*(3), 209–215.

Soto, E., Kidd, S., Mendez, S., Marancik, D., Reyan, F., Hiltchie, D. & Camus, A. (2013). *Francisella noatunensis* subsp. *orientalis* pathogenesis analyzed by experimental immersion challenge in Nile tilapia, *Oreochromis niloticus* (L.). *Veterinary Microbiology, 164*(1-2) ,77-84.

Soto-Rodríguez, S., Lozano-Olvera, R., Garcia-Gasca, M., Abad-Rosales, S., Gomez-Gil, B. & Ayala-Arellano, J. (2018). Virulence of the fish

pathogen *Aeromonas dhakensis*: genes involved, characterization and histopathology of experimentally infected hybrid tilapia. *Diseases of Aquatic Organisms, 129*(2), 107-116.

Tonguthai, K., Chinabut, S., Limsuwan, C., Somsiri, T., Chanratchakool, P. & Kanchanakhan, S. (1999). *Diagnostic Proceedures for Finfish Diseases, "Blue Book"*. Aquatic Animal Health Research Institute. Department of Fisheries, Bangkok

Zongli, Z., Yanan, Z., Feifan, L., Hui, Y., Yongming, Y. & Xinhua, Y. (2017). Economic efficiency of small-scale tilapia farms in Guangxi, China. *Aquaculture Economics & Management, 21*, 283-294.

Zhou, S., Fan, Y., Zhu, X., Xie, M. & Li, A. (2011). Rapid identification of *Streptococcus iniae* by specific PCR assay utilizing genetic markers in ITS rDNA. *Journal of Fish Diseases, 34*(4), 265–271.

# Capítulo 19

# Desarrollo de un alimento con insumos agrícolas y pesqueros de la región Pacífico Sur para aumentar la rentabilidad de los cultivos de tilapia

*Crisantema Hernández[1]*, Erika Yazmín Sánchez-Gutiérrez[1], Cynthia Esmeralda Lizárraga-Velázquez[2], Lizeth Carolina Flores-Méndez[1], Alondra Mesina-Peña[1]*

**Resumen**

El establecimiento de formulaciones óptimas de alimentos de alto rendimiento para tilapia reduce costos de producción y aumenta la rentabilidad del producto final. La región Pacífico Sur de México tiene una gran riqueza de ingredientes agrícolas y residuos pesqueros con potencial para incluirse en las formulaciones alimenticias existentes para tilapia y coadyuvar en la reducción de costos del alimento. Los objetivos de este trabajo fueron: 1) Evaluar las formulaciones alimenticias para tilapia con inclusión de insumos agrícolas (maíz, sorgo y soya) e hidrolizados de residuos pesqueros sobre el crecimiento y eficiencia alimenticia de tilapia cultivada a nivel laboratorio y 2) validar las fórmulas alimenticias a nivel piloto comercial en un cultivo de tilapia en jaulas en Chiapas. Los organismos alimentados con fórmulas con alto contenido en ingredientes agrícolas (sorgo, soya, maíz) e hidrolizados de residuos pesqueros presentaron mayor ganancia de peso (90.4 g) que los organismos alimentados con alimentos con baja inclusión de ingredientes agrícolas (73.8 g) ($P < 0.05$). El alimento con inclusión de

[1] Departamento de Acuacultura y Manejo Ambiental, Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A.C., Mazatlán, Sinaloa, México.
* chernandez@ciad.mx

[2] Instituto Tecnológico de Mazatlán, Calle Corsario 1 No. 203, Sinaloa, 82070, Mazatlán, México.

insumos agrícolas e hidrolizados de residuos pesqueros, disponibles o viables de producir en la región del Pacífico Sur promovieron el crecimiento de las tilapias cultivadas en jaulas (ganancia en peso 333.94 g) en comparación con las tilapias alimentadas con un alimento comercial (ganancia en peso 296.25). La eficiencia alimenticia no se afectó en ninguno de los cultivos (nivel laboratorio y piloto comercial). Las fórmulas alimenticias con inclusión de insumos agrícolas y residuos pesqueros disponibles en la región Pacífico Sur son eficientes para incrementar el crecimiento de la tilapia del Nilo cultivada a nivel piloto comercial y tienen potencial para disminuir los costos de producción de los cultivos de tilapia.

*Palabras clave:* Hidrolizados de residuos pesqueros, soya, sorgo, maíz, crecimiento.

## Introducción

En los estados de Guerrero, Chiapas y Oaxaca la acuacultura está basada principalmente en el cultivo de la tilapia o mojarra. A nivel nacional Chiapas ocupa el segundo lugar en producción de tilapia (33,520 ton); mientras que Guerrero (5,534 ton) y Oaxaca (1,093 ton), el octavo y décimo séptimo lugar, respectivamente. El cultivo de tilapia gris o mojarra es muy importante en estos estados debido a que su producción, además de satisfacer la demanda del mercado local, es utilizada para el autoconsumo. Sin embargo, los productores de tilapia enfrentan a problemas como la falta de tecnificación, de infraestructura, de capacitación y de altos costos de los alimentos balanceados, lo cual dificulta el incremento de la producción de la especie y, en consecuencia, el beneficio económico se reduce.

En acuacultura, el costo del alimento balanceado puede representar hasta el 60% de los costos operativos; por lo que cada vez es más grande la necesidad de producir alimentos balanceados efectivos de bajo costo, con inclusión de materias primas agrícolas y pesqueras que se encuentran disponibles en la región del Pacífico Sur (Guerrero, Chiapas y Oaxaca), con el fin de abaratar el costo del alimento sin afectar su calidad nutricional. Por

lo anterior, se ha puesto cada vez más atención al desarrollo de alimentos óptimos de bajo costo para tilapia, ya que es un pez de gran importancia en la cadena productiva del sector acuícola y pesquero de la región Pacífico Sur.

El establecimiento de formulaciones óptimas de alimentos de alto rendimiento desarrollados en México para tilapia reduciría costos y aumentaría la rentabilidad del producto final. Entonces, es prioritario evaluar las formulaciones existentes; los insumos locales de las regiones; y hacer alianzas viables con empresas productoras que optimicen costos y aseguren la calidad del producto. Por lo tanto, en este estudio se elaboraron fórmulas alimenticias de bajo costo con base en una patente de alimento para tilapia (registro MX/a/2015/016590), las cuales incluyeron insumos agrícolas (maíz, soya y sorgo) y residuos pesqueros de la región Pacífico Sur. Las fórmulas alimenticias de bajo costo fueron evaluadas en un experimento con tilapias del Nilo *(Oreochromis niloticus) cultivadas a nivel laboratorio para probar su efectividad sobre el crecimiento y la eficiencia alimenticia. Finalmente, las fórmulas con mejores resultados en crecimiento fueron validadas a escala piloto comercial en un cultivo de tilapias en jaulas ubicadas en "El Jacalito" Osumacinta, Chiapas*.

## Materiales y métodos

### *Análisis químico-proximal de ingredientes*

Los contenidos de materia seca, proteína, lípidos y cenizas de los ingredientes y alimentos fueron determinados mediante el empleo de las técnicas estandarizadas de Asociación Oficial de Químicos Analíticos (AOAC por sus siglas en inglés, Association of Official Analytical Chemists) (2011). El contenido de materia seca fue analizado por gravimetría (método 4.1.06) mediante secado la muestra en un horno (Heraeus, D-63450, Hanau, Germany) a 105°C por 12 horas. El contenido de cenizas fue determinado por calcinación de la muestra (método 32.1.05) a 550°C por 5 h en una mufla (Felisa®, modelo FE-363) (Figura 1). El contenido de lípidos fue determinado por extracción de estos con éter de petróleo (método 4.5.05) usando un micro Foss Soxtec Avanti 2050 automatizado (Figura 2). El

contenido de proteína fue analizado con un equipo Micro-Kjeldahl (N × 6.25; método 954.01) (Figura 3).

Figura 1. Determinación de cenizas

Figura 2. Determinación de lípidos

Figura 3. Determinación de proteína

La Tabla 1 muestra la composición química-proximal de los ingredientes empleados en los alimentos para tilapia, entre los que destacan la soya, el sorgo, el maíz y los hidrolizados de residuos pesqueros, los cuales se encuentran disponibles o viables de producir en Chiapas, Oaxaca y Guerrero. El gluten de maíz y la soya aportan alto contenido de proteína (59.7 % y 44.2%, respectivamente), mientras que el sorgo no (6.8%), pero repre-

senta una buena fuente de energía por su alto contenido en carbohidratos (70.5%). Los hidrolizados de residuos pesqueros son una fuente importante de proteína hidrolizada (péptidos) de alta calidad nutricional.

Tabla 1. Composición química-proximal (% base húmeda) de los ingredientes empleados en los alimentos para tilapia

| Ingredientes | Humedad | Proteína | Grasa | Ceniza |
|---|---|---|---|---|
| Harina de residuos de atún | 10.0±0.06 | 60.0±0.69 | 10.0±0.21 | 19.3±0.07 |
| Harina de soya* | 10.0±0.08 | 44.2±0.34 | 1.2±0.07 | 6.1±0.03 |
| Pulido de arroz | 8.5±0.07 | 12.8±0.7 | 15.8±0.04 | 8.5±0.10 |
| Harina de trigo | 14.0±0.02 | 10.0±0.30 | 0.9±0.10 | 4.3±0.10 |
| Maíz* | 12.1±0.05 | 8.50±0.20 | 3.60±0.11 | 1.30±0.10 |
| Sorgo* | 10.3±0.03 | 6.8±0.20 | 4.0±0.17 | 1.6±0.03 |
| Harina de carne y hueso | 5.2±0.01 | 43.1±0.77 | 12.5±0.12 | 35.4±0.23 |
| Hidrolizado de residuos pesqueros (vísceras)* | 52.4±0.23 | 30.3±0.15 | 5.7±0.01 | 3.8±0.01 |
| Gluten de maíz | 8.7±0.04 | 59.7±0.09 | 5.2±0.06 | 7.7±0.23 |
| | | | | |

*Insumos agrícolas disponibles o viables de producir en los estados de Chiapas, Oaxaca y Guerrero. Los valores son la media ± DE, n = 3. Fuente: Creación propia.

## *Elaboración de alimentos*

### *Nivel laboratorio*

Dos alimentos isoproteicos (40% de proteína cruda) e isolipídicos (6% de lípidos) con alto (A-AV) y bajo (A-BV) contenido en vegetales fueron formulados a partir de una patente de alimento para tilapia propiedad de CIAD, A.C. (número de registro MX/a/2015/016590), los cuales fueron balanceados con la inclusión de los insumos vegetales altamente disponibles o viables de producir (maíz, sorgo, soya e hidrolizados de residuos pesqueros) en Chiapas, Oaxaca y Guerrero (Tabla 1).

Los alimentos fueron elaborados en la Planta Piloto de alimentos del CIAD, A.C., Unidad Mazatlán, siguiendo el protocolo establecido por el Laboratorio de Nutrición y Planta de Alimentos. Los macro ingredientes (harinas de soya, sorgo, trigo, residuos de atún y pulido de arroz) se molieron en un molino de martillo marca Micrón (Distrito Federal, México) con un tamiz de 500 a 250 μm de diámetro (Figura 4). Posteriormente, cada uno de los ingredientes (macro y micro ingredientes) fueron pesados en una balanza Scout Pro SP2001 (Greifensee, Zúrich, Suiza) con una precisión de 0.001 g. Los macro ingredientes fueron mezclados en una mezcladora Hobart modelo AT-200 por 15 minutos y enseguida los microingredientes (vitaminas, minerales y aditivos compactantes) fueron adicionados y mezclados por 15 min (Figura 5). Finalmente, el aceite de pescado y la lecitina de soya fueron adicionados y mezclados hasta obtener una mezcla homogénea, la cual fue extruida en un extrusor BRABENDER de doble tornillo modelo TSE 20/40 (Duisburgo, Renania del Norte-Westfalia, Germany) (Figura 6a). Los alimentos extruidos se depositaron en charolas tipo bastidor para mejorar el proceso de deshidratación (Figura 6b), el cual se realizó utilizando secadores convencionales con aireación forzada a 40°C por 8 horas. El alimento fue almacenado en bolsas de plástico a 4°C hasta su uso.

Figura 4. Molienda de macro ingredientes

Figura 5. Mezcla de macro y micro ingredientes

Figura 6. Proceso de a) extrusión de alimento en extrusor Brabender de doble tornillo y b) deshidratación del alimento en deshidratador de aire forzado

Los contenidos de materia seca, proteína, lípidos y cenizas de los alimentos fueron determinados de acuerdo con la metodología descrita en la sección “Análisis químico-proximal de ingredientes”. El perfil de aminoácidos de los alimentos fue determinado por Cromatografía líquida de alta eficiencia (HPLC Varian 9012, Walnut Creek, CA, USA) siguiendo la metodología descrita por Vázquez-Ortiz *et al*. (1995). La composición proximal y el perfil de aminoácidos de los alimentos se presentan en las Tablas 2 y 3, respectivamente, en la cuales se puede observar que los alimentos satisfacen los requerimientos nutricionales de la tilapia en su etapa juvenil.

Tabla 2. Composición químico-proximal (% base húmeda) de los alimentos para tilapia

| | Alimentos | |
|---|---|---|
| Composición proximal (% base húmeda) | A-AV | A-BV |
| Humedad | 8.0±0.16 | 7.7±0.09 |
| Proteína | 44.1±0.34 | 44.3±0.20 |
| Lípidos | 7.8±0.07 | 8.1±0.21 |
| Cenizas | 9.6±0.22 | 8.7±0.16 |
| | | |

A-AV = Alimento alto en vegetales: A-BV = Alimento bajo en vegetales. Los valores son la media ± DE, n=3.
Fuente: Creación propia.

Tabla 3. Contenido de Aminoácidos (g de aminoácido 100 g-1 de proteína) de los alimentos formulados para tilapia

| | Dietas | |
|---|---|---|
| Aminoácido | A-AV (g de aminoácidos·100 $g^{-1}$ de proteína) | A-BV (g de aminoácidos·100 $g^{-1}$ de proteína) |
| Aspartato | 3.21±0.24 | 3.02±0.23 |
| Glutamina | 11.76±0.70 | 10.19±0.91 |
| Serina | 4.19±0.21 | 5.14±0.14 |
| Histidina | 7.61±0.24 | 8.42±0.08 |
| Glicina | 2.43±0.26 | 3.14±0.25 |
| Treonina | 8.67±0.90 | 9.65±0.06 |
| Arginina | 10.01±0.20 | 12.23±0.20 |
| Alanina | 3.02±0.15 | 3.74±0.35 |
| Tirosina | 14.71±1.46 | 12.73±0.23 |
| Metionina | 3.88±0.33 | 2.83±0.17 |
| Valina | 2.75±0.29 | 2.91±0.22 |
| Fenilalanina | 4.25±0.41 | 4.10±0.29 |

| | | |
|---|---|---|
| Isoleucina | 3.47±0.02 | 2.58±0.10 |
| Leucina | 6.58±0.33 | 6.55±0.53 |
| Lisina | 1.08±0.07 | 1.02±0.02 |

A-AV = Alimento alto en vegetales: A-BV = Alimento bajo en vegetales. Fuente: Creación propia

### *Nivel piloto comercial*

Los alimentos para tilapia fueron elaborados con ingredientes disponibles en Chiapas, Oaxaca y Guerrero (ver Tabla 1). Estos fueron formulados con diferentes niveles de proteína (35, 32 y 25%) y 6% de lípidos, los cuales satisfacen los requerimientos nutricionales de la tilapia nilótica en la etapa adulta (Tabla 4). 0.3 ton de alimento con 35% de proteína, 0.3 ton de alimento con 32% de proteína y 0.6 ton de alimento con 25% de proteína fueron elaborados de acuerdo con la metodología descrita en el apartado "Elaboración de alimentos nivel laboratorio".

Tabla 4. Alimentos con diferentes contenidos de proteína (35%, 32% y 25%) para tilapia en su etapa adulta

| Ingredientes (g $Kg^{-1}$) | Alimentos con diferentes contenidos de proteína | | |
|---|---|---|---|
| | 35% | 32% | 25% |
| *Harina de residuos de atún o pesqueros | 219.3 | 200.0 | 31.3 |
| *Harina de soya | 219.3 | 200.0 | 326.9 |
| Pulido de arroz | 10.5 | 9.6 | 7.5 |
| Harina de trigo | 10.5 | 9.6 | 7.5 |
| *Harina de sorgo | 4.4 | 4.0 | 3.1 |
| Harina de carne y hueso | 8.8 | 8.0 | 6.3 |
| ¨*Harina de maíz | 324.6 | 394.2 | 467.4 |
| *Residuos pesqueros residuos (vísceras) | 52.6 | 48.0 | 36.5 |
| Gluten de maíz | 113.0 | 89.0 | 45.0 |
| Aceite vegetal | 0.00 | 2.0 | 20.0 |
| Lecitina de soya | 10.0 | 9.3 | 7.6 |
| Premezcla de vitaminas y minerales | 10.0 | 10.0 | 10.0 |
| Otros (compactante, lisina, fosfato dibásico de sodio, cloruro de colina) | 17.0 | 17.0 | 31.0 |

Fuente: Creación propia.

Las mezclas de macro y micro ingredientes fueron ensacadas y acomodadas en lotes con base en el contenido de proteína. Todos los lotes de ingredientes mezclados fueron extruidos en un extrusor Insta-Pro-2000 (Grimes, IA, USA). Posteriormente los alimentos extruidos fueron depositados en sacos de 20 kg y enviados a "El Jacalito", Osumacinta, Chiapas (Figura 7), donde se llevó a cabo el bioensayo a nivel piloto comercial.

Figura 7. Elaboración de alimentos para tilapia a escala piloto comercial

**Bioensayos experimentales**

*Bioensayo a nivel laboratorio*

Los organismos para la investigación experimental fueron obtenidos de La Unidad Nayarit del Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste,

S.C. (CIBNOR). Un lote de 500 organismos masculinizados de tilapia nilótica (Oreochromis niloticus) fue utilizado. Al recibirlos, estos fueron aclimatados y conservados en un tanque de 300 L, hasta su siembra en el sistema experimental.

El sistema estaba conformado por 24 tanques redondos de fibra de vidrio, con una capacidad de 300 L (Figura 8). El fotoperiodo (10 h luz y 10 h oscuridad) se mantuvo con luces LED. La salinidad (ups), la temperatura (°C) y el oxígeno disuelto (mg L-1) del agua fueron monitoreados con un oxímetro de campo marca YSI modelos 85 (Yellow Springs, Ohio, USA). Las concentraciones de pH, amonio, nitritos y nitratos fueron medidas cada tercer día, manteniendo los niveles óptimos para la especie. El agua que abastecía el sistema estaba libre de cloro.

Figura 8. Sistema experimental

La prueba experimental se llevó a cabo con 120 tilapias con un peso promedio de 2.1 ± 0.02 g, las cuales fueron distribuidas en 12 tanques con una densidad de siembra de 12 organismos por tanque (Huang y Chiu, 1997) y asignadas a dos tratamientos experimentales, cada uno con tres réplicas por tratamiento. El primer tratamiento fue alimentado con el alimento A-AV y un segundo tratamiento con el alimento A-BV. Los peces fueron alimentados hasta saciedad aparente cinco veces al día (9:00 h, 11:00 h, 13:00 h, 15:00 h y 17:00 h) durante 66 días. Diariamente, el alimento consumido y el número y peso de los organismos muertos fueron registrados para calcular la tasa de conversión alimenticia (TCA).

*Crecimiento y eficiencia alimenticia*

Los organismos fueron anestesiados individualmente con solución de aceite de clavo (0.2 mL L-1) cada 15 días y al finalizar el experimento. El peso de cada uno de los organismos fue medido (Figura 9) y registrado para estimar los índices biométricos. El consumo del alimento se registró diariamente para evaluar la eficiencia alimenticia. El crecimiento y la eficiencia alimenticia se evaluaron en términos de: peso ganado (PG), tasa de crecimiento específica (TCE), Tasa de conversión alimenticia (TCA) y supervivencia (S), mediante el empleo de las siguientes fórmulas:

$$PG = peso\ final\ (g) - peso\ \ inicial\ (g)$$

$$TCE\ (\%) = 100\ x\ [\frac{In\ peso\ final(g) - In\ peso\ inicial\ (g)}{tiempo\ (días)}]$$

$$CIA\ (g/pez) = \Sigma\ in\ [\left(\frac{total\ de\ alimento\ consumido\ (g)}{numero\ de\ peces}\right)/número\ días]$$

$$TCA = \frac{Alimento\ consumido}{Peso\ ganado}$$

$$S(\%) = \frac{Total\ de\ peces\ final}{Total\ de\ peces\ inicial}\ x\ 100$$

Figura 9. Medición de peso de los organismos

*Bioensayo a nivel piloto comercial*

Un lote de 3000 tilapias nilóticas (Oreochromis niloticus) fue obtenido del Consorcio Pesquero del Golfo S.A. DE C.V. Coatzacoalcos, Veracruz. La prueba piloto comercial se llevó a cabo en la Presa Manuel Moreno Torres (ubicada en el parque nacional Cañón del Sumidero en el cauce del Río Grijalva), en "El Jacalito" Osumacinta, Chiapas, la cual estuvo a cargo del productor José Luis Ramírez y del Dr. Francisco Vázquez Ramírez (Gerente actual del Comité de Sanidad Acuícola de Chiapas). Se utilizó un total de 3000 organismos con un peso promedio de 113 g, estos fueron sembrados aleatoriamente en cuatro jaulas (3 m × 6 m × 3 m) (Figura 10) con una densidad de siembra de 13 organismos m-3 (750 organismos por jaula) y asignadas a dos tratamientos, cada uno con dos réplicas.

Figura 10. Elaboración de jaulas para el cultivo de tilapia en Chiapas

Las tilapias sembradas en las primeras dos jaulas se alimentaron con un alimento comercial (tratamiento control), mientras que las dos jaulas restantes fueron alimentadas con los alimentos experimentales elaborados en CIAD, Unidad Mazatlán (tratamiento experimental). Todos los organismos fueron alimentados tres veces al día (8:00 h, 12:00 h y 16:00 h), por 45 días, de acuerdo con la biomasa total por jaula (del 5% al 3%). Los primeros 20 días los organismos fueron alimentados con los alimentos con 35% de proteína, seguido de los alimentos con 32% de proteína por 15 días, y finalmente, las tilapias fueron alimentadas con los alimentos con 25% de proteína por 10

días (Figura 11). El alimento consumido al final de cada alimentación, el número y el peso de los organismos muertos fueron registrados diariamente para calcular la tasa de conversión alimenticia (TCA).

La temperatura (°C) y el oxígeno disuelto (mg L-1) del agua fueron medidos diariamente con un oxímetro de campo marca YSI modelos 85 (Yellow Springs, Ohio, USA). Durante todo el experimento, la temperatura y el oxígeno fluctuaron entre 26.9-29.2°C y entre 3.75-7.5 mg L-1, respectivamente.

Figura 11. Alimentación de las tilapias cultivadas en la Presa Manuel Moreno Torres

*Crecimiento y eficiencia alimenticia*

Los organismos (50 tilapias por jaula) fueron pesados individualmente cada siete días para ajustar la ración de alimento semanal. El peso de cada una de las tilapias fue medido (Figura 12) y registrado para estimar los índices biométricos. El crecimiento y la eficiencia alimenticia se evaluaron en términos de: PG, TCE, S y TCA como se describe en el apartado “Crecimiento y eficiencia alimenticia a nivel laboratorio”.

Figura 12. Realización de biometrías

*Análisis estadístico*

Previo al análisis estadístico, los datos fueron analizados bajo los supuestos de normalidad (prueba de Kolmogorov-Smirnov) y homocedasticidad (prueba de Levene). Las variables dependientes PG, TCE, CIA, TCA, y S se analizaron mediante un análisis de varianza de una vía y una prueba de comparación de medias de Tukey ($P < 0.05$). Antes del análisis estadístico, los porcentajes de S y TCE se transformaron en arcoseno para cumplir con el supuesto de normalidad, pero los resultados se reportaron en porcentaje. Los análisis estadísticos se realizaron con el paquete Statistica v.7 (StatSoft, Inc., 2004).

## Resultados y discusión

*Crecimiento y eficiencia alimenticia a nivel laboratorio*

La tilapia del Nilo alimentada con A-AV mostró el valor más alto de PG (90.4 g) en comparación con las tilapias alimentadas con A-BV (73.8 g) ($P < 0.05$) (Tabla 5). Mientras que no se observaron diferencias significativas ($P > 0.05$) en S, TCE, CA y TCA de tilapias alimentadas con los diferentes alimentos experimentales. Debido a que no hubo diferencias en TCA y TCE (Tabla 5). En aras de reducir el costo del alimento se optó por formular

una dieta con nivel medio de vegetales para probar la factibilidad técnica y económica del alimento a escala piloto comercial.

Tabla 5. Crecimiento y eficiencia alimenticia de tilapia nilótica alimentada con diferentes alimentos por 66 días

| Tratamientos | Parámetros | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | PG (g) | TCE (% día$^{-1}$) | CIA (g pez$^{-1}$) | TCA | S (%) |
| A-AV | 73.8 ± 8.6$^{b}$ | 5.0 ±0.3$^{a}$ | 90.39 ± 13.4$^{a}$ | 1.25 ± 0.2$^{a}$ | 80 ± 17.3$^{a}$ |
| A-BV | 90.4 ± 0.5$^{a}$ | 5.3 ± 0.3$^{a}$ | 90.12 ± 5.9$^{a}$ | 1.01 ± 0.1$^{a}$ | 76.7 ± 15.2$^{b}$ |
| | | | | | |

Los valores son la media ± DE, n=3. Los valores con diferentes superíndices indican diferencias significativas ($P < 0.05$) entre tratamientos. PG = Peso ganado; TCE = Tasa de crecimiento específica; CIA = Consumo individual de alimento; TCA = Tasa de conversión alimenticia; S = Supervivencia.

Estudios realizados por El-Sayed *et al.* (2002) obtuvieron que los organismos presentaron mayor PF y TCE, con un alimento con alta inclusión de harina de soya (55%) adicionado con aminoácidos (1% de metionina). El-Sayid y Gaber (2002) reportaron que los alimentos con harina de soya suplementados con aminoácidos (0.5% de lisina) pueden reemplazar totalmente a la harina de pescado en dietas prácticas para tilapia. El alimento elaborado en CIAD con insumos agrícolas tales como el sorgo, el maíz, la soya y los hidrolizados de residuos pesqueros cubren los requerimientos nutricionales que demanda la tilapia en su etapa de engorda, con promoción de su crecimiento. Esto último se atribuye principalmente a la incorporación de hidrolizados de residuos pesqueros, los cuales contienen péptidos de bajo peso molecular asociados con una alta digestibilidad y absorción gastrointestinal en comparación con una proteína (García-Aguirre, 2018).

*Crecimiento y eficiencia alimenticia a nivel piloto comercial*

Las tilapias alimentadas con el alimento experimental presentaron mayor ganancia en peso (333.94 g) que las tilapias alimentadas con la fórmula comercial (296.25 g) (Tabla 6). La fórmula elaborada en CIAD con insumos

agrícolas tales como sorgo, maíz, soya e hidrolizados de residuos pesqueros viables de producir en la región Pacífico Sur cubrió los requerimientos nutricionales que demanda la tilapia en su etapa adulta, además promovió su crecimiento. Esto último es probablemente debido a la incorporación de hidrolizados de residuos pesqueros, los cuales contienen proteína hidrolizada altamente digestible (péptidos) y de fácil absorción (García-Aguirre, 2018). Ambos tratamientos presentaron valores de TCE, TCA y CIA muy similares (Tabla 5). Sin embargo, es importante destacar que el alimento experimental está compuesto por insumos disponibles o viables de producir en la región, lo cual podría considerablemente abaratar su costo en comparación con un alimento comercial. En este sentido, y de acuerdo con los resultados del proyecto ejecutivo "Planta de alimentos para tilapia", el costo del alimento diseñado en CIAD podría reducirse hasta un 20% en comparación con el costo del alimento comercial.

Tabla 6. Crecimiento y eficiencia alimenticia de tilapia nilótica cultivada en jaulas y alimentadas con diferentes alimentos por 45 días

| Tratamientos | Parámetros | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | PG (g) | TCE (% día$^{-1}$) | CIA (g pez$^{-1}$) | TCA | S (%) |
| Control | 296.25 ± 3.9 | 2.79 ± 0.13 | 340 ± 0.00 | 1.16 ± 0.03 | 100 ± 0.0 |
| Experimental | 333.94 ± 0.62 | 2.97 ± 0.62 | 370 ± 0.00 | 1.12 ± 0.15 | 100 ± 0.0 |
| | | | | | |

Los valores son la media ± DE, n=3. PG = Peso ganado; TCE = Tasa de crecimiento específica; CIA = Consumo individual de alimento; TCA = Tasa de conversión alimenticia; S = Supervivencia.

## Conclusiones

Las fórmulas alimenticias con alto contenido en insumos agrícolas (sorgo, soya, maíz) y adición de hidrolizados de residuos pesqueros, disponibles o viables de producir en la región Pacífico Sur, incrementaron el crecimiento de la tilapia cultivada tanto a nivel laboratorio como a nivel piloto comercial,

por lo que tienen el potencial de disminuir los costos de producción de los cultivos de tilapia.

## Referencias

Abdelghany, A. E. (2000). Replacement value of cystine for methionine in semi-purified diets supplemented with free amino acids for the Nile tilapia Oreochromis niloticus L. fry. In *Proceedings from the Fifth International Symposium on Tilapia Aquaculture, Rio de Janeiro, Brazi (pp. 109-119).*

Association Official Analytical Chemists. (2011). Official Methods of Analysis, 14 th ed. The association: Arlington, VA, 1141 pp.

García Aguirre, J.A. (2018). *Evaluación nutricional y antioxidante de hidrolizados proteicos de músculo oscuro de atún (Thunnus albacares), incorporados en una dieta para camarón blanco (Litopenaeus vannamei) sometido a condiciones de estrés térmico* [Tesis de maestría, Centro de investigación en Alimentación y Desarrollo].

Huang, W.B., Chiu, T.-S. (1997). Effects of stocking density on survival, growth, size variation, and production of Tilapia fry. *Aquaculture Research*, 28(3), 165–173. https://doi.org/10.1046/j.1365-2109.1997.t01-1-00843.x

El-Saidy, D. M. S. D., Gaber, M. M. A. (2002). Complete Replacement of Fish Meal by Soybean Meal with Dietary L-Lysine Supplementation for Nile Tilapia Oreochromis niloticus (L.) Fingerlings. *Journal of the World Aquaculture Society*, 33(3), 297–306. https://doi.org/10.1111/j.1749- 7345.2002.tb00506.x

Vázquez-Ortiz, F., Caire, G., Higuera-Ciapara, I., Hernández, G. 1995. High performance liquid chromatographic determination of free amino acids in shrimp. *Journal of Liquid Chromatography & Related Technologies*, 18, 2059-2068. https://doi.org/10.1080/10826079508013960.

Capítulo 20

# Incidencia social en micro y pequeños **productores de tilapia en el Pacífico Sur: manejo financiero en granja,** socioeconomía y cambio climático

*Francisco Javier Martínez Cordero[1*] y Edgar Sánchez Zazueta[2]*

**Resumen**

Como parte de un módulo multidisciplinario de incidencia social del proyecto ADESUR dirigido a los micro y pequeños acuacultores rurales de tilapia en Guerrero, Oaxaca y Chiapas, se atendieron los temas de finanzas, socioeconomía y cambio climático (CC) con diversas acciones y enfoques. En finanzas, y con un enfoque de extensionismo, se desarrollaron manuales de recopilación de información y manejo financiero básico en granja -incluyendo versiones con pertinencia cultural y lingüística en Oaxaca- implementando capacitaciones, buscando reforzar el emprendimiento rural. Se logró una mejora en análisis de información financiera en 75% de los productores. Este tema, usualmente no identificado entre los pequeños productores rurales con el mismo nivel de prioridad que los aspectos técnicos del cultivo, incide, sin embargo, de manera crítica en su rentabilidad y resiliencia.

En el componente socioeconómico y siguiendo metodología del Consejo Nacional de Evaluación de la Política Social (CONEVAL), a partir de información primaria, se demostró por primera vez en México el

[1] Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo CIAD, A.C. Unidad Mazatlán. Laboratorio de Economía Acuícola y Prospectiva. Av. Sábalo Cerritos s/n. Mazatlán, Sinaloa. C.P. 82112 cordero@ciad.mx

[2] Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo CIAD, A.C. Unidad Mazatlán. Laboratorio de Economía Acuícola y Prospectiva. Av. Sábalo Cerritos s/n. Mazatlán, Sinaloa. C.P. 82112 sanchez@ciad.mx

impacto positivo que tiene el proyecto de tilapia en disminuir la pobreza multidimensional de los hogares de acuacultores rurales de diversas escalas y sistemas de producción.

El tema CC fue desarrollado en un doble enfoque basado en información primaria. Un modelo bioeconómico de aprendizaje automatizado (redes neuronales de regresión generalizada GRNN) del sistema de cultivo en jaulas en estos tres estados indica que, considerando el aumento en temperatura por CC, la estrategia productiva de adaptación más conveniente es secuencial (2-4 ciclos de producción en el año), que arroja un nivel mínimo de ganancia por encima de la línea de pobreza por ingresos definida por CONEVAL. Complementariamente, el tema fue también llevado al extensionismo, a través de infografías analizadas en grupos focales con los productores por territorio. Dado que los resultados socioeconómicos y los de CC son de utilidad en la definición de política pública, fueron también presentados en diversos foros nacionales a productores y gobierno.

Es importante la difusión abierta y pública de la información: en los territorios todos los resultados de los componentes fueron dialogados y analizados con los actores sociales, en sesiones de extensionismo específicas a este fin. Complementariamente, se desarrolló un micrositio de estos componentes con el CENTROGEO y se elaboraron diversas publicaciones científicas y reportes con la FAO, así como publicaciones en redes sociales y presentaciones en congresos nacionales.

*Palabras clave:* cambio climático; cultivo de tilapia; MIPYMES; Pacífico Sur

## Introducción

La Conferencia Regional de la FAO para América Latina y el Caribe, desarrollada en Ecuador en 2022, identificó a la desigualdad y la pobreza como los factores centrales del hambre en la región, pues la falta de alimentos no es el problema toral en una región de producción neta de los mismos. Por ello planteó como una de sus tres prioridades para los trabajos del próximo

bienio “sociedades rurales prósperas e inclusivas”, considerando que la mitad de la población que vive en las zonas rurales en la región es pobre, una de cada cuatro personas vive en extrema pobreza y el 82% de quienes trabajan en la agricultura lo hacen en la informalidad.

Generar este tipo de sociedades rurales significa, entre otras cosas, apoyar a las actividades económicas prevalecientes y a los productores en una forma incluyente y justa, combatiendo las desigualdades prevalecientes. La acuacultura de tilapia para autoconsumo y en escala MIPYME es una actividad rural de mucha importancia en el centro y sur del país, de relevancia socioeconómica al generar un alimento de alto valor nutricional, empleo e ingresos directos e indirectos (Martínez-Cordero *et al,* 2021). Por ello, reforzarlas en la diversidad de temas técnicos y de entorno que les afectan es prioritario.

Flores-Nava (2012) propuso una categorización de los acuacultores rurales en Latinoamérica, muy útil y actualmente ampliamente utilizada. Denomina como acuacultores de recursos limitados (AREL) a aquellos: “que la practican sobre la base del autoempleo, sea de forma exclusiva o complementaria, en condiciones de carencia de uno o más recursos que impiden su auto-sostenibilidad productiva y la cobertura de la canasta básica familiar en la región que se desarrolle”. El acuacultor de micro, pequeña y mediana escala MIPYME, por su parte, es ya de orientación comercial, que genera empleo en diversas posibilidades.

El mismo Flores Nava y otros autores (Matus Parada *et al.,* 2015) diagnostican que el acuacultor rural y de pequeña escala requiere acompañamiento constante en una variedad de temas, tanto técnico como de manejo, incluidas las afectaciones por factores externos como el Cambio Climático. La asistencia técnica en campo (extensionismo) es central para la resiliencia y mejora de este tipo de productores; sin embargo, es claramente insuficiente. Complementariamente, es necesaria también la generación de información científica socioeconómica y de desarrollo sostenible (medio ambiente) que permita apoyar toma de decisión y generación de política pública para su desarrollo sostenible.

Enfocado en el extensionismo y aplicando diversas metodologías para atender los temas de manejo financiero en granja, análisis de cambio climático y de impactos socioeconómicos del cultivo de tilapia, se desarrolló el trabajo del Laboratorio de Economía Acuícola y Prospectiva con productores de tilapia en los estados de Oaxaca, Guerrero y Chiapas a través del proyecto FORDECyT ADESUR (financiado por CONACYT), buscando aportar a una mejor operación de los acuacultores y con ello la generación de mayores impactos socioeconómicos positivos. Estos temas son solo algunos del complejo escenario que estos actores sociales enfrentan en el día a día de sus actividades.

## Materiales y métodos

### *Planeación de la incidencia social desde el extensionismo y en complementariedad al trabajo de los comités de sanidad acuícola de los estados*

Los comités estatales de Sanidad Acuícola de SENASICA son, desde hace muchos años, los actores con más presencia en campo en la acuacultura de México. A sus obvias responsabilidades en Sanidad e Inocuidad Acuícola, han aumentado voluntariamente el seguimiento técnico en otros componentes del cultivo de tilapia. Por ello, la estrategia de Incidencia Social de este componente busca reforzar su trabajo. Se planeó el trabajo en campo con los gerentes de los tres Comités involucrados, con un enfoque de atención territorial diferenciada y buscando amplia cobertura. Como resultado, cada estado se visitó dos veces por año, desarrollando una intensa logística de presencia en Unidades de Producción, que permite inicialmente conocer el entramado social que sustenta y diferencia a los territorios. La Figura 1 muestra la ubicación de las unidades rurales de producción de tilapia en el Pacífico Sur y en cada estado, donde se desarrolló trabajo del componente finanzas-socioeconomía-CC. El trabajo en campo propuso y desarrolló exitosamente un diálogo constante con los productores y una franca comunicación horizontal de saberes y conocimientos con respeto a sus costumbres y culturas.

Figura 1. Ubicación de las unidades de producción acuícola (UPA) en las que se desarrolló trabajo del componente financiero-socioeconómico-CC en los Estados de Guerrero, Oaxaca y Chiapas (tomado del Micrositio Impacto del Cultivo de Tilapia en Oaxaca, Guerrero y Chiapas elaborado por CENTROGEO, 2021). Análisis financiero en granja

Con base en elementos teóricos de finanzas aplicados a empresas acuícolas (Engle, 2010; Shang, 1990) y la experiencia del Laboratorio de Economía Acuícola y Prospectiva formando capacidades y desarrollando extensionismo con MIPYMES y productores de autoconsumo, se obtuvieron herramientas de campo pertinentes, dando posterior seguimiento a su aplicación y desarrollando sesiones de análisis de información financiera por Unidad de Producción. Como parte de la estrategia de diseminación social con pertinencia cultural y lingüística, se tuvo flexibilidad para diseñar diversas herramientas y seguir varias estrategias metodológicas, basadas en los propios actores sociales y la forma cómo ellos indicaron que establecen eficientes vías de comunicación y posible colaboración.

Figura 2. Portada de manuales técnicos en el tema de Análisis financiero en granja, aplicados mediante extensionismo en el proyecto.

### *Socioeconomía de la acuacultura rural de tilapia*

Existen diversos métodos para analizar los impactos de la acuacultura en la pobreza (Cai *et al*. 2009). En nuestro caso, se decidió adaptar para la acuacultura rural la metodología de medición de pobreza multidimensional que utiliza la CONEVAL en México, diseñando un cuestionario que permitiera comparar los resultados con valores oficiales nacionales, estatales y municipales de Pobreza Multidimensional. Se establecen de esta forma líneas bases posibles de continuar en posteriores mediciones. Esta metodología, central para la medición de impactos, está reportada en Martínez-Cordero y Sánchez-Zazueta (2021).

### *Cambio Climático (CC)*

Mucho se han analizado las implicaciones que el CC tiene en la acuacultura (Soto & Quiñones, 2013; Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura FAO, 2009). Este tópico, planteado desde hace casi dos décadas por la FAO, ha dejado de ser teórico para convertirse

en urgentemente práctico ante las realidades que se viven año con año con los impactos del CC en la acuacultura.

El desarrollo de este tema en la acuacultura rural de los tres estados tuvo un enfoque doble: 1) generación de conocimiento científico: aplicando la bioeconomía, en seguimiento a Cai *et al.* (2019) y basado en información primaria de 128 ciclos de producción llevados a cabo durante el período 10 mayo 2019 – 30 abril 2020 para pre-engorda y engorda. Se desarrolló un modelo bioeconómico de aprendizaje automatizado (redes neuronales de regresión generalizada GRNN) del sistema de cultivo en jaulas en estos tres estados para analizar la estrategia más conveniente de adaptación al CC ante las varianzas esperadas en temperatura ambiental. La variable de impacto no es solo la rentabilidad del propio productor, sino las diversas líneas de pobreza multidimensional CONEVAL obtenidas para la acuacultura rural en el componente socioeconómico previo.

2) Sensibilización de los acuicultores: el segundo enfoque es en campo con los productores y nuevamente basado en el extensionismo. Se planearon grupos focales para análisis del tema, utilizando infografías y aprovechando y transfiriendo experiencias como Barbieri *et al*. (2019).

## Resultados y discusión

Para desarrollar el trabajo y alcanzar Incidencia Social fue requerido establecer un ambiente cordial y de confianza mutua con los actores sociales, esto es, una real comunicación horizontal de conocimientos y saberes basada en el respeto. Bajo la premisa básica de establecer una presencia continua con ellos y generar trabajo que respondiera a sus necesidades y características, claramente diferenciados territorialmente, esta comunicación encontró muchos actores: los productores primarios, las amas de casa (muchas veces son los mismos), las niñas y niños que de manera interesada participan en el cultivo de tilapia o comercialización. Pero también pasaron por los representantes organizacionales, los síndicos u algún otro representante de gobierno territorial que quería hacer presencia y hasta participar en la comunicación. Los técnicos de los Comités de Sanidad Acuícola, como

facilitadores de estas reuniones y nuestra presencia, jugaron un papel clave en ello.

De manera satisfactoria puede concluirse que este diálogo permanente con los actores sociales se logró basado en la presencia continua e identificación recíproca.

### *Análisis financiero*

Ya enfocados en los componentes técnicos, se conversó con los productores acerca de la relevancia de la recopilación correcta de información, su captura y posterior análisis como parte del emprendimiento rural, insistiendo que ello es importante aún en el autoconsumo. Previo a la visita inicial se solicitó, a través de los Comités de Sanidad, que los productores llevaran los registros de información de sus granjas que tuvieran disponibles para facilitar el desarrollo del tema. En una gran variedad de ejercicios (individuales, grupos focales, cuestionarios más entrevistas) los actores sociales comunicaron sus experiencias y dificultades y se tomaron acuerdos de seguimiento: trabajar conjuntamente en las siguientes visitas (Figura 3).

Figura 3. Diversos aspectos del extensionismo para el análisis financiero en granja. Grupos focales en Oaxaca, Guerrero y Chiapas

Se percibió claramente que el manejo financiero en granja no es completamente desconocido, especialmente porque los Comités de Sanidad Acuícola también trabajan con ellos en este componente a través de sus manuales y cuadernillos de campo. Por ello la estrategia fue encontrar sinergias con los Comités de Sanidad y sus documentos, pues es completamente innecesario duplicar esfuerzos, gasto o pensar que se tiene que partir de cero. Por ello se decidió que el componente financiero se adicionara a los manuales de campo de los comités, más que ser un documento externo. Se acordó con los productores reforzar registro de información, ordenamiento y análisis. En las diversas visitas posteriores se dio seguimiento de estas acciones, encontrando que al final de tres años hasta el 75% de las Unidades de Producción ya lograron registro de información y análisis financiero básico.

***Socioeconomía de la acuacultura rural de tilapia***

A partir de información de fuente primaria recopilada en los tres estados en los años 2018 y 2019 (Figura 4), el proyecto determina los impactos socioeconómicos del cultivo de tilapia a nivel hogar, en los productores de tilapia de escala micro y pequeña. Los productores reconocen y se sensibilizan con la relevancia de contar con esta información que puede sustentar toma de decisión e idealmente polìtica pùblica.

La investigación realizada en este componente y sus resultados están publicados en Martínez-Cordero y Sánchez-Zazueta (2021) y Martínez-Cordero *et al.* (2021). Sin ser el objetivo principal, también han sido presentados en foros especializados en acuacultura como el Congreso Mundial de Acuacultura de la Sociedad Mundial de Acuacultura WAS en Mérida 2021, Singapur 2022 y Ecuador 2020 (de forma virtual).

Figura 4. Levantamiento de encuestas individuales o en grupo para el análisis socioeconómico

El resultado principal (Figura 5) es que el proyecto de tilapia genera un impacto positivo en disminuir la pobreza multidimensional en los hogares de los productores. Este impacto es de altísima relevancia en estos estados y municipios, que tienen los mayores niveles de pobreza multidimensional en México. La desagregación de las dimensiones da una radiografía detallada de la pobreza en las economías por territorio y el rol de la agricultura/ acuacultura.

Figura 5. Pobreza multidimensional en productores rurales de tilapia en Guerrero, Oaxaca y Chiapas (tomado de Martínez-Cordero & Sánchez-Zazueta, 2021)

En el análisis de resultados con los actores sociales en los tres estados (Figura 6), como parte del diálogo permanente, fue interesante percibir que el resultado principal no es sorprendente a las y los productores, pero la desagregación de los componentes resultó un ejercicio muy rico para que ellos identificaran los elementos principales de la pobreza en sus territorios rurales específicos y su rol en las economías rurales. El análisis con ellos de los resultados en cada una de las dimensiones de pobreza fue enriquecido por sus aportaciones, historias y hasta anécdotas, sensibilizando un dato cuantitativo, lo cual es también una forma de Incidir Socialmente.

Figura 6. Transmisión horizontal de conocimientos: ejercicios en campo de comunicación de resultados con los actores sociales y análisis grupal

***Cambio climático (CC)***

La sensibilización y análisis del tema en campo con grupos focales (Figura 7) fue muy diversa y rica como intercambio horizontal de conocimientos y evidencía la urgencia de tomar a la brevedad medidas de adaptación coordinadas con gobierno y academia.

Figura 7. Sensibilización del tema cambio climático con productores de Oaxaca, Guerrero y Chiapas. Intercambio horizontal de conocimientos en grupos focales

Se identificó que los productores encuentran en el día a día impactos diferenciados del CC, altamente evidente en cuerpos de agua donde están establecidos sistemas de jaulas (presas y lagos, pero también sistemas lagunares costeros), donde las externalidades del cultivo de tilapia son en dos vías. Es urgente en todos los casos implementar esquemas de co-manejo comunitario de estos recursos naturales. El análisis con los productores avanzó en la sensibilización de la importancia de tomar acciones de prevención, principalmente, muchas de ellas requiriendo organización social. Con un trabajo de campo tan amplio y establecido por varios años del proyecto, en más de una ocasión la presencia en campo coincidió con algún impacto de CC, no sólo por agua (el más evidente) sino, por ejemplo, por viento. La aplicación de cuestionarios y entrevistas arroja datos importantes: el 80% de los productores en tanques y estanques en Oaxaca manifestaron tener ya problemas por las sequías, y aquellos establecidos en jaulas en

presas manifestaron que eventos de vientos muy fuertes que se presentan en el año dañan los sistemas de producción con pérdidas de hasta 15% de la producción. Las jaulas en lagunas costeras en Guerrero, de pequeño tamaño y someras, son altamente sensibles a la temperatura y tormentas: 50% de los productores reportaron incrementos de temperatura en verano que causaron mortalidades en los organismos de cultivo y todos ellos indican alta susceptibilidad a eventos de huracanes, evento que lamentablemente quedó demostrado con el 100% de pérdidas por el huracán Otis en octubre del 2024. Finalmente, 90% de los productores en jaulas en las presas de Chiapas manifestaron afectaciones ambientales en 2019: altas temperaturas, bajas temperaturas y vientos.

En el componente de modelación bioeconómica existe una diversidad de resultados, incluyendo los particulares por estado. El principal resultado general es que, considerando la varianza esperada en la temperatura en el cultivo de engorda en jaulas como resultado del CC, la estrategia productiva de adaptación más conveniente es secuencial (2-4 ciclos de producción en el año), que arroja un nivel mínimo de ganancia por encima de la línea de pobreza por ingresos definida por CONEVAL. Nuevamente estos resultados fueron socializados ampliamente y en diversas estrategias: extensionismo, divulgación científica y formación de políticas públicas.

Figura 8. Resultados del modelo bioeconómico para la estrategia de mayor reducción de riesgo por variación climática: siembra secuencial, considerando precio fijo para organismos mayores a 350 gramos

*Figura 9.* Ingreso per cápita mensual según semana de siembra. Escenario III secuencial - precio fijo (≥350 g | $35/Kg).

## *Difusión abierta y pública del conocimiento*

Se desarrolló un micrositio con el CENTROGEO, el cual además de presentar la información en forma espacial, es elemento importante para la toma de decisión del desarrollo sustentable de la acuacultura de tilapia MIPYME en la región. Se incluyeron en los mapas acuícolas otras capas relevantes al análisis como las relacionadas con medio ambiente, comunicación, demografía, entre otros (http://adesur.centrogeo.org.mx/cms/multimedia/Tilapia_CIAD/menuSect-27-626).

Figura 9. Capturas de pantalla del micrositio Impacto del Cultivo de Tilapia en Oaxaca, Guerrero y Chiapas elaborado por CENTROGEO (2021)

Los resultados de los componentes de Cambio Climático y de impactos Socioeconómicos, desde su planeación e incorporación al proyecto en el CAR, se identificaron como actualmente ausentes en México, y de mucha

necesidad para los procesos de toma de decisión del desarrollo sustentable del cultivo de tilapia en México. Por ello, fueron compartidos y analizados en foros con los gobiernos de tres niveles y productores, en eventos del SENASICA (Reunión Nacional de Comités de Sanidad Acuícola), el INAPESCA (6a reunión de la Red Nacional de Instituciones de Investigación Pesquera y Acuícola RNIIPA) y el Consejo Nacional de Fabricantes de Alimentos Balanceados (CONAFAB) en Acapulco y Tuxtla Gutiérrez respectivamente (Fig. 10).

Figura 10. Presentación de resultados a tomadores de decisión y sector productivo, de los componentes de cambio climático y modelo de toma de decisión, en Conferencias Magistrales en eventos de CONAFAB (2022) y SENASICA (2019)

Finalmente, el Dr. Junning Cai, Economista de la FAO y colaborador externo del proyecto, realizó también un amplio trabajo de campo con el proyecto en el último trimestre del 2019, aportando sus conocimientos y experiencia a la generación de resultados y la posterior difusión de los mismos, vinculados al trabajo que desarrolla la FAO en el mundo (Fig. 11).

Figura 11. Presentaciones del Dr. Junning Cai (FAO) de resultados y vinculación del proyecto con FAO, en eventos de SENASICA y el INAPESCA (2019)

## Conclusiones

Desde las Ciencias Sociales y diferenciados territorialmente, con un enfoque humanista de constante diálogo y transmisión de conocimientos y saberes, y respeto por los usos y costumbres de los actores sociales, sustentado en una amplia y permanente presencia en campo, se desarrollaron con productores de tilapia de escala MIPYME en Guerrero, Oaxaca y Chiapas componentes de Socioeconomía, Finanzas y Desarrollo Sustentable y Medio Ambiente (Cambio Climático). Estos elementos buscaron Incidencia Social de forma

directa con los acuacultores, pero también indirectamente al generar información científica robusta y actual, útil para la toma de decisión y planeación sectorial, transmitida a los actores correspondientes.

El cultivo de tilapia no es una actividad ancestral entre estos productores en los tres estados: la tilapia fue introducida en la década de los 60 en México, por lo cual sus conocimientos y saberes relacionados con su cultivo, procesamiento, distribución y consumo generalmente en cadenas cortas hasta el consumidor final son relativamente recientes (con los obvios gradientes de conocimiento para productores recientes en el tiempo). Sin embargo, ello no significa que no se ha generado conocimiento y experiencia local a lo largo de los años, que comparten desinteresadamente cuando se dialoga con ellos de forma horizontal. Además de las técnicas acuícolas que en diferentes gradientes ya conocen y han adaptado como respuesta a características de cada territorio (entendiendo como territorio una construcción social dinámica, y no solo una perspectiva espacial o cartográfica), existen actualmente, por ejemplo, usos y costumbres por el consumo de tilapia en los hogares rurales desde que está disponible como resultado de un proyecto acuícola en estos territorios rurales. Esto es muy importante y distingue los territorios. Por ejemplo, la forma como la tilapia se incorpora en las dietas familiares, siguiendo costumbres culinarias específicas y diferenciadas por territorio.

Los productores de micro, pequeña y mediana escala (MIPYME) y aquellos de autoconsumo (Acuicultores de Recursos Limitados para FAO) requieren esquemas permanentes de extensionismo que asistan la operación de sus granjas para lograr su resiliencia. El Laboratorio de Economía Acuícola y Prospectiva se enfocó en generar capacidades en la captura y análisis de información financiera a través de una diversidad de esquemas, incluyendo manuales técnicos con pertinencia cultural y lingüística y videos.

Con ese mismo enfoque y en un diálogo horizontal de conocimientos se analizaron con los actores sociales las implicaciones del Cambio Climático (CC) para sus actividades y la manera de desarrollar en el corto plazo acciones y estrategias de adaptación al mismo. Estos pequeños productores

son altamente sensibles a los impactos del CC y en particular los de autoconsumo, micro y pequeña escala, pues no tienen, en la mayoría de los casos, la flexibilidad financiera como para amortiguar estos.

Mucho se habla, pero aún sin datos duros en México del impacto positivo del proyecto acuícola en las economías rurales. Por primera vez se analizó y reportó el positivo impacto en pobreza multidimensional que el proyecto de cultivo de tilapia, en diversas escalas y sistemas de producción, genera en los estados de Guerrero, Oaxaca y Chiapas.

Finalmente, en un enfoque macroeconómico y utilizando la bioeconomía se modelaron los diversos impactos futuros por CC (temperatura) y las mejores estrategias de producción de los sistemas de jaulas en los tres estados. Estos componentes se transmitieron directamente a representantes de gobierno de tres niveles y productores en eventos nacionales en Guerrero y Chiapas. Finalmente, se aporta al conocimiento científico y su difusión abierta a través de un micrositio desarrollado con CENTROGEO, publicaciones científicas y reportes de la FAO.

Todos estos esfuerzos de capacitación e Incidencia Social serán efímeros y sus impactos se diluirán si no se integran en una estrategia nacional de extensionismo, o al menos estatal, que otorgue recursos desde los gobiernos, correspondiendo a la relevancia del acompañamiento en campo a este tipo de productores y sus cadenas cortas de valor.

Todos estos productores han rebasado la escala de autoconsumo. El objetivo es apoyarles en seguir aumentando su escala de producción, lo que les significa aún mayores impactos socioeconómicos a nivel hogar. Estas producciones sin duda quedan en lo local, pero tienen ahí un gran significado e impacto en Seguridad Alimentaria y Nutricional: existe pescado disponible para comer en los hogares rurales al menos una vez a la semana, donde no lo había antes del proyecto de tilapia. Este hecho, multiplicado por las centenas de unidades de producción en escala micro y pequeña, es un muy importante impacto. Sin duda alcanzar mercados a mayores distancias significa reforzar la cadena de frío, y hasta la agregación de valor. Estos procesos pueden ser simultáneos, pero no eliminan que el producto fresco, de alta calidad,

producido localmente, debiera seguir teniendo disponibilidad a las amas de casa y los mercados locales seguir siendo objetivo prioritario de atención.

## Agradecimientos

Los Comités de Sanidad Acuícola hicieron factible lograr los resultados descritos en este capítulo: alcanzar Unidades de Producción Acuícolas en Guerrero, Oaxaca y Chiapas no es posible sin involucrarlos. Por ello se reconoce no sólo lo que aportaron en su conocimiento y experiencia, y a la planeación de la amplia logística de campo del componente, y con ello la seguridad del grupo de trabajo, sino como facilitadores de la interacción con productores. Agradecemos a los gerentes de los Comités MVZ Romel García Luna (Comité Oaxaqueño de Sanidad e Inocuidad Acuícola COSIA), MVZ Oscar Eguibar Villicaña (Comité de Sanidad Acuícola del Estado de Guerrero COSAEG) y Lic. Francisco Vázquez (Comité Estatal de Sanidad Acuícola de Chiapas CESACH) y a sus equipos técnicos y de administradores por las interminables pláticas e intercambios de experiencias. Mucho aprendimos de todos ellos.

## Referencias

Barbieri, M.A., Aguilar-Manjarrez, J. & Lovatelli, A. (2020). *Guía básica: cambio climático, pesca y acuicultura*. FAO.

Cai, J., Leung, P, & Hishamunda, N. (2009). Commercial aquaculture and economic growth, poverty alleviation and food security: assessment framework. FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper 512.

Cai, J., Leung, P.S., Luo, Y., Yuan, X. & Yuan, Y. (2019). *Improving the performance of tilapia farming under climate variation. Perspective from bioeconomic modeling.* FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper 608.

Centro de Investigación en Ciencias de Información Geoespacial. (2021). *Micrositio* Impacto *del Cultivo de Tilapia en Oaxaca, Guerrero y Chiapas*. Proyecto ADESUR. http://adesur.centrogeo.org.mx/cms/Tilapia_CIAD

Engle, C. (2010). *Aquaculture Economics and Financing*. Wiley-Blackwell. USA. 271 pp.

Flores Nava, A. (2012). Diagnóstico de la Acuicultura de Recursos Limitados (AREL) y de la Acuicultura de la Micro y Pequeña Empresa (AMYPE) en América Latina. FAO Serie Acuicultura en Latinoamérica, Número 7.

Flores-Nava, A., Mena, A., Mendoza, D. & Fuenzalida, A. (2016). *Una mirada al extensionismo acuícola en América Latina y el Caribe*. FAO.

Martínez-Cordero, F.J. & Sánchez-Zazueta, E. (2021). Poverty and vulnerability assessment of tilapia farmers in the southwestern States of Oaxaca, Guerrero, and Chiapas in Mexico. *Aquaculture Economics and Management*. https://doi.org/10.1080/13657305.2021.1896604

Martínez-Cordero, F.J., Delgadillo, T.S., Sánchez-Zazueta, E. & Cai, J. (2021). *Tilapia aquaculture in Mexico: assessment with a focus on social and economic performance*. FAO Fisheries and Aquaculture Circular No. 1219. Roma, FAO. 80 pp. ISSN 2070-6065. ISBN 978-92-5-133954-1 https://doi.org/10.4060/cb3290en

Matus Parada, J.M., Martínez Espinoza, D.A. & Sánchez Robles, J. (2015). Extensionismo en la acuicultura de bajos recursos. *Sociedades Rurales, 15*(29), 111- 136.

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2009). *Consecuencias del Cambio Climático para la Pesca y la Acuicultura. Documento técnico de Pesca y Acuicultura 530*. Roma, Italia, 212pp.

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2011). *Manual del Extensionismo Acuícola. Ministerio de Agricultura y Ganadería*. Paraguay. 54 pp.

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2018). *Impactos del Cambio Climático en la pesca y la acuicultura. Documento Técnico 627*. Roma, Italia. 48 pp.

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2019). *World Aquaculture Performance Indicators WAPI. Aquaculture Growth Potential in Mexico*. 85pp.

Shang, Y.C. (1990). *Aquaculture Economics Analysis: an introduction*. The World Aquaculture Society.

Soto, D. & Quiñones, R. (2013). Cambio climático, pesca y acuicultura en América Latina: potenciales impactos y desafíos para la adaptación. *FAO Actas de Pesca y Acuicultura*, No. 29, Roma. 335 pp.

# Capítulo 21

# Inocuidad agroalimentaria: principios básicos, retos y metas

*Cristóbal J. González-Pérez[1], Emmanuel Aispuro-Hernández[1], Irasema Vargas-Arispuro[2], Carlos G. Borbón-Morales[3], Miguel Ángel Martínez-Téllez[1*]*

**Resumen**

La inocuidad agroalimentaria establece los parámetros y la manera de evaluar la ausencia de riesgos para el consumidor en productos agroalimentarios y es necesaria para no poner en peligro la salud del consumidor. La inocuidad de un alimento de origen agrícola se tiene que mantener desde su obtención hasta su consumo, por lo que las buenas prácticas agrícolas y de manejo son indispensables. Un alimento no inocuo incide en diferentes rubros como lo son: salud, económico y social. El aseguramiento de alimentos inocuos proporcionaría aspectos positivos en un ámbito general. Una medida que permite que la seguridad de un alimento sea plausible es la certificación. En cuanto a alimentos agrícolas, existen diferentes certificaciones que proporcionan mayor confianza por parte del consumidor y además permite una comercialización dentro y fuera del país. En este sentido, el aseguramiento de la inocuidad de los alimentos agrícolas es una de las prioridades para la sociedad actual. Es de relevancia que la población en general tenga el conocimiento acerca de este tema y de cómo mantener la inocuidad de los

[1] Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, Coordinación de Tecnología de Alimentos de Origen Vegetal, Carr. Gustavo Enrique Astiazarán Rosas #46, Colonia La Victoria, 83304, Hermosillo, Sonora, México.

[2] Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, Coordinación de Ciencia de los Alimentos, Carr. Gustavo Enrique Astiazarán Rosas #46, Colonia La Victoria, 83304, Hermosillo, Sonora, México.

[3] Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, Coordinación de Desarrollo Regional, Carr. Gustavo Enrique Astiazarán Rosas #46, Colonia La Victoria, 83304, Hermosillo, Sonora, México.
*Autor para correspondencia: norawa@ciad.mx

alimentos desde la compra hasta el consumo, así como que los productores y todos los involucrados con la producción de estos estén estrechamente relacionados con los procedimientos adecuados de su manejo. En este último punto, nuestro grupo de trabajo ha capacitado y dado información adecuada a involucrados en manejo de alimentos agrícolas en diversas zonas del Pacífico Sur mexicano, con el fin de apoyarlas y que produzcan alimentos seguros para el consumidor, lo que puede repercutir directamente en una venta a otros estados del país e incluso a otros países.

*Palabras clave:* Análisis de peligros y control de puntos críticos, buenas prácticas agrícolas, buenas prácticas de manejo, enfermedades transmitidas por alimentos, Ley de Modernización de la Inocuidad de los Alimentos de los EE.UU.

## Introducción

La inocuidad alimentaria se refiere a la garantía de que los alimentos que consumimos sean seguros para la salud. En este sentido, es esencial asegurar la calidad de los alimentos desde su producción hasta su consumo final. Por tal motivo, los alimentos inocuos son aquellos que se producen, almacenan y preparan en condiciones de control sanitario, tal que los consumidores no son afectados en su salud debido a la ausencia de contaminantes en estos. En este sentido, la contaminación de alimentos puede provenir de agentes físicos, biológicos o químicos y causar una enfermedad transmitida por alimentos (ETA ).

La Organización Mundial de la Salud (OMS) en el marco del Día Mundial de la Inocuidad de los Alimentos, estima que 1.6 millones de personas se enferman a diario por la ingesta de alimentos insalubres. Asimismo, se registran 340 muertes diarias de niños menores de 5 años debido a las ETAs, las cuales pueden evitarse sensibilizando a la población sobre la prevención, detección y gestión de riesgos en los alimentos, promoviendo así la salud humana, el comercio, la agricultura y el desarrollo sostenible (OPS, 2023). En este sentido, las frutas, verduras, cereales y otros productos

de origen vegetal son un elemento imprescindible en la dieta humana, pero el consumo de este tipo de alimentos contaminados ha sido el causante recurrente de brotes de ETAs en todo el mundo. Lo anterior deja en evidencia que es de gran relevancia mantener la inocuidad en los alimentos de origen agropecuario, desde su origen hasta su consumo.

La capacitación y mejora constante de los involucrados en el proceso de producción de bienes de origen agropecuarios es una de las acciones fundamentales para mejorar los sistemas de calidad e inocuidad de los alimentos, que permitirá desarrollar las herramientas para detectar los riesgos y puntos críticos que amenazan la inocuidad de nuestros productos. Lo anterior tiene un impacto directo en la salud de los consumidores, pero también en la economía nacional, pues facilita el cumplimiento de estándares requeridos por las instancias nacionales e internacionales, tanto para su comercialización interna como para exportación.

La región Pacífico Sur de México tiene un potencial agrícola alto por su gran diversidad de suelos y climas aptos para cultivos diversos de interés económico. Además, los productores cuentan con importantes saberes ancestrales en el tema de la agricultura, los cuales pueden ser potenciados al adecuar sus sistemas productivos según los requerimientos actuales en materia de inocuidad agroalimentaria. Por lo anterior, el objetivo de este proyecto consistió en fortalecer y actualizar el conocimiento en inocuidad agroalimentaria de las pequeñas y medianas empresas agrícolas productoras y procesadoras de alimentos en los estados de Michoacán, Guerrero, Oaxaca y Chiapas, mediante la capacitación del personal involucrado en la producción primaria de alimentos o en su procesamiento, con el fin de lograr condiciones que propicien el comercio nacional e internacional.

En este proyecto se logró capacitar a más de 130 participantes de distintas profesiones, ocupaciones y puestos relacionados con el ámbito de inocuidad agroalimentaria como productores, técnicos y supervisores de campo, coordinadores de inocuidad, estudiantes y académicos bajo el “Sistema de Reducción de Riesgos de Contaminación de Frutas y Hortalizas” del SENASICA-SAGARPA, que busca resguardar a los consumidores y promover prácticas justas en el comercio de alimentos mediante la adopción

del sistema de gestión de la inocuidad "Análisis de Peligros y Control de Puntos Críticos (HACCP, por sus siglas en inglés) y del Codex Alimentarius. Los participantes manifestaron el interés de mejorar los aspectos de inocuidad en el proceso productivo de una diversidad de cultivos agrícolas representativos de la región Pacífico Sur del país, entre los que destacan: café, limón persa, frijol, maíz criollo, aguacate, mango, albahaca y otras hierbas aromáticas, papaya, banano y rambután.

El presente capítulo recopila la información presentada en el "Curso-Taller de Implementación de Programas de Inocuidad Agroalimentaria con base en HACCP: Frutas, Granos y Hortalizas", durante las jornadas de capacitación impulsadas en las "Escuelas de Inocuidad Agroalimentaria", con el objetivo de que los conocimientos y herramientas enfocadas a mejorar la inocuidad alimentaria de los cultivos hortofrutícolas de interés en las distintas regiones del país tengan un mayor alcance y lleguen al mayor número de interesados.

## Principios de la inocuidad

Según el Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria (SENASICA), la inocuidad alimentaria se refiere al conjunto de condiciones y medidas fundamentales para garantizar la seguridad de los alimentos durante todas las etapas de la cadena alimentaria, desde la producción primaria hasta el consumo final. Con el objetivo de que los alimentos que consumimos no causen daño a nuestra salud, se han propuesto algunos principios básicos para prevenir o reducir el riesgo de contaminación y deterioro de ellos (Figura 1). Estos principios se encuentran ampliamente descritos en la literatura, no obstante, la figura 1 los presenta de manera concisa y resalta los factores relevantes para la inocuidad como la higiene personal, limpieza y saneamiento de las instalaciones, control de pestes, gestión de insumos y materias primas, condiciones de procesamiento, almacenamiento y transporte, manejo de residuos y capacitación y mejora continua del personal, los cuales, al analizarse con profundidad, permiten identificar peligros potenciales y puntos críticos que ponen en riesgo la seguridad de los alimentos (Awuchi, 2023; Gil *et al.*, 2014; Unnevehr 2007).

Los organismos reguladores de alimentos a menudo se basan en estos principios para establecer estándares, directrices y herramientas que promuevan la inocuidad alimentaria en todas las etapas de la cadena alimentaria para reducir al mínimo el riesgo de incidencia de enfermedades transmitidas por alimentos (ETA) (Unnevehr, 2007). Entre estas herramientas se encuentran las Buenas Prácticas Agrícolas (BPA), Buenas Prácticas de Manufactura (BPM) y el sistema HACCP, que en conjunto forman un marco integral que garantiza la seguridad y calidad del suministro de alimentos (Gil *et al*., 2014). Al adherirnos a estos principios en cada etapa del proceso de producción de alimentos podemos mitigar los riesgos y brindar a los consumidores alimentos seguros, nutritivos y saludables.

Figura 1. Principios de la inocuidad agroalimentaria

***Buenas Prácticas Agrícolas (BPA)***

Las BPA constituyen la base de la seguridad alimentaria y abarcan un conjunto de directrices y protocolos destinados a minimizar el riesgo de cualquier tipo de contaminación, garantizar la seguridad de los productos agrícolas y promover métodos agrícolas sostenibles (Gravani, 2009). La incorporación de BPA en la producción de cultivos hortícolas puede generar varios beneficios que mejoran el valor de toda la cadena de suministro para la generación de alimentos inocuos (Gil *et al*., 2014). Además, puede abrir la posibilidad de entrada de nuestro producto a diversos destinos de exportación y mercados *premium* de mayor rentabilidad, donde los consumidores están dispuestos a pagar un mejor precio por productos hortícolas seguros, de alta calidad y producidos de manera sostenible. Los componentes clave de las BPA incluyen:

a) Manejo del suelo: El manejo adecuado y monitoreo de nutrientes que se aplican a los suelos de cultivo son fundamentales para prevenir su contaminación con sustancias nocivas y garantizar que los cultivos crezcan en un ambiente saludable y seguro.

b) Calidad del agua: La calidad del agua de riego puede afectar significativamente la seguridad de los cultivos. El monitoreo y mantenimiento regular de los sistemas de riego ayudan a prevenir la transmisión de patógenos a las plantas.

c) Uso de insumos: Manejar y aplicar de forma segura pesticidas, herbicidas y otros insumos para evitar la contaminación por residuos y daños a los trabajadores agrícolas.

d) Higiene y saneamiento: Las prácticas rigurosas de higiene son esenciales para prevenir la contaminación cruzada. Esto implica la limpieza y desinfección periódica de equipos, herramientas e instalaciones, así como la eliminación adecuada de residuos.

e) Cosecha y almacenamiento: Las prácticas empleadas durante la cosecha, empaque y almacenamiento tienen un impacto directo en la seguridad y vida útil de los productos agrícolas. Las técnicas adecuadas de manipulación y almacenamiento minimizan las pérdidas poscosecha y previenen la contaminación.

***Buenas Prácticas de Manufactura (BPM)***

Una vez que los productos agrícolas salen de la finca, pasan por varias etapas de procesamiento y transformación antes de llegar a los consumidores. Las BPM son un conjunto de pautas que garantizan la producción segura y consistente de productos alimenticios. Los principios clave de las BPM incluyen: 1) diseñar y construir instalaciones que promuevan la limpieza, el flujo de trabajo eficiente y la separación adecuada de las áreas de procesamiento para evitar la contaminación cruzada; 2) establecer protocolos de higiene personal enfocados a la prevención de la propagación de enfermedades; 3) establecer un programa de limpieza, mantenimiento y desinfección regular de equipos y utensilios utilizados en el procesamiento de alimentos; 4) implementar medidas para verificar la calidad e inocuidad de las materias primas antes de su ingreso al proceso productivo y 5) realizar pruebas de control de calidad durante todo el proceso de producción para identificar y abordar problemas potenciales (Padilla-Zakour, 2009).

***Análisis de Peligros y Puntos Críticos de Control (HACCP)***

En respuesta a la necesidad de una estrategia sistemática para detectar los peligros y prevenir las ETAs, el sistema HACCP se ha convertido en la piedra angular de las prácticas modernas de inocuidad de los alimentos ya que brinda beneficios relevantes para a la industria agroalimentaria (Figura 2). El sistema HACCP incluye siete principios básicos que forman un marco sistemático para identificar, evaluar y controlar los peligros que pueden comprometer la seguridad alimentaria (Awuchi, 2023). A continuación se presentan estos principios, así como sus aplicaciones para salvaguardar la cadena de suministro de alimentos de forma resumida.

Figura 2. Beneficios de la adopción del sistema HACCP en el ramo agroalimentario

Figura 3. Clasificación de los peligros para la inocuidad alimentaria según su naturaleza

***Principios del HACCP***

1. Análisis de peligros: identificación de peligros potenciales asociados con el proceso de producción de alimentos. La clasificación de los distintos tipos de peligros se presenta en la Figura 3.
2. Identificación de puntos críticos de control (PCC): determinar puntos específicos donde las medidas de control pueden prevenir o eliminar peligros.
3. Establecimiento de Límites Críticos: definir límites aceptables para cada PCC para garantizar la seguridad alimentaria.
4. Implementación de procedimientos de monitoreo: observar y medir periódicamente los PCC para garantizar que los peligros estén controlados.
5. Tomar acciones correctivas: desarrollar protocolos para abordar las desviaciones de los límites críticos.
6. Establecer Procedimientos de verificación del sistema: validar la efectividad del sistema HACCP a través de métodos científicos y técnicos.
7. Establecimiento de documentación para los procedimientos: creación y mantenimiento de registros en bitácoras y bases de datos para demostrar la implementación del sistema.

Considerar estos principios del sistema HACCP como base para el diseño e implementación de programas de inocuidad agroalimentarias permite a los productores, mediante un enfoque riguroso y metódico, anticipar y abordar los riesgos potenciales en las etapas de producción primaria (desarrollo del cultivo y cosecha), empaque y transporte antes de que pongan en peligro la inocuidad del producto final y seguridad del consumidor.

## Relevancia de la inocuidad agroalimentaria

Hoy en día, la inocuidad agroalimentaria se ha vuelto un tema de gran relevancia ya que se pueden ver sus efectos en diversos campos científicos. En ocasiones se suele quitar responsabilidad social al consumidor que enferma

por consumir algún alimento contaminado, pero cabe la posibilidad que esa contaminación haya llegado al alimento por alguna irresponsabilidad del propio consumidor. Es importante mencionar que cuando pensamos en inocuidad lo primero que viene a la mente es alimento contaminado; no obstante, no es el único aspecto que se ve impactado de manera negativa, también es el aspecto social y el económico. En las siguientes secciones se abordarán los aspectos sociales, económicos y tecnológicos que presentan relevancia para mantener la inocuidad agroalimentaria.

***Costos sociales y responsabilidad social***

El mal manejo de los productos no sólo se expresa en daños a la salud humana, sino que también puede conducir a pérdidas financieras a lo largo de la cadena agroalimentaria, incluyendo al consumidor. Dichas pérdidas estarían relacionadas en cada fase del sistema agroalimentario: producción, cosecha, poscosecha, empacado, almacenamiento, transporte y demás puntos críticos de la cadena. Así como la posterior disposición de pérdidas de producto contaminado. En este sentido, los controles para el aseguramiento de la inocuidad alimentaria son sustanciales para mantener el desarrollo sostenido de la industria agroalimentaria y los agentes que gestionan dicha cadena, tales como: productores de insumos, agricultores, transportistas, minoristas, intermediarios y autoridades nacionales e internacionales relacionadas con el ámbito de la inocuidad.

De acuerdo a Focker & Van der Fels-Klerx (2020), la economía aplicada a la inocuidad alimentaria (EAI) es una línea de investigación reciente en la cual se combinan los campos de la seguridad alimentaria y la economía. Este campo investiga asignación de los recursos escasos y las decisiones tomadas por los actores económicos a lo largo de la cadena de suministro de alimentos relacionados con la gestión de la inocuidad de los alimentos. La EAI proporciona información sobre los aspectos económicos, que incluyen aspectos como: costos asociados con los alimentos contaminados, actitud de los consumidores, gestión de la industria agroalimentaria hacia la inocuidad de los alimentos, incentivos de los agricultores para aplicar medidas de control, prevención y control rentables, medidas y programas

de seguimiento rentables para las unidades de producción, entre los más destacables.

En referencia a los costos sociales utilizados por la EAI, se relacionan con: la atención médica, la pérdida de productividad, la calidad de vida y la mortalidad. De hecho, se ha avanzado en indicadores tales como la carga por enfermedad, que se mide en términos de años de vida ajustados por la discapacidad; en años con calidad de vida y en costo por enfermedad.

Los estándares de Responsabilidad Social Empresarial (RSE), si bien no son obligatorios, razón por la cual no son objeto de certificación —como sí los son: ISO9001:2000 e ISO 14001:2004—, se constituyen en una guía para integrar e implementar programas con los agentes involucrados (en la cadena agroalimentaria). En este sentido, la empresa debe cumplir con los siguientes aspectos: condiciones de trabajo de acuerdo con las leyes y regulaciones nacionales, condiciones de trabajo decentes, salarios de calidad, protección social, horarios de trabajo normales y compensación por hora extra trabajada (Ortiz & Massai, 2008).

La RSE ha sido un criterio que las empresas asumen como un costo, ya que mediante esta se desarrollan actividades estratégicas enfocadas a generar ventajas competitivas para la empresa, sobre todo para posicionar y mejorar la reputación de esta. Existen normas y criterios cuyos estándares más reconocidos son: la Organización Internacional para la Estandarización (ISO) 9000 (estándar de calidad), ISO14000 (gestión ambiental), ISO26000 (estándar de orientación para la responsabilidad social), *Global Reporting Initiative* (realización de informes de sostenibilidad), SA8000 (para las condiciones de los trabajadores en la cadena de suministro) y AA1000 (contabilidad, auditoría e informes sociales y éticos) (Mosca & Civera, 2017).

Autores como Campos *et al.* (2020) explican que las empresas agrícolas mexicanas que están integradas en cadenas de valor globales deben buscar este tipo de certificaciones, pues sus niveles de calidad total permiten y exigen que sus procesos estén estandarizados en inocuidad, sanidad y calidad. Incluso en ocasiones se incluye el ámbito social (sobre todo, para aquellos quienes buscan los mercados europeos). Sin embargo, también se

ha señalado que estas empresas están aún en una etapa incipiente dentro de este tema.

***Costos financieros***

La producción y comercialización de alimentos seguros y de calidad son un impulsor clave del crecimiento económico. Los países que invierten en prácticas agrícolas sostenibles, tecnología de alimentos y sistemas de control de calidad pueden fortalecer su sector agrícola y mejorar las oportunidades de exportación, lo que a su vez fomenta el desarrollo económico.

Los precios son indicador relevante de los movimientos de la oferta y la demanda de agro productos. Por lo cual, la economía y la seguridad alimentaria están intrínsecamente vinculadas, ya que la disponibilidad y el acceso a alimentos seguros y suficientes son fundamentales para el bienestar de la población y el desarrollo económico de los países. Uno de los indicadores fundamentales es el precio de estos.

El informe sobre la seguridad alimentaria del Banco Mundial (2024) destaca la persistente alta inflación de los precios de los alimentos a nivel mundial, especialmente en países de ingreso bajo y mediano. Esta inflación puede afectar negativamente a las poblaciones vulnerables y con bajos recursos, ya que un aumento sostenido en los precios de los alimentos puede llevar a una mayor inseguridad alimentaria.

La mayoría de los esfuerzos para medir el costo económico de los alimentos inocuos se han centrado en los costos de los hogares. Ya que en el hogar se incurre a gastos, por ejemplo, cuando un miembro del hogar se enferma por el consumo de alimentos. Específicamente, los consumidores que son conscientes de los riesgos asociados con los alimentos pueden enfrentar costos si se involucran en esfuerzos de autoprotección. En este sentido, un consumidor puede optar por comprar productos pasteurizados, evitar alimentos de riesgo que le gusten o cocine los alimentos hasta que se destruyan todos los patógenos potenciales.

Figura 4. Relación entre los distintos aspectos del dominio Economía de la Seguridad Alimentaria

Fuente: Focker & Van der Fels-Klerx, 2020.

En general, los costos asociados a la inocuidad se pueden englobar en tres grandes tipologías. A decir de Devleesschauwer *et al.* (2018), en el cuadro 1 se describen los costos de las ETAs, los cuales se engloban en hogares, industria alimentaria y sector público de salud.

Cuadro 1. Tipología de costos asociados a inocuidad alimentaria

| Hogares | Industria alimentaria | Sector público de salud |
|---|---|---|
| Auto protección | Retiro de pérdidas por producto contaminado | Vigilancia epidemiológica |
| Cuidados médicos | Cierre de planta para su limpieza | Respuesta al brote de enfermedad |
| Pérdida de productividad | Responsabilidad social | Asistencia para la recolección de producto |
| Costo de cuidadores | Costos de reputación | Inspección y limpieza |
| Calidad de vida | Cumplimiento de normas y **certificaciones** | Promulgación de regulaciones |
| Mortalidad | | Cumplimiento de regulaciones |

Fuente: Elaborado con base en Devleesschauwer et al. (2018).

***Controles basados en aspectos tecnológicos***

La inocuidad agroalimentaria ha sido ampliamente favorecida por el uso de nuevas tecnologías, así como por las grandes aportaciones científicas que año tras año se han realizado. Los aspectos tecnológicos y las aportaciones científicas han permitido avanzar ampliamente en detección y control de patógenos, sistemas de seguimiento y trazabilidad, monitoreo en tiempo real, conservación de alimentos, automatización y robótica. Estos avances ayudan a disminuir probabilidades de contaminación en los alimentos y con esto asegurar la inocuidad de los mismos.

Cuando hablamos de detección y control de patógenos, es de relevancia llevar controles microbiológicos a lo largo de la cadena productiva. Estos controles pueden hacerse mediante métodos tradicionales de microbiología o cambiar a métodos moleculares, comprendiendo que los primeros son más baratos, pero más tardados; los segundos, más caros, pero más rápidos.

Los sistemas de seguimiento y trazabilidad han ido en mejoría constante gracias a los avances tecnológicos que se dan día a día. Gracias a estos avances, un producto que presente alguna contaminación puede monitorearse y rastrearse con gran eficiencia y en un corto tiempo evitar su comercialización o sacarse del mercado (Patelli & Mandrioli, 2020).

El monitoreo de un producto agrícola se puede realizar en tiempo real, esto gracias a los sensores que existen y sistemas de telemetría. En este contexto, las variables que más interesan para mantener la calidad e inocuidad de un alimento son temperatura, humedad y presión.

Un punto de gran relevancia que se ha ido mejorando con el desarrollo de la ciencia y la tecnología es la conservación de los alimentos de origen vegetal. Existen innumerables investigadores que trabajan con métodos de conservación de alimentos y muchos de los cuales tienen una aplicación a corto plazo. Algunas de las técnicas estudiadas y aplicadas que más beneficios podrían aportar al producto y al consumidor son: empaquetados al vacío, empaquetados con atmosferas modificadas e irradiación (Ashrafudoulla *et al.,* 2023).

El uso de la automatización y la robótica son aspectos que pueden traer opiniones muy discrepantes. Por un lado, la suplencia de mano de obra

del personal que repercutiría en la fuente de trabajo y, por lo tanto, en la economía familiar. Y por el lado contrario, se vería aumentada la producción de la empresa y con un mantenimiento correcto conservar la inocuidad alimentaria evitando la contaminación cruzada que pudiera haber con los manipuladores del alimento.

## Retos de la inocuidad agroalimentaria

El principal reto de la inocuidad de alimentos es cumplir perfectamente con su propósito de que todo consumidor de alimentos tenga la confianza de que el alimento no le va a ocasionar ninguna enfermedad. Este reto prácticamente es imposible de lograr a nivel mundial, ya que existen muchos factores difíciles de controlar. Por lo que un reto más factible es abordar el tema de inocuidad desde lo más básico a lo más complejo en cuanto a control de peligros en los alimentos, bajo las condiciones de operación particular de producción o manejo, sin discriminar por el tamaño de la organización proveedora de alimentos. Lo importante es que todos estén conscientes del impacto en la salud de los consumidores que puede tener un alimento producido o manejado en condiciones inseguras.

Uno de los principales retos de la inocuidad agroalimentaria es la contaminación de alimentos por microorganismos y por agentes químicos. Estos contaminantes pueden causar problemas agudos y crónicos respectivamente. Ambos pueden estar presentes en altas concentraciones en el suelo donde crece la planta y pasar desapercibidos, lo cual resultaría en un alimento contaminado. El alimento contaminado puede ser el transporte de microorganismos patógenos o agentes químicos como pesticidas, fumigantes y metales pesados, esto repercutiría directamente en la salud del consumidor a corto, mediano o largo plazo según sea el caso. Martínez-Téllez *et al.* (2007) presentan una recopilación de casos de relevancia donde la inocuidad agroalimentaria se evaluó en distintas etapas de producción y procesamiento de diferentes cultivos, específicamente: uva de mesa, melón cantaloupe y cilantro. Estos autores presentan diferentes causas de contaminación como son: preparación y aplicación de soluciones, herramientas utilizadas en la

etapa de cosecha, la higiene del personal, mala conservación de los productos, incluso la calidad microbiológica del agua utilizada en diversas etapas de la cadena productiva. Estas vías de contaminación fueron evidenciadas por la presencia de coliformes totales, *Escherichia coli* y *Salmonella* spp. en las diferentes muestras tomadas a lo largo de la cadena productiva, lo que aumenta el riesgo de producir un alimento inseguro para el consumidor. Estos indicadores microbiológicos son de los más utilizados para evaluar la inocuidad de los alimentos de manera general.

Otro reto importante es la globalización. Con el mercado internacional de la industria de alimentos, la cadena de suministro a alimentos agroalimentarios ha ido creciendo, aumentando con esto el manejo del alimento hasta el consumidor, obviamente más tiempo y una trazabilidad más compleja. Es importante mencionar que la globalización puede traer cosas buenas y algunas no tanto, como es el caso de la trazabilidad de un alimento en el caso de ser relacionado con un brote alimentario.

Otro elemento importante que afecta la inocuidad agroalimentaria es el cambio climático, que ha sido identificado como potencial riego para la contaminación de agua y alimentos (Gil *et al.*, 2015), debido las altas temperaturas que pueden afectar la producción agrícola y la multiplicación de bacterias patógenas a niveles que ocasionen daños a la salud de los y las consumidores(as).

Otro reto de gran importancia es la adaptación de los microorganismos patógenos a diferentes condiciones. El uso incorrecto de agentes antimicrobianos para la desinfección de productos de origen vegetal puede llevar a la resistencia de microorganismos a estos agentes. La gran tasa de mutación que poseen los microorganismos les permite evolucionar rápidamente y adaptarse a diferentes concentraciones de agentes antimicrobianos y a diferentes concentraciones de antibióticos, estos últimos son de los más preocupantes debido a la multirresistencia a antibióticos que pueden generar los microorganismos que pudieran causar una ETA.

## Avances en inocuidad agroalimentaria

La inocuidad agroalimentaria debe ser una característica de todos los alimentos de origen agrícola y de cualquier alimento en sí. Para cumplir con diferentes características asociadas a la inocuidad y brindar confianza al consumidor final existen algunas regulaciones y/o certificaciones que pueden adquirir las empresas agrícolas. Estas regulaciones y certificaciones pueden ser:

### *Ley Federal de Sanidad Vegetal*

La ley Federal de Sanidad Vegetal regula y promueve la aplicación, verificación y certificación de los sistemas de reducción de riesgos de contaminación física, química y microbiológica en la producción primaria de vegetales. Es importante cumplir con esta Ley ya que indica los procedimientos correctos de cómo puedes importar el producto, así como exportarlo. En este sentido, es importante mencionar que existen normas mexicanas específicas para cada producto vegetal, para un correcto manejo, transporte y comercialización (LFSV, 2011).

### *Certificación GLOBALG.A.P.*

La certificación GLOBALG.A.P. (Good Agricultural Practices) es la certificación que más se aplica a nivel mundial, esta consiste en un sistema de normas para tres tipos de producciones: vegetal, animal y acuícola. Cuando una empresa agrícola presenta esta certificación, indica que es una empresa que aplica de manera correcta las Buenas Prácticas Agrícolas (GlobalGAP, s.f).

### *Certificación HACCP*

El Sistema de Análisis de Peligros y Puntos Críticos de Control (HACCP, por sus siglas en inglés) es un sistema que trata de evaluar, identificar y controlar cualquier peligro que pudiera poner en riesgo la inocuidad de cualquier alimento (Awuchi, 2023), aplicable también a frutas y hortalizas.

### *Certificación Orgánica*

Este tipo de certificación es proporcionada por USDA en EE.UU. o la Norma Orgánica de la Unión Europea. De manera básica, los productores que cuentan con esta certificación no utilizan pesticidas ni fertilizantes sintéticos en sus cultivos, centrándose en prácticas agrícolas sustentables y respetuosas con el medio ambiente (USDA, s.f.)

### *Cumplimiento de la FSMA para productos frescos*

Diferentes protocolos de certificación están relacionados al cumplimiento a la Ley de Modernización de la Inocuidad de los Alimentos en los EE.UU. ((FSMA, por sus siglas en ingles) y es requerido para los productores que pretenden exportar a ese país. Las empresas que poseen estas certificaciones demuestran ante la Administración de Alimentos y Medicamentos de los EE.UU. (FDA, por sus siglas en inglés) que implementan prácticas y controles específicos para asegurar la inocuidad de los alimentos que producen, procesan, almacenan o distribuyen (Wiseman, 2015).

## Metas y perspectivas: sociales, económicas y tecnológicas

Las metas de la inocuidad agroalimentaria tienen que ir ligadas a la mejora en todos los sentidos, involucrando aspectos sociales, económicos y tecnológicos. Las metas en el aspecto social tienen gran relevancia ya que son las que impactan de mayor manera en la población en general. Las metas en lo económico, a pesar de pensar que solo benefician al productor, también benefician a todo aquel que se encuentre relacionado con la cadena de producción, desde jornaleros hasta el sitio de venta. En cuanto a lo tecnológico, el objetivo sería básicamente eficientizar la detección de cualquier tipo de contaminación en cualquier paso de la cadena de producción.

En el aspecto social, la meta principal es que la inocuidad agroalimentaria provea de alimentos seguros a los consumidores, causando la reducción de la incidencia de ETA causadas por este tipo de alimentos, aunado a esto la accesibilidad de alimentos seguros para toda la población es otra de las metas. Además, una meta de gran relevancia en este aspecto es la conciencia

y la confianza del consumidor; primero adiestrando a los consumidores con la buena elección de frutas y vegetales, así como el buen manejo de estos, y la segunda que va dirigida directamente al productor y que dependerá de las experiencias previas de los consumidores con este tipo de alimentos.

En cuanto a parámetros económicos, una meta a futuro en cualquier producto es el comercio internacional, productores que exportan sus productos agrícolas al extranjero tienden a impulsar la economía del país. Otras metas es la reducción de pérdidas, aumento de producción e innovación tecnológica.

La trazabilidad sería una de las metas tecnológicas en las que se trabaja continuamente, así como en técnicas para la detección de contaminantes; ambas serían de gran beneficio. La trazabilidad serviría para poder rastrear cualquier producto agrícola desde su producción hasta su sitio de comercialización final y las técnicas de detección de contaminantes ayudarían ampliamente a que los alimentos contaminados no lleguen al mercado y no causar ETAs.

Las perspectivas y las metas a las que se dirige la inocuidad agroalimentaria se podrían resumir en que todos los alimentos sean seguros y, por lo tanto, incapaces de generar ninguna enfermedad. A nivel mundial sería prácticamente imposible llegar a un 100% de alimentos inocuos; no obstante, disminuir la incidencia de ETAs causadas por alimentos agroalimentarios sería un gran comienzo y una meta que se puede lograr con mucho esfuerzo y trabajando en conjunto todos los que se encuentran en la cadena de producción de estos alimentos. Autores como Martínez-Téllez *et al*. (2007) y Espinoza-Medina *et al*. (2006) muestran que las BPA y las BPM en conjunto y el desarrollo de manuales de procedimientos relacionados con el sistema HACCP han contribuido con la reducción y control de agentes contaminantes.

## Conclusiones

La inocuidad alimentaria abarca una red compleja de prácticas y protocolos diseñados para salvaguardar integridad de nuestro suministro de alimentos.

Desde los campos donde se cultivan hasta las plantas de procesamiento donde las materias primas se transforman en productos consumibles es posible implementar medidas para garantizar que los alimentos que consumimos estén libres de peligros físicos, químicos y biológicos. Garantizar una agricultura segura y sostenible implica un enfoque holístico que abarca varios aspectos interrelacionados que abordan no sólo la seguridad de los productos agrícolas, sino también las dimensiones ambientales, sociales y económicas de las prácticas agrícolas, las cuales han tomado una mayor relevancia en las últimas décadas y deben ser consideradas según las nuevas disposiciones de los Gobiernos y las agencias reguladoras de la producción y distribución de alimentos. Al considerar estos aspectos de manera integral se facilita la construcción de un sistema de producción agrícola que no sólo proporcione alimentos nutritivos e inocuos, sino que también proteja el ambiente y el bienestar de las comunidades.

Bajo este principio se capacitó a los asistentes al curso-taller para implementar programas de inocuidad agroalimentaria y responder a los requerimientos del mercado en cuanto a inocuidad alimentaria enfocada a hortalizas y granos. Esto contribuirá a que la producción agrícola en la región Pacífico Sur del país esté preparada para cumplir de forma integral con los requerimientos nacionales e internacionales, como la Ley de Modernización de la Inocuidad de los Alimentos de los EE. UU.

Productores de frutas, miel y tilapia del estado de Oaxaca (2020) y Chiapas (2024) que recibieron capacitación en Inocuidad Agroalimentaria con base en el sistema HACCP

## Referencias

Ashrafudoulla, M., Ulrich, M. S., Toushik, S. H., Nahar, S., Roy, P. K., Mizan, F. R., Park, S.H. & Ha, S. D. (2023). Challenges and opportunities of non-conventional technologies concerning food safety. *World's Poultry Science Journal*, *79*(1), 3-26. https://doi.org/10.1080/00439339.2023.2163044

Awuchi, C. G. (2023). HACCP, quality, and food safety management in food and agricultural systems. *Cogent Food & Agriculture*, *9*(1), 2176280. https://doi.org/10.1080/23311932.2023.2176280

Banco Mundial (2024). Actualización sobre la seguridad alimentaria. Recuperado en: https://www.bancomundial.org/es/topic/agriculture/brief/food-security-update.

Campos López, S. E., Pelayo Cortés, M. M. y Velázquez Núñez, J. J. (2020). Responsabilidad social empresarial: un estudio sobre empresas agrícolas y ganaderas jaliscienses. *Cofin Habana, 14*(1), e10. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2073-60612020000100010&lng=es&tlng=es

Devleesschauwer, B., Scharff, R.L., Kowalcyk, B.B., Havelaar, A.H. (2018). Burden and Risk Assessment of Foodborne Disease. En Roberts, T. (eds) *Food Safety Economics. Food Microbiology and Food Safety*. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-92138-9_6

Espinoza-Medina, I.E., Rodríguez-Leyva, F.J., Vargas-Arispuro, I., Islas-Osuna, M.A., Acedo-Félix, E., Martínez-Téllez, M.A. (2006). PCR identification of *Salmonella*: Potential contamination sources from production and postharvest handlings of *cantaloupes*. *Journal of Food Protection*, 69(6): 1422-1425. https://doi.org/10.4315/0362-028X-69.6.1422.

Gil, M. I., Selma, M. V., Suslow, T., Jacxsens, L., Uyttendaele, M., & Allende, A. (2015). Pre-and postharvest preventive measures and intervention strategies to control microbial food safety hazards of fresh leafy vegetables. *Critical reviews in food science and nutrition*, *55*(4), 453-468. https://doi.org/10.1080/10408398.2012.657808

Global G.A.P. (2024). Global G.A.P. certification. https://www.globalgap.org/

Gravani, R. B. (2009). The role of good agricultural practices in produce safety. *Microbial safety of fresh produce*, 101-117. https://doi.org/10.1002/9781444319347.ch5

Martínez-Téllez, M.A., Vargas-Arispuro, I, Silva-Bielenberg, H.K., Espinoza-Medina, I.E., Rodríguez-Leyva, F.J., González-Aguilar, G. (2007). Producción y manejo poscosecha de hortalizas. En Gardea-Béjar, A.A., González, G.A., Higuera-Ciapara, I., Cuamea-Navarro, F. (Editores), Buenas Prácticas en la Producción de Alimentos. Capítulo 7, pp. 223-238. Editorial Trillas. ISBN: 978-968-24-8175-8.

Padilla-Zakour, O. I. (2009). Good manufacturing practices. *Microbiologically safe foods*, 395-414. https://doi.org/10.1002/9780470439074.ch20

Unnevehr, L. J. (2007). Food safety as a global public good. *Agricultural Economics*, *37*, 149-158. https://doi.org/10.1111/j.1574-0862.2007.00241.x

Focker M., & Van der Fels-Klerx H.J. (2020). Economics applied to food safety. *Current Opinion in Food Science*, 36(2020), 18-23. https://doi.org/10.1016/j.cofs.2020.10.018

USDA. (2024). Organic Certification and Accreditation. United States Department of Agriculture. https://www.ams.usda.gov/services/organic-certification

Ley Federal de Sanidad Vegetal (LFSV). 2011. Poder Judicial. Suprema corte de justicia de la nación. Distrito Federal, México. Recuperado de: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/131789/36._LEY_FEDERAL_DE_SANIDAD_VEGETAL.pdf

Mosca, F., & Civera, C. (2017). The Evolution of CSR: An Integrated Approach. *Symphonya. Emerging Issues in Management*, (1), 16–35. https://doi.org/10.4468/2017.1.03mosca.civera

Organización Panamericana de la Salud [OPS] (2023). El Día Mundial de la Inocuidad de los Alimentos 2023. https://www.paho.org/es/campanas/dia-mundial-inocuidad-alimentos-2023.

Ortiz G. & Massai R. (2008). ISO 26000 y Derechos Laborales. En *ISO 26000 y Derechos Laborales Reflexiones y perspectivas desde las organizaciones sindicales y ciudadanas*. Coord. Erika C. Veloz Gutiérrez. Fundación Friedrich Ebert, Representación en México. Red Puentes México. https://www.centroscomunitariosdeaprendizaje.org.mx/sites/default/files/iso_26000_y_derechos_laborales_reflexiones.pdf

Patelli, N., & Mandrioli, M. (2020). Blockchain technology and traceability in the agrifood industry. *Journal of food science*, 85(11), 3670-3678. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.129708

Wiseman, S. R. (2015). The Implementation of the Food Safety Modernization Act and the Strength of the Sustainable Agriculture Movement. *American Journal of Law & Medicine*, 41(2–3), 259–273. https://doi.org/10.1177/0098858815591517.

# Capítulo 22

# Inteligencia tecnológica para el desarrollo de las cadenas productivas de la región Pacífico Sur

*Luis Alberto Olvera-Vargas[1*], Yair Romero-Romero[1], Julia Sánchez-Gómez[1], Joaliné Pardo Nuñez[1], Ever Sánchez Osorio[1], Carlos Mario Rodríguez Peralta[1], Óscar Aguilar Juárez[2]*

**Resumen**

Este capítulo tiene como finalidad mostrar la estructura de las cadenas productivas de agave-mezcal, café, mango y frijol en la región Pacífico Sur, y cómo los elementos de inteligencia estratégica, en conjunto con los conocimientos tradicionales y tecnología de vanguardia, pueden ayudar a mejorar el aprovechamiento de las cadenas de valor. Se analizó el contexto actual de los actores, redes y estrategias productivas de las cadenas productivas en la región. Se reconoció, a partir de talleres, parte de los conocimientos tradicionales que se usan en estas cadenas productivas, así como su relevancia en la productividad local y regional. Se obtuvo información sobre las practicas sustentables que se realizan en la producción y su importancia en la rentabilidad de los productos y caracterizando de forma geográfica su distribución con el fin de analizar los eslabones de las cadenas productivas.

*Palabras clave:* Cadenas productivas, Conocimiento tradicional, Desarrollo rural, Prospección, Región.

[1] Investigador por México CONAHCYT-CIATEJ, Av. Normalistas 800, Colinas de la Normal, Guadalajara, México 44270.

[2] Tecnología ambiental, CIATEJ, Av. Normalistas 800, Colinas de la Normal, Guadalajara, México 44270.
[*]lolvera@ciatej.mx.

## Introducción

La Región Pacífico Sur, conformada por Chiapas, Guerrero y Oaxaca, presenta condiciones de marginación y pobreza severa (PNUD, 2015; CONAPO, 2021). Estas circunstancias han propiciado el establecimiento de diversas medidas de atención para mejorar el desarrollo humano a través del acceso a servicios básicos. Así, considerando la vocación productiva de esta región, la población del sector agropecuario ha representado uno de los principales sujetos de apoyo de los diversos programas gubernamentales. La Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (SADER), a través de diferentes programas, ha promovido el mejoramiento de las condiciones de producción del campo y la seguridad alimentaria, destacando programas como PROCAMPO (Programa de Apoyos Directos al Campo), producción y fertilizantes para el Bienestar, Fomento a la Agricultura, Ganadería, Pesca y Acuicultura Componente Fomento a la Agricultura (subcomponente de fortalecimiento a las cadenas agroalimentarias), Abasto Rural, entre otras; así como también estrategias y acciones realizadas por el Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria (SENASICA), como el programa de sanidad e inocuidad agroalimentaria, salud animal, sanidad vegetal, etc. (SADER, 2023).

No obstante, a pesar de la implementación de medidas con enfoque en el fomento a la productividad, complementarias a aquellas relacionadas con el desarrollo social, parece que estas no se han manifestado en el desarrollo económico de la población; pues desde que se comenzó a medir en 1990, el índice de marginación ha incrementado gradualmente en esta región. La problemática social de este espacio radica en gran medida sobre la aptitud productiva de su territorio; por lo tanto, es fundamental conocer aquellos aspectos relacionados con la estructura de producción de sus diferentes sistemas agroalimentarios.

Los casos particulares que son objeto del presente capítulo se han delimitado entorno a los sistemas de café, mango, agave-mezcal y frijol. Por lo tanto, una serie de actividades de investigación se llevaron a cabo para una caracterización sobre la problemática del aspecto social en el contexto

de los sistemas productivos, así como algunas soluciones por parte de los actores que participan en la cadena para la generación de posibles estrategias de desarrollo sustentable en la región.

## Materiales y métodos

La identificación de las zonas objeto del presente informe estuvo sujeta a los criterios de ubicación geográfica acotada al territorio de cada entidad, así como a la capacidad de producción de los cuatro diferentes sistemas productivos. Por lo tanto, un análisis sobre el estado actual y la tendencia de la producción a nivel estatal y municipal permitió el reconocimiento y la delimitación de los principales centros productivos relacionados a cada sector agroalimentario. Estos criterios se eligieron para resaltar las zonas o regiones donde se concentra la mayor capacidad de producción de cada sistema por entidad federal. Se asume que en la misma región se presentarían casos donde la estructura del sistema productivo estaría bien organizada, así como casos de actores desvinculados. En este sentido, la localización de polos opuestos estableció el marco de referencia para identificar contrastes sobre el estado y desarrollo de la producción de cada uno de los sistemas a nivel municipal.

La determinación de los municipios o conjuntos de municipios con alta o baja capacidad productiva se hizo a través del análisis espacial basado en herramientas de Sistemas de Información Geográfica (SIGs) con el valor de producción municipal que reporta el Sistema de Información Agroalimentaria (SIAP) de la SADER. Se utilizó el valor de producción debido a que refleja el resultado de diversas variables que reporta el SIAP, involucra el volumen de producción (superficie de cosecha, rendimiento de la cosecha) y el precio medio rural.

En una fase preparatoria al trabajo de campo se diseñaron instrumentos de recolección de información. Estos incluyeron una guía temática para entrevista semi-estructurada, guía de observación de campo y guía para dirección de grupo focal. Los temas que se abordaron de manera grupal o a través de entrevistas individuales fueron: organización, conocimiento

tradicional, comercialización, infraestructura-tecnología, relación con el gobierno y otras instituciones, industrialización y plagas-enfermedades. Añadimos la variable de prospectiva por el interés de conocer cómo se observan diferentes sectores de eslabones productivos en el futuro. Cabe mencionar que las problemáticas que afectan al sector agrícola recaen en lo social, por lo cual se encadenan y son transversales. Al mismo tiempo se complejiza por la heterogeneidad de factores internos y externos que la afectan. Se contactaron actores clave que participan activamente o tienen un papel preponderante en las cadenas productivas de café, mango, agave-mezcal y frijol, con el objetivo de identificar y analizar el contexto actual de los actores, redes, estrategias productivas y de mercado que conforman actualmente las cadenas de valor en la Región Pacífico Sur e identificar los elementos clave que aportan al desarrollo de las cadenas productivas.

## Resultados y discusión

En total, se atendieron 26 municipios de los tres estados, que involucró a actores de siete universidades y centros de investigación, cuatro industrias, 15 asociaciones y organismos productores, tres dependencias de gobierno y productores de las diferentes cadenas productivas (Figura 1 y Tabla 1)

Figura 1. Áreas de incidencia para el diagnóstico de las cadenas productivas

Tabla 1. Instituciones y agrupaciones participantes para el diagnostico de las cadenas productivas

| Estado | Academia | Gobierno | Industria | Sociedad civil |
|---|---|---|---|---|
| Guerrero | UAGro | SADER, SENASICA | Empacadora Mango | Luz de la Montaña, Organización Producción Rural Sanzekan, productores. |
| Oaxaca | UABJO, UACh, Umar, INIFAP, CYMMYT | SADER, SENASICA, Sistema producto (mango, café, frijol), SPR y Desarrollo Agro SPR | Tabernal empacadora | Cadena productiva Agave, Unión comunidades Indígenas Istmo, UNECAFE-CEPCO, productores |
| Chiapas | ECOSUR, UniCafé | SADER, SENASICA, Dirección de Fomento Agropecuario | Finca Triunfo Verde, Natura Frut, Aguardiente de Comitán. | Unión Ramal Santa Cruz, Asociación Productora de Mango, productores |

***Café***

Considerado como uno de los cultivos más representativos en el mundo, el café es una semilla contenida dentro del fruto del cafeto. En México la mayor producción de café cereza se encuentra en el estado de Chiapas, registrando 87 municipios productores; Motozintla se ubica como el mayor productor de café cereza en el estado (SIAP, 2022). En Chiapas la cadena productiva del café se conforma, generalmente, del pequeño productor, una organización de productores locales, empresas comercializadoras y su venta al mercado. En Guerrero solo las organizaciones sólidas tienen oportunidades para vivir de la producción y la comercialización del café, y también dependen de una buena relación con el Consejo Estatal del Café (CECAFÉ). Luz de la Montaña es una de las organizaciones grandes más consolidadas que se han concentrado en renovar cafetales con planta resistentes y mejorar sus procesos de beneficiado, tostado y molido. Las organizaciones en general están promoviendo la renovación, pues la roya destruyó hasta el 70% de la planta en el estado en 2014-2015. El café criollo es más resistente a las plagas y en la costa grande se identifican las subregiones a nivel de altura del mar como la producción de mejor calidad en taza. Oaxaca, por su parte, además de tener una gran riqueza cultural, cuenta con una variedad significativa en ecosistemas, biodiversidad y condiciones climatológicas que han permitido la producción de café de alta calidad. Sin embargo, tanto a nivel nacional como a nivel estatal la producción de café, así como la cantidad de hectáreas sembradas, ha ido disminuyendo (anualmente con una tasa del 6%), debiéndose principalmente a dos factores: la nueva cepa de la roya y la “avanzada edad de los cafetales” (FIRA, 2016). En ambos casos los cafeticultores implementan, a su modo, estrategias (empíricas) para mantener a flote la producción, el cual, para el caso de Oaxaca, la producción es de importancia económica estatal y nacional.

De forma regional se describen características similares, de las que sobresalen en que la mayor parte de los productores son mayores a los 50 años de edad, debido a las creencias y respeto a sus ancestros difícilmente podan sus cafetales para renovar su siembra. Las lenguas indígenas y la falta de habla española complican el control de datos para el registro del

proceso de producción. El uso de las asambleas para la toma de decisiones es parte de los usos y costumbres que tienen las comunidades y los productores de café, se usa el consenso en las comunidades, lo que disminuye los problemas internos. Algunos usan el conocimiento tradicional para tratar sus tierras y plantas de café.

***Mango***

El mango es uno de los sistemas de producción más importantes del estado de Chiapas. Específicamente, el Mango Ataulfo del Soconusco de Chiapas logró su denominación en el año 2003, esta distinción se concentra en los municipios: Suchiate, Frontera Hidalgo, Metapa, Tuxtla Chico, Tapachula, Mazatán, Huehuetán, Tuzantán, Huixtla, Villa Comaltitlán, Escuintla, Acacoyagua y Acapetahua. Entre los pequeños productores destacan las afectaciones provocadas por plagas, enfermedades y cambios climáticos. Otras de las problemáticas principales son las relacionadas con los intermediarios, la inestabilidad del precio de la fruta, los requisitos de exportación (sobre todo de inocuidad y sanidad vegetal) y la falta de infraestructura tecnológica para procesamientos específicos.

En el estado de Guerrero, el cultivo se promueve desde la década de 1950 y se hace predominantemente en la franja costera (Costa Grande: Tecpan de Galeana, Atoyac de Álvarez, Coyuca de Benítez, Petatlán, Benito Juárez y Zihuatanejo de Azueta; Costa Chica: San Marcos, Marquelia, Juchitán, Ayutla de los Libres y Cuajinicuilapa). Se cultiva también en Acapulco, en la región de Tierra Caliente (Ajuchitlán del Progreso) y región Centro (Juan R. Escudero). El mango más representativo del estado es la variedad Ataulfo, aunque se siembran otras cuatro variedades en casi todas las huertas (Kent, Tommy Atkins, Haden, Manila), esto es para tener ingreso a lo largo del año ya que cada uno produce naturalmente en distinto momento, no aplica para las huertas rentadas a las que se aplica un paquete tecnológico de alto impacto.

En Oaxaca son 11 municipios que se dedican actualmente a la producción de mango con calidad de exportación, producción agrícola que va en aumento (Orozco, 2019). En el 2019, el listado oficial de Huertos de

Mango registrados para Exportación a Estados Unidos del estado de Oaxaca reporta 324 huertos produciendo mangos de alta calidad (SADER, 2023; SENASICA, 2019). Con respecto a la producción nacional de mango, Oaxaca ocupa el tercer lugar en exportación de mango hacia Estados Unidos, con un total de 36,617 toneladas. En este estado son prácticamente escasos los huertos en los que existe un conocimiento tradicional, pues históricamente hablando es un cultivo que tiene pocos años de existir, y hace 15 años que se empezó a detonar con un significado más económico.

***Agave-mezcal***

En la Meseta Comiteca Tojolabal del estado de Chiapas, que comprenden los municipios de Comitán de Domínguez, la Independencia, la Trinitaria, las Margaritas, las Rosas, Maravilla Tenejapa y Tzimol, se produce el maguey comiteco, conocido también como *Agave Americana*. Del corazón de esta planta, a través de procesos de fermentación, resulta la bebida espirituosa "comiteco" que, a diferencia de otros mezcales, es un destilado que surge del aguamiel fermentado del agave, este último conocido también como pulque. En la actualidad, a través de instancias específicas, la bebida adquiere una importancia cultural y comercial, sobre todo por actividades de productores (emprendedores) que comienzan a envasar la bebida para su comercialización. En el caso de Guerrero, el Consejo Estatal de Mezcal se encuentra fragmentado, no existe un trabajo equitativo para apoyar a los agremiados y existen pocas organizaciones a nivel comunitario o intercomunitario para la producción de mezcal. Se está produciendo mezcal de especialidad para nichos de mercados alternativos a través de la elaboración de mezcal artesanal. Existen en algunos ejidos mezcaleros acuerdos para que no se agote el maguey, permitiendo la fructificación de 20% de los agaves de un área. En Guerrero crecen de manera natural dos especies de agave: *cupreata* y *angustifolia*.

En Oaxaca el agave se encuentra de forma silvestre y sembrado, empleado para la producción de mezcal en las regiones fisiográficas de la Sierra Madre del Sur y Valles Centrales de Oaxaca, aunque la distribución de la planta abarca 90% del estado. En términos de distrito político, más

allá de la discusión sobre aquellos que están oficialmente incluidos en la Denominación de Origen del mezcal, se produce y emplean magueyes para el destilado en los distritos de Ejutla, Tlacolula, Miahuatlán, Yautepec, Sola de Vega, Ocotlán, Etla, Centro, Villa Alta, Mixe, Mixteca, Tlaxiaco, Juquila y Tehuantepec (Palma *et al*., 2016). La diversidad de agaves en Oaxaca es de 39 especies, empleándose nueve especies y 17 variedades o cultivares en la elaboración de mezcal (*A. angustifolia; A. potatorum; A. seemanniana; A. marmorata; A. karwinskii; A. americana; A. salmiana; A. rhodacantha y A. convallis*) (García, 2007; Cuevas *et al*., 2019; García-Mendoza *et al*., 2019). El Consejo Regulador del Mezcal agrega el registro de una décima especie: *A. durangensis* (CRM, 2018). Al momento las principales especies sembradas en el estado son las que dan lugar al mezcal llamado espadín (*A. angustifolia*) del que se produce el 75% del destilado (CRM, 2018), familia de mezcales de los cuishes (*A. karwinskii*), maguey de tobalá (*A. potatorum*) y mezcales mexicanos, coyote y arroqueño (*A. americana*), aunque de manera creciente los productores de mezcal ven la necesidad de generar viveros, ya sea individuales o colectivos, para propagar por hijuelos o germinar mediante semillas las plantas.

Las crisis por escasez de maguey mezcalero en Oaxaca son una constante desde inicios de los noventa, cuando la creciente industria tequilera de Jalisco requería de materia prima adicional a la de ese estado, la cual buscó en otros estados productores de agave (o con abundancia de planta silvestre) como Oaxaca y Guerrero. Desde entonces y sumando a la interacción con los tequileros de Jalisco, los mercados para el mezcal han ido creciendo exponencialmente a partir del 2010-2012, implicando índices importantes de extracción de la planta silvestre, en contraste con un aumento más gradual en las extensiones con plantación. Lo que ha ocasionado que en regiones como la Mixteca y Sola de Vega haya comunidades que no cuentan ya con la materia prima silvestre y que recurren a la compra entre municipios o incluso distritos para contar con agave mezcalero. En algunas comunidades ya se promueve la siembra en viveros de agaves distintos; sin embargo, es importante tener en cuenta que el mínimo de tiempo para que una planta alcance la madurez, si se cultiva por propagación vegetal (hijuelos), es de

5 años; en el caso de las semillas, desde la plantación hasta la cosecha el lapso mínimo es de 6 años para maguey espadín. Para finales del 2016 se reportaban en el mercado 561 marcas registradas (con mezcal certificado y permisos de hacienda para la venta); sin embargo, el estimado de marcas en total, independientemente de su registro y certificación, es de 1500-1800 (Comunicación personal, junio 2019).

***Frijol***

En el estado de Chiapas, y en general de la región, el cultivo de frijol es uno de los sectores agrícolas más desprotegidos y olvidados. En primera instancia la producción es de subsistencia, con una fuerte influencia de manos de mujeres, ya que también es una actividad de traspatio. Su comercialización a nivel local se da en los mercados o en la vía pública, se vende por medida o por kilo, y su precio puede variar entre 10 y 20 pesos. Otros productores con mayor capacidad de organización venden la semilla a intermediarios o llevan el producto a centros específicos de acopio. En Guerrero no existe organización ni apoyos del campo para la siembra de frijol. Se siembra aledaño a otros cultivos como arroz y maíz, en algunos casos junto con el frijol trepador. Los apoyos económicos que reciben los productores de frijol son por su estatus como ejidatarios.

De la información relevante obtenida sobre el conocimiento tradicional usado para la productividad resaltan: la observación es importante para programar la siembra de frijol, en general de las semillas que siembran (selección de las mejores semillas en tamaño y características de la planta) y hasta de la madera que cortan; cada práctica que se hace para y durante el cultivo de frijol, así como de los otros productos (maíz y arroz principalmente) se asocia a los periodos lunares; sugieren sembrar después de luna llena, esto garantiza una mayor producción de frijol, refieren mayor cantidad de vaina y frijol de mayor calidad; siembra para autoconsumo tres variedades: colorado, blanco y negro; variedades tempraneras, que de la siembra a la cosecha tardan tres meses; siembran policultivo, encontramos flor de cempasúchil cultivada especialmente para fines religiosos para la época del año. En Oaxaca el frijol se consume de manera preponderante,

particularmente el frijol negro, muy vinculado a sus procesos históricos. La siembra frijol es una práctica común en casi todas las regiones de Oaxaca, principalmente en las regiones de Valles Centrales y la Mixteca. En las regiones del Istmo y la Sierra Norte es de subsistencia o autoconsumo. Se conservan aún variedades criollas, aunque también se siembran variedades mejoradas.

***Cadenas de valor***

Para procurar el desarrollo sustentable de las comunidades se vuelve indispensable la conformación de redes y la cooperación entre los actores participantes en las cadenas, por lo que dentro del entorno cafetero en México se han realizado una serie de esfuerzos enfocados al fomento de la cooperación. Un ejemplo es la Estrategia de Innovación hacia la Competitividad de la cafeticultora mexicana, en la que se trató de incentivar las redes de innovación mediante la propuesta de lograr la participación de las organizaciones y grupos de productores (Díaz, 2015). Del mismo modo, se han identificado avances en las redes cooperativas de productores ya que, a partir de 1991, cuando se comenzaron a presentar las crisis en los precios del café, comenzaron a organizarse en grupos para la impartición de cursos, asesorías, conferencias y diversos eventos relacionados con temas de interés para el sector. Con lo que se han sentado las bases para constituir redes con el objetivo de vincular áreas de producción y de mercado en la cadena productiva del café en México (Díaz, 2015). Este interés por unificarse para mejorar habilidades y conocimientos, así como para introducirse al mercado es un importante factor que permite incrementar la competitividad del sector; aún más considerando las tendencias negativas que ha presentado la producción durante los últimos años. En este sentido, la cooperación entre los participantes de la cadena es primordial para mejorar los beneficios conjuntamente e impactar en el desarrollo de las comunidades participantes. Bajo este esquema las instituciones participantes desempeñan un rol importante en el desarrollo de la innovación, por lo que su participación consta del siguiente cúmulo de acciones, que en conjunto buscan mejorar la competitividad del sector: Centros de investigación y universidades

locales, SADER (federal y estatal), Inca Rural, Sistema Producto, Cofupro, AMECAFE, ASERCA, Consejos regionales y estatales y Organizaciones de productores.

La mayoría de los productores del campo son de bajos recursos, dedicándose a diversas actividades productivas de acuerdo con las condiciones regionales de suelo, clima, tecnología etc. En el caso de las personas que se dedican al cultivo del mango, son pequeños propietarios, ejidatarios, con huertos pequeños, medianos o grandes. Estos tienen la opción de ofrecer su producto a los intermediarios de dos formas: vendiendo la huerta o por caja, cuando el fruto ya fue cosechado. Quienes compran la huerta son generalmente personas físicas provenientes de Sinaloa, Ciudad de México, Toluca, Puebla y Michoacán, quienes compran la producción en flor y/o fruto, dando un anticipo del 50% y liquidando el resto de manera diferida en varios días, semanas o mes, dependiendo del acuerdo (Toledo, 2003). Los intermediarios, a su vez, venden el producto a las empacadoras, las cuales se dedican a preparar el fruto para que sea distribuido a través de mercados, supermercados o centrales de abasto. La cadena productiva del mango en la región del Pacífico Sur está conformada por los siguientes actores en general: productores, acopiador o intermediario, empacadores, exportadores e industria.

La cadena productiva del maguey-mezcal se refiere al cúmulo de operaciones y actores que están involucrados en la transformación de la materia prima proveniente del maguey para convertirla en mezcal, y asimismo envasarla y comercializarla para llevarla al consumidor. Dentro de este conjunto de etapas se considera también tecnología, conocimiento, recursos humanos, insumos forestales y no forestales, infraestructura, transporte y locales de ventas, todos interactuando en eslabones (Palma *et al*., 2016). Se considera que la actividad mezcalera es estratégica, debido a los empleos que genera en la población rural que se dedica tanto a la producción de agave como a la elaboración del mezcal. Asimismo, es importante considerar las divisas que se generan con la venta de la bebida en otros países y los vínculos comerciales que se establecen con sectores como el de la construcción, vidrio, plástico, papel, acero, transporte, entre

otros, lo que, además de generar empleo, produce ingresos para diversas poblaciones. Esto indica que, por su naturaleza, esta actividad promueve los encadenamientos productivos (Plan Rector del Sistema Producto Estatal Maguey-Mezcal, 2012). La elaboración del mezcal, a diferencia de la del tequila, sigue siendo muy tradicional y artesanal, este proceso ha pasado de generación en generación en las comunidades productoras. Los eslabones que actualmente se identifican dentro de esta cadena, y que se consideran dentro del Sistema Producto Agave-Mezcal son los siguientes (Plan Rector del Sistema Producto Estatal Maguey-Mezcal, 2012): proveedores, productores primarios, productores de mezcal, productores de derivados del maguey, envasadores, comercializadores, prestadores de servicios, investigación y transferencia de tecnología, certificadores de procesos de calidad y consumidores. Dentro de esta cadena se presenta un esquema muy especial, ya que algunos productores venden en el campo, otros procesan el agave y lo convierten en mezcal y algunos otros se integran en actividades de toda la cadena. Del mismo modo, existen fabriqueros que se asocian con envasadoras o tienen que recurrir a otros productores para comprar el agave necesario para cubrir su demanda de mezcal. Para efectos del Sistema Producto, el sector gubernamental está representado por dependencias del gobierno federal que fungen como facilitadores del proceso y los aspectos normativos. El gobierno del estado participa en la toma de decisiones a nivel estatal, así como las organizaciones no gubernamentales como los institutos de enseñanza y educación, las agrupaciones de profesionistas o técnicos, etc.

La cadena productiva del frijol en México tiene el canal más tradicional en todas las regiones de México, el cual consiste en la venta del frijol del proveedor a las integradoras locales. Estas a su vez venden el producto en las centrales de abasto y en menor cantidad a las empresas empacadoras y la industria procesadora de alimentos. Las centrales de abasto, por su lado, venden el producto a algunas empacadoras y a la industria. En la segunda etapa se inicia el comercio minorista, en el que las centrales de abasto, las empacadoras o la industria venden el producto a otros actores como: tianguis, vendedores ambulantes, tiendas de abarrotes, de autoservicio y otras relacionadas con el ramo. En lo que respecta al frijol importado del

extranjero, este proceso se inicia con la compra del producto a mayoristas internacionales, los cuales en su mayoría provienen de Estados Unidos. Mediante la importación se introduce el frijol por dos puntos: el primero es a través de las Centrales de Abasto, las cuales compran al mayorista internacional y posteriormente recurren a los canales tradicionales de distribución minoristas, como son los mercados locales y las tiendas de abarrotes. Otro punto de introducción del frijol es a través de la industria, la cual compra directamente al mayorista internacional, con lo que procesa la leguminosa y genera productos listos para su preparación, los cuales son vendidos al consumidor en los supermercados, tiendas de autoservicios y mercados locales. De acuerdo con lo identificado en el trabajo de campo, los productores poseen un papel importante como los encargados de generar un grano de calidad que pueda ser comercializado. Sin embargo, solo tienen la opción de venderlo a intermediarios o a la Organización de Ejidos en caso de cumplir con los requisitos de volumen de producción. Al respecto se observa la intervención del INIFAP en algunos procesos de capacitación, dentro de los cuales los productores muestran interés en aprender prácticas sustentables de manejo de semillas, entre otras; además de que se identifica un programa de transferencia tecnológica, promovido por esta institución, donde la capacitación es importante, pero también se requiere la difusión de nuevas tecnologías. Se considera indispensable un programa de extensionismo que permita el acercamiento técnico con los productores, lo que pueda consolidar un sistema de buenas prácticas que incremente la producción de frijol para abastecer al menos la región, además de promover prácticas amigables con el ambiente, como la incorporación de material biológico para proteger la semilla, dentro de los que se encuentran los hongos entomopatógenos como la *Beauveria Metarzhizium*, etc. Del mismo modo, el Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CYMMYT) se encuentra desarrollando propuestas de silos para resguardar frijol de manera sustentable. Resulta importante también promover el uso de variedades criollas que son más resistentes a las plagas, lo cual podría lograrse a través de las investigaciones que realizan instituciones académicas y centros de investigación. De acuerdo con los actores, existe poca vinculación con el

sector académico, ya que los egresados con alguna formación relacionada con el sector agrícola se incorporan a la actividad productiva a través de empresas dedicadas a la venta de agroquímicos; aunque en general se observa un desinterés importante por parte de los jóvenes para incursionar en actividades del sector, por lo que los productores consideran un abandono del campo por las nuevas generaciones.

### *Prospección*

A través de la información obtenida en campo se obtuvieron acciones propuestas por parte de los productores y actores de la cadena productiva que podrían robustecer y/o generar estrategias planificadas (Tabla 2).

Tabla 2. Propuestas de acciones y estrategias para el mejoramiento de las cadenas productivas de la región Pacífico Sur

| Cadena productiva | Información estratégica y prospectiva |
|---|---|
| Café | **Renovación de plantas, apoyo a productores en certificaciones orgánicas,** fortalecimiento de infraestructura, asesoría en temas de organización, **implementación de estructuras de financiamiento, instalación de laboratorios de calidad y análisis sensorial, aprovechamiento de subproductos, certificaciones y** requerimientos para estudios de rentabilidad. Incorporar mayor volumen al mercado nacional, asegurar los saberes de producción tradicional y su transferencia a nuevas generaciones, incrementar la producción orgánica y gourmet, nuevos mercados para cafés de especialidad y altura. |
| Mango | **Los pequeños productores refieren a la incursión de palma de aceite y la** sustitución por este cultivo, así como su corta vida en anaquel, mientras que los grandes productores requieren capacitación y asesoría para exportación a nuevos mercados. Aprovechamiento de subproductos, como la deshidratación del mango, **maquinaria y tecnología para la poda eficiente de árboles y mejoramiento de** infraestructura. Capacitación para conversión a agricultura orgánica, elaboración de moscas estériles para el control biológico de plagas en mango. |
| Agave-mezcal | Aspectos relacionados a los impuestos cobrados en la venta y comercialización y promoción dentro y fuera del país. Inventario de especies y poblaciones de maguey, capacidad de reforestación con diversas especies de agave y aumentar viveros **certificados. Tecnología para monitoreo de cantidad de individuos (silvestres y** cultivados), reducción del impacto en el uso de insumos maderables para proceso **de destilación, tecnología eficiente para el uso de vinazas.** |

| | |
|---|---|
| Frijol | Asesoría para la transformación de una producción de autoconsumo a la venta en mercados, la desaparición de variedades y el potencial que tiene el cultivo para su comercialización. Mayor apoyo para el sector, encontrar uso y aprovechamiento de subproductos, asesoría y capacitación para cultivos alternativos y asociados al frijol. Empaquetado industrial para diversas variedades de frijol criollo, consolidación del sistema producto frijol, involucrar a industria y otros actores para fortalecer la cadena de valor, buenas prácticas agroecológicas, mejorar el seguimiento y control biológico de plagas de importancia para el cultivo. |

## Conclusiones

Los sistemas de producción que se presentan en este texto aportan un impacto social. Las cadenas productivas que se abordaron para el presente documento tienen importantes oportunidades para beneficiar a los actores sociales que día con día las construyen. Estos actores están conscientes de los retos que tienen, de su potencial, de los obstáculos y de los posibles aliados que necesitan para mejorar su productividad y sus rendimientos, así como disminuir los impactos ambientales que tienen. Sin embargo, aún existen importantes vacíos en el conocimiento técnico y científico sobre formas productivas e insumos alternativos sobre potenciales usos de subproductos, optimización del agua para riego, combate integrado a plagas y enfermedades. El desafío se presenta no sólo en complementar los vacíos de conocimientos, sino también en identificar y materializar canales de transferencia eficaz y eficiente que permitan la adopción del conocimiento y su ejecución en los diferentes eslabones de las cadenas productivas.

Las organizaciones que se presentan en cada estado y para cada cultivo son actores relevantes que buscan mejores alianzas para la investigación y el encadenamiento productivo; sin embargo, suelen funcionar de manera desigual y beneficiando únicamente a las personas más cercanas: al líder o los líderes. Se hace evidente la importancia de apoyar procesos organizativos sólidos y la vinculación con grupos de trabajo, renovando las estrategias de planeación, intervención y desarrollo considerando los problemas que vive cada eslabón en la cadena productiva, con estrategias diferenciadas.

Los retos que se les presentan refieren a darle valor al campo, entendiendo las particularidades de cada región y por tipos (escala) de actor e integrar a las nuevas generaciones con procesos y nuevas prácticas. No son únicamente los aspectos técnicos, sino de relacionamiento social y de cooperación los que necesitan ser potenciados para generar mayor riqueza en redes y en productividad para convertir al campo y la actividad agrícola en una verdadera opción de desarrollo para los actores rurales, así como la generación de alianzas con empresas para obtener del campo todo el potencial, con sistemas de vinculación que con el tiempo impulsen la sustentabilidad y el desarrollo social y económico de la región Pacífico Sur.

## Referencias

Consejo Regulador del Mezcal. (2018). *Informe 2018. Consejo Regulador del Mezcal*. http://www.crm.org.mx/PDF/INF_ACTIVIDADES/INFORME2018.pdf

Consejo Nacional de Población. (2021). *Índice de marginación 2020*. https://www.gob.mx/conapo/acciones-y-programas/marginacion-en-mexico

Cuevas Reyes, V., Sánchez Toledano, B. I., Borja Bravo, M., Espejel García, A., Sosa Montes, M., Barrera Rodríguez, A. I., & Saavedra García, M. J. (2019). Caracterización de la producción de maguey en el Distrito de Miahuatlán, Oaxaca. *Revista Mexicana De Ciencias Agrícolas*, *10*(2), 365–377. https://doi.org/10.29312/remexca.v10i2.1632

Díaz Cárdenas, S. (2015). Cadenas productivas y redes de participación para el desarrollo: el café en México. *Revista de Geografía Agrícola*, (55), 57-73.

Fideicomisos Instituidos en Relación con la Agricultura (2016). *Panorama agroalimentario, café 2016*. En https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/200636/Panorama_Agroalimentario_Caf__2016.pdf

García, A. (2007). Los agaves de México. *Ciencias*, 87. 14-23. https://www.revistacienciasunam.com/images/stories/Articles/87/02/Los%20agaves%20de%20Mexico.pdf

García-Mendoza, A. J., Franco Martínez, I.S., Sandoval Gutiérrez, D. (2019). Cuatro especies nuevas de Agave (*Asparagaceae, Agavoideae*) del sur de México. *Acta Botánica Mexicana*. 126. https://doi.org/10.21829/abm126.2019.1461

Orozco, A. (2019). Aumenta producción de mango en Oaxaca. *Inforural*.

Palma, F., Pérez, P. & Meza, V. (2016). *Diagnóstico de la cadena de valor mezcal en las regiones de Oaxaca*. http://www.coplade.oaxaca.gob.mx/wp-content/uploads/2017/04/Perfiles/AnexosPerfiles/6.%20CV%20MEZCAL.pdf

Plan Rector del Sistema Producto Estatal Maguey-Mezcal. (2012). *Integración de la cadena productiva Maguey Mezcal de México, A.C. México: Programa de Desarrollo de Capacidades, Innovación Tecnológica y Extensionismo Rural*. https://sursureste.org.mx/estudios/plan-rector-sistema-nacional-maguey-mezcal/

Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) (2015). *Índice de desarrollo humano para las entidades federativas, México 2015*. https://www.undp.org/sites/g/files/zskgke326/files/migration/mx/PNUD_boletinIDH-final.pdf

Secretaria de Agricultura y Desarrollo Rural. (2023). *Programas de la Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural 2023*. https://www.gob.mx/agricultura/acciones-y-programas/programas-de-la-secretaria-de-agricultura-y-desarrollo-rural-2023

Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria. (2019). *Huertos de mango vigentes para exportación a los Estados Unidos de América Programa con Tratamiento Hidrotérmico*.

Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. (2022). *Producción agrícola - Cierre de la producción Agrícola (1980-2022)*. https://www.gob.mx/siap/acciones-y-programas/produccion-agricola-33119

Toledo, C. (2003). *Elaboración del programa estratégico de necesidades de investigación y transferencia de tecnología en el estado de Guerrero*. Red para el Desarrollo Sostenible de México, A.C., RDS México. Guerrero: RDS México.

# Apartado 3

# Experiencias emblemáticas en los territorios

# Capítulo 23

# El mezcal: Voces, ciencia y bienestar Una tradición milenaria fortalecida gracias a las comunidades de productores en el estado de Guerrero

*María Antonieta Saldívar Chávez[1]; Kelly Mabel Monja Mio[2]; Gabriel de Jesús Ojeda[1]; Antonio Rescalvo Morales[2]; Lorenzo Felipe Sánchez Teyer[1]*

## Contexto

Dentro del proyecto FORDECyT titulado: "Estrategias multidisciplinarias para incrementar el valor agregado de las cadenas productivas de café, frijol, mango, agaves mezcaleros, y productos acuícolas (tilapia) en la región Pacífico Sur a través de la ciencia, la tecnología y la innovación", se desarrolló el componente de la cadena mezcal, enfocado principalmente al eslabón primario: el material vegetal de calidad, en cantidad suficiente.

El objetivo de este componente consistió en establecer un proceso de micropropagación a escala de los principales agaves empleados para la producción de mezcal en los estados de Guerrero y Oaxaca. Entre los objetivos específicos se encuentran: el seleccionar individuos de *Agave* sobresalientes con base en la experiencia de las personas productoras, establecer procesos de escalamiento, producir vitroplantas de agaves mezcaleros, realizar acciones de vinculación, transferencia y adopción de resultados con productores de mezcal en los estados productores, con énfasis en Guerrero, entre otros.

[1] Centro de Investigación Científica de Yucatán A.C. Calle 43 No. 130 x 32 y 34 Col. Chuburná de Hidalgo. Mérida Yucatán. México.

[2] Centro de Estudios e Investigación en Biocultura, Agroecología, Ambiente y Salud. Av. Bora Bora lote 10 B. Col. La Poza, Acapulco de Juárez, Guerrero. México.
*Autor para correspondencia: santey@cicy.mx

La asimilación de tecnología se refiere al proceso mediante el cual las personas o las organizaciones de productores adoptan e incorporan nuevas tecnologías en su vida diaria o en sus operaciones en la cadena de valor. Esto implica comprender, aprender a utilizar y aprovechar las ventajas que ofrece la tecnología. La asimilación de tecnología debe ser un proceso gradual y puede variar dependiendo del contexto y las habilidades existentes en una comunidad particular, ya que algunas personas pueden adaptarse rápidamente a las nuevas tecnologías, mientras que otras pueden necesitar más tiempo y apoyo para familiarizarse con ellas. Es importante destacar que la asimilación exitosa no se trata sólo de adquirir los conocimientos técnicos necesarios, sino también de comprender cómo la tecnología puede mejorar la eficiencia, la productividad y la calidad de vida, así como abordar los posibles desafíos y obstáculos que pueden surgir al adoptar nuevas tecnologías, como la resistencia al cambio, el nivel de infraestructura y capacidad instalada, la organización social y el liderazgo de personas que asistan y organicen a las comunidades.

A partir de la experiencia de varias décadas del Centro de Investigación Científica de Yucatán (CICY) con productores y, de manera particular, a partir del trabajo con los productores y comunidades en la cadena de agave mezcal, se rescatan algunos aspectos fundamentales a considerar para un proceso más apropiado de asimilación de la tecnología: 1) Conocimiento y comprensión de la tecnología; 2) Adaptabilidad y contextualización; 3) Participación activa y empoderamiento; 4) Acompañamiento técnico y seguimiento; 5) Intercambio de experiencias y aprendizaje compartido; 6) Monitoreo y evaluación de resultados y 7) Política y apoyo institucional (Figura 1).

A continuación, se describe brevemente cada factor, mismos que están interrelacionados en el proceso de interacción con los productores y los actores locales en el componente mezcal que desarrollamos en este proyecto. Mencionando que, en la experiencia particular del proyecto, se hace énfasis en Guerrero.

Figura 1. Factores clave en el proceso de Asimilación de Tecnología

**Conocimiento y comprensión de la tecnología**: Antes de adoptar una tecnología agroecológica, es fundamental que los agricultores y las comunidades comprendan su funcionamiento, beneficios, limitaciones y requerimientos. Esto implica capacitar y educar a los usuarios sobre cómo utilizar correctamente la tecnología y cómo se integra en los principios y prácticas de la agroecología.

**Adaptabilidad y contextualización**: La tecnología agroecológica debe adaptarse y ser contextualizada a las condiciones específicas de cada comunidad. No existe una solución única que se aplique a todas las situaciones, por lo que es necesario considerar las características locales como: el clima, el suelo, los recursos disponibles y las prácticas agrícolas tradicionales. La tecnología debe ser flexible y ajustarse a las necesidades y realidades de cada contexto.

**Participación activa y empoderamiento**: Los agricultores y las comunidades deben ser involucrados activamente en el proceso de asimilación de la tecnología agroecológica específica. Esto implica fomentar su participación en la toma de decisiones, la identificación de necesidades, el diseño e implementación de la tecnología. Al empoderar a los usuarios, se promueve la apropiación y el compromiso con la tecnología, lo que aumenta las posibilidades de éxito.

**Acompañamiento técnico y seguimiento**: El apoyo técnico y el seguimiento continuo son esenciales para asegurar una adecuada asimilación de la tecnología. Esto implica brindar capacitación, asistencia técnica y acompañamiento a los agricultores y las comunidades durante todo el proceso. El seguimiento permite evaluar el desempeño de la tecnología, identificar posibles mejoras y resolver problemas que puedan surgir.

**Intercambio de experiencias y aprendizaje compartido**: Promover el intercambio de experiencias entre los usuarios de la tecnología agroecológica, así como el aprendizaje compartido contribuye al éxito de su asimilación. Esto se puede lograr mediante la creación de espacios de encuentro y diálogo, la formación de redes de agricultores y la organización de visitas a fincas o parcelas demostrativas. El aprendizaje mutuo fortalece el conocimiento colectivo y fomenta la innovación.

**Monitoreo y evaluación de resultados**: Es fundamental establecer mecanismos de monitoreo y evaluación para medir los resultados y los impactos de la tecnología agroecológica. Esto permite recopilar datos, evaluar la efectividad de la tecnología en términos de mejoras ambientales, productivas y sociales, y realizar ajustes según sea necesario.

**Políticas y apoyo institucional**: Las políticas y el apoyo institucional son cruciales para respaldar la asimilación de tecnología agroecológica. Los gobiernos, las organizaciones y las instituciones deben promover marcos normativos favorables, brindar incentivos y apoyar financieramente las iniciativas agroecológicas.

Estas claves del éxito contribuyen a una adecuada asimilación de tecnología agroecológica, promoviendo prácticas sostenibles. No basta

con el trabajo entre el CICY y los productores. Es muy importante la interacción con otros actores locales para que iniciativas de este tipo sean más exitosas, como las instancias del gobierno local responsables del ramo de desarrollo agropecuario, medio ambiente y ciencia y tecnología, así como la articulación con otras instancias de investigación de la entidad. Eso permite una relación integral y más sinérgica en las acciones a emprender. En el desarrollo del proyecto participaron activamente diversas oficinas de gobierno del Municipio de Tixtla, Guerrero, enfocando el desarrollo a diversas comunidades donde se encuentran decenas de productores organizados de manera específica en cada región.

***Proceso de construcción con actores clave***

El diálogo de saberes es un enfoque que promueve la interacción y el intercambio de conocimientos entre diferentes perspectivas culturales, epistemológicas y disciplinares. Se basa en la premisa de que todos los saberes son valiosos y que al combinarlos se puede obtener un entendimiento más completo y enriquecedor de un tema o problema. En esta perspectiva, el diálogo de saberes es una propuesta que reconoce contextos, idiomas, cultura e identidades diferenciadas (Argueta *et al.*, 2011).

En un diálogo de saberes se busca superar las barreras y jerarquías tradicionales entre conocimientos académicos y conocimientos locales o tradicionales. Se reconoce que cada cultura y comunidad tiene su propio acervo de conocimientos, experiencia y sabiduría acumulada a lo largo del tiempo, y que estos saberes pueden ser complementarios y enriquecedores cuando se comparten y se entrelazan.

Para el componente de agave mezcal, esta metodología se consolidó de manera particular en la segunda etapa del proyecto; no obstante, en el CICY, sin llamarle de esa manera, es un método que ha empleado durante décadas en el trabajo con productores para identificar necesidades, generar confianza y realizar colaboraciones conjuntas que redunden en beneficio mutuo y posibiliten la adopción y asimilación de la tecnología, como el caso de tequilana (Jalisco), bacanora (Sonora) y agave mezcal (Oaxaca y Guerrero).

El diálogo de saberes fomenta la colaboración, la escucha activa y el respeto mutuo entre las personas involucradas (Figura 2). Se trata de reconocer la diversidad de conocimientos y perspectivas y de trabajar juntos para encontrar soluciones y generar conocimiento que sea relevante y útil para todos. Por la naturaleza y complejidad del proyecto, esta metodología fue una valiosa aliada, al igual que la investigación acción participativa (IAP), la cual no pudo ser explorada con mayor profundidad por los desafíos que impuso la pandemia al desarrollo del proyecto.

Figura 2. Diálogo de saberes con actores de la cadena. Intercambio de experiencias con productores de la comunidad de La Estacada, del municipio de Tixtla, Guerrero

El desarrollo del componente implicó la resolución de diversos retos conceptuales, organizativos, logísticos, metodológicos e intelectuales. Para el desarrollo de la tecnología empleada, en primer término fue necesario un trabajo asistido con los productores para la selección del material que

puede ser considerado de interés para ellos por su calidad o características agromorfológicas y que cumplan, además, con los requisitos mínimos para constituirse como útiles, en términos de material de partida para el desarrollo del cultivo de tejidos (Figura 3).

En este sentido, se requiere un trabajo de diálogo, convencimiento y aclaración de dudas, de la mano de una explicación clara de lo que se pretende hacer con el material y el beneficio tangible, en términos del intercambio con la comunidad y el material que se puede devolver a los productores. Luego se comienza con la etapa de la construcción de confianza a través de visitas e intercambio de experiencias, observaciones e información para que exista certeza y claridad de lo que es y lo que no (expectativas *versus* resultados).

Figura 3. Proceso del trabajo "De la mano con Productores"

Una vez que se ha desarrollado el protocolo y se han generado las plantas *in vitro*, a partir del material seleccionado de la mano de los productores es necesario comenzar con el desarrollo de los protocolos para una adecuada transferencia del material. Se incluye desde el tipo de empaque y las características del envío, así como el protocolo de recepción y manejo de las plantas -en una primera etapa- para lograr su adaptación con el enfoque de reducir al máximo las pérdidas de material y, posteriormente, el manejo

adecuado de las plantas en condiciones de vivero como etapa previa para su salida al campo y su eventual cultivo y aprovechamiento por parte de los productores (Figura 3).

El trabajo comunitario es una forma de colaboración y participación activa de las personas en el desarrollo y mejora de su comunidad. Implica la movilización de recursos, habilidades y esfuerzos colectivos para abordar problemas, promover el bienestar y fortalecer los lazos sociales en un determinado entorno geográfico o social.

El trabajo comunitario se basa en la idea de que las comunidades son agentes de cambio y que pueden encontrar soluciones a sus propios desafíos (Marbero *et al.*, 2005). Se enfoca en la participación activa y empoderamiento de los miembros de la comunidad, fomentando la toma de decisiones conjunta, la construcción de capacidades y la creación de redes de apoyo. Este tipo de trabajo puede abarcar una amplia gama de actividades, como la organización de eventos comunitarios, la creación de espacios de encuentro y diálogo, la promoción de la educación y la salud, el desarrollo de proyectos ambientales o la mejora de infraestructuras locales.

El trabajo comunitario puede ser liderado por organizaciones no gubernamentales, instituciones educativas, grupos de vecinos, líderes comunitarios o incluso por los propios miembros de la comunidad. La colaboración entre diferentes actores y la inclusión de todas las voces son fundamentales para el éxito del trabajo comunitario. Algunos de los beneficios del trabajo comunitario incluyen el fortalecimiento de los lazos sociales, el empoderamiento individual y colectivo, la mejora de la calidad de vida de los miembros de la comunidad y el desarrollo de un sentido de pertenencia y responsabilidad hacia el entorno en el que se vive.

En la estrategia de asimilación de tecnología, el trabajo comunitario es fundamental en todas las fases, pero crucial en el proceso de apropiación final, en la puesta en campo de los materiales que se le regresan a la comunidad como parte del trabajo de intercambio del diálogo de saberes entre los productores y el grupo de investigación. Si desde el proceso inicial se lograron los vínculos de confianza y se mantiene el trabajo de la mano de los productores, se garantiza un proceso de asimilación más sencillo a lo largo del tiempo.

En este sentido, es importante mencionar la importancia de una estrategia adecuada para la socialización de resultados, así como para encaminarnos hacia una asimilación adecuada de la tecnología generada para que incida de manera pertinente en diversos actores de la cadena mezcal. En este sentido, para el proyecto se planteó una estrategia a tres niveles: un modelo de transferencia y adopción de resultados, un plan de difusión y vinculación y una serie de reportes de acciones emprendidas para lograr de manera exitosa la culminación de actividades.

Toma especial relevancia mencionar que para una adecuada adopción de los productos de la tecnología se requiere la participación comprometida y continúa de diferentes actores para realizar las diferentes actividades de capacitación, seguimiento, evaluación y retroalimentación durante el proceso. La integración de actores sociales en la construcción del conocimiento y la asimilación de tecnología agroecológica es fundamental para promover la sustentabilidad y el desarrollo de prácticas agrícolas más ecológicas.

En primer lugar, la integración de actores sociales implicó la participación activa de diferentes grupos de interés, como las personas productoras de diversas comunidades de Guerrero, científicos, comunidades locales, organizaciones no gubernamentales y entidades gubernamentales como el municipio de Tixtla, Guerrero. Cada uno de estos actores aportó conocimientos, experiencias y perspectivas únicas que enriquecen el proceso de construcción del conocimiento y la adopción de tecnologías agroecológicas.

Esta integración puede tener lugar a través de diferentes mecanismos, como la creación de espacios de diálogo y colaboración, la organización de talleres participativos, la realización de investigaciones conjuntas y la generación de redes de aprendizaje e intercambio de información.

La participación activa de los actores sociales en la construcción del conocimiento agroecológico implica el reconocimiento y valoración de los saberes locales y tradicionales, así como la combinación de estos con los conocimientos científicos. Nuestra interacción en diversos momentos se dio no sólo en la selección del material vegetal, sino que además se intercambió conocimiento, práctica e intereses y expectativas tanto de la producción de mezcal como del cultivo del material tradicional y micropropagado (Figura 4).

Figura 4. Trabajo participativo en intercambio de conocimiento. Intercambio de experiencias y conocimiento mediante un Taller dirigido a productores de la comunidad de Omeapa, del Municipio de Tixtla, Guerrero

En cuanto a la asimilación de tecnología agroecológica, la participación de los actores sociales es clave para su adopción exitosa. Los agricultores y las comunidades locales deben ser involucrados desde el inicio en el proceso de identificación, diseño y aplicación de las tecnologías agroecológicas, como fue el caso. Esto implica comprender sus necesidades, conocimientos y limitaciones, y adaptar las tecnologías para que sean accesibles, apropiadas y culturalmente relevantes.

Además, la integración de actores sociales en la asimilación de tecnología agroecológica promueve la apropiación y la continuidad de las prácticas sostenibles a largo plazo. Cuando los agricultores y las comunidades se sienten partícipes del proceso y ven los beneficios tangibles de las tecnologías agroecológicas, es más probable que las adopten y las mantengan de manera duradera. A lo largo del tiempo se pueden lograr procesos fructíferos de apropiación de la tecnología.

Como se ha subrayado, la integración entre el trabajo participativo y la asimilación de tecnología en el marco de la agroecología y la construcción de saberes comunitarios implica considerar varios elementos clave de manera integral (Figura 5) como son: 1) Participación activa; 2) Reconocimiento de saberes locales; 3) Adaptabilidad y pertinencia; 4) Aprendizaje mutuo; 5) Evaluación y retroalimentación continua.

Figura 5. Elementos del trabajo participativo y la asimilación de tecnología en el marco de la agroecología y la construcción de saberes comunitarios

En este proyecto, una vez establecidos los canales de comunicación tanto con personas productoras, Sistema producto Mezcal, Consejo Regulador de Mezcal e instituciones diversas, comenzamos las labores de sensibilización explicativa de los alcances del proyecto, los requerimientos, los tiempos aproximados, los entregables y los roles que desempeñaría cada grupo para integrarnos al proceso de una asimilación de la tecnología de producción de plantas de agaves mezcaleros como eslabón de la cadena mezcal.

## Estrategia

Existen diversos elementos a considerar en el trabajo participativo para una colaboración activa entre actores sociales y los científicos, por lo que, de acuerdo a la experiencia del grupo de trabajo en la cadena mezcal, se considera relevante tener en cuenta los siguientes elementos: 1) Igualdad y respeto mutuo; 2) Comunicación efectiva; 3) Definición de objetivos comunes; 4) Participación significativa; 5) Valoración de los saberes y experiencias; 6) Flexibilidad y adaptabilidad; 7) Evaluación y aprendizaje continuo (Figura 6).

Al considerar estos elementos, se puede fomentar una colaboración activa y fructífera entre actores sociales y científicos en el trabajo participativo. Esto promueve la generación de conocimientos colectivos, soluciones más sólidas y un mayor impacto en la resolución de problemas y desafíos comunitarios. Por supuesto que esto implica un trabajo constante y de largo plazo que por la propia dinámica del proyecto y varios imponderables, como el tema de la pandemia, no pudieron superarse; sin embargo, pudieron ponerse en marcha al mantener el diálogo en talleres con productores, tanto presenciales como virtuales o por distintos medios establecidos para ello.

Con base en lo anterior, el proyecto planteó mecanismos de transferencia y socialización de resultados hacia los usuarios en tres vertientes:

- Modelo de transferencia y adopción de resultados
- Plan de difusión y vinculación
- Reporte de acciones

El enfoque conceptual tuvo en cuenta el modelo pentahélice: Gobierno, Empresa, Academia, Sociedad y Ambiente. Lo anterior considerando que en la orientación de la política pública actual del CONAHCYT se privilegia la interrelación entre estos cinco ámbitos para generar círculos virtuosos de circulación de conocimiento y transferencia. En la medida que el alcance del proyecto lo permitió, se abarcaron los cinco ejes para el plan de diseminación (Figura 7).

Figura 6. Aspectos a tener en cuenta en el trabajo participativo

Figura 7. Modelo Conceptual Pentáhelice para el plan de socialización de resultados. Tomado de Carayannis ***et al***., 2012.

En el ámbito de comunicación también se considera una óptica fundamental las hélices y su respectiva interacción para la circulación del conocimiento y la vinculación. En las últimas décadas ha resultado crucial este modelo de cooperación entre universidad (centros de investigación), gobierno y empresas. Se propuso al sistema la cuarta hélice: el usuario de la innovación, es decir, la hélice de la sociedad, los ciudadanos influenciados por los medios y la cultura, personas que representan una dimensión democrática que se puede expresar en conocimiento e innovación (Castillo-Vergara, 2020). En 2012 Carayannis *et al.* incorporaron una quinta hélice, el Medio Ambiente. El punto central es la preocupación por los entornos naturales de la sociedad y el interés central por utilizar modelos destinados a resolver los desafíos del calentamiento global y el desarrollo sostenible.

Es así como el modelo de la quíntuple hélice, denominada pentahélice por el CONAHCYT, representa una interacción colectiva, un intercambio de conocimiento que incluye cinco subsistemas o hélices: (1) Sistema Educativo; (2) Sistema Económico; (3) Entorno Natural; (4) el Público basado en los medios de comunicación y en la cultura y/o sociedad civil y (5) el sistema político (Castillo-Vergara, 2020).

Bajo esta óptica conceptual**,** el modelo de transferencia y adopción de resultados del proyecto se orienta a las acciones con usuarios de todos los sectores involucrados directa o indirectamente en los hallazgos, pero se dirige particularmente hacia los productores. Aquí están programadas todas las acciones de capacitación formales e informales con los productores que permitan la transferencia y adopción de la tecnología (líneas mejoradas del agave mezcal para Oaxaca y Guerrero).

Algunas de las acciones consideradas:

- Visitas de campo y diálogo con productores
- Cursos específicos y talleres con productores
- Formación del equipo de gestión y de los especialistas técnicos
- Elaboración de manuales para recepción de material derivado de cultivo *in vitro*
- Orientación y capacitación en campo

Plan de difusión y vinculación dirigido a aportar con acciones concretas y articuladas al cumplimiento de los objetivos del proyecto. Su propósito central es socializar y difundir los resultados del proyecto y de la cadena de valor de agave mezcal con los actores clave, así como el posicionamiento del proyecto y sus resultados como de interés público en beneficio de los productores de la región.

El programa consideró varios eventos de difusión y vinculación; sin embargo, la situación de la pandemia COVID-19 generó cambios en la agenda prevista, organizando en modalidad en línea algunas actividades de difusión y socialización, incluso de capacitación.

Eventos de socialización en cada estado participante, con énfasis en Guerrero:

- Sobre el modelo de adopción y asimilación tecnológica;
- Foros para presentación de resultados con las partes interesadas (actores relevantes en la cadena de mezcal)
- Encuentro de productores y la asociación de agave-mezcal
- Encuentros técnicos y talleres de integración.
- Evento con instituciones gubernamentales, académicas y asociaciones de productores para socialización de resultados y mejores prácticas
- Infogramas y campaña en redes sociales del CICY de los resultados del proyecto
- Artículos de divulgación
- Entrevistas en medios diversos.

Reporte de Acciones. Se refiere a la definición de métricas y actividades de seguimiento que ayuden a la toma de decisiones estratégicas con base en actividades desarrolladas e impacto esperado.

Revisión de entregables y resultados esperados del proyecto de la cadena de valor agave mezcal, particularmente con el grupo de trabajo y con los usuarios involucrados.

Documentar las acciones y el seguimiento que garanticen la participación de las entidades usuarias, participantes y/o beneficiarias de esta

demanda. Las oportunidades de mejora que se dieron en las evaluaciones de etapa se pudieron atender en tiempo y forma, gracias al esfuerzo del grupo de trabajo y al involucramiento de nuevos actores y comunidades en el último año de trabajo.

## Actores involucrados

Durante el proyecto se tuvo oportunidad de interactuar con diversas comunidades en los estados de Oaxaca y Guerrero (Figura 8), como se registra en el informe técnico, al menos 12 comunidades del estado de Guerrero en los municipios de Tixtla (La Estacada, Omeapa, Ojitos de Agua, Zacazonapa, El Durazno, Ejido Plan de Guerrero, El Clavario), Xochipila (El Salto, Pueblo Mazatlán), Huitzuco (Zona de Cotoyes, El vado), Chilapa de Álvarez (Ahuacuotzintla) y Chilpancingo (El Calvario). Para el propósito de este capítulo se seleccionaron cuatro comunidades del estado de Guerrero. Los grupos entrevistados representan a comunidades de productores de agave mezcal y un grupo representa a miembros del sector gobierno a nivel municipal.

El primer grupo de actores representa a la comunidad de la Estacada (Felipe Flores Navarrete; Emiliano Telurio Pablo; Elizabeth García Vásquez; Doroteo Navarrete Pablo; Rafael Guerrero Pablo y Norma García) y de Ojitos de Agua (Dolores Salmerón Tolentino y José Astudillo Bello). Ambas comunidades son del municipio de Tixtla, al igual que las autoridades del gobierno municipal que dieron su testimonio (Diana Marbellí Bello Hernández, Supervisora de Obras Públicas y Roberto Carlos de la Cruz Valle, Supervisor de Ecología y Medio Ambiente). Ambos son representantes del Gobierno Municipal de Tixtla, Guerrero. A través de ellos se ha llevado a cabo la relación y comunicación con las comunidades en el Municipio.

El otro grupo de personas productoras (Faustino Castro Bello y su pequeño hijo Osvaldo Castro Barranco) pertenecen a la comunidad de Ahuacuotzintla, del municipio de Chilapa de Álvarez.

Figura 8. Etapas de interacción con actores de la cadena

Es importante mencionar que, por razones de inseguridad, al cierre del capítulo no fue posible regresar a todas las comunidades donde inicialmente se hizo contacto para concluir el ejercicio, como se había planeado, y retomar el diálogo con todas las personas que han recibido el material producido por el Centro (vitroplantas de agave), a partir de la selección de variedades realizada con los productores de agave mezcal.

## Voces de los actores

Escuchar el testimonio de los actores en las comunidades, con las cuales el proyecto tuvo la interacción, significa un gran aprendizaje para el grupo de trabajo involucrado. Es claro que la investigación aplicada y la asimilación de la tecnología sólo tiene sentido si es en beneficio de la población objetivo.

Las lecciones aprendidas sólo pueden partir del trabajo colaborativo y de la mano con los productores (Figura 9). Aunque los retos son muchos en toda la cadena productiva del agave mezcal, se apuntan aquí las principales ideas expuestas en las entrevistas por parte de los productores. Su testimonio es parte de los videos grabados en julio de 2023. Cabe mencionar que sus reflexiones no solamente se centran en el eslabón primario de la cadena, objetivo de este componente: el material de calidad y en cantidad suficiente. La mayoría de los actores perciben a la cadena agave mezcal como un todo.

Figura 9. Las voces de los actores

***¿Qué se rescata de lo expresado por la comunidad de la Estacada?***

El mezcal es un trabajo asociado a la tierra, no solamente vinculado al cultivo del agave, sino a otros cultivos, como al maíz, por ejemplo. El agave es un cultivo de largo tiempo, que le da identidad a su comunidad y que se

ha transmitido de generación en generación. Los entrevistados expresan que prácticamente el cultivo y el procesamiento del agave en la bebida que conocemos como mezcal es una tradición milenaria, la cual se ha ido transformando con el tiempo. Según lo exigen ahora las autoridades y los mercados, se requiere apoyo, financiamiento, certificaciones y el material de calidad, que es lo que aportó este proyecto. Así lo perciben. Consideran que las plantas proporcionadas por el Centro son una alternativa a sus métodos tradicionales de producción. Reflexionaron sobre la importancia de transmitir esta tradición en las nuevas generaciones, en los jóvenes de treinta años, quienes ahora viven más preocupados por la tecnología, por el celular y las redes sociales.

***¿Qué subraya la experiencia de los productores de Tixtla en la comunidad de Ojitos de Agua?***

Desde muy niños se han dedicado al agave y ha sido una tradición familiar. El significado que tiene va en dos sentidos: 1) como un trabajo, como un negocio que debe redituar alguna ganancia, desde el cultivo hasta la producción de la bebida y venderla y 2) es algo natural, sabroso, les da una pertenencia, un antepasado. A lo largo de la charla se destaca el agave como un sentido de identidad. Se les preguntó si las plantas de agave micropropagadas por el CICY son una alternativa a sus métodos tradicionales de producción y la respuesta fue positiva.

En cuanto a los problemas que enfrentan, mencionaron que necesitan más apoyo para seguir con la actividad y la falta de material vegetal. El material que tienen se lo llevan a otros lugares, eso lo apuntan como parte del problema. Por eso es tan importante que el proyecto les haya dado material de calidad y probar los nuevos viveros para plantaciones. No se habían preocupado por el material, por sembrar más, pensando que siempre habría agaves. Así que ahora, apuntan: “deberíamos seguirlo sembrando y utilizar sólo lo necesario y seguir sembrando para tener siempre material. Porque el agave tarda mucho en reproducirse y crecer” (Comunicación personal, 4 de agosto del 2023).

***¿Qué deja como mensaje la interlocución con el gobierno municipal?***

Los representantes entrevistados del gobierno de Tixtla consideran que contar con las plantas de agave por parte del CICY, poder dárselas y brindárselas a los agricultores, que ellos las puedan aprovechar, es un beneficio enorme para el municipio y para los productores. Representa una posibilidad de fuentes de ingresos, ya que la mayoría de los productores se encuentran en las localidades del municipio. La colaboración del CICY con el municipio de Tixtla ha sido un acierto en cuanto al medio ambiente, señalan. Contribuir con los productores de diferentes comunidades que no se les había dado la atención debida ha sido crucial. Mediante el trabajo colaborativo fue posible abarcar gran extensión de comunidades para que le brindemos el apoyo en el tema del margen de la protección del maguey. Sin duda, el material micropropagado que el CICY otorga es una alternativa para los métodos tradicionales de producción en las comunidades. Aquí hay que insistir en que el diálogo y la capacitación han sido fundamentales, subrayan los funcionarios del municipio. Los talleres y la capacitación que han dado a los productores y a las productoras con el tema del manejo del maguey fueron muy valorados por la comunidad. El seguimiento y acompañamiento en esta iniciativa para lograr el proceso de asimilación de la tecnología han sido muy importantes. Veremos en el mediano plazo los resultados.

***¿Qué refleja en su testimonio la comunidad de Ahuacuotzingo, del municipio de Chilapa de Álvarez?***

Don Fastino comenta que desde el año 1997 hasta la fecha se ha dedicado a la organización Sanzekan que se encuentra en Chilapa. Esta organización es una triple S (Figura asociativa de sociedad de solidaridad social), la cual cuenta con un área de apoyo a productores, otra de elaboración de artesanías y la tercera es el área de reforestación y recursos naturales. Se encuentran produciendo plantas de maguey espadín y papalote y últimamente sacatoro por hijuelos y colectando las semillas que se puedan colectar. La marca colectiva de los mezcales Sanzekan es una marca social propiedad de maestros mezcaleros de los municipios de Chilapa de Álvarez, Zitlala, Ahuacuotzingo y Tixtla. A la pregunta ¿qué significa producir agave mezcal? Explica:

> Es una herencia casi ancestral, una tradición. Ha pasado de generación en generación. Mi abuelo, mis tíos. Mi familia se ha dedicado a ello. Antes era un oficio casi clandestino y a partir del 2000 nos empezamos a organizar para formar la asociación magueyera y mezcalera de Sanzekan para trabajar juntos. Lo más importante es que los productores nos organizamos, nos dimos de alta en Hacienda y buscamos mejores estándares de calidad. Los mezcales son elaborados de manera artesanal siguiendo la tradición de siglos, la cual se ha ido transmitiendo y respetando de generación en generación. (comunicación personal, 4 de agosto del 2023).

Don Faustino comenta que los problemas centrales a los que se enfrentan son principalmente financiamientos, porque se necesitan créditos para la producción del mezcal y para la siembra de agaves donde es lo más fuerte. Si se requiere exportar van a carecer de plantas, además del incremento del costo por planta que ya la están vendiendo entre 15-25 pesos, siendo que por hectárea requieren por lo menos 2 500 plantas. Se debe ver integral toda la cadena, plantas, producción y certificación de la bebida. Ir de la mano gobierno y productores para lograr exportaciones que puedan beneficiar a muchas comunidades y familias.

A la pregunta ¿Qué piensas de ese material que te ha proporcionado el grupo del CICY? Responde:

> Siendo realistas, es algo nuevo, pero no tengo la menor duda de que estas plantas vayan a salir de mala calidad. Sí vimos cómo fueron a traer la planta en el campo, las plantas madre. Ustedes solamente le dieron el proceso como para generar un poquito su desarrollo y propagaron un poco más. Es lo único, pero a partir de ahí regresa de vuelta. Es la misma sangre que se trae. Hay mucha gente que tiene duda, también aclararles, algunos ya me comentaron por qué estás metiendo planta de laboratorio, les digo yo no les veo mucho la diferencia. Aquí vinieron a llevar la planta madre, solamente nos ayudaron a propagarla más y la regresaron de vuelta a su tierra. (comunicación personal, 4 de agosto del 2023).

Además, comenta:

> La otra preocupación es que no hay mucho sacatoro para decir que vamos a sacar mucha planta de semilla para propagarla así, no hay mucho. También nosotros nos hemos convertido en depredadores del bosque, del medio ambiente. Deberíamos de contribuir, si le quito dos, pero regreso tres, y muchos no lo hacemos y pues lo que estamos haciendo con este proyecto que ustedes nos apoyan del CICY es un trabajo facilitando a lo que otros no lo hacen y apoyar al campo. (comunicación personal, 4 de agosto del 2023).

A la pregunta ¿Cómo fue tu experiencia con la asimilación de esta tecnología? Responde:

> Para mí, yo puedo decir que el proyecto de CICY es exitoso; es bueno. Hay que ponerlo en práctica y hay que invitar a más compañeros a que le entremos a que hagamos este tipo de obra. Yo en un principio decirles que yo les dije que no, pero ahora que el año pasado que me obsequiaron unas plantas y las puse en vivero para desarrollo han captado la atención de la gente, ya las he llevado a campo, están de 25-30 cm y están bien bonitas. Ya la planta está formada, y espero tener buenos resultados. (comunicación personal, 4 de agosto del 2023).

A la pregunta ¿Del material que te ha proporcionado el CICY, qué características puedes destacar con respecto al material original que has trabajado tradicionalmente o lo ves similar? Responde:

> Pues hasta ahorita no podemos hablar de realidades porque necesitamos que las plantas que ustedes nos proporcionaron, necesitamos tenerlo ya maduro y estamos hablando en seis años o cinco años. Aunque tenemos la certeza de que, pues, va a salir igual porque no le estamos aplicando nosotros algún fertilizante o algún químico, sino que lo

> que se está haciendo es de manera natural y no lo estamos llevando en casa sombra, sino que le estamos llevando en campo libre y el vivero donde está su desarrollo también es campo libre. Cuando nos llegan las plantas micropropagadas las llevamos a campo a libre. (comunicación personal, 4 de agosto del 2023)

A la pregunta de ¿Cómo aprecias que se complementaron sus conocimientos y habilidades con lo que te ofrece el CICY? Responde:

> Como lo aprecio, del proyecto, yo he escuchado hablar de ustedes. Vemos que hay experimentación, investigación y que tienen varios proyectos, no solo el maguey, y a partir de allí nace. Como yo les decía al principio, no creía mucho, pero al ver cómo ustedes se relacionan con el mezcal, al darme cuenta que ustedes se relacionan con la planta, que ustedes buscan recursos, quiero pensar que no es malo lo que ustedes están haciendo. Es para un plan de desarrollo. Además, también el campo lo requiere, el campo lo necesita, por eso yo les decía que también ustedes el proyecto que traen no es para destrucción, no es para acabar, sino es para coadyuvar también con el problema que se tiene con el calentamiento.
>
> El maguey ayuda a enfriar el planeta, ayuda mucho a que no se permita la erosión. Ayudar a retener el suelo en 5 a 6 años. Si el gobierno lo entendiera así, el mezcal es vida. (comunicación personal, 4 de agosto del 2023)

A la pregunta ¿Cuáles son las aportaciones más importantes que ha hecho el grupo de trabajo del CICY a su sistema de producción? Responde:

> Para mí, Faustino, por lo que he trabajado hasta ahora, el CICY me ha facilitado, me ha coadyuvado un poquito más del proyecto que ya tenemos nosotros con la producción de plantas de maguey. Ustedes se solidarizan para aportar un poquito con su grano de arena con los

> productores. Yo lo que puedo decir, ustedes como CICY, pues no le no le den un paso para atrás, sino que busquemos el paso para adelante porque también hay otros productores que necesitan de plantas. (comunicación personal 4 de agosto del 2023)

Pero ¿cómo vas a abrir camino? Necesitamos que la gente, también los productores del campo, también le pongan el empeño de corazón para esta cadena productiva maguey-mezcal. (comunicación personal 4 de agosto del 2023).

## A manera de conclusión

Debe destacarse que el testimonio de los actores se concentró mucho en hablar de toda la cadena de valor. A pesar de sus dificultades, lo ven como algo integral. Están orgullosos y les da identidad. Destacan el proceso de producción de la bebida, de los retos que tienen en ese eslabón de la cadena, la calidad, la certificación, la exportación, los apoyos que requieren de las autoridades. Su mirada es global. Son agricultores que se implican en todo el proceso, no solamente en tener agave suficiente y preservarlo, porque están orgullosos de tener dos variedades de agave de su región: el espadín y cupreata, distintivo del estado de Guerrero.

Después de esta larga experiencia de trabajo, se puede afirmar que la asimilación tecnológica es un proceso de aprendizaje colectivo donde los productores, las comunidades y el grupo de investigación adquieren conocimientos y habilidades para aplicar la tecnología eficazmente. Es un proceso de interacción continua y de largo aliento, sobre todo al tratarse de un cultivo de alto valor y largo proceso de gestación. La alternativa de solución que el Centro otorga ante la problemática de escasez de agave es contar con material micropropagado de calidad seleccionado en coordinación con las comunidades de origen.

El desarrollo del componente del proyecto se enfoca a brindar alternativas para el suministro del material, su manejo adecuado, cuidado, propagación y aprovechamiento en beneficio social.

Si bien la cadena mezcal es atractiva en términos de desarrollo social, económico y cultural, el nivel de desarrollo entre Oaxaca y Guerrero es asimétrico, razón por la cual el enfoque en cada región es marcadamente diferente, desde la aproximación con las personas hasta la estrategia de asimilación de las herramientas generadas para que sea algo útil y complementario a sus sistemas productivos. Esto ha llevado a un aprendizaje mutuo conforme a las condiciones diferenciadas en cada contexto.

Para que los agricultores puedan realizar su labor no sólo requieren de tecnologías que respondan al tipo de agricultura que hacen, sino que deben continuamente adoptar otras tecnologías que complementen cada función en beneficio de la eficiencia y la productividad y, a la vez, que faciliten el trabajo para el bien propio y común.

Alcanzar el balance adecuado entre la aplicación de tecnologías agroecológicas y el uso de otras tecnologías de apoyo que faciliten y refuercen el objetivo integrador de la biodiversidad y de las relaciones entre todos los elementos del agroecosistema, que a la vez favorezca un proceso culturalmente aceptable y socialmente justo, constituye el mayor reto para la agroecología actualmente.

Es un camino que se construirá con la voluntad de los productores en el proceso de asimilación y apropiación de la tecnología. No concluye con el proyecto de investigación. Es una tarea colectiva entre diversos actores para dar seguimiento al proceso de asimilación y a los resultados esperados que son a mediano y largo plazo. Que implica también, bajo el concepto de quíntuple hélice, a otros actores, como la contraparte gubernamental en el seguimiento y apoyo solidario para el apoyo técnico, talleres, capacitación y apoyos requeridos para fortalecer a la cadena de valor.

## Referencias

Castillo-Vergara, M. (2020). Teoría de las N-hélices en los Tiempos de Hoy. *Journal of Technology Management & Innovation*, *15*(3), 3–5. https://doi.org/10.4067/S0718-27242020000300003

Corona, E. (2011). *Saberes colectivos y diálogo de saberes en México*. Universidad Nacional Autónoma de México, Centro Regional de Investigaciones Multidisciplinarias.

Delgado, F. (2013). *La transdisciplinariedad y la investigación participativa revalorizadora en una perspectiva de diálogo de saberes e intercientífico.* In Memorias del XII simposio internacional y VII Congreso nacional de agricultura sostenible de la Sociedad Mexicana de Agricultura Sostenible, AC (Vol. 9, pp. 2999-3018).

Haverkort, B., Delgado, F., Shankar, D., & Millar, D. (2013). *Hacia el diálogo intercientífico: Construyendo desde la pluralidad de visiones de mundo, valores y métodos en diferentes comunidades de conocimiento.* AGRUCO/Plural editores.

Klein, J. T. (2008). Evaluation of interdisciplinary and transdisciplinary research: a literature review. *American journal of preventive medicine, 35*(2), S116-S123.

Luengo-González, E. (2012). *La transdisciplina y sus desafíos a la universidad*.CIFS-ITESO.https://rei.iteso.mx/bitstream/handle/11117/632/Transdisciplina%20y%20sus%20desafíos%20%28final%20revisado%201%20agosto%202012%29.pdf?sequence=4&isAllowed=y)

Marbero, J. M.& Cortés, F. (2005). *Trabajo comunitario, organización y desarrollo social.* Alianza Editorial.

Urquiza Gómez, A., & Labraña, J. (2022). *Inter-y transdiciplina en la educación superior universitaria: reflexiones desde América Latina*. Universidad de Chile

# Capítulo 24

# Diagnóstico de la cadena productiva del café desde la perspectiva de productores en la Montaña de Guerrero

*Joaliné Pardo Núñez[1]*, Román Alejandro Hernández Rivas[2], Alejandra Marussia Serafín Castro[3], María Elena Matías Arcos[4], Jesús Conrado Ochoa Acosta[5].*

## Introducción

El café es uno de los principales cultivos de México, que a su vez se ubica en el doceavo lugar como país productor a nivel mundial (SIAP, 2022). En estados como Chiapas, Oaxaca y Guerrero más de medio millón de familias dependen del aromático. Pese a que en 2018 el kilo de café en supermercados y tiendas alcanzó los 300 pesos, los productores campesinos con menos de cinco hectáreas de cultivo, en su mayoría, recibieron, en el mejor de los casos, sólo un 20% de esa cantidad por kilo del grano. A pesar del aporte económico que representa la producción y comercialización del café, la población productora de los estados de Chiapas, Oaxaca y Guerrero se encuentran entre las cinco entidades más pobres a nivel nacional (CONEVAL, 2016). Esto se relaciona con problemas de planeación y articulación entre actores, así como de carencias de información y capital social para los caficultores de pequeña escala, quienes dependen de intermediarios con la capacidad de mover la producción hacia los puntos de venta.

[1] Investigadora por México Conahcyt-Ciatej basada en el edificio Adesur-Ceibaas, Acapulco, Gro. Contacto jpardo@ciatej.mx.

[2] Investigador asociado al Ciatej, colaborador del proyecto Fordecyt Adesur.

[3] Investigadora asociada al Ciatej, colaboradora del proyecto Fordecyt Adesur.

[4] Investigadora asociada al Ciatej, colaboradora del proyecto Fordecyt Adesur.

[5] Investigador asociado al Ciatej, colaborador del proyecto Fordecyt Adesur.

De acuerdo con un estudio realizado por Higuera y Rivera (2019), los problemas que enfrentan los productores de café en el sureste de México se dan desde el cultivo, con la presencia de plagas y enfermedades, así como manejo deficiente de los cultivos, hasta la falta de procesos tecnológicos eficientes y estandarizados para beneficiar el grano y darle valor agregado. En el ámbito socioeconómico se encuentran problemas de comercialización, precio, acceso a mercados, estructuras culturales-políticas de organización local y global, influencia con industrias y empresas, entre otros.

Es importante mencionar que esta serie de problemas actuales en la producción-comercialización del café en México inició con la liberación de los precios al mercado y la constante disminución de estos, lo que, aunado a malas políticas de producción y a la entrada de la enfermedad de la roya del cafeto a partir del año 2012 a México, causó severas afectaciones por lo menos al 50% de los cafetales del país (Renard & Larroa, 2017).

Dadas las dificultades que enfrenta diariamente el productor primario y que influencian su relación con los compradores y su motivación y capacidad para continuar produciendo café, las acciones encaminadas a mejorar su cadena productiva se convierten en retos de gestión para la política pública en México, pero también para el actuar de las instituciones con capacidad de apoyo desde la investigación y la generación de redes para la incidencia.

El proyecto Fordecyt cadenas partió de la necesidad de entender y atender los problemas específicos de los productores, teniendo como base las particularidades socioambientales regionales, así como entendiendo y analizando distintos momentos del proceso productivo en conjunto con los actores territoriales para favorecer la generación de alianzas que permitan potenciar cultivos de calidad con productos adecuados para el mercado.

El presente capítulo da cuenta de las percepciones en torno a las problemáticas del café por parte de productores de la región Montaña de Guerrero, concretamente de los municipios de San Luis Acatlán e Iliatenco, en donde se encuentra la organización “Luz de la Montaña”, un proceso consolidado en la década de los años ochenta y marcada por diferentes hitos críticos hasta la actualidad. Así mismo, da cuenta de resultados obtenidos de un taller de costeos que se llevó a cabo en la región como parte del se-

guimiento a las problemáticas expuestas por los productores. Esto con la intención de aportar al establecimiento de precios por parte de las comunidades productoras, con elementos concretos que permitan saber que existe un margen de ganancia tras el ciclo de cultivo, considerando los recursos invertidos, así como el tiempo de trabajo.

## Contexto del café en Guerrero

En 2019 el café representó el doceavo cultivo de mayor superficie en Guerrero, con una producción de 38 000 toneladas y media, principalmente de la región Costa Grande-Atoyac y Coyuca de Benítez, así como Montaña-San Luis Acatlán e Iliatenco, con 82% de la producción estatal (Tablas *et al.*, 2021). Aunque el estado es el quinto productor a nivel nacional, también es uno de los que más problemas tiene para su cultivo, cosecha, procesamiento y comercialización. Esto se observa, por ejemplo, en los datos de producción del aromático en el estado, que disminuyó casi a la mitad en los últimos 20 años, situación que ha afectado a más de 20 000 productores que dependen de este cultivo en las regiones de Costa Grande, Sierra, Costa Chica y Montaña, quienes crecientemente abandonan el cafetal y diversifican sus ingresos con actividades terciarias como el comercio (Santos, Olvera & Maldonado, 2022). Esto aplica particularmente para las generaciones jóvenes, hijos(as) y nietos(as) de los caficultores que originalmente establecieron los cafetos y que actualmente los atienden.

En conjunto, los problemas ambientales, comerciales y socioeconómicos generan utilidades menores para toda la cadena productiva del estado, pero más para los productores primarios, lo que resulta en una polarización del sector donde las desigualdades persisten dependiendo del poder que cada actor tenga dentro de la industria e incluso dentro de cada asociación o empresa (Higuera & Rivera, 2019). Si a esto se le suma el bajo desarrollo humano de las regiones cafetaleras y las barreras regulatorias existentes en la implementación de los programas de apoyo social, las consecuencias para los eslabones más débiles no son positivas.

En el caso de la región Montaña de Guerrero, y a comparación de lo que ocurre en otras regiones del estado, la actividad caficultora no ha sido completamente abandonada ni ha resentido de manera alarmante la migración laboral, lo cual está asociado a características rústicas en la producción del grano, que es minifundista y basada en la mano de obra familiar. Aun así, esta actividad ha tenido considerables problemas en la región, principalmente relacionados a la falta de infraestructura y tecnologías en su cadena productiva, asociada a que muchos de sus municipios se encuentran aislados e incomunicados. Es así como durante varias décadas la producción del grano en la Montaña se ha encontrado muy por debajo del promedio nacional (AMECAFE, 2011).

***Unión de Ejidos Luz de la Montaña***

Con cerca de 40 años ininterrumpidos de organización comunitaria, la Unión de Ejidos Luz de la Montaña actualmente agrupa a cerca de 4 000 productores de café de 28 comunidades de los municipios de Iliatenco, Malinaltepec y San Luis Acatlán, quienes buscan acceder de manera directa a los grandes mercados y obtener mejores precios para sus cosechas (González, 2021).

De acuerdo con el relato de Ravelo Lecuona y Ávila Arévalo (1994), la Unión de Ejidos Luz de la Montaña surge en un contexto de tensiones con Inmecafé por el aumento del precio del café. Los productores campesinos pobres, con escasa tierra que producen con técnicas de cultivo “simples” y emplean la fuerza de trabajo familiar, se vieron orillados a vender su café al Instituto Mexicano del Café para acceder a mejores precios por el pago de su cosecha, evitar la intermediación de acaparadores e incorporar paquetes tecnológicos para la erradicación de la roya; sin embargo, las prácticas clientelares y la corrupción provocaron que los beneficios de un mercado internacional favorable no llegarán a los pequeños productores.

La tensión por el aumento en el precio del café entre 1982 y 1984 desató un proceso organizativo y de reflexión entre los productores de la Costa-Montaña, quienes tenían claro que para salir adelante había que comercializar el café de manera directa y constituirse en una figura legal que

permitiera gestionar servicios para sus comunidades y acceder a créditos para la compra de maíz, la adquisición de infraestructura, procesamiento y comercialización del café. Después de tres años de organización y frente a necesidades que se volvieron exigencias, el 25 de octubre de 1985 se constituye formalmente la Unión de Ejidos Luz de la Montaña (Ravelo Lecuona & Ávila Arévalo, 1994).

Las experiencias de comercialización directa que ha tenido la Unión de Ejidos Luz de la Montaña han sido dulces y amargas, así como el acceso a créditos de diferentes instancias financieras y de la administración pública. Los registros de estas experiencias entre 1985 y 1993 se pueden encontrar en el relato previamente citado (Ravelo Lecuona & Ávila Arévalo, 1994). Es importante destacar un hito en este caminar, la construcción e inauguración de la bodega-beneficio seco en 1990, que permitió mejorar las condiciones de acopio y procesamiento del café. Esta obra marcó un momento importante en la vida de la organización, que permitió agregar valor al producto de unos 5 000 cafeticultores y buscar mejores precios.

En la actualidad esta bodega-beneficio seco está en riesgo de ser embargada debido a las deudas y la cartera vencida que tiene la organización. La experiencia de la Luz de la Montaña, en cuanto al acceso a créditos y financiamientos, ha tenido implicaciones tanto positivas como negativas. Las primeras instituciones que otorgaron créditos a la organización fueron el Instituto Social de Fomento Agropecuario (Isfom) y el Banco Internacional con sede en Puebla, entre 1985 y 1989. Posteriormente, se abrieron otras posibilidades de financiamiento con el Programa Nacional de Solidaridad a través del Instituto Nacional Indigenista, el Fondo Regional de Ometepec, Banrural y la Secretaría de Desarrollo Rural del Gobierno del Estado (Ravelo Lecuona & Ávila Arévalo, 1994)

Las deudas empezaron a surgir por la fluctuación y la caída de los precios del café en el mercado internacional; sin embargo, parece que nunca se había llegado al nivel de endeudamiento que existe en la actualidad, en el que alrededor del 75% de la infraestructura con la que cuentan permanece hipotecada: “Hay una deuda que se viene arrastrando con la Financiera Nacional de Desarrollo desde 2008, y que en 2012 nos obligó a ceder una

parte de la infraestructura para pagar los intereses de la deuda" (Quintero, 2021).

A pesar de estas dificultades, los campesinos cafeticultores agrupados en la Luz de la Montaña han buscado asesoría técnica para mejorar sus procesos de producción, por ejemplo, buscaron incursionar en la certificación de café orgánico. Este proceso requirió del diseño e implementación de un sistema de control interno; sin embargo, de los casi 5 000 productores que formalmente tiene registrados la organización, solo 1 460 aceptaron entrar al proceso de control interno para conseguir la certificación orgánica. Este proceso derivó en la creación de la Sociedad de Producción Rural Luz de la Montaña: "El problema fue que después se vino la roya. Esa enfermedad destruyó la certificación, porque había de dos: o aplicabas químico o perdías tu patrimonio. No había otras opciones. Los productos orgánicos no eran tan suficientes ni tan potentes como para controlar el hongo" (E. Araece, comunicación personal, 28-07-21).

En la actualidad, la Luz de la Montaña continúa su proceso organizativo; sin embargo, a partir de 2018 dejó de recibir financiamiento público, ya que ninguna instancia de la administración pública federal, estatal o municipal ha aceptado las propuestas de proyectos de financiamiento de esta organización comunitaria: "Tenemos el equipo, tenemos morteadora, tostadora y todo lo necesario para envasar, lo que no tenemos es recurso para almacenar el café y, en estos tiempos de lluvia, poder dedicarnos a moler y envasar el producto" (P. Morales, comunicación personal, 18-07-21). Es así como por las condiciones de endeudamiento y la falta de financiamiento, en la actualidad la Unión de Ejidos Luz de la Montaña está dedicada principalmente al acopio de café de 3 975 productores para venderlo a CAFECO, empresa que trabaja en coordinación con Nestlé para el procesamiento del café.

## Metodología

La información fue recabada mediante una guía de entrevista colectiva entre cuatro grupos focales, dos en cada municipio, durante 2021. A estos

asistieron un promedio de 15 personas, la mayoría hombres de 33 y 55 años. Se colectó información de productores y sus familias, variedades cultivadas de café, manejo del cafetal, producción, comercialización, destino y percepciones generales de la actualidad en la cadena productiva, generando una priorización con cada grupo al finalizar la entrevista grupal. Con esto se generó una tabla de priorización mediante la suma de los problemas mencionados a lo largo de los cuatro talleres.

Los caficultores mencionaron que, pese a todos los problemas que les aquejan, lo que más les afecta es la dificultad para estimar costos de su producción para establecer precios de venta con la certeza de obtener una ganancia tras el trabajo. Como una primer respuesta a esta problemática se organizó un taller de estimación de costos de producción con 12 productores, con quienes se analizó el ciclo de manejo del cultivo, desde la instalación y mantenimiento de la plantación hasta la venta de productos y subproductos, con el propósito de cuantificar cada una de las actividades realizadas, definir costos fijos, variables y de oportunidad, establecer el valor de la plantación y calcular los precios del producto principal frente a cuatro escenarios distintos (ingresos mayores a los costos de producción, que cubren costos financieros en puntos de equilibrio y de cierre de planta) .

## Resultados

Se muestran categorías de información generadas a partir de los datos orales obtenidos, en un primer punto por respuestas a entrevistas y en un segundo mostramos la tabla de priorización obtenida en talleres.

### *Categorías elaboradas a partir de los problemas detectados por cafetaleros en talleres y entrevistas*

*Organización*

- Actualmente sólo las organizaciones con un buen gestor tienen oportunidades para vivir de la producción y la comercialización del café; también dependen de una buena relación con el Consejo Estatal del Café (Cecafé).

- Luz de la Montaña es una de las organizaciones grandes más consolidadas que se han concentrado en renovar cafetales con planta resistente y mejorar sus procesos de beneficiado, tostado y molido, explorando las propiedades productivas y de procesamiento de las nuevas variedades.
- El endeudamiento y la liberación de precios al mercado han puesto en riesgo el proceso organizativo de productores que buscan mejorar sus condiciones de comercialización, orillando a la organización a funcionar como intermediaria con empresas dedicadas al procesamiento del café.
- Las organizaciones, en general, están promoviendo la renovación, pues la roya destruyó hasta el 70% de la planta en el estado entre 2014-2015, pero sin estar familiarizadas con las particularidades de las variedades resistentes.
- Las respuestas a la roya se han ensayado por parte de personas o pequeños grupos, pero no ha existido la costumbre de comunicar resultados para avanzar a nivel de región.
- Los productores que no están organizados dependen de los acaparadores y de los paquetes que entrega el gobierno sin capacitación, por esto difícilmente lograrán una vida digna a partir de la actividad caficultora.
- Se alude a las organizaciones como actores institucionales gubernamentales y de la sociedad civil. Lo anterior señala la dependencia de los actores locales sin reparar de la falta de organización a nivel de productores locales.
- Las organizaciones son muy celosas de sus conocimientos y prefieren destacar en pocas fortalezas que compartir y fortalecerse a un nivel de la región.
- No hay organizaciones, fuera de Luz de la Montaña, que también actúen como acaparador de la producción regional, que manejen el tema de establecimiento de costos y capaciten a sus socios en ello o en temas relacionados con la comercialización.
- Los jóvenes no quieren ya trabajar en las parcelas, los socios de las organizaciones son viejos en su mayoría y es más sencillo que tanto acaparadores como líderes los quieran engañar.
- Relaciones asimétricas entre los productores y las “organizaciones” gubernamentales como de la sociedad civil.

*Conocimiento y manejo del cafeto*

- Existen variedades tradicionales, principalmente Bourbon (criollo) y Typica, que han desarrollado resistencia a la roya, pero no hay programas de rescate y este depende de iniciativas de los productores.
- Cada productor tiene ciertos conocimientos de prácticas de siembra, abonado y combate a la roya que funcionan, pero no hay experiencias de compartir saberes ni de experimentar con ellos.
- La llegada de la roya marca un antes y un después para la entrada de la producción con certificación orgánica en el estado. Antes del 2014 la producción era libre de químicos de manera natural, actualmente podemos hablar de cafetales abandonados, cafetales con apuesta económica orgánica o cafetales con alto uso de insumos.
- Existe desconocimiento sobre las mejores formas para establecer el cafetal con las nuevas variedades resistentes de café que, además, llegan con cierta constancia, pero no con un acompañamiento técnico adecuado sobre su cuidado. “Siendo la misma planta, es como si fuera otra y hay que entenderla”.
- Se conoce sobre el trabajo con variedades de café Mundo Novo y Caturra, pero localmente no gusta su sabor, aunque tiene resistencia y es el que se usa para vender. Los productores que guardan semilla para consumo familiar lo hacen con Typica o el criollo.
- Se ha perdido la costumbre de seleccionar la semilla y establecer viveros o semilleros porque los productores son mayores y no tienen la energía para el proceso. Los jóvenes piensan que no es rentable y no tiene sentido dedicar tiempo a la renovación del cafetal.
- No se cuenta con un sistema de alerta temprana de la roya y no se tiene conocimiento sobre su ciclo de infección y crecimiento, además de que los paquetes de ayuda llegan cuando ya no es pertinente la aplicación porque el daño ya es mayor.
- Hace 20 años todavía se hacía la “coronación de los patrones” cuando se terminaba la cosecha. Pasaba que los peones cortaban flores del campo y coronaban a las hijas y a la mujer del patrón. Era un festejo.

*Comercialización*

- El kilo de café secado, en capulín, se vende en Atoyac a acaparadores (coyotes) por $35-$40 pesos el kilo.
- Los acaparadores llevan a descascarar, tostar y moler el café, pagando $5.00 por kilo. Lo venden en Atoyac a 130 pesos el kilo.
- Antes quien tenía siembra de café era gente de dinero. Venían cuadrillas de peones a trabajar, familias buscaban trabajo con todo y sus niños y abuelos y había para todos. Había mucho café y hasta los pueblos olían. Ahora ya no hay nada porque no se paga bien. En la montaña solo Luz de la Montaña lo paga a $80 el kilo, pero en pergamino.
- Son pocos los productores que no venden a Luz de la Montaña, en presentación capulín porque es la apuesta más segura. Los representantes de la organización viajan a cada comunidad y presentan su intención a los pueblos, pero la venta y la negociación al momento de la compra la hacen de forma individual.

*Infraestructura y tecnología*

- Las organizaciones gestionan beneficiadoras y plantas para el tostado y molido del café, siendo el principal motivo por el que se asocian los productores.
- Se requiere de un módulo de laboratorio para catación de café y formación de jueces sensoriales para el café de las regiones de Guerrero, de esta forma podrían establecer mejores precios para las cosechas.
- Pese a que se tengan beneficiadoras, falta conocimiento para lograr un buen fermentado del café, adaptado a los mercados actuales.

*Relación con el gobierno y otras instituciones*

- El antiguo INMECAFÉ estableció viveros de planta, que operan organizaciones ya consolidadas. En ellos se siembra planta mejorada, pero no se está trabajando en un programa para rescatar los cafetos de variedades tradicionales y que han mostrado resistencia.

- La confianza en el gobierno para realizar gestiones está rota por años de subsidios, problemas de cartera vencida y favoritismos en el trato.
- Se conocen pocas alternativas de autogestión y generación de recursos para invertir en el cafetal, ya que aún predomina la idea de que toca al gobierno el presentar subsidios o programas de apoyo a los cafetaleros para que la actividad vuelva a ser rentable (aunque cada vez más las organizaciones promueven la importancia de la autogestión).
- El trato actual con el gobierno se limita a la solicitud de paquetes tecnológicos: planta, fertilizante y fungicida que invariablemente llegan fuera del momento en el que se requiere aplicarlos y son de poca utilidad.

*Industrialización*

- Guerrero se ha enfocado en café capulín (cereza secada); sin embargo, pese a que esta forma de procesar el café es la más sencilla, los productores que no están organizados siguen teniendo deficiencias en el secado, que afectan la calidad final del café, impidiendo lograr costos adecuados.
- El secado del café se hace en patios. Existen pocas plantas beneficiadoras y son de organizaciones consolidadas. La organización RASA, en Costa Grande, tiene una beneficiadora y otras organizaciones han gestionado la suya ante el Consejo Estatal del Café, pero para los individuales, no organizados, se necesita pagar para lograr un beneficio húmedo o seco de calidad.
- En términos de rendimientos, 245 kilos de cereza dan lugar a 92 de capulín tras beneficio seco.
- Noventa y dos kilos de capulín dan lugar a 45 kilos de oro. Esto implica que más del 50% de los subproductos del café se pierden.
- Urge tener opciones para trabajar con los subproductos del café.

*Problemas asociados al cultivo*

- Suelos acidificados en la zona de Atoyac por años de mal manejo con agregación de insumos sin una dosificación y temporalización

adecuados. Esto se debe a que cada año se reparten de diferentes marcas y no existe una capacitación a los productores.

- Mala calidad de los suelos, en general, sin estudios que permitan entender su situación actual y tomar decisiones adecuadas. Se necesitan estudios de suelos para todas las zonas cafetaleras, así como una interpretación de los análisis adecuada para hacer programas de manejo.

*Prospección*

- Se requiere investigación y experimentación local sobre los mejores sistemas de cultivo.
- Prospección de las aptitudes del terreno en las unidades de paisaje en relación a la radiación solar.
- Instalación de laboratorios de calidad y análisis sensorial para cruzar información con la del cultivo.
- Aprovechamiento de subproductos del café ¿Qué ingreso pueden tener los productores con todos los residuos? (asociaciones estratégicas).

*Tabla de priorización*

La tabla de priorización definió, mediante tarjetas, que, al final de cada taller, se ordenaban de manera decreciente, siendo 1 el problema considerado más importante. Cada productor ponía una calcomanía de un color a los tres problemas que considerara más inmediatos y urgentes de resolver. Al final se contaron los puntos y se sumaron los de los cuatro encuentros.

Tabla de priorización elaborada a partir de talleres con cafetaleros en Guerrero, 2021

| | |
|---|---|
| 1 | Falta de asistencia técnica para el manejo de las nuevas variedades introducidas. |
| 2 | Jóvenes no quieren continuar con la actividad y no hay renovación de productores. |
| 3 | **Pocas opciones de financiamiento en cuestión de crédito.** |
| 4 | Llegada tardía de los paquetes anuales de fertilización y de combate a la roya. |
| 5 | Dependencia hacia programas sociales. |
| 6 | Desconocimiento sobre cómo estimar costos de producción y, por tanto, precio de venta rentable. |
| 7 | Dependencia de intermediarios y sujeción a sus condiciones de compra. |

| | |
|---|---|
| 8 | Falta de organización entre productores. |
| 9 | Los climas han cambiado y favorecen el ataque de plagas. |
| 10 | Falta de promoción del café guerrerense. |
| 11 | Desconocimiento sobre los ciclos de la roya. |
| 12 | No se aplica tecnología y se desconocen experiencias de otros lugares. |
| 13 | Desconocimiento de la calidad del suelo. |

## Taller de estimación de costos en la producción de café

En respuesta a una de las problemáticas expresadas por los cafeticultores participantes en los talleres, específicamente la relacionada con el desconocimiento sobre cómo estimar costos de producción, se organizó un taller con 12 productores de la Costa – Montaña. A partir del caso concreto de un cultivo de café en la localidad del Cocoyul, Malinaltepec, Gro., se calcularon costos de la etapa de preparación del terreno, consistente en tumbar, trazar la plantación, estacar y hacer hoyos; los costos de la siembra, que consideran la compra y acarreo de plantas, así como los jornales utilizados para la siembra y la fertilización de la planta; la limpieza manual del terreno (dos veces por año), control manual de arvenses y poda; costos de cosecha consistentes en corte y acarreo del producto. Debido a que normalmente el productor vende su producto de café en pergamino, también se consideraron las actividades de floteo y secado. Por último, se calculó el costo del equipo y de las herramientas con la que cuentan los productores. Estos cálculos permitieron obtener el valor de la plantación, costos fijos, variables y de oportunidad, hacer análisis de ingresos, así como cálculo de precios objetivos.

## Conclusiones

La cadena de valor del café enfrenta una serie de dificultades que pueden dividirse en dos vertientes: aquellos de tipo social y político y factores bióticos/abióticos (flora, fauna, organismos vivos del ecosistema que se

relacionan con otros organismos vivos / luz, temperatura, humedad). En el primer caso, a pesar de que existen canales que posibilitan la comunicación entre el gobierno y los productores, los apoyos no se ven materializados en las prácticas cotidianas. Asimismo, se ha observado una carencia en la organización de los productores del aromático en relación a los principios del cooperativismo como una alternativa de solución hacia los problemas críticos en su entorno inmediato.

Otro problema recurrente es el uso inadecuado de sistemas agronómicos para el manejo del cafeto y las plantaciones. El caficultor, cansado y hasta cierto punto desesperanzado de una actividad histórica que ha caído en desuso, y ante generaciones jóvenes que no toman al cultivo como apuesta de vida, ha perdido la costumbre de podar, regular la sombra, fertilizar, renovar y un adecuado control sanitario de las plantaciones. Además, la mayoría de las plantaciones tienen o alcanzan poca producción debido a que casi la mitad rebasan los 50 años de estar plantadas.

La falta de productividad de los campos cafetaleros, la escasa tecnología para reactivarla, el acceso a los recursos, el precio en la demanda del mercado y la falta de manejo ante plagas y enfermedades ha llevado a que varios productores abandonen sus plantaciones. A esto podemos añadir que no existe competitividad en plantaciones longevas, la falta de organización y las afectaciones ocasionadas por el cambio climático, ante lo cual la falta de conocimiento por parte de los productores para enfrentar esta situación ha llevado al decaimiento de la producción a nivel estatal.

Un último nivel está en la crisis de las organizaciones cafetaleras que enfrentan problemas tanto en temas de gestión como de producción. Por un lado, se puede decir que han enfrentado problemas para superar el ser gestoras de recursos y subsidios para promover la organización a través de la autogestión; por otro, han carecido de las capacidades técnicas y de interlocución para hacer frente a los problemas causados por la enfermedad de la roya, o bien a los retos que ponen en el mapa las nuevas tendencias de consumo de café en términos de métodos de fermentación y tostado, ya que al momento actual los productores únicamente llegan a pergamino.

El taller cobró vital importancia en un contexto en el que debilitada una de las principales organizaciones de alcance regional como la Unión de

Ejidos Luz de la Montaña. Los pequeños productores han tenido que buscar alternativas para la comercialización de su cosecha de manera directa sin intermediarios, esto ha llevado a algunos productores a tener sus propios emprendimientos, con el procesamiento y empaquetado del café. En este sentido, conocer y practicar el análisis de costos e ingresos para calcular precios de venta, entre otras prácticas, abre oportunidades para que las unidades de producción familiar y pequeñas agrupaciones comunitarias incursionen en los mercados con mejores herramientas que permitan reactivar la tradición cafetalera en la región y posicionarla como una actividad redituable que puede propiciar el desarrollo sustentable de la región y sobre todo traducirse en condiciones de bienestar para las familias cafeticultoras.

## Referencias

Asociación Mexicana de la Cadena Productiva del Café A.C. (2011). *Plan de innovación de la cafeticultura en el estado de Guerrero*. https://www.yumpu.com/es/document/view/31286375/plan-de-innovacion-guerrero-amecafe

Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social. (2016). *Medición de la pobreza*. Consultado el 06 de febrero de 2019. https://www.coneval.org.mx/Medicion/Paginas/PobrezaInicio.aspx

Higuera, I. & Rivera, J. (2019). Problemáticas y prospección del sector cafetalero. En. D. Contreras, E. Sánchez y J. Pardo (coords). *Producción y aprovechamiento del Café*. Ciatej-Juan Pablo editores. México.

International Coffee Organization. (2018). *Historical Data on the Global Coffee Trade*. Consultado el 06 de febrero de 2019. http://www.ico.org/new_historical.asp

Phaal, R., & Muller, G. (2009). An architectural framework for roadmapping: Towards a visual strategy. *Technological Forecasting and Social Change*, *76*(1), pp. 39–49.

Ravelo Lecuona, R., & Ávila Arévalo, J. O. (1994). *Luz de la Montaña. Una historia viva*. Instituto Nacional Indigenista.

Renard, M. C. & Larroa, R. M. (2017). Política pública y sustentabilidad de los territorios cafetaleros en tiempos de roya: Chiapas y Veracruz. *Estudios Latinoamericanos, nueva época*, (40), 95-113.

Santos González, L., Olvera, L. A. & Maldonado, V. A. (2022). Evaluación de la metodología de sistemas blandos de la cadena productiva del café en Guerrero. *Revista mexicana de ciencias agrícolas, 12*, (4).

Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. (2022). *Panorama Agroalimentario 2022*. https://www.gob.mx/siap/es/archivo/acciones_y_programas

Tablas González, I., Guerrero Rodríguez, J., Aceves Ruiz, E., Álvarez Calderón, N. M., Laínez-Loyo, E., & Olvera Hernández, J. I. (2021). El cultivo de café en Ojo de Agua de Cuauhtémoc, Malinaltepec, Guerrero. *Revista mexicana de ciencias agrícolas, 12*(6), 1031-1042. https://doi.org/10.29312/remexca.v12i6.2736.

# Capítulo 25

# Colecta de variedades nativas de frijol en la región Pacífico Sur: experiencias y perspectivas de los diferentes actores

*Montserrat Alcázar Valle[1], Luis Mojica Contreras[1], Eugenia Lugo Cervantes[1], Ever Sánchez Osorio[2]*

**Resumen**

El frijol se considera en muchas regiones del mundo una de las leguminosas más importantes por su valor nutricional y beneficios a la salud. Además de la importancia nutricional, es parte de la dieta tradicional del mexicano, su cultivo y consumo son muestra de la riqueza biocultural que posee nuestro país. La región Pacífico Sur, que comprende los estados de Chiapas, Oaxaca y Guerrero, es un territorio rico en especies y variedades endémicas de frijol. En este capítulo presentamos algunas experiencias obtenidas durante el recorrido y colecta de variedades de frijol en la región Pacífico Sur, la perspectiva de los productores (campesinos), además de un análisis de las actividades de difusión sobre los resultados de las semillas estudiadas. El intercambio de conocimientos científicos generados a partir de estas variedades se enlaza a los etnoconocimientos de la población que transmiten de generación en generación. La suma de estas experiencias de trabajo de campo resalta la importancia de motivar a los jóvenes a valorar el trabajo campesino, así como la revalorización de las variedades criollas de frijol por su contenido nutrimental, importancia cultural y gastronómica.

[1] Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco, Unidad de Tecnología, Camino Arenero 1227, El Bajío, Zapopan, México 45019.

[2] Investigador por México, Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías, Asignado al Instituto de Investigaciones Sociológicas de la Universidad Autónoma Benito Juárez de Oaxaca, esanchez@iisuabjo.edu.mx

*Palabras clave:* Diálogos con campesinos, foros de difusión, frijol criollo, taller con niños.

## Introducción

Entre los años 9000 y 5000 a. C. en diferentes partes del mundo se domesticaron diversas especies vegetales, entre ellas el frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.). Las características morfológicas, agronómicas y genéticas establecen que el frijol común es originario de Mesoamérica y posteriormente se domesticó entre los 5000 y 2000 años a. C. en dos sitios del continente americano: Mesoamérica y los Andes (Hernández-López *et al*., 2013). Actualmente se conocen alrededor de 150 especies de frijol, de las cuales 70 de ellas están en México, siendo el noveno lugar en producción de frijol a nivel mundial (Ramirez-Jaspeado *et al.*, 2020).

En México existe un acervo gastronómico relacionado con la preparación y consumo de la semilla de frijol, e incluso en regiones con alto índice de pobreza son el plato fuerte del día. En algunas zonas las semillas se muelen utilizándose como ingrediente en la preparación de tamales. Algunos de los platillos más representativos son los frijoles charros, puercos, refritos o cocidos con epazote, sopas, garnachas, tlacoyos y las tradicionales enfrijoladas. Por otra parte, de la planta del frijol se aprovechan todas sus partes (flores, semillas y vainas).

En la región del Pacífico Sur, que comprende los estados de Chiapas, Guerrero y Oaxaca, se conocen los siguientes datos y actividades de la producción.

- En Chiapas se sembraron 112 319 hectáreas durante 2018, de las que se cosecharon 64 393 toneladas, un 85% de frijol negro, 10% rojo y el resto de otras variedades de frijol (Villar-Sánchez *et al*., 2020).
- En el estado de Guerrero se cosechan en promedio 11 000 toneladas de grano por año y, al igual que Chiapas, presenta una gran diversidad de variedades y tipos de frijol en cuanto a color y tamaño (Solano-Rodríguez & Gil-Muñoz, 2018).

- En Oaxaca, de acuerdo con el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP; 2018), se siembran en promedio unas 38 000 hectáreas al año. Sin embargo, su rendimiento es bajo, únicamente se cosechan cerca de 700 kilos por hectárea.

A pesar de que la región Pacífico Sur del país es rica en biodiversidad, incluyendo una gran variedad de frijoles nativos, no existe información sobre el contenido nutricional, fitoquímico y los beneficios a la salud de estas variedades endémicas.

En el presente capítulo se abordarán de manera transdisciplinaria la visión de diferentes actores involucrados en el proyecto FORDECYT "Estrategias Multidisciplinarias para Incrementar el Valor Agregado de las Cadenas Productivas del Café, Frijol, Mango, Agave Mezcalero y Productos Acuícolas (Tilapia) en la Región Pacífico Sur a través de la Ciencia, la Tecnología y la Innovación", relacionados con aspectos nutricionales, sociales y culturales asociados al cultivo y consumo de frijol nativo de la región del Pacífico Sur.

***Especies del frijol***

El género *Phaseolus* incluye cinco especies domesticadas en México: *P. vulgaris* (frijol común), *P. lunatus* (frijol lima o comba), *P. coccineus* (frijol ayocote), *P. acutifolius* (frijol tépari) y *P. polyanthus* (frijol ibes o gordo). De todas las especies domesticadas, el frijol común es el más consumido, comprende el 91% de la producción nacional (INIFAP, 2021). El frijol comba o lima es la segunda especie de mayor distribución y consumo del género *Phaseolus.* Se encuentra en áreas tropicales y subtropicales, y se cultiva en varios países de América, siendo Perú el mayor productor de frijol lima. Esta variedad también se cultiva en algunas regiones de Europa, Asia y África (López-Alcocer *et al*., 2016).

El frijol ayocote, especie adaptada a varios ambientes, muestra una diversidad genética elevada debido a su alto porcentaje de cruzamiento natural (14.7%), y por lo cual requiere un manejo agronómico diferente al frijol común. La especie representa una opción productiva en diferentes regiones de México, estas son apreciadas por sus semillas grandes y

consumidas por comunidades campesinas ubicadas en zonas de cultivo marginadas en tierras altas, ocasionalmente comercializados en mercados locales (Vargas-Vázquez *et al*., 2014).

El frijol común (criollo) es uno de los cultivos más utilizados en el sistema productivo milpa en la región Pacífico Sur, siendo el frijol negro el de mayor importancia debido a la preferencia de la población en esta región (Ramírez-Jaspeado *et al*., 2020).

***Sistema milpa, producción y consumo del frijol***

El sistema milpa es un método agrícola realizado en México desde la época prehispánica, siendo los principales cultivos el maíz, el frijol y la calabaza. Este sistema promueve un microambiente favorable para la producción agrícola, debido a las características morfológicas de los cultivos, las cuales favorecen la absorción de nutrientes, el alojamiento de insectos benéficos, la conservación de la humedad en tiempos de sequía y la fijación de nitrógeno.

Los alimentos provenientes de este sistema de cultivo poseen una gran importancia nutricional debido al contenido de macro y micronutrientes, así como compuestos bioactivos, por lo que este sistema garantiza la continuidad de la cultura y la alimentación saludable de la sociedad (Howard *et al.*, 2008). Estas prácticas se llevan a cabo principalmente en poblaciones rurales, con un arraigo mucho más fuerte en aquellas que se autoreconocen como poblaciones originarias.

En las últimas décadas se ha abandonado el cultivo y disminuido el consumo de los productos de este sistema, debido principalmente a la revolución verde que en décadas pasadas promovió los monocultivos de alto valor económico. Por otra parte, el aumento de la disponibilidad y consumo de productos altamente procesados, los cuales son ricos en grasas saturadas, carbohidratos refinados y sodio, ha generado el incremento de enfermedades crónicas no transmisibles asociadas a la alimentación como el sobrepeso, la obesidad, diabetes tipo 2, dislipidemias, entre otras (Ibarra, 2016; Razo & Mendoza, 2021).

El sobrepeso y la obesidad se han convertido en un problema de salud pública importante en nuestro país; 75.2% de la población adulta padece exceso

de peso (ENSAUT, 2018). La obesidad se caracteriza por una mayor masa de tejido adiposo blanco y visceral y anormalidades en el metabolismo de los lípidos (World Health Organization Obesity and Overweight, 2017). Este padecimiento se asocia con una mayor propensión a desarrollar y acelerar la progresión de la enfermedad coronaria, dislipidemia, resistencia a la insulina, diabetes tipo 2, hipertensión, enfermedad cardiovascular y cáncer (Ades & Savage, 2017; Waalen, 2014). En 2018 México contó con más de 8.6 millones de casos de diabetes (ENSANUT, 2018), de los cuales aproximadamente el 60% de pacientes con diabetes tipo 2 no alcanzan las metas terapéuticas requeridas cuando están bajo tratamiento con medicamentos hipoglucemiantes orales (Lavalle-González *et al*., 2012). Esta condición resulta de interacciones complejas entre genes y factores ambientales, como la dieta, los componentes de los alimentos y las modificaciones del estilo de vida. Por otra parte, la diabetes tipo 2 es un problema de regulación progresivamente alterada de la glucosa debido a una combinación de células beta pancreáticas disfuncionales y resistencia a la insulina (Blair, 2016).

La transición alimentaria en nuestro país produjo un cambio importante en los hábitos alimenticios, promoviendo el abandono de las dietas tradicionales y sustituyéndolas por alimentos ultraprocesados. De la misma forma se ha dado un fenómeno conocido como transición epidemiológica, en la cual las principales causas de mortalidad en la población han cambiado de enfermedades infecciosas a enfermedades crónico-degenerativas como la diabetes tipo 2 y enfermedades cardiovasculares.

En un contexto complejo derivado de las transformaciones sociales y los avances científicos, se proponen enfoques interparadigmáticos que integran una visión clínico-biológica, multicausal, económico-política, sociocultural y ecológica (Crocker *et al*., 2012). Todos estos tratan de explicar los procesos alimentarios desde diferentes enfoques por medio de una epistemología postmoderna de la alimentación. Aunque se debería incluir en estos enfoques otros factores como la composición fitoquímica y de componentes bioactivos de los alimentos y su potencial para prevenir el desarrollo de enfermedades. Ya que en el paradigma científico tradicional se estudia a los componentes bioactivos de los alimentos de forma aislada.

Por lo anterior, para contribuir a una comprensión sistémica del problema salud-alimentación con enfoques científicos y socioculturales que dignifiquen el consumo del frijol, es importante estudiar a esta semilla tanto por su calidad nutricional y beneficios a la salud como por su importancia cultural y social para la población.

***Experiencias trabajo de campo (colecta de frijol)***

En los meses de marzo a septiembre del 2019 se realizaron recorridos en las zonas productoras de frijol de los estados de Chiapas, Guerrero y Oaxaca, por parte de un grupo de investigadores del CIATEJ, en el marco del proyecto FORDECYT "Estrategias Multidisciplinarias para Incrementar el Valor Agregado de las Cadenas Productivas del Café, Frijol, Mango, Agave Mezcalero y Productos Acuícolas (Tilapia) en la Región Pacífico Sur a través de la Ciencia, la Tecnología y la Innovación". La particularidad de este grupo de trabajo fue su transdisciplinariedad, no sólo eran investigadores del área de las ciencias exactas, también investigadores del área social (sociología y antropología principalmente). El objetivo no fue solo la colecta de semillas, también obtener un panorama social –amplio– sobre las principales dificultades en la producción del frijol, su aporte nutricional, gastronómico y cultural, así como los desafíos que los campesinos y las campesinas enfrentan para el resguardo de las semillas criollas. En estos recorridos se colectaron 56 accesiones de frijol (**Tabla 1**).

En Chiapas la colecta se realizó en marzo de 2019, el frijol obtenido es de autoconsumo en las zonas productoras de los Altos de Chiapas y la Frailesca. La siembra se realiza en mata, vara y/o milpa. Fue necesaria la ayuda de un traductor en algunas regiones.

En Guerrero la colecta se realizó en agosto de 2019, en este ciclo la cosecha de frijol fue baja debido a la sequía. También se cultiva el frijol en mata, vara y/o milpa. En las zonas productoras se consume tanto la semilla como el ejote, especialmente el de vaina morada. La colecta se realizó en Xochistlahuaca, Iguala (tianguis), Tlapa de Comonfort y Las Parotillas (este último municipio de Tecoanapa).

En Oaxaca se realizó la colecta en dos periodos de muestreo, el primero en julio 2019 en los municipios de la Mixteca, Valles Centrales y la Costa. Los productores en la región de Valles Centrales mencionaron que su rendimiento es de dos toneladas por hectárea; en la Costa, una tonelada por hectárea. En estas zonas se trabaja en cooperativas para almacenar las semillas con el fin de evitar plagas como el gorgojo. La segunda colecta fue en septiembre 2019 en municipios de la región Sierra Norte y Cañada, los municipios en esta zona se rigen por usos y costumbres y fue necesario del apoyo de un guía para poder desplazarnos.

Tabla 1. Colecta de las accesiones de frijol en la región Pacífico Sur

| Estado | Muestra | Municipio | Localidad | Nombre común |
|---|---|---|---|---|
| Chiapas | CH-01 | Tenejapa | Sibanilja | Pinto colorado (Tzirin chenek) |
| | CH-02 | **Villaflores** | Nuevo México | Negro cubano |
| | CH-03 | **Villaflores** | Benito Juárez | Negro garceño |
| | CH-04 | Teopisca | Barrio de Guadalupe | Pie de paloma |
| | CH-05 | Teopisca | Barrio de Guadalupe | Negro de vaina blanca |
| | CH-06 | Tenejapa | Tenejapa | Ibes |
| | CH-07 | Tenejapa | Tenejapa | Botil |
| | CH-08 | Teopisca | Barrio de Guadalupe | Blanco |
| | CH-09 | Chenalhó | Bachen | Frijol rojo |
| | CH-10 | Teopisca | Barrio de Guadalupe | Negro de vaina morada |
| | CH-11 | Chenalhó | Bachen | Ibes rojo |
| | CH-12 | Teopisca | Barrio de Guadalupe | Bayo |
| | CH-13 | Chenalhó | Bachen | Negro |
| | CH-14 | Teopisca | Teopisca | Regadillo |
| | CH-15 | Pantelho | Barrio de Guadalupe | Frijol negro |
| | CH-16 | Chamula | Tojtic | Botil |
| | CH-17 | Teopisca | Teopisca | Patachete |
| | CH-18 | Teopisca | Teopisca | Barretón |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Guerrero | GR-01 | Iguala de la Independencia | Iguala de la Independencia | Comba negro |
| | GR-02 | Iguala de la Independencia | Iguala de la Independencia | Chino |
| | GR-03 | Iguala de la Independencia | Iguala de la Independencia | Chino blanco |
| | GR-04 | Xochistlahuaca | Xochistlahuaca | Negro de mata |
| | GR-05 | Xochistlahuaca | Xochistlahuaca | Negro de vara (Tiachi) |
| | GR-06 | Xochistlahuaca | Xochistlahuaca | Blanco |
| | GR-07 | Tepecoacuilco de Trujano | Tepecoacuilco de Trujano | Coconita |
| | GR-08 | Iguala de la Independencia | Iguala de la Independencia | Comba pinto |
| | GR-09 | Iguala de la Independencia | Iguala de la Independencia | Comba blanco |
| | GR-10 | Mexcaltepec, Acatepec | Mexcaltepec, Acatepec | Negro de riego |
| | GR-11 | Mexcaltepec, Acatepec | Mexcaltepec, Acatepec | Rojo |
| | GR-12 | Mexcaltepec, Acatepec | Mexcaltepec, Acatepec | Blanco Mexcaltepec |
| | GR-13 | Tecoanapa | Tecoanapa | Colorado Teconapan |
| | GR-14 | Tecoanapa | Tecoanapa | Negro de mata |
| | GR-15 | Mexcaltepec, Acatepec | Mexcaltepec, Acatepec | Ayocote |
| | GR-16 | Mexcaltepec, Acatepec | Mexcaltepec, Acatepec | Yochichilse |
| | GR-17 | Pilcaya | Pilcaya | Rojo 3 |
| | GR-18 | Pilcaya | Pilcaya | Cacahuate |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Oaxaca | OX-01 | Asunción Nochixtlán | Barrio las Flores | Criollo Tiltepec |
| | OX-02 | Asunción Nochixtlán | Barrio las Flores | Criollo vaina blanca |
| | OX-03 | San Juan Sayultepec | San Andrés Andua | Frijol de Andua |
| | OX-04 | San Pablo Huixtepec | Barrio de San Antonio | Michigan |
| | OX-05 | San Pablo Huixtepec | Barrio de San Antonio | Delgado |
| | OX-06 | Santos Reyes Nopala | Santa María Magdalena Tiltepec | Chivo blanco |
| | OX-07 | Santos Reyes Nopala | El Paraíso | Blanco |
| | OX-08 | Santos Reyes Nopala | El Paraíso | Cuarentero |
| | OX-09 | Santos Reyes Nopala | El Paraíso | Boludo |
| | OX-10 | Santos Reyes Nopala | Santa María Magdalena Tiltepec | Enredadera |
| | OX-11 | Ayoquezco de Aldama | Ayoquezco de Aldama | Delgado de Santa Cruz Mixtepec |
| | OX-12 | Ayoquezco de Aldama | Ayoquezco de Aldama | Grueso de Ejutla |
| | OX-13 | Santa Lucía del Camino | Colonia Gómez Dandoval | Rojo Costeño |
| | OX-14 | San Juan Bautista Cuicatlan | Santiago Quiotepec | Frijol de Alubia |
| | OX-15 | Santa Catarina Lachatao | Santa Martha Latuvi | Frijol delgado de Latuvi |
| | OX-16 | Ixtlán de Juárez | Santa María Zoogochi | Zhaya´a |
| | OX-17 | San Juan Bautista Cuicatlán | Santiago Quiotepec | Delgado Zapoteco |
| | OX-18 | Santa Catarina Lachatao | Santa Martha Latuvi | Mirshumil |
| | OX-19 | Villa Díaz Ordaz | El Carrizal | Ejotero |
| | OX-20 | Santa Catarina Lachatao | Santa Martha Latuvi | Frijol Celaya |

Fuente propia. CH=Chiapas; GR=Guerrero; OX=Oaxaca.

En los recorridos en campo y en las charlas con los productores se observó que en la región Pacífico Sur los productores de frijol no están

organizados en torno a la cadena productiva de este cultivo. A diferencia de otras cadenas o sistemas de producción como el agave, mango o café, donde se encuentran organizaciones de productores. Lo anterior se puede deber a que la colecta se centró en buscar accesiones de frijol criollo de la región, y los productores realizan esta actividad como labor de traspatio, es decir, no se siembra en grandes extensiones y no se cuenta con capacidades amplias de producción y comercialización, generalmente el frijol que siembran es de autoconsumo.

Además, se observó que la producción de frijol en algunas regiones se asocia al sistema de producción del sistema milpa (maíz, calabaza, chile), y al ser un cultivo de traspatio el uso agroquímico es mínimo o inclusive nulo. También, al ser extensiones de siembra pequeñas, los campesinos y campesinas no cuentan con la infraestructura tecnológica para poder sembrar y cosechar. En la mayoría de los casos la siembra, cosecha y resguardo de la semilla se realiza de manera manual, con técnicas y procedimientos de saberes que la gente local ha pasado de generación en generación (Figura 1).

Figura 1. Algunos sitios de colecta de frijol en la región Pacífico Sur (Fuente propia)

En cuanto a la comercialización del frijol, se da de manera informal a nivel local, principalmente en tianguis, parques, entre familiares o amigos. La medida que utilizan para la venta es por "litro", que en realidad es la medida de un envase de refresco de dos litros, también utilizan como instrumento medidor latas de sardina, tazas y algún otro instrumento de medida local (Alcázar-Valle *et al.*, 2023). Hay que mencionar que en este tipo de producción no se observan tecnologías que apoyen o incentiven la producción. Los hombres y las mujeres que la trabajan (campesinos y campesinas) se basan en el conocimiento local o tradicional, tiempos de lluvia, limpieza o desmonte a mano y técnicas de cosechas rudimentarias. De la misma forma, no hay apoyo por parte del gobierno para los productores, se incentivan los medianos y grandes productores, no pequeños productores con pocas extensiones de siembra.

## Diálogos para la difusión de resultados de estudios sobre el frijol nativo

De las 56 variedades colectadas de frijol, se prosiguió a realizar su análisis nutricional y de compuestos bioactivos. A partir de los resultados obtenidos se observó que las variedades de frijol colectadas pueden ayudar a la prevención de enfermedades como la obesidad, diabetes tipo 2, enfermedades cardiovasculares debido a su alto contenido de proteína, fibra y compuestos fenólicos como las antocianinas. Por lo anterior, se organizaron una serie de talleres, foros y diálogos con productores (campesinos), investigadores, profesores, estudiantes y actores gubernamentales (**Tabla 2**).

Tabla 2. Difusión de resultados de la colecta de frijol en la región Pacífico Sur

| Difusión | Lugar | Participantes |
|---|---|---|
| Revalorización y Aprovechamiento del frijol: Innovaciones y Emprendimientos con Perspectiva de Impacto Social | Chiapas | DIF en Tuxtla Gutiérrez, dirigido a productores y actores gubernamentales |
| | Guerrero | Centro Cultural, Ometepec Guerrero, dirigido a investigadores, productores, actores gubernamentales y estudiantes |
| | Oaxaca | Escuela de Sistemas Biológicos e Innovación Tecnológica de la Universidad Benito Juárez de Oaxaca (ESBIT-UABJO), dirigida a estudiantes, productores, entidades gubernamentales |
| | | Instituto Superior Intercultural Ayuuk (ISIA), dirigido a Estudiantes y colaboradores (ISIA) |
| | | Auditorio municipal de San Juan Bautista Cuicatlán. Diálogo entre productores y estudiantes |
| El Saber de las niñas y los niños Ñomndaa en la ciencia ¿Qué sabemos del frijol? | Guerrero | Taller impartido a las niñas y los niños de 4, 5 y 6 de primaria de la escuela primaria “El Porvenir” tuno matutino |
| El Saber de las niñas y los niños de San Juan Bautista Cuicatlán, Oaxaca, en la ciencia ¿Qué sabemos del frijol? | Oaxaca | Taller impartido a las niñas y los niños de 4, 5 y 6 de primaria de la escuela primaria “Victoriano González” turno matutino |

Fuente propia

El foro “Revalorización y aprovechamiento del frijol: innovaciones y emprendimientos con perspectiva de impacto social” se realizó en el mes de octubre del 2021 en las instalaciones del DIF en Tuxtla Gutiérrez, Chiapas. Se abordaron temas como la perspectiva social en la experiencia de trabajo de campo al realizar las colectas, se mencionaron los avances científicos y

tecnológicos en el aprovechamiento del frijol en Chiapas, se mencionaron algunas estrategias locales-regionales a partir de la economía social y solidaria y se finalizó con un diálogo de saberes entre los productores acerca de su experiencia en el cultivo del frijol. En este ejercicio los campesinos y campesinas mostraron un particular interés en capacitarse en técnicas novedosas para poder mejorar los rendimientos de sus cultivos. También se interesaron en poder generar una economía social a partir de cooperativas.

En Guerrero se realizó el foro el mayo del 2022 en el Centro Cultural de Ometepec. Además de presentar los resultados científicos y tecnológicos para la revalorización del frijol en el estado de Guerrero, se abordaron de manera particular los retos y oportunidades de la producción de frijol en la región Costa Chica y se firmó un convenio de colaboración entre el Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco (CIATEJ) y el Tecnológico Nacional de México-Instituto Tecnológico Superior de la Costa Chica.

En este ejercicio los participantes comentaron que históricamente era la primera ocasión en que se participaba en un diálogo para compartir conocimientos científicos y tecnológicos y tradicionales relacionados con el cultivo del frijol. De esta forma se constató la importancia de colaboración entre instituciones, gobierno y el sector productor.

En Oaxaca el foro se desarrolló en diferentes localidades e instituciones. En junio del 2022 se llevó a cabo en la Escuela de Sistemas Biológicos e Innovación Tecnológica de la Universidad Benito Juárez de Oaxaca (ESBIT-UABJO) con estudiantes, docentes y entes gubernamentales. Se presentaron los resultados obtenidos de la colecta en el estado de Oaxaca, se mostró la importancia del frijol y otros cultivos en el estado, y se realizó una plenaria de diálogos sobre las oportunidades y retos de la producción de frijol en el estado, en donde los estudiantes nos comentaron su interés en conocer nuevas técnicas para el control biológico de plagas y el cuidado de la semilla en postcosecha.

También en el mes de junio del 2022 se llevó a cabo este mismo foro con productores en el auditorio municipal de San Juan Bautista Cuicatlán (Oaxaca), donde nos comentaron que están interesados en adquirir nuevo

conocimiento a través de campos experimentales en la región con el objetivo de identificar diferentes variedades de semillas, su mantenimiento adecuado e incrementar los rendimientos de su producción. Finalmente, en el mes de octubre del 2022 se llevó a cabo este foro en el Instituto Superior Intercultural Ayuuk (ISIA) en Jaltepec de Cadayoc (Oaxaca), en el marco de una serie de talleres que se estaban llevando a cabo con los estudiantes del ISIA. En el foro los estudiantes presentaron particular interés en el control microbiano de plagas.

Con el objetivo de sentar las bases de la importancia del cultivo del frijol, se realizaron una serie de talleres dirigidos a niños de cuarto, quinto y sexto de primaria. En el estado de Guerrero el taller se realizó en la escuela primaria “El porvenir” turno matutino en Xochistlahuaca, en el mes de mayo 2022; y en Oaxaca, en la escuela primaria “Victoriano González”, en donde a través de actividades lúdicas se trabajó con los niños y niñas en conocer las partes de la planta del frijol, las plagas y enfermedades que pueden llegar a presentar. Se identificaron algunas zonas productoras de frijol en sus estados y también se abordó el contenido nutricional del frijol y los platillos regionales que conocían los niños que contienen esta semilla (Figura 2).

Figura 2. Difusión de resultados con diferentes actores en la región Pacífico Sur

Como resultado de los talleres sobre la importancia del frijol con niños y niñas, particularmente el realizado en Xochistlahuaca, Guerrero, en la escuela primaria "El Porvenir" turno matutino, surgió la idea de generar un libro titulado *Aprendiendo más sobre el frijol y su importancia en Xochistlahuaca, Guerrero*, escrito en español y amuzgo enfocado a niños y niñas de 4.º a 6 º de primaria. El objetivo de este libro para niños fue plasmar información importante sobre el cultivo y la importancia del frijol. Además de resaltar la importancia de la preservación y defensa de la diversidad del frijol nativo en la región.

## Conclusiones

El frijol es uno de los alimentos básicos de la dieta del mexicano. A partir de las visitas de campo realizadas en la región Pacífico Sur se colectaron 56 variedades de frijol criollo, con gran potencial nutritivo y componentes que promueven la salud. Al retornar esta información a los productores de la región y concientizar la importancia de su consumo, se observó el gran interés de estos por la capacitación de nuevas técnicas que permitan mejorar los rendimientos de sus cosechas. Además de la consolidación de la cadena productiva del frijol que les permita acceder a diversos apoyos para ampliar y fortalecer a los diversos sectores involucrados, con el objetivo particular de impulsar las variedades criollas por sus ventajas nutricionales. Finalmente, mostraron su interés en incorporar a los jóvenes al campo y la importancia de que exista un relevo generacional. En las poblaciones rurales e indígenas la producción y el consumo del frijol es clave en la gastronomía local. Lo que hace que la semilla posea un valor importante no sólo como alimento.

Alrededor del cultivo del frijol existen saberes y conocimientos que aportan compresión a formas de vida de la población específicas que refieren a lo social, la economía y la cultura. Es importante mencionar que la producción de frijol criollo no tiene el apoyo debido, es decir, no existe apoyo por parte del gobierno, sobrevive por el cuidado y protección de los campesinos y campesinas.

## Referencias

Ades, P. A., & Savage, P. D. (2017). Obesity in coronary heart disease: An unaddressed behavioral risk factor. *Preventive Medicine*, 104, 117–119. https://doi.org/10.1016/j.ypmed.2017.04.013.

Alcázar-Valle, M., García-Morales, S., Olvera-Vargas, L. A., Sánchez-Osorio, E., & Lugo-Cervantes, E. (2023). Aspectos nutricionales y sociales del frijol criollo de la región Pacífico sur. *Horizontes Transdisciplinarios, 1*(1), 147-156.

Blair, M. (2016). Diabetes Mellitus Review. *Urologic nursing, 36*(1). https://doi.org/10.7257/1053-816X.2016.36.1.27.

Crocker-Sagastume, R., Hunot-Alexander, C., Morenogaspar, L.E., López-Torres, P., & González-Gutiérrez, M. (2012). Epistemologías y paradigmas de los campos disciplinares de la nutrición y los alimentos en la formación de nutriólogos. Análisis y propuestas para el desarrollo curricular. *Revista de Educación y Desarrollo, 21*. Abril-junio, 49-57.

Hernández-López, V. M., Vargas-Vázquez, M. L. P., Muruaga-Martínez, J. S., Hernández-Delgado, S., & Mayek-Pérez, N. (2013). Origen, Domesticación y Diversificación del frijol común. Avances y Perspectivas. *Revista Fitotecnia Mexicana, 36* (1), 95-104.

Howard, P., Puri, R., Smith, L., & Altierri, M. (2008). *A Scientific Conceptual Framework and Strategic Principles for the Globally Important Agricultural Heritage Systems Programme from a Social-ecological Systems Perspective*. Food and Agriculture Organization of the United Nations.

Ibarra, L. S. (2016) Transición Alimentaria en México. *Revista Razón y Palabra, 20* (3), 166-182. http://www.revistarazonypalabra.org/

Lavalle-González, F.J., Chiquete, E., de la Luz, J., Ochoa-Guzmán, A., Sánchez-Orozco, L.V.& Godínez-Gutiérrez, S.A. (2012). Achievement of therapeutic targets in Mexican patients with diabetes mellitus. *Endocrinol Nutr. 59*(10),591–598

López-Alcocer, J. de J., Lépiz-Idelfonso, R., González-Eguiarte, D., R., Rodríguez-Macías, R., & López-Alcocer, E. (2016). Variabilidad

Morfológica de *Phaseolus lunatus L.* silvestres de la región occidente de México. *Revista Fitotecnia Mexicana, 39* (1), 49-58.

Ramírez-Jaspeado, R., Palacios-Rojas, N., Nutti, M., & Pérez, S. (2020), Estados potenciales en México para la producción y consumo de frijol biofortificado con hierro y zinc. *Revista fitotecnia mexicana, 43* (1), 11-23.

Razo, A., & Mendoza, D. (2021). Más del 50 por ciento del consumo de alimentos en México depende del exterior. *UNAM Global Revista*. https://unamglobal.unam.mx/mas-del-50-por-ciento-del-consumo-de-alimentos-en-mexico-depende-del-exterior/

Secretaría de Salud-Instituto Nacional de Salud Pública-Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2018). *Encuesta Nacional de Salud y Nutrición 2018*. Recuperado el 21 de febrero de 2024, de https://ensanut.insp.mx/encuestas/ensanut2018/doctos/informes/ensanut_2018_presentacion_resultados.pdf

Solano-Rodríguez, A., & Gil-Muñoz, A. (2018). El frijol "Chaparro" (*Phaseolus vulgaris* L.) entre los Na savi de Copanotoyac, Guerrero, México: aportes a su conocimiento. *Agroproductividad, 11* (10), 137-143.

Vargas-Vázquez, M. L. P., Muruaga-Martínez, J. S., Mayek-Pérez, N., Pérez-Guerrero, A., & Ramírez-Sánchez, S. (2014). Caracterización de frijol ayocote (*Phaseolus coccineus L.*) del Eje Neovolcánico y la Sierra Madre Oriental. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícola*, *5* (2), 191-200.

Villar-Sánchez, B., Tosquy-Valle, O. H., López-Salinas, E., Cruz-Chávez, F. J., & Acosta-Gallegos, J. A. (2020). Frailescano: nueva variedad de frijol negro opaco para Chiapas. *Revista Mexicana Ciencias Agrícolas, 11* (8), 1985-1992.

Waalen, J. (2014). The genetics of human obesity. *Translational Research, 164*(4), 293–301. https://doi.org/10.1016/j.trsl.2014.05.010.

# Capítulo 26

# Colaboración con la Organización Totikes de Chiapas en torno al reconocimiento de maíces nativos y sus productores

*Edali Yareni Murillo-Gómez[1], Paola Andrea Mejía-Zuluaga[1], Patricia Ortega-Fernández[1], Alejandro Ernesto Mohar Ponce [1].*

**Resumen**

La diversidad actual de maíces nativos es producto de la intervención que los pueblos indígenas y campesinos han realizado en el medio ambiente de acuerdo con sus patrones culturales, necesidades, saberes y tradiciones por cientos de años. El presente proyecto, realizado en forma conjunta con la Asociación Nacional de Empresas Comercializadoras de Productores del Campo, A.C. (ANEC) y la Organización Campesina Totikes de Chiapas (cuyo dirigente es presidente de la ANEC), tiene el objetivo de mostrar la riqueza de variedades de maíces nativos que conservan los campesinos en territorios chiapanecos. En términos de divulgación, los resultados del proyecto (diseño conjunto de cuestionarios, entrevistas, etc.) adquieren su mayor fuerza en una serie de fichas infográficas que destacan la identidad y fotografía de las familias productoras de cada variedad de maíz nativo seleccionada en el levantamiento en campo. Estas fichas infográficas conforman un acervo que muestra la riqueza biocultural vinculada a los maíces nativos registrados en el territorio con presencia de la unión Campesina Totikes de Chiapas, resaltando la identidad de los autores/guardianes, lo cual contiene los intentos de biopiratería, la valoración de sus maíces en palabras de las/los productores, también sus usos, cualidades, características y distribución espacial.

[1] Centro de Investigación en Ciencias de Información Geoespacial, Contoy 137, Lomas de Padierna, Tlalpan, Ciudad de México 14240. Correo electrónico: edalimurillo@gmail.com.

*Palabras clave*: Maíces nativos; patrimonio biocultural; propiedad colectiva.

## Introducción

La colaboración con la Organización Totikes de Chiapas en torno a maíces nativos[2] se enmarca dentro del proyecto *Territorios de Maíz*[3], el cual ofrece una mirada territorial sobre la importancia del maíz nativo en la región Pacífico Sur. De manera específica, la exploración de variedades de maíces nativos y sus productores en Chiapas tuvo lugar gracias al vínculo con la Unión Campesina Totikes[4], a través de la alianza entre la Asociación Nacional de Empresas Comercializadoras de Productores del Campo, A.C. (ANEC)[5] y el Centro de Investigación en Ciencias de Información Geoespacial (CentroGeo) que se estableció a lo largo de los años 2020 y hasta el 2022. Como parte de esta colaboración, se diseñó, en forma conjunta, un cuestionario orientado a conocer la identidad productiva y cultural de las/los productores de maíces nativos en Chiapas, especialmente en los núcleos agrarios donde se concentra la presencia de la Unión Campesina Totikes. Dicho cuestionario fue aplicado por el CentroGeo con personas seleccionadas por la Organización Totikes a 354 productores/as en períodos de 2020 y 2021.

Como resultado de este proyecto de colaboración e intercambio se elaboró un acervo infográfico de las variedades de maíces nativos que concentra y sintetiza las características de las variedades encontradas, su manejo agronómico, uso en la cocina regional, las características del terreno de siembra, los nombres y fotografías de sus productoras/es, así como las percepciones y testimonios de las campesinas/os sobre el valor y la importancia que atribuyen a la conservación de sus variedades nativas. A través

[2] Para conocer los resultados, visita el micrositio del proyecto: http://plataformapacificosur.mx/cms/Chiapas_totikes.

[3] Liga a micrositio de Territorios de Maíz: http://plataformapacificosur.mx/cms/territorios_maiz.

[4] https://www.anec.org.mx/chiapas-totikes.

[5] https://www.anec.org.mx/quienes-somos.

de este acervo se busca dar a conocer la voz y los rostros de los productores de maíces nativos registrados en territorio Totikes Chiapas, pues **el reconocimiento y la visibilidad de las/los campesinos como guardianes de los maíces nativos es necesario para legitimar sus derechos sobre los recursos fitogenéticos que han desarrollado localmente**, gracias a las prácticas tradicionales que permiten la reproducción y continua evolución de las semillas nativas. Este recurso cobra especial relevancia ya que aporta elementos para **reconocer la propiedad colectiva del patrimonio biocultural de las comunidades indígenas y campesinas**.

***Alianza con organizaciones campesinas***

Este proyecto surge de la necesidad imperante de tejer una red de alianzas entre los Centros Públicos de Investigación y las Asociaciones de productores de maíces nativos con la finalidad de contribuir a posicionar en su agenda y en la agenda regional a los maíces nativos como un tema central, y así generar aliados en temas de protección de las variedades nativas, biopiratería y soberanía alimentaria. Fruto de la colaboración entre el CentroGeo, la ANEC y la Organización Campesina Totikes de Chiapas (cuyo dirigente, Nino, es Presidente de la ANEC), se perfiló una investigación en campo donde se visitó a 354 campesinos y miembros de la Organización Totikes en distintas localidades de Chiapas, para conocer la identidad de los productores de maíces nativos y generar información útil para el reconocimiento de los campesinos como guardianes de este patrimonio biocultural.

Es importante destacar que, a partir de la información generada de esta alianza, se construyó el acervo infográfico de variedades de maíces nativos en territorio Totikes, el cual es un recurso informativo de intercambio y devolución a los campesinos participantes, donde los mismos productores se ven reflejados y participan en el reconocimiento identitario de sus comunidades como propietarias legítimas de las semillas nativas de la región. Este acervo infográfico fue pensado como un producto de información y conocimiento de consulta libre y pública, que aporta elementos de comunicación y valiosa información hacia otros sectores para visibilizar la propiedad colectiva del patrimonio biocultural de las comunidades indígenas y campesinas, dando

a conocer los nombres de las familias productoras que preservan cada una de las variedades encontradas en este proyecto.

### *Área de incidencia*

El levantamiento de la información a través de las 354 encuestas a productores se realizó en 14 municipios de Chiapas (ver mapa). La mayoría de los registros se concentran en un área central que fue definida como el territorio de influencia de la Organización Campesina Totikes y que conforman un núcleo de municipios contiguos al municipio Venustiano Carranza, en la región de los Llanos de Chiapas, como se especifica más adelante.

Figura 1. Mapa de registros en los municipios del levantamiento de encuestas. Elaboración propia.

El análisis espacial, derivado del proyecto, se abordó a partir de un enfoque territorial, el cual nos permitió considerar el conjunto de relaciones sociales, las instituciones, la estructura productiva, la identidad y la diversidad cultural y étnica. En este sentido, el territorio puede entenderse

también como un espacio socialmente construido, con el cual sus habitantes se identifican y donde estos realizan la mayor parte de su vida social, económica y política. Y aunque un territorio es, sin duda, un espacio geográfico, es, sobre todo, el conjunto de relaciones sociales, la historia, las instituciones, la estructura productiva, la identidad y la diversidad cultural y étnica que hacen que ese lugar sea diferente de otros lugares (Schejtman & Berdegué, 2004).

Figura 2. Enfoque de territorio como construcción social. Elaboración propia.

A partir del enfoque como construcción social se realizó una aproximación del área central del proyecto, la cual está conformada por 10 municipios que se definieron a partir de la integración de tres criterios:

1. Presencia de la Unión Campesina Totikes: Las/los integrantes de la Unión Campesina Totikes se distribuyen en 29 localidades situadas en 19 núcleos agrarios ubicados en ocho municipios de Chiapas. En este proyecto se refleja la propiedad social (ejidos y comunidades) como la

unidad territorial en donde se consolidan las principales actividades organizativas de carácter social, productiva y comercial.

2. Mayor cantidad de observaciones: Se seleccionaron los municipios que juntos concentran el 81% de los registros de maíces nativos (total 354 registros) realizados durante el proyecto en Chiapas (años 2021-2022).
3. Contigüidad de municipios: La selección de municipios adyacentes permite analizar la funcionalidad espacial de las dinámicas entre municipios, así como los flujos de recursos en el territorio.

Los 10 municipios que conforman el área central del proyecto son: Venusiano Carranza, La Concordia, Acala, El Parral, Villa Corzo, Amatenango del Valle, Angel Albino Corzo, Socoltenango, Montecristo de Guerrero y Tzimol. Los municipios y localidades indicados se muestran en el mapa de la Figura 3.

Figura 3. Mapa del área central de la Unión Campesina Totikes donde se muestran los 10 municipios que la conforman, así como los núcleos agrarios dentro del territorio. Elaboración propia.

***Acervo infográfico de variedades de maíces nativos y sus productores***

El acervo infográfico6 es una serie de fichas que concentra la información más relevante de cada una de las 29 variedades diferentes de maíces nativos identificadas en el territorio de influencia de la Unión Campesina Totikes, aportando información descriptiva de cada variedad como: los nombres y rostros de las familias productoras, su pertenencia a algún grupo indígena, los usos y platillos tradicionales que se preparan con cada maíz, las ventajas y significado que para ellos tiene el seguir cultivando sus variedades nativas, las principales cualidades de la mazorca y su distribución territorial. Además, se procesaron datos climáticos y topográficos para cada registro, a partir de los cuales se denotan las condiciones ambientales que las variedades locales resisten gracias a sus procesos adaptativos.

Figura 4. Muestra de algunas fichas que componen el acervo infográfico. Elaboración propia.

[6] Puedes consultar y descargar completo el Acervo infográfico de variedades de maíces nativos y sus productores en territorio Totikes, a través de la siguiente liga al micrositio del proyecto: http://plataformapacificosur.mx/cms/multimedia/Chiapas_totikes/menuSect-90-1532

Más allá de ser un catálogo que enlista una muestra de maíces nativos, este acervo busca ser una ventana para visibilizar a las y los productores que fungen como guardianes de esta riqueza biocultural, cuya diversidad es producto de la intervención que los pueblos indígenas y campesinos han realizado en el medio ambiente de acuerdo con sus patrones culturales, necesidades, saberes y tradiciones por cientos de años. La importancia primordial de este acervo para las organizaciones campesinas es que sirve como herramienta que reúne evidencia documental que valida los derechos colectivos de propiedad que tienen las comunidades campesinas sobre sus variedades nativas, y puede servir como un instrumento de protección contra la apropiación no autorizada de sus semillas por parte de empresas u otros actores externos.

Figura 5. Elementos que destacan en el acervo de variedades de maíces nativos y sus productores. Elaboración propia.

El acervo permite identificar una amplia variedad de especies nativas que actualmente se siembran en la región, diferenciadas por sus nombres comunes. Las especies se registraron en el acervo junto con los rostros y nombres de los productores, a quienes se reconoce como autores y guardianes de este patrimonio biocultural. Cada una de las fichas infográficas y sus elementos se estructuran como se muestra en el siguiente esquema; las descripciones de cada elemento se enlistan más adelante.

Figura 6. Esquema de la estructura y contenido de cada ficha infográfica. Elaboración propia. Fotografía de la variedad de maíz y su tamaño (cm).

- Mapa con la distribución territorial de los registros de la variedad, donde se mencionan los municipios o localidades donde se encuentran.
- Pertenencia de los productores a algún grupo indígena.
- Destino de la producción, ya sea autoconsumo (reportado en el 99% de los registros), en menor medida para la venta local y en pocos casos para la venta externa.
- Usos en la cocina y platillos tradicionales que se preparan con cada variedad.
- Fotografías de las familias productoras y sus nombres.
- Principales cualidades de la mazorca, como es la forma, tamaño, tipo de grano y color.
- Datos climáticos y topográficos para cada registro, a partir de los cuales se denotan las condiciones ambientales que las variedades locales resisten gracias a sus procesos adaptativos, como son la precipitación anual promedio, la altitud y la pendiente.
- Rendimiento promedio de cada variedad (kg/ha).
- Asociación con otros cultivos, como la calabaza, frijol, chile, jitomate, quelites, incluso con otras variedades de maíces nativos o híbridos que también fueron registrados.
- Ventajas que para ellos tiene el seguir cultivando sus variedades nativas. Se citan textualmente las percepciones que cada productor expresó sobre las razones por las cuales consideran importante o valiosa la siembra y consumo de sus maíces nativos, como se muestra en las siguientes imágenes.

Figura 7. Rostros de los productores y testimonios sobre las ventajas de conservar sus maíces nativos. Elaboración propia.

Dentro de estas menciones destacan los aspectos cualitativos del sabor y su uso en la preparación de los platillos típicos de la región, como el pozol o el tascalate; también por su resistencia a las variaciones climáticas y la pendiente pronunciada del terreno en sus parcelas, su resistencia a plagas y enfermedades, el cuidado de la salud en la alimentación, el ahorro en costos, trabajo, insumos agrícolas y un mayor rendimiento de la cosecha

y, finalmente, el apego que tienen a la conservación de sus semillas como parte de la identidad y pertenencia a su familia y a su comunidad. Estas percepciones son de vital importancia, pues manifiesta, en palabras de los propios actores sociales, la relevancia de conservar y proteger sus variedades de maíz nativo para mantener sus sistemas alimentarios locales, así como promover la seguridad alimentaria y la resiliencia de las poblaciones más vulnerables frente a los cambios y amenazas que implica la entrada de prácticas agroindustriales y las semillas transgénicas.

## Conclusiones

La conservación del patrimonio biocultural de los pueblos indígenas es fundamental para el fortalecimiento de su autonomía y resiliencia frente a los desafíos presentes y futuros en materia de seguridad alimentaria. Es crucial señalar que, aunque se aboga por considerar a las razas nativas como patrimonio de la humanidad debido a su importancia para preservar la diversidad genética de los cultivos base de la alimentación mundial, frecuentemente son sólo algunas empresas transnacionales las que se benefician del mejoramiento de semillas mediante el uso de granos nativos, mientras que los pueblos depositarios de ese patrimonio no participan de sus beneficios. Boege (2018) subraya la necesidad de garantizar una distribución equitativa de los beneficios derivados del estudio del patrimonio biocultural por parte de cualquier entidad, institución o investigador.

Los derechos de propiedad colectiva de los campesinos sobre sus variedades nativas, conocidos como derechos del agricultor, están respaldados por el Tratado Internacional sobre los Recursos Fitogenéticos para la Alimentación y la Agricultura de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), el cual entró en vigor en 2004 y del que México es signatario. Por consiguiente, es esencial fomentar la colaboración entre organizaciones civiles y académicas para generar información que respalde y defienda los derechos de las comunidades sobre sus semillas nativas, reconociéndolas como los autores y guardianes del patrimonio biocultural que representan los maíces nativos.

## Referencias

Álvarez-Buylla, E. R. & Piñeyro Nelson, A. (coords.) (2014). *El maíz en peligro ante los transgénicos. Un análisis integral sobre el caso de México*. UNAM

Bellon M. R., A. Mastretta-Yanes, A. Ponce-Mendoza, D. Ortiz-Santamaría, O. Oliveros-Galindo, Perales, H., Acevedo, F. & Sarukhán, J. (2018) Evolutionary and food supply implications of ongoing maize domestication by Mexican campesinos. *Proceedings of the Royal Society*, 285, 20181049. http://dx.doi.org/10.1098/rspb.2018.1049

Boege, E. (2008). *El patrimonio biocultural de los pueblos indígenas de México. Hacia la conservación in situ de la biodiversidad y agrobiodiversidad en los territorios indígenas*. Instituto Nacional de Antropología e Historia.

Boege, E. (2018). Hacia una antropología ambiental para la apropiación social del patrimonio biocultural de los pueblos indígenas. En V. M. Toledo & P. Alarcón-Cháires (eds.), *Tópicos bioculturales* (pp. 34–66). UNAM.

Bourges, R.H & Vargas, G. L.A. (2015). La cocina tradicional y la salud. *Revista Digital Universitaria*, *16*(5), ISSN 1607 – 6079. http://www.revista.unam.mx/vol.16/num5/art36

Consuegra, C. (2016). El hilo de la vida: Semillas y patrimonio agro-alimentario. *OPCA. Observatorio del patrimonio cultural y arqueológico*, *10*, 58–65. http://hdl.handle.net/1992/4906

De la Tejera, B., Dyer, G., Rubio, B., Morales, J., Astier, M., Barrera-Bassols, N., Boege, E., & de Ita, A. (2013). La producción de maíz en México y la introducción de OGM: ¿más inseguridades o soberanía alimentaria? En E. R. Álvarez-Buylla & A. Piñeiro (coords.), *El maíz en peligro ante los transgénicos: Un análisis integral sobre el caso de México* (pp. 455–492). Universidad Nacional Autónoma de México

Ebel, R., Pozas-Cárdenas, J. G., Soria-Miranda, F. & Cruz-González, J. (2017). Manejo orgánico de la milpa: rendimientos de maíz, frijol y calabaza en monocultivo y policultivo. *Terra Latinoamericana,*

*35*(2), 149-160. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-57792017000200149&lng=es&tlng=es.

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2009). *Tratado internacional sobre los recursos fitogenéticos para la alimentación y la agricultura*. FAO.

Toledo, V. M., & Barrera-Bassols, N. (2008). *La memoria biocultural*. Icaria.

Viesca-González, F. C., & Barrera-García, V. D. (2011). La pérdida de la biodiversidad y su impacto en la gastronomía en México. *CULINARIA Revista virtual especializada en Gastronomía*, *1*, 29–49.

Schejtman, A. & Berdegué, J. (2004). Desarrollo Territorial Rural. *Debates y temas rurales, n° 1*. Centro Latinoamericano para el Desarrollo Rural.

# Capítulo 27

# Impacto social del proyecto FORDECYT: Cultivo del mango en el Pacífico Sur

*María Dolores Muy Rangel[1*], César San Martín Hernández[2], Juan Pedro Campos Sauceda[3], Eber Quintana Obregón[4], Manuel Alonzo Báez Sañudo[1], Verónica Pérez Rubio[1], José Luis Valenzuela Lagarda[5], Armando Carrillo Facio[1], José Basilio Heredia[1], Werner Rubio Carrasco[1], Eduardo Sánchez Valdez[1] y Rosalba Contreras Martínez[1]*

**Resumen**

El proceso de vinculación del proyecto en la cadena productiva del cultivo de mango en los estados de la región Pacífico Sur es transferir la experiencia científica y tecnológica para la creación y aplicación de proyectos de alta prioridad aprovechando las riquezas con la que cuentan los estados de Chiapas, Oaxaca, Guerrero y Michoacán. Estos estados ocupan los primeros lugares en la producción de mango en el país, lo que potencializa su importancia como cadena productiva con base en principios de sustentabilidad en cada una de sus actividades (campo, empaque y comercialización). En este sentido, se buscó aprovechar no solamente al fruto fresco, sino a toda la biomasa involucrada en el ciclo agrícola. La vinculación inició con la aplicación de una encuesta para lograr la socialización y apertura entre productores e investigadores. Se procedió a la capacitación en sitios sobre temas relacionados con el cultivo, cosecha y empaque, así como aspectos de inocuidad de alimentos y valor agregado; todo acompañado de preguntas y

[1] Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A.C. Coordinación Regional Culiacán.
*Autor de correspondencia: mdmuy@ciad.mx.

[2] Colegio de Postgraduados Campus Montecillo.

[3] Tecnológico Nacional de México. IT Culiacán.

[4] Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A.C. Hermosillo.

[5] Universidad Autónoma de Guerrero.

respuestas. Se lograron capacitar más de 500 personas en temas relacionados con la cadena mango. Los temas de manejo de huerta y aplicación adecuada de fertilizantes fueron los de mayor demanda y necesidad de conocimiento. Aspectos relacionados con la inocuidad de alimentos causó gran impacto, dado al peligro que puede ocasionar un manejo inadecuado de los frutos durante las diferentes operaciones de proceso, principalmente por la posible presencia de microrganismos causantes de enfermedades por el consumo de alimentos contaminados. Fue factible mejorar el rendimiento, calidad y la reducción de mango niño tras estudiar en sitio por cuatro años el mango Ataulfo ubicado en San Marcos, Guerrero. Es gratificante transferir con éxito la experiencia de la investigación hacia una población productora de mango que necesita acompañamiento permanente para aprovechar al máximo la producción de sus cultivos.

## Introducción

El mango (*Mangifera indica* L.) es una de las frutas tropicales de gran aceptación por su particular sabor y aroma; presenta una creciente demanda y alcanza precios razonables en el mercado internacional. Al igual que muchas otras frutas tropicales, el mango experimenta cambios físicos, químicos, nutricionales y en sus características de sabor, según del cultivar que se trate y el estado de madurez; así como cambios fisiológico dependientes del manejo pre y poscosecha, estado de madurez y la variedad. El mango es considerado una fruta altamente saludable debido al aporte de vitaminas, minerales, sustancias nutracéuticas, carbohidratos y energía. Por su elevado contenido de agua (83.5%) constituye una agradable forma de hidratarse (USDA, 2022). En México, el consumo per cápita del mango es de 11 kg, principalmente de forma natural y fresca, como parte de una comida o como una colación, lo que ayudará a aprovechar todos sus nutrientes (El poder del consumidor, 2022).

En los estados del Pacífico Sur, Michoacán, Guerrero, Oaxaca y Chiapas tienen condiciones naturales adecuadas donde se pueden cultivar diversas variedades de mango; entre los cuales se distinguen: Ataulfo,

Manila, Kent, Haden, Tommy Atkins, Keitt, variedades criollas y mangos renombrados por su origen como Panameño. Dado a las condiciones climatológicas y composición del suelo, la región Pacífico Sur de México es la primera en cosechar y comercializar mango en los meses de febrero, moviendo el periodo de cosecha de febrero a septiembre desde el sur al norte del país, hasta concluir en el estado de Sonora.

La acumulación de mago en la temporada de máxima producción en México requiere estrategias y alternativas a todos los niveles dentro de la cadena producto-mango que permitan canalizar adecuadamente el fruto, de manera que se capitalice el esfuerzo de los productores (Astudillo-Miller *et al.*, 2021). La falta de estrategias y alternativas para reducir la acumulación del mango en las huertas genera pérdidas económicas y problemas fitosanitarios. Dado que los frutos no son cosechados, estos quedan en el árbol induciendo así el desarrollo de todo tipo de plagas y enfermedades que pueden generar graves y complejos problemas para el huerto y para toda la cadena de valor. Los impactos de esta problemática tienen diferente magnitud en los estados productores ya que el desarrollo y la organización de las cadenas productivas no son homogéneos en los diferentes estados productores.

El mango 'Ataulfo' es el de mayor importancia nacional y de exportación, es originario de Chiapas, es pequeño y ovalado, de color amarillo intenso y una pulpa dulce y cremosa (Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural, 2021). Particularmente, Ataulfo cuenta con gran aceptación tanto en el mercado nacional como en el internacional por su calidad poscosecha y en la NOM-188-SCFI-2012 se especifican los niveles de calidad mínimos requeridos para su comercialización. Las otras variedades de mango presentan características específicas. Kent es atractivo por su desarrollo de color amarillo en la pulpa, es dulce y de bajo tejido fibroso. Keitt es el mango más tardío, por ello alcanza importante precio en el mercado, desarrolla un ligero color amarillo en la cascara, es dulce-ácido y ligeramente de pulpa fibrosa. Tommy Atkins se distingue por su color rojo intenso que cuando madura se torna verde oscuro con zonas rojizas. Haden tiene una cáscara color verde y cambia a un tono amarillo-rojizo en madurez de consumo. Manila

presenta sabor y textura suave sin fibra (UF/IFAS Extension, 2020). Todas estas características marcan la calidad y aceptabilidad del mango mexicano.

Algunas localidades productoras de mango en la región Pacífico Sur tienen dificultad para la comercialización de la fruta, principalmente por la falta de infraestructura para colocar su producto de forma segura y atractiva, opciones de mercado o porque los frutos no satisfacen las normas de calidad establecidas para su comercialización; esto propicia la entrega de producto a bajo precio y la pérdida del mismo una vez cosechado. Bajo estas condiciones, otra opción de recuperación económica sería la búsqueda y ejecución de valor agregado.

El mango se consume principalmente en estado fresco y existen productos de valor agregado como: jugos, helados, dulces, mermeladas y conservas. A nivel industrial, se procesa en pulpa y en productos congelados de mango, incluyendo únicamente la pulpa de la fruta; lo que genera una importante biomasa como desperdicio, la cual es considerada una importante fuente de materia prima para otros procesos (Sumaya-Martínez *et al*., 2012). En este sentido, la cadena agroindustrial del mango en México está dirigida en dos terceras partes al sector primario o venta en fresco y una tercera parte al sector secundario o preparación y envasado de frutas, del cual el 80% se dirige a la producción de pulpas, jugos y néctares. La búsqueda de productos a base de mango con la máxima explotación de la biomasa podría ofrecer un alimento diferenciado muy atractivo a los consumidores, más económico, además de su valor nutritivo y nutracéutico; este último asociado al incremento de fibra dietaria, compuestos bioactivos (prebióticos y probióticos) presentes en el mango (Sumaya-Martínez *et al*., 2012).

## Acciones para fortalecer la cadena mango en estados del Pacífico Sur de México

En colaboración con este proyecto de investigación, se trabajó con formación en temas de interés para fortalecer el desarrollo sostenible de la región Pacífico Sur a través de los productores y transformadores del cultivo de

mango, enfocados a mejorar las actividades realizadas en campo, previo a la cosecha del fruto. Como parte estratégica se buscó la adopción y aplicación de la transferencia de tecnologías para la comercialización del mango en fresco y las opciones de productos de valor agregado.

***Chiapas***

El inicio de la vinculación con los productores chiapanecos se realizó con el apoyo del Ing. Silvestre Ortiz Hernández, quien logró contactar en el año 2022 al Ing. Gerardo Enrique Cabal Arribillaga, representante de la Asociación Agrícola Local de Fruticultores del Soconusco y el apoyo del Ing. Pedro Leal.

Para lograr un mayor impacto en la cadena mango para los productores de Chiapas, se ofreció una capacitación/taller teórico práctico por parte de los investigadores del proyecto (Figura 1) enfocado al objetivo 3.8. Transformación e innovación tecnológica de procesos y productos a base de mango como alternativa de valor comercial del proyecto del Fondo Institucional de Fomento Regional para el Desarrollo Científico, Tecnológico y de Innovación (FORDECYT) # 292474: Estrategias multidisciplinarias para incrementar el valor agregado de las cadenas productivas del café, frijol, mango, agave mezcalero y productos acuícolas (tilapia) en la región Pacífico Sur a través de la ciencia, la tecnología y la innovación.

Además de presentar los objetivos y avances del proyecto de mango y su impacto en los estados de Michoacán, Guerrero y Oaxaca, con más experiencia el taller logró cubrir los temas de:

- Requerimientos nutricionales y fertilización del cultivo de mango
- Enfermedades del mango
- Manejo postcosecha y calidad del mango
- Inocuidad agroalimentaria
- Valor agregado del mango

Figura 1. Instructores de curso taller en Chiapas. Fondo mango Ataulfo madre

Se contó con la participación y capacitación en sitio (Figura 2) de 22 personas y 24 en la capacitación en campo (huerta del Sr. Alejandro Nava), con representaciones de Naturafrut, la Facultad de Ciencia Agrícolas de la Universidad Autónoma de Chiapas, Colegio de la Frontera Sur (ECOSUR), Rodim, Disfruta Mango, Tecnológico Nacional de México, fruticultores locales, Consejo Regulador del Mango, Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), Bienestar y los integrantes de la Asociación Agrícola

Local de Fruticultores del Soconusco. Los temas que se presentaron por los investigadores involucrados en el proyecto fueron de importancia para los productores, con mayor impacto y necesidad de conocimiento en el manejo de campo del cultivo de mango (fertilización, poda y toma de muestra de suelo para el análisis fisicoquímico). También el tema de enfermedades causó impacto, enfocando la atención a la antracnosis (hongo *Colletrotrichum gloesporoide*) y la enfermedad conocida como escoba de bruja, causada por el hongo *Fusarium*.

Figura 2. Asistentes de curso taller a productores de mango de Chiapas. Instructor: Dr. Cesar San Martín

Con respecto al impacto y la inocuidad de los alimentos, la exposición referente a la contaminación de alimentos por microorganismos de impacto a la salud pública (*Salmonella* y *Escherichia coli*, principalmente) alertó a los participantes. Sin duda el tema de transformación del mango a un producto de valor resultó polémico. En este último tema se reveló la falta de infraestructura para realizar la transformación industrial del mango, se propuso iniciar con productos deshidratados bajo condiciones inocuas. Se ofreció elaborar el análisis nutrimental de los productos innovadores que desarrollen. También se ofreció analizar sin costo dos muestras de suelo por cada participante del taller, las cuales no se aprovecharon.

*Capacitación en campo*

Los asistentes y expositores del taller visitaron la huerta del Sr. Alejandro Nava. En esta etapa de capacitación (Figura 3) se atendieron las necesidades de la huerta, así como la explicación de la toma de suelo para los análisis fisicoquímicos.

Figura 3. Asistentes a la capacitación de toma de muestra a productores de mango de Chiapas. Instructor: Dr. César San Martín

Esta evaluación se realiza para conocer la calidad nutricional del suelo y aplicar con mayor certeza los fertilizantes que necesitarán los árboles de mango. La capacitación inició con una explicación en pintarrón para mapear la zona y decidir dónde tomar las muestras de suelo para reducir el error de un análisis de suelo (Figura 4).

Para ello se parte de que los suelos se componen verticalmente por estratos (horizontes), donde en el horizonte O está la hojarasca, mientras que en el horizonte A (espesor aprox. 20 cm) se encuentra la mayor actividad química y biológica, estrato donde están las raíces delgadas que alimentan

a la planta. En esta sección es donde se toma la muestra desde el perímetro de la copa del árbol hacia el tronco de este (el muestreo se recomienda a la mitad de la distancia entre ambas). La toma del suelo en el huerto se realiza por submuestreos hasta formar una muestra compuesta de 1 kg. Para > 2 ha se tomarán ocho submuestras; mientras que de 10 a 25 ha se toman 20 submuestras (una muestra compuesta de suelo de 1 kg equivale a la mezcla de las submuestras de suelo recolectada en los cuatro puntos cardinales por árbol). El muestreo del suelo se realiza cuando se termina la máxima cosecha y se inicia el brote de nuevas ramas y hojas, que es donde la planta requiere alimentarse para su próxima producción. Con base en los resultados del análisis de fertilidad de suelos de rutina se determinan las necesidades de nutrientes que se deben aportar como fertilizantes o enmiendas para el siguiente ciclo productivo. El muestreo se recomienda que se realice en zigzag, ubicándolo en todo el predio de manera alterna entre uno y otro lado. La muestra de suelo se coloca en bolsa y se envía al análisis fisicoquímico. Finalmente, los asistentes al curso teórico (Figura 5) mostraron entusiasmo y agradecieron la capacitación.

***Oaxaca***

En febrero del 2020 se programó la capacitación de los productores de mango de las localidades de Zacatepec y Chahuites, Oaxaca, en colaboración con la Sra. Leticia Gotoo Toledo, presidenta del Comité Oaxaqueño Sistema Producto Mango. Las capacitaciones se realizaron en sitio en ambas comunidades en los temas:

- Requerimientos nutricionales y fertilización del cultivo de mango;
- Manejo postcosecha y valor agregado del mango y
- La importancia de la inocuidad alimentaria.

Se logró capacitar en los temas de interés a 78 personas que participan en algún proceso de la cadena mango (Figura 6), la mayoría de los interesados pertenecían al municipio de Zacatepec; también, Santo Domingo de Zanatepec, Ixhuatan, Chahuites, Tapana y Tanatepec.

Figura 6. Asistentes de curso taller a productores de mango en Chahuites, Oaxaca. Instructor: Dr. Juan Pedro Campos

Las capacitaciones se realizaron en las instalaciones del Sistema Producto Mango. Una vez finalizada las sesiones, se generaron preguntas y respuestas, donde además de los temas expuestos, se atendieron otras dudas y asesorías. Entre ellas, el problema de enfermedades, la mosca de la fruta y el desarrollo de mango niño. Con mucho interés se atendió de forma individual el cálculo nutrimental del suelo y la demanda de fertilizantes que requería cada huerta. De manera grupal se explicó la importancia de la toma de muestras del suelo del predio y el número de muestras, previo al envío del análisis fisicoquímico. Así mismo, se ofreció el estudio gratuito del análisis fisicoquímico de dos muestras de suelo por asistente, el cual desafortunadamente no lo hicieron efectivo. Al finalizar las conferencias se realizó un recorrido de campo para conocer otras necesidades de los productores de mango en Zacatepec, Oaxaca (Figura 7).

Figura 7. Visita de campo en Oaxaca

***Guerrero***

La vinculación con los productores del estado de Guerrero ha sido la más dinámica y activa para atender las diversas problemáticas que presenta el cultivo de mango. Con el apoyo del Ing. Daniel Radilla Ríos (presidente del Sistema Producto Mango) y la Lic. María del Rosario Morales Ramírez (gerente, Sistema Producto Mango) inició el primer contacto con los productores.

Desde el inicio del contacto (2019) se han realizado al menos 10 visitas en diversas localidades del estado de Guerrero para apoyar y dar seguimiento a las actividades de trabajo que ahí se han efectuado y continúan realizando hasta la fecha. En las dos primeras visitas se aplicó un cuestionario para conocer de manera detallada y por los productores el panorama del cultivo de mango. En este trabajo se participó con productores, amas de casa y campesinos de las localidades de San Marcos, Las Lechugas, Estero Verde, Nuevo Tecomulapa, Las Vigas, Alto de Ventura, Platanillo, Coyuca, Ocotillo, Aguazarca, San José Ixtapa, Los Achiotes, El Zeco y Barrio Viejo del estado de Guerrero (Figura 8 y 9).

Figura 8. Interacción entre productores de mango de Alto Ventura, San Marcos, Guerrero y capacitadores del proyecto (Drs. Eber Quintana y Cesar San Martín)

Figura 9. Interacción entre productores de mango de Ocotillo, Coyuca de Benitez, Guerrero y capacitadores del proyecto (Instructor: Dr. Eber Quintana)

De la información que se generó de las 200 encuestas, fue factible elaborar un libro titulado *Diagnóstico de la cadena productiva del mango en el estado de Gurrero* (ISBN: 978-607-7900-8) y se distribuyó entre algunos productores de las localidades de la Costa grande y Costa chica. Así mismo, se impartieron las conferencias en los temas de:

- Manejo adecuado de fertilizantes para huertas de mango
- Toma de muestra de suelo para análisis fisicoquímicos
- Manejo postcosecha y tecnologías de proceso para el fruto de mango

De las primeras colaboraciones, se atendió al Sr. Cesar Núñez, con análisis de suelos, interpretación y recomendaciones de un huerto de mango ubicado en la Costa Grande, en Nuxco, Guerrero. Esta colaboración permitió dar a conocer la fertilidad del suelo del huerto de mango para hacer una recomendación a través de manejo cultural y de aplicación de fertilizantes.

En la Costa Chica, en el municipio de San Marcos, se logró trabajar con productores de mango de los *cvs*. Manila, Ataulfo y Haden. Además de la capacitación, se atendió en sitio las necesidades reales de los huertos estudiados. De igual manera, en Cuajinicuilapa, por interés del C. Oscar Sotelo, se atendieron necesidades de apoyo para mantener el cultivo de mango Criollo; además de proponer un mejor manejo agronómico a las huertas de mango Kent, Tommy Atkins, Ataulfo y Manila. Este productor apoyó de manera considerable al grupo de trabajo del proyecto FORDECYT con los traslados del lugar de estancia a los huertos, garantizando la seguridad de los mismos, principalmente. Con esa atención se le otorgó a la Comercializadora y Distribuidora de la Costa S.A. de C.V. el apoyo para obtener a nivel laboratorio la información de la declaración nutrimental del mango deshidratado de cuatro variedades, recientemente se sumó a los estudios mango Manila deshidratado. También se asesoró a la Sra. Rosario Morales sobre el uso y manejo de los fertilizantes para las huertas de mango, dependiendo de la calidad del suelo, así como en problemas relacionados con mancha en hoja, fertilización orgánica y química.

De lo más sobresaliente y con cuatro años continuos de estudio en Alto de Ventura, municipio de San Marcos, se ha trabajado y actualmente

se continúa el proyecto en sitio en dos huertos de mango de la aplicación de dosis de fertilizantes (donde se están evaluando 17 tratamientos) y algunas hormonas vegetales que estimulen a nivel fisiológico la calidad del mango 'Ataulfo'.

El Ing. Fernando Mascada fue quien participó con el préstamo de los huertos para los estudios experimentales, quien señala con mucho entusiasmo el impacto de los resultados sobre el rendimiento, calidad y reducción de mango niño en las huertas utilizadas en la investigación (Figura 10). El propósito de esta investigación es obtener dosis de fertilizantes óptimas económicas y fisiológicas. Un tratamiento similar se aplicó en la Costa Chica de Guerrero, en un huerto de mango Manila propiedad del Ing. Enrique Soto Vaquera. Sin embargo, no fue posible realizar la evaluación de los tratamientos de fertilización por el traslape entre la fecha de cosecha con el tiempo de evaluación requerido para la medición de las variables respuestas y el tiempo de venta inmediato, ocasionando declinación del productor para el seguimiento del experimento.

Figura 10. Resultados de la calidad del fruto de mango Ataulfo, temporada 2021-2022

Las actividades en sitio (huerta de mango) se acompañaron mediante visitas periódicas del Dr. Cesar San Martín y la MC. Briceida Pérez y a través de videoconferencia (zoom, octubre 2022), con asistencia de: Ing. Daniel

Radilla Ríos, Sr. Fernando Mascada, Ing. Enrique Soto (Dir. Colegio de Postgraduados), Dr. Cesar San Martín (Colegio Postgraduados), Dr. Julio Tafolla y Dr. Alfonso López Urquídez (Universidad Autónoma de Sinaloa) y Nieves Briceida Pérez Meza (estudiante de posgrado).

Cabe mencionar que se invitó al Dr. César San Martín y Dr. Eber Quintana a formar parte del Sistema Producto Mango del estado de Guerrero, como asesores externos honorarios desde febrero de 2019, reflejando la confianza y la preparación de los investigadores en las actividades de campo y de manejo poscosecha del cultivo de mango y otras especias agrícolas. Las alianzas citadas han permitido, en conjunto, avanzar considerablemente los objetivos del proyecto, donde se considera la interacción con el sector productivo y social (Figura 11).

Figura 11. Acompañamiento de productores al avance de resultados de proyecto de la cadena mango, en ADESUR, Acapulco, Guerrero, 2019

***Michoacán***

En esta entidad se contactó a la presidenta de la Junta Local de Sanidad Vegetal, la Sra. Teresa Contreras Guzmán, quien contactó a los productores de los principales municipios productores de mango entre los que se

encuentran Parácuaro, Mugica, Gabriel Zamora, Lázaro Cárdenas, Nuevo Urecho, San Lucas y Tepalcatepec. A través de visitas en campo de los municipios antes referidos, se invitó a los productores a participar mediante encuestas para elaborar un diagnóstico para conocer el estado actual y necesidades de la cadena productiva del mango en la entidad federativa. Como resultado de las encuestas obtenidas, se elaboró el libro *Cultivo de mango en Michoacán: estado actual y necesidades del periodo de 2008 a 2017* que se registró en indautor y se publicó en forma electrónica. En la visita de campo se ofreció a los productores servicio gratuito de análisis de suelos de sus parcelas de mango para generar recomendaciones de fertilización, pero se tuvo poca respuesta debido a diferentes razones: la primera es que en Michoacán sólo se visitó en una ocasión por un periodo de cinco días; la segunda es porque, por cuestiones de inseguridad, se tuvo tiempo limitado de acceso a las comunidades para interactuar con los productores; tercero, apatía de la sociedad productora en colaborar en proyectos de investigación para poder apoyar en las necesidades desde el sector primario hasta el sector secundario. Sin embargo, a la Sra. Teresa Contreras se le brindó servicio de análisis de suelos y recomendación para su huerto de mango. Para mayor información, consultar *Cultivo de mango en Michoacán: estado actual y necesidades del periodo de 2008 A 2017.*

***Convenios de colaboración***

Como estrategia de adopción del proyecto entre los estados participantes se buscó la colaboración con investigadores y estudiantes de diferentes entidades educativas. En Guerrero se firmaron convenios con la Universidad Tecnológica de Acapulco, bajo la coordinación de los profesores MTI. Luis Flores García e Ing. Eduardo Laínez Loyo. Así mismo, se realizó una conferencia para maestros para explicar el impacto del proyecto; varios estudiantes de licenciatura de esta universidad recibieron beca con cargo al proyecto del FORDECyT. Así mismo, se promovió el convenio con la Universidad Autónoma de Guerrero, a través del Dr. Jose Luis Valenzuela Lagarda, a quien posteriormente se le invitó a la colaboración permanente del

proyecto; de la misma manera los estudiantes de Licenciatura involucrados en el proyecto recibieron beca.

En Chiapas se promovió la firma del convenio con la Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas, a través del Dr. Gilber Vela Gutiérrez y M.C. Emanuel Rivas Robles. En esta colaboración los estudiantes evaluaron la calidad de los frutos de mango estudiados en su universidad, para lo cual se les apoyó con los reactivos y con beca de estudiante de Licenciatura. También se logró la firma de convenios con el Instituto Tecnológico de Veracruz en colaboración con el Dr. Marco Antonio Salgado Cervantes y con la Université de Montpellier, Francia, con la Dra. Laetitia Picart-Palmade. Algunos trabajos de investigación están alineados a los objetivos de la Red. 12.3 Pérdidas y desperdicios de alimentos, en colaboración con la Dra. Juliana Morales.

## Conclusiones

Como impacto social, durante el periodo de desarrollo de este proyecto de mango, en su etapa de vinculación y socialización, se logró capacitar a más de 500 productores de mango involucrados en la cadena mango. Los productores del estado de Guerrero participaron activamente en los trabajos de investigación en sitio, del cual se logró incrementar la producción del fruto, mejorar la calidad y reducir la producción de mango niño mediante manejo efectivo del cultivo en campo y dosis adecuada de fertilizantes. Todos los productores de mango recibieron con entusiasmo la capacitación relacionada con los requerimientos nutricionales y fertilización del suelo de cultivo; y con mucho asombro la importancia de la inocuidad de los alimentos. Sólo se logró apoyar con la declaración nutrimental a un productor que realiza mango deshidratado en el estado de Guerrero. Además, quedó el compromiso de realizar estudios con microorganismos antagonistas para el control de antracnosis en los frutos de mango.

## Referencias

Astudillo-Miller, M.X., Maldonado-Astudillo, R., Segura-Pacheco, H. & Maldonado, Y. (2021). Cadenas de comercialización de mango y potencial exportador en la Costa Grande, Guerrero. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 11,1-10.

El poder de…. El mango. (2022). *El poder del consumidor A.C.* https://elpoderdelconsumidor.org/2022/05/el-poder-de-el-mango-2/

NOM-188-SCFI-2012. Norma oficial mexicana, mango Ataulfo del Soconusco, Chiapas (*Mangifera caesia* Jack ex Wall)-especificaciones y métodos de prueba.

Secretaria de Agricultura y Desarrollo Rural. (2021). *El mango, producto estrella en México*. https://www.gob.mx/agricultura/articulos/el-mango-producto-estrella-en-mexico.

Sumaya-Martínez, M. T., Sánchez, H. L., Torres, G. G. & García, P.D. (2012). Red de valor del mango y sus desechos con base en las propiedades nutricionales y funcionales. *Revista Mexicana de Agronegocios, 30*,826-833.

United States Department of Agriculture. (2022). *Mango, raw. 2344737.* https://fdc.nal.usda.gov/fdc-app.html#/food-details/2344737/nutrients

Brecht, J., Sargent, S., Kader, A., Mitcham, E., Maul, F., Brecht, P. & Menocal, O. (2020). *Mango postharvest best management practices manual. Publication HS1185*. Brecht J. K. (ed.). University of Florida. https://edis.ifas.ufl.edu/publication/HS1185

# Capítulo 28

# Diagnóstico de la cadena productiva del mango desde la perspectiva de productores en la Costa Grande de Guerrero

*Joaliné Pardo Núñez[1]*, Jesús C. Ochoa Acosta[2]*

## Introducción

El mango es una de las frutas tropicales con mayor demanda en los mercados internacionales (Mazariegos *et al.*, 2017). México es uno de los principales productores a nivel mundial, ocupando posiciones entre los 4 y 8 mundiales anualmente, con una producción de alrededor de 100 000 toneladas anuales, según el Sistema de Información Agrícola y Pecuaria (SIAP), de las cuales el 86% se exportan a Estados Unidos, 7.5% a Canadá, 3.25% a Europa y 1.85% a Japón (Astudillo *et al.*, 2020). Se exporta aproximadamente el 20% de la producción nacional, mientras que el resto se distribuye a centrales de abasto y tiendas de autoservicio en México. Es también el principal país exportador a nivel mundial (Kees, 2017).

Según datos estadísticos de la Food and Agriculture Organization (FAO) y el sistema de información Agropecuaria (SIAP), México, en los últimos años, ha ocupado, en promedio, el 5° lugar a nivel mundial en cuanto a volumen de producción de mango con una producción que oscila entre 1 200 000 hasta más de 1 700 000 toneladas (período: 2000 y 2015). En 2015 la producción nacional de mango fue de 1 775 506.77 siendo Guerrero el líder en la producción de este fruto, seguido de Sinaloa y Nayarit.

[1] Investigadora por México Conahcyt-Ciatej. Enlace Ciatej-Adesur/Ceibaas. Jpardo@ciatej.mx/joaline@gmail.com

[2] Investigador comunitario de procesos agroecológicos del Centro Integrador de Conocimientos Agroecológicos CICA en Costa Grande, Guerrero.

La industria del mango es el negocio que mueve 500 millones de dólares al año y donde México se posiciona en el quinto lugar de producción, pero se alza como principal exportador de mango a nivel mundial con 370 000 toneladas al año. La producción del mango en nuestro país se ve beneficiada por la ventaja climática sobre otros países de centro y Sudamérica, mientras que el incremento en las exportaciones se debe a la siembra de gran variedad de mango en nuestro país, con mayor demanda y aceptación por los mercados internacionales, principalmente Estados Unidos, Canadá y Japón.

La producción total de mango está compuesta por al menos seis variedades, cuyo cultivo es sistematizado: Haden, Tommy/Atkins, Kaitt, Kent, Ataulfo y Manila, además de diversas variedades criollas. Esta diversidad de variedades permite contar con mangos casi todo el año, aunque la mayor producción se presenta entre los meses de abril a agosto, incluso en esos meses se encuentran los picos de producción de otros países.

| Enero | Febrero | Marzo | Abril | Mayo | Junio | Julio | Agosto | Septiembre |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| CHIAPAS | | | | | | | | |
| | OAXACA | | | | | | | |
| | GUERRERO | | | | | | | |
| MICHOACAN | | | | | | | | |
| | | | COLIMA | | | | | |
| | | | NAYARIT | | | | | |
| | | | | | SINALOA | | | |

*Ilustración 1 Tabla de elaboración propia a partir de estadísticas de FAO Y SIAP*

En los meses de mayo, junio y julio el mango se cosecha en casi todos los estados productores, lo que genera una elevada competencia que se refleja en bajos precios y poca rentabilidad. Esta acumulación de producto requiere estrategias y alternativas a todos los niveles dentro de la cadena producto del mango que permitan canalizar adecuadamente el fruto, de manera que se capitalice el esfuerzo de los productores. La falta de estrategias y alternativas a la medida de la situación con frecuencia provoca acumulación del producto en las huertas, lo que conlleva, además de pérdidas económicas para los fruticultores, problemas fitosanitarios, dado que los frutos no cosechados se quedan y pudren en el árbol, induciendo así desarrollo de plagas y enfermedades que pueden generar complejos problemas para el

huerto y para toda la cadena de valor; esto es principalmente la mosca de la fruta (*Anastrepha* spp).

El componente social del proyecto Fordecyt cadenas nació de la necesidad de entender, para poder atender, problemas específicos de los productores, teniendo como base las particularidades socioambientales regionales, así como entendiendo y analizando distintos momentos del proceso productivo en conjunto con los actores territoriales para favorecer la generación de alianzas que permitan potenciar la cadena productiva.

En este capítulo se plasma un poco de las experiencias vividas en la producción de mango bajo un enfoque agroecológico en la Costa Grande de Guerrero. En específico la de productores que buscan la transición hacia un cultivo agroecológico y las dificultades que se tienen en medio de un mercado saturado de producción convencional con una alta aplicación de insumos sintéticos que, en años de práctica, también significan una problemática mayor. Se presentan también los resultados de mesas de trabajo con productores, coordinadas mediante investigadores de CentroGeo, CIATEJ y la A.C. Ceprodites.

## Contexto: El mango en Guerrero

Guerrero es el primer estado productor de mango a nivel nacional, con un estimado de 364 000 toneladas y un valor de 1 526 millones de pesos. Los principales municipios productores son Tecpan de Galeana, La Unión de Isidoro Montes de Oca, Atoyac de Álvarez y Zihuatanejo de Azueta en la Costa Grande. En Costa Chica destacan Cuajinicuilapa, San Marcos, Marquelia, Juchitán y Ayutla de los Libres (Camacho, Bautista & León, 2018). En estos municipios se produce principalmente mango Ataulfo y mango Manila (SADER, 2018), aunque también Haden, Keitt, Kent, Tommy y variedades criollas.

Para lograr calidades de exportación y altos precios en los mercados nacionales, el paquete tecnológico que emplean los productores de mango a nivel nacional, pero particularmente en Guerrero, se ha tecnificado exponencialmente en los últimos 15 años, pues conforme aumentan las plan-

taciones y la densidad de las mismas, se observan mayores cantidades de plagas y enfermedades que se atacan con fuertes cargas de agroquímicos. De igual forma, el mango de Guerrero, para ser competitivo en mercados, apela a ser cosechado en enero, cuando aún no se inundan los mercados con la producción de Chiapas, Oaxaca y Nayarit, que son los principales competidores nacionales para el estado durante la primera mitad del año (Ávalo *et al.*, 2021).

El mango es un cultivo enfocado al mercado por excelencia, en oposición a la agricultura de subsistencia que se lleva a cabo para el autoconsumo de las familias, o bien la agricultura mixta que combina el uso familiar con el destino comercial. En el caso del mango, la ventana para obtener ganancias sustanciales en un entorno muy competido implica maximizar los rendimientos agrícolas eliminando plantas que puedan competir por los recursos del suelo y combatir plagas que dañen la producción. Esto convierte al cultivo del mango en uno altamente intensivo y especializado que crecientemente es para aquellos productores que cuentan con el capital monetario para mantenerlo.

Benito Juárez, en la Costa Grande de Guerrero, es un municipio donde uno de los productos con mayor impacto económico es el mango. En los meses de febrero hasta septiembre ocupa a gran parte de la población en los trabajos de manejo de la huerta y cosecha de la fruta. El municipio es adyacente a Atoyac y provee a una de las cuatro empacadoras de la Costa Grande o vende huertas a algunas de las más de 100 bodegas que compran, a manera de intermediarios, las huertas en pie. De igual manera, son muchos los productores que encuentran una mejor alternativa en la renta de tierras para cultivo del mango, incrementando cada día más las hectáreas cultivadas. Esto ha llegado al punto de hacer cambios de usos de suelos irracionalmente quitando grandes extensiones de vegetación local y que, por sus características, presentan mejores servicios ecosistémicos en comparación del mango y todos los requerimientos que el cultivo exige. Por ello, el buscar alternativas de producción menos agresivas con el suelo puede potenciar mejoras agrosociales, ya que, por un lado, a través de prácticas agroecológicas los sistemas tienden a una mayor resistencia y resiliencia y, por otro, los costos de producción bajan.

## Metodología

La información fue recabada mediante entrevista abierta a cinco productores de la Costa Grande de Guerrero, durante 2021. Esta información complementa la obtenida durante dos mesas de trabajo, en el mismo año, en la cual se abordaron las experiencias de los productores a lo largo del ciclo productivo del mango.

Durante las mesas de trabajo se armaron matrices prospectivas en torno a problemáticas actuales priorizadas por los participantes. La información de las entrevistas brindó insumos para que los facilitadores en las mesas de trabajo pusieran puntos particulares a la discusión, pero fueron los productores quienes nutrieron la información del presente capítulo.

Se presenta la información obtenida por categorías de problemas identificados. En la mayoría de los casos los productores mencionaron la dependencia a diversos insumos sintéticos como el principal problema, ya que esto les implica elevar sus precios hasta en un 40% respecto a los que tenían dos años atrás. No se tienen capacitaciones técnicas que ayuden a tener un mejor manejo del cultivo. Por ello, como una primera propuesta para atender esta situación se propone realizar talleres en donde se aprenda a elaborar biopreparados que ayuden a nutrir el cultivo y otros que sirvan para controlar plagas y enfermedades. Esto para disminuir los costos de producción y reducir la probabilidad de enfermar por los efectos secundarios originados por el contacto diverso con los químicos sintéticos que en un futuro pueden ser un daño colateral del sistema productivo y su manejo convencional.

## Resultados

### *Experiencias desde el territorio; parcela demostrativa en transición agroecológica*

Juan Humberto Recilla Bravo es un productor originario del municipio de Benito Juárez. Hace unos años se desempeñaba como contratista en la CDMX. Actualmente se encuentra trabajando una parcela donde se produce

coco variedad Alto Pacífico y mango de la variedad de Ataulfo y Manila (este segundo en mayor cantidad), bajo una transición agroecológica con prácticas diferentes a las demás parcelas que están alrededor. Humberto realiza podas de formación y rejuvenecimiento, un manejo integrado de arvenses, elabora y aplica insumos orgánicos y produce sus propias plantas.

La idea de comenzar a trabajar el campo surge tras el retorno a su tierra de origen. Al haber heredado una parte de la parcela de sus padres y al no tener mucho conocimiento sobre el trabajo de campo y querer hacer un cambio, se motivó a iniciar un proceso de aprendizaje investigando en sitios de internet, videos y literatura de autores (como Jairo Restrepo) acerca de la producción de bioinsumos (preparados para la nutrición del suelo, de la planta o el combate a enfermedades realizados en casa), mismos que aplica en la parcela. Humberto ha generado un calendario de prácticas de manejo y de aplicación de bioinsumos, que monitorea anualmente en una bitácora que relaciona gastos, horas de trabajo, rendimientos e ingresos.

Los biopreparados aplicados a lo largo del año son: Supermagro mineralizado, caldo sulfocálcico, microorganismo de montaña y Azufre Jadaam. Dentro de las actividades que realiza se encuentran las podas de formación dejando los árboles con una altura de dos metros del suelo al inicio del follaje y cinco metros del tronco hacia la orilla. Aplicaba los bioles de Supermagro después de la cosecha para ayudar a la recuperación de los árboles, así como en temporada de lluvias para coadyuvar con la protección poscosecha controlando el ataque de la mosca de la fruta, mientras daba continuidad a su proceso de aprendizaje, consultando cada vez más fuentes de información.

Figura 1. Demostración de podas a productores locales en Las Tunas, Benito Juárez, Guerrero

La parcela del productor Juan Humberto Recilla es un espacio demostrativo ubicado en la localidad de Las Tunas, en el municipio de Benito Juárez, en la región Costa Grande del estado de Guerrero; cuenta con aproximadamente 3.5 has divididas en cuatro corrales. El cuarto corral es en el que actualmente se está trabajando, con una asociación de mango y coco. La distribución de la siembra se encuentra de la siguiente manera.

Un surco de mango y un surco de coco, con una distancia de siete metros entre cada surco e hilera, diseño conocido como marco real. Se tienen un total de cinco surcos de coco y cuatro surcos de mango de 15 árboles cada surco, en total 135 árboles. El manejo de arvenses consiste en dejar que crezca la vegetación local, controlada, para garantizar que se cuente con suficiente materia orgánica para desarrollar microorganismo benéfico y prevenir el proceso de degradación de los suelos o desertificación, mediante el reciclaje de los nutrientes minerales del suelo y como parte de un método control para aprovechar los arvenses, ya que se vende la pastura para alimento del ganado de los vecinos productores.

Todo este trabajo es parte de un proceso de transición agroecológica impulsada por el productor Humberto con un colectivo juvenil llamado “Trágame Tierra”, con quienes ha encontrado sinergias para innovar en las alternativas de cultivo de mango libre de químicos, para lo cual ha experi-

mentado con insumos preparados de manera casera con microorganismos benéficos (entomopatógenos) y abonos orgánicos, a los cuales denomina "biopreparados".

Uno de los primeros problemas que tuvo que superar durante su transición fue la presencia de la mosca de la fruta, pero gracias a las aplicaciones de Supermagro mejorado y hongos entomopatógenos en los últimos dos años no se ha visto afectada. Sin embargo, a pesar de tener un producto bueno, al ser la temporada alta de la incidencia de estas plagas, en la zona el precio del mango en el mercado baja ocasionando que no venda parte de la producción por mera regulación del mercado ya que no recuperará costos. Esto ha sido una condicionante para buscar alternativas para el aprovechamiento de las frutas que no se logran colocar en el mercado convencional. Humberto ha incursionado en la preparación de mermeladas con escaso éxito ya que no son un producto alimentario tradicionalmente empleado en la Costa Grande.

El trabajo realizado en todos estos años ha dado resultados no sólo en la producción de la fruta, sino también en las sinergias colaborativas, ya que el gobierno municipal está interesado en mostrar esta experiencia e impulsar que otros productores comiencen a transitar a los procesos agroecológicos, habiendo organizado encuentros entre productores. Por otra parte, instituciones educativas, a través del servicio social o estancias, introducen a sus estudiantes en los procesos de producción bajo este método ya que será en algunos años lo que el mercado requiera.

Figura 2. Compartiendo saberes en la Localidad de "El Tomatal", Guerrero

Los encuentros y la intención de que más gente adopte prácticas agroecológicas es para combatir una tendencia creciente: la renta anual de terrenos para el cultivo de mango por parte de empresarios agrícolas o empacadoras. El problema en este caso es que, al cabo de 15 años, con alrededor de 10 ciclos de cultivo, la tierra queda compactada y con alta carga de salinidad, por lo que no es un terreno que se pueda cultivar en el corto plazo (Zamacona, 2018). En este sentido, el arrendador pierde un recurso importante de la economía campesina: su suelo, teniendo que invertir para su recuperación gran parte de lo que ganó (y gastó) en años pasados durante el arrendamiento a empresas.

***Mesa de trabajo con productores de mango***

En conjunto con 13 productores de Costa Grande, municipios de Benito Juárez, Atoyac y Tecpan de Galeana, en diciembre del 2019 se llevó a cabo un mapeo de actores combinada con tipología de relaciones entre ellos, denominado sociograma, lo cual permitió abordar la conversación sobre relaciones deseables y relaciones posibles para mejorar las problemáticas sociales, ambientales y económicas que enfrentan en el día a día. A continuación, se observa el sociograma resultante (Figura 3).

Figura 3. Sociograma realizado en taller organizado por equipos Centro Geo-CIATEJ en Adesur. Acapulco

Para la construcción del sociograma se definieron tópicos de trabajo con tres grandes categorías de problemas a resolver:

- Manejo de la plantación. Investigación y capacitación en el tema para reducir insumos y sus impactos, conservando productividad y rentabilidad.
- Mejora de la infraestructura de riego.
- Manejo y procesamiento del mango (cosecha y post-cosecha).

El primer tópico fue considerado el prioritario, ampliado como "Seguimiento a la investigación en manejo de plantaciones, incluyendo arreglo agronómico (topológico), uso de agroquímicos, podas, polinización y control integral de plagas y enfermedades". Para lograr esto, en el desarrollo del sociograma se consideró que el presidente del Consejo Estatal del Mango (CEMANGO) no representa, a cabalidad, los intereses de todos los mangueros, sino los de aquellos con mayores capacidades e intereses económicos, por lo que el CEMANGO no está atendiendo a su función original, que es la gestión para lograr un sistema producto incluyente y competitivo a nivel estatal. Sin embargo, los directivos y miembros de las SPR que integran al Consejo están abiertos al diálogo y a la cooperación para nuevos emprendimientos, incluyendo la experimentación campesina sobre prácticas de cultivo de menor impacto ambiental, representando importantes aliados potenciales para la investigación y para la difusión. Entre estas SPR destacan la de Atoyac, San Luis de la Loma y Zihuatanejo. Por este motivo se separó como figura de poder al presidente de CEMANGO (no representativo ni cooperativo) de la organización social CEMANGO, de igual forma los vínculos de cada uno con los demás actores varían.

Como "grupos de control" se nombra a aquellos grupos armados que impiden llevar a cabo las actividades agrícolas y comerciales de manera honesta y adecuada, mediante el cobro de "impuestos", que son tarifas periódicas a cambio de no hacer daños económicos o sociales a las personas, así como el forzar a aceptar el uso de tierras o caminos para beneficio de sus actividades ilícitas (siembra y transporte de droga). Estos grupos, previsiblemente, entrarán en conflicto con las estructuras sociales comunitarias

propuestas por el nuevo gobierno (en las que se deposita una confianza importante por parte de los participantes): los consejos de desarrollo comunitario, así como con los comisariados ejidales.

Se consideran como actores importantes para el objetivo propuesto a las instancias de investigación del estado que ya han desarrollado proyectos enfocados a optimizar el uso de insumos químicos; a los cuales se suman las capacidades de los centros del consorcio ADESUR y, apoyados por los grupos organizados de producción de mango, pueden hacer avances sustanciales para entender diferentes sistemas alternativos viables a la región Costa Grande.

Un problema serán los acaparadores de tierras, quienes rentan parcelas (de manera creciente en número y superficie) a los ejidatarios para cultivar mango durante periodos largos de tiempo, aplicando cantidades indiscriminadas de insumos con tal de cosechar grandes volúmenes anualmente. Muchos de estos acaparadores también poseen la infraestructura (empacadoras) para acopiar, procesar y distribuir la fruta, por lo que están ampliamente capitalizados y no tienen ningún interés en probar técnicas ambientalmente adecuadas si estas implican disminuir o aplazar su ganancia económica. Ellos son muy influyentes con los productores no organizados de mango, pues a menudo realizan préstamos o rentan sus tierras.

Se prevé que un segundo momento después de la investigación y la capacitación estará en hacer alianzas con organizaciones de productores de miel, para que ellos puedan movilizar, de manera itinerante, sus colmenas en una interacción favorable para productores de mango y para los apicultores. Esto no puede suceder en la actualidad puesto que los paquetes tecnológicos aplicados son mortales para las abejas, lo que ha mermado el número y la capacidad de los productores de miel en los últimos 10 años (o más).

***Matriz de acción***

Se realizaron tres mapas de acción con actividades o proyectos a corto, mediano y largo plazo, así como responsables de su seguimiento (estas columnas se omiten para mantener la confidencialidad de las personas). Se ordenan por prioridad de los problemas detectados y al final se muestran consideraciones generales para cada matriz.

*Matriz 1.* Retomando la importancia de acciones de investigación y de capacitación para optimizar el manejo de las plantaciones, se precisó que el objetivo es una reducción gradual de agroquímicos, con énfasis en evaluar la eficacia de preparados orgánicos para llevar el cultivo a lo largo de su ciclo.

| Obj. General | **Obj. Específico** | Plazo | | |
|---|---|---|---|---|
| | | Corto | Mediano | Largo |
| Reducir la cantidad de agroquímicos, mejorando la calidad del cultivo y del ambiente. | Investigación y observación de control biológico de plagas (insectos, preparados botánicos, etc.) | Hacer diseño experimental. | Buscar y establecer parcelas demostrativas. | Programa de investigación (en curso). |
| | Investigación sobre nutrición de suelos y plantas. | Análisis de suelos (Diseño de sitios de muestreo y análisis). | Hacer diseño experimental (biofertilizantes, abonos verdes, harinas, micorrizas, foliares, etc.). Para Atoyac, Coyuca y Tecpan. | Establecimiento de parcelas experimentales y demostrativas. |
| | Investigación sobre policultivos. | Diseños experimentales: densidades y compatibilidad con otros cultivos como coco, neem, moringa, guanábana, caoba como barrera biológica. En estrato bajo calabaza, chile habanero | Diseño y establecimiento de parcelas experimentales en distintos sitios de la Costa Grande (Atoyac, Coyuca, Tecpan, Sierra). | Gestión de viveros para policultivo: árboles y plantas. |
| | | | **Certificación de** viveros de mango. | |
| | Investigación y observación en prácticas para retención de humedad. | Establecimiento de parcelas experimentales con agricultura biotérmica. | Construcción de ollas captadoras de agua. | |

Para lograrlo es indispensable recabar directorio y saberes de las personas que tienen mayor experiencia en los temas y que han asistido a los talleres.

***Retos y actividades***

- Mesa de investigadores que hayan trabajado con mango para entender el estado actual de la investigación en los temas de la matriz.
- Definir y conseguir parcelas experimentales.
- Falta considerar que muchos productores no harán una transición hacia la producción orgánica si esta merma los volúmenes de mango que actualmente obtienen, sobre todo los renta-tierras. De esta forma se tiene que considerar el planteamiento de paquetes con menor uso de insumos (reducción y aplicación puntual de químicos), con insumos menos nocivos a suelos y polinizadores naturales o bien combinaciones.
- Los diseños tienen que considerar edades de la plantación, suelos y tipos de mango, por ello se plantean tres zonas de la Costa Grande.

*Matriz 2.* Establecimiento de micromódulos experimentales para el procesamiento de mango a escala familiar o entre grupos de pocos productores con capital mínimo de inversión.

| Obj. General | Obj. Específico | Plazo | | |
|---|---|---|---|---|
| | | Corto | Mediano | Largo |
| Establecimiento de micromódulos para procesamiento de mango. | | Estudio de mercado (mangos de la Costa Grande). | | |
| | | | Establecimiento de planta piloto para capacitación y producción | |
| | | | Formación y capacitación de cooperativas o comités comunitarios. | |
| | | | Área de planeación de negocios (capacitación y establecimiento). | |
| | | | Capacitación en administración y gestión. | |
| | | | | Organización para la comercialización |
| | | | | Apertura de nuevos micromódulos. |
| | | | Micromódulos familiares para aprovechamiento de mango niño (microempresas familiares). | |

- Esta matriz se consideró idea para un proyecto. Se han desglosado los componentes percibidos como más importantes.
- Importante considerar que para cualquier participación de CEMANGO es condición *sine qua non* el que haya un cambio de presidente y directiva, pues la tendencia actual de la persona a cargo es el establecimiento de cotos de poder que impiden la democracia y la inclusión de grupos amplios de productores. En caso de que no exista ese cambio, debe de hacerse la alianza con las SPR.
- La intención es generar alternativas –y acceso- al procesamiento de las variedades de mango de la Costa Grande.
- El mango niño es un problema importante en la región por no tener mercado o venderse a muy bajo costo, pese a ser una fruta carnosa, dulce y jugosa. Se propone que se desarrollen alternativas familiares para que todas las personas con huertas puedan tener posibilidades de aprovechamiento, independientemente de la planta piloto.

*Matriz 3.* Mejoramiento de la infraestructura de riego en Costa Grande, incluyendo la posibilidad de emplear ecotecnias para lograrlo.

| Objetivo General | Objetivo **Específico** | Plazo | | |
|---|---|---|---|---|
| | | Corto | Mediano | Largo |
| Mejora y entubamiento de la infraestructura de riego en Costa Grande | Optimizar el uso del recurso agua. | Cambiar al presidente de CEMANGO | | |
| | | | Elaboración de proyecto (zonas y tipos pertinentes de riego según factibilidad técnica) | |
| | | | | Gestión del proyecto |

Este proyecto implica el cambio del presidente de CEMANGO, en el entendido de que, si no se logra, será necesario sustituir la figura con la de las SPRs. En este sentido, se requiere de un responsable por comunidad/municipio

para dialogar con las SPRs de su localidad y conseguir su apoyo para destituir o cambiar al presidente de CEMANGO. El actual presidente, de acuerdo con los participantes (de al menos tres talleres en la mesa), se caracteriza por aliarse únicamente con actores de alta capacidad económica y con empresas que obstaculizan la inclusión y la democracia en la toma de decisiones y elaboración de proyectos para el beneficio de productores pequeños.

## A manera de conclusiones

Organizamos información provista por apartados relativos a los principales aspectos de la cadena productiva del mango en Guerrero, según la información recopilada en las interacciones con productores a lo largo del proyecto Cadenas Fordecyt. Es importante precisar que la información provista sobre las problemáticas y rutas propuestas de acción en este capítulo se complementan con la del capítulo "Proyectos productivos factibles para la región Pacífico Sur de México", cuyos autores son Cristina Taddei Bringas, Martín Preciado Rodríguez y Jesús Robles Parra, en la primera sección del presente libro.

### *Organización*

- Actualmente los productores de coco y mango carecen de organización para atender las necesidades más apremiantes del cultivo y problemas derivados del mercado local, teniendo coyotes que quedan con un gran margen de ganancias de la producción.
- Existe un celo constante que no permite compartir los conocimientos de técnicas para mejorar el manejo del cultivo y limita el potencial de crecimiento en la zona aun cuando se cuenta con los recursos naturales para tener una mejor producción.
- Existen varios acaparadores que fijan los precios del producto a modo, ocasionando que los productores de pequeñas parcelas se vean atados de manos al no poder acceder a un mercado más competente.
- No existe un relevo generacional. Los productores, en su mayoría, son personas mayores.

***Conocimiento y manejo del mango***

- La variedad más comercial de mango es el Ataulfo por sus características organolépticas; sin embargo, la exigencia del cultivo bajo un manejo convencional demanda la aplicación de muchos insumos sintéticos.
- Para obtener buenos individuos vegetales se necesitan injertos en especies acriolladas para tener una mejor adaptabilidad a la zona y sus condiciones edafológicas, conocimiento que no todos manejan.
- Cada productor tiene un manejo específico según sus capacidades y objetivos particulares. No hay acompañamiento técnico.
- Para transitar a la agroecología se requiere de actividades que desarrollen capacidades a tal modo de que los productores adopten nuevas prácticas sobre el manejo del cultivo, pero existen reservas en intentar innovar con estos procesos debido a intenciones de extensionistas pasados que no han cumplido con la ética profesional y sólo se aprovechan de la situación.

***Comercialización***

- Los acaparadores condicionan a modo la compra del producto.
- El precio de la caja de mango de 35kg aproximadamente puede llegar a los $750.00 pesos en su mejor momento, y a un costo mínimo de $200.00 pesos cuando se satura el mercado. En estos casos es mejor perder la producción, ya que no se recuperan los costos.
- No hay una organización entre los productores para buscar mejores mercados o para buscar mejoras colectivas de los precios.
- No existe en la zona un mercado diferenciado para la producción agroecológica.

***Infraestructura y tecnología***

- El trabajo con maquinaria pesada como tractores puede facilitar las labores del campo, pero con el uso constante el suelo se compacta limitando el buen desarrollo del árbol.
- A pesar de existir saberes locales que los productores de antaño practicaban, como algunas prácticas durante las fases lunares, hoy en día poco recurren a ellas.

- Alta dependencia de insumos sintéticos en muchas de las plantaciones generando resistencia de plagas y enfermedades, aumentando los costos de producción.

***Prospección***

- Se requiere investigación y experimentación local sobre los mejores sistemas de cultivo.
- Buscar métodos de aprovechamiento de la fruta que no cumple con los estándares del mercado.
- Instalación de laboratorios de calidad y análisis de las parcelas para poder tener una planeación del establecimiento de cultivo basado en los resultados previos.

## Referencias

Astudillo-Miller, M. X., Maldonado-Astudillo, R. I., Segura-Pacheco, H. R., & Pallac Maldonado, Y. (2020). Cadenas de comercialización de mango y potencial exportador en la Costa Grande, Guerrero. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, *11*(1), 111-124. Epub 02 de marzo de 2021.https://doi.org/10.29312/remexca.v11i1.1769

Camacho, C., Bautista, L., León, Y. & Antonio, M. (2018). Propuesta comercial para el aprovechamiento de mango desechado en el estado de Guerrero. *Revista de sistemas experimentales*, *4*(13), 50-58. https://www.researchgate.net/publication/335109646_Propuesta_comercial_para_el_aprovechamiento_de_mango_desechado_en_el_estado_de_Guerrero

Kees, B. J. (2017). Record number of mangoes exported worldwide. *Fresh Plaza*. Consultado 16 de junio 2020. https://www.freshplaza.com/article/2186986/record-number-of-mangoes-exported-worldwide/

Mazariegos Sánchez, A., Milla Sánchez, A. I., Martínez Chávez, J., Águila González, J. M., & Villanueva Vázquez, K. E. (2017). Identificación del sistema local de comercialización del mango ataulfo en el municipio

de Huehuetán, Chiapas. *Revista Mexicana de Agronegocios, 40*( ), 571-582.

Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. (2018). Guerrero es líder en producción en mango. *Blog de la Secretaría*. Consultado 06 junio 2020. https://www.gob.mx/agricultura/guerrero/articulos/guerrero-es-lider-en-produccion-de-mango?idiom=es#:~:text=A%20nivel%20nacional%2C%20Guerrero%20ocupa,brindar%20opciones%20para%20su%20industrializaci%C3%B3n.

Zamacona-López, A. M. (2018). *Percepción, actitudes y prácticas agrícolas en el marco de la sustentabilidad, en productores de mango del ejido de Boca de Arroyo, municipio de Atoyac de Álvarez, Guerrero* [Tesis de maestría, Universidad Autónoma de Guerrero]. Repositorio institucional UAGRO. http://ri.uagro.mx/handle/uagro/362.

# Capítulo 29

# Acciones de vinculación y transferencia de tecnología a los productores rurales de Chiapas, Oaxaca y Guerrero en pro de la mejora en la producción de tilapia

*Crisantema Hernández[1*], Cynthia Esmeralda Lizárraga Velázquez[2], Erika Yazmín Sánchez Gutiérrez[1].*

**Resumen**

La vinculación entre el Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A.C. (CIAD, A.C.), los Comités de Sanidad Acuícola y los Productores de tilapia de Chiapas, Oaxaca y Guerrero (Región Pacífico Sur) ha sido una acción estratégica y fundamental para que las familias de recursos limitados, dedicadas a la producción de tilapia o mojarra, mejoren sus prácticas de cultivo e incrementen la rentabilidad, con el fin de ayudar a mejorar sus condiciones de vida (salud, educación, vivienda, entre otras). Considerando lo anterior, la identificación de un alimento de alta calidad nutricional, incluido su adecuado manejo en los sitios de cultivo, asegura una mejora de sus producciones. El costo del alimento en acuacultura puede representar hasta el 60% de los costos operativos, por lo que cada vez es más grande la necesidad de: 1) asegurar la calidad y frescura de los alimentos, antes y durante los cultivos 2) mejorar las buenas prácticas de manejo del alimento en los cultivos, 3) producir alimentos de forma artesanal de bajo costo con el uso de insumos locales y 4) elaborar proyectos ejecutivos de

[1] Departamento de Acuacultura y Manejo Ambiental, Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A.C., Mazatlán, Sinaloa, México.

[2] Instituto Tecnológico de Mazatlán, Calle Corsario 1 No. 203, Sinaloa, 82070, Mazatlán, México.
* chernandez@ciad.mx.

una planta productora de alimentos balanceados para tilapia en cada uno de los estados de la Región Pacífico Sur. En atención a las necesidades mencionadas, se impartieron cursos de capacitación sobre la alimentación de la tilapia, durante las cuales los productores aprendieron a identificar las causas que afectan la calidad de los alimentos y sus efectos en la salud de los organismos. Los alimentos comerciales comúnmente usados por los productores de tilapia fueron analizados en términos de calidad y frescura. Un manual ilustrativo fue elaborado para enseñar a los productores a producir de manera artesanal un alimento balanceado para tilapia. Por último, tres proyectos ejecutivos fueron desarrollados para la implementación de plantas productoras de alimento para tilapia en los estados de Chiapas, Oaxaca y Guerrero. En cada uno de los proyectos ejecutivos se consideró la inclusión de insumos locales disponibles por estado, con el propósito de garantizar la disminución del costo del alimento balanceado para tilapia. La impartición de los cursos permitió a los productores conocer y entender que el adecuado manejo del alimento en los sitios de cultivo es fundamental para el éxito de estos. Derivado de lo anterior, se destaca la relevancia de vincular el conocimiento entre academia y sector productivo para lograr el incremento de las producciones de los tilapieros, lo que se traduce en bienestar y mejora de las condiciones de vida de los productores y para quienes intervienen directa e indirectamente en las actividades acuícolas.

*Palabras clave:* Alimentos para tilapia, cursos, productores de tilapia, proyectos ejecutivos,

## Introducción

La zona rural de los estados de la región Pacífico Sur presenta escenarios de pobreza vinculado con la falta de empleos; sin embargo, en muchas de esas áreas rurales se desarrolla con éxito el cultivo de tilapia o “mojarra” , que representa para sus pobladores una oportunidad para auto emplearse y producir “pescado”, considerado un alimento nutricionalmente superior al pollo y/o la carne de res.

Las capacitaciones sobre el cultivo de tilapia son acciones que generan beneficios económicos a las y los productores, esto se traduce en la mejora de sus condiciones de vida. El acceso a una adecuada alimentación y nutrición es un derecho humano fundamental. Según datos de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), más de 3 000 millones de personas, el 20% de sus requerimientos en proteína provienen del consumo de pescados y mariscos, de hecho, se registra un aumento en el consumo per cápita de 9 kg en 1961 a 20.5 kg en 2018, cifras que da certeza a lo anteriormente expuesto. El establecimiento de acciones estratégicas con aplicación al desarrollo de proyectos acuícolas sustentables que demanda el sector social más vulnerable, contribuiría al incremento en la eficiencia de sus cultivos, mediante la reducción de costos, principalmente por alimentación.

El cultivo a escala semi-intensiva requiere de la adquisición de alimentos formulados a un menor costo que el alimento comercial. Actualmente los productores adquieren el alimento a diferentes marcas comerciales a un alto costo. Aunado a esto, el desconocimiento sobre los criterios de calidad para seleccionar al mejor alimento afecta la productividad de sus cultivos. Por lo tanto, el establecimiento y la aplicación de acciones estratégicas en vinculación con la academia, el sector productivo y los Gobiernos estatales deben ponerse en marcha para mejorar la producción de pescado y coadyuvar al desarrollo sustentable y rentable de la actividad. Por lo tanto, el CIAD, por medio del proyecto FORDECYT "Estrategias multidisciplinarias para incrementar el valor agregado de las cadenas productivas del café, frijol, agave mezcalero y productos acuícolas (Tilapia) en la región Pacífico Sur a través de la ciencia, la tecnología y la innovación", llevó a cabo los siguientes objetivos: a) evaluar la calidad nutricional y la frescura de los alimentos comerciales mediante la determinación del contenido químico proximal y de contenido de aflatoxinas y lípidos peroxidados, b) capacitar a los productores de tilapia de la Región Pacífico Sur sobre el manejo correcto del alimento acuícola en los sistemas de cultivo, c) capacitar a los productores de tilapia en la elaboración artesanal de alimento con ingredientes regionales para permitir llevar a cabo una producción de traspatio y d) elaborar proyectos

ejecutivos de una planta productora de alimentos balanceados para tilapia de pequeña escala y gestionar su creación ante los Gobiernos de la Región Pacífico Sur. Finalmente, cabe mencionar que este proyecto consideró el respaldo del Instituto Nacional de la Economía Social (INAES) a las organizaciones sociales tales como: ejidos, comunidades, organizaciones de trabajadores, sociedades cooperativas entre otras, que producen un bien.

## Materiales y métodos

### *Análisis de la calidad de alimentos comerciales para tilapia*

En 14 muestras de alimentos comerciales para tilapia se determinaron la composición nutricional, la concentración de lípidos oxidados y el contenido de aflatoxinas, proporcionados por productores de tilapia de los estados de Guerrero, Chiapas y Oaxaca.

Los contenidos de materia seca, proteína, lípidos y cenizas de los ingredientes y alimentos fueron determinados mediante el empleo de las técnicas estandarizadas de la Asociación oficial de Químicos Analíticos (AOAC, por sus siglas en inglés: Association of Official Analytical Chemists) (2011). El contenido de materia seca fue analizado por gravimetría (método 4.1.06) mediante secado de la muestra en un horno (Heraeus, D-63450, Hanau, Germany) a 105 °C por 12 horas. El contenido de cenizas fue determinado por calcinación de la muestra (método 32.1.05) a 550 °C por 5 h en una mufla (Felisa®, modelo FE-363) (Figura 1). El contenido de lípidos fue determinado por extracción de estos con éter de petróleo (método 4.5.05) usando un micro Foss Soxtec Avanti 2050 automatizado (Figura 2). El contenido de proteína fue analizado con un equipo Micro-Kjeldahl (N × 6.25; método 954.01) (Figura 3).

El contenido de lípidos peroxidados fue analizado siguiendo la metodología descrita por Solé *et al.* (2004). Los niveles de lípidos peroxidados fueron reportados como mg de malondialdehido (MDA) Kg-1 de alimento.

La concentración de aflatoxinas fue determinada empleando los kits NEOGEN (Veratox 8030 y 8230). Los resultados fueron reportados en aflatoxinas totales (T-2/HT-2) y AFB1 (micotoxina citotóxica más potente) en partes por billón (ppb).

***Impartición de cursos a los productores de tilapia***

La Dra. Crisantema Hernández González del Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A.C. (CIAD, A.C.) impartió todos los cursos con el apoyo de los Comités de Sanidad Acuícola de los estados de Chiapas, Oaxaca y Guerrero (M.C. Erika Yazmín Sánchez Gutiérrez y Dra. Cynthia Esmeralda Lizárraga Velázquez).

En mayo y diciembre de 2019 se impartieron los cursos "Nutrición y alimentación de tilapia en cultivo" y "Calidad de alimentos para tilapia: Rancidez y presencia de aflatoxinas", respectivamente, a los cuales se presentaron 210 asistentes, entre productores de tilapia y personal técnico de los Comités de Sanidad Acuícola de Chiapas, Oaxaca y Guerrero (Figura 1) interesados en mejorar las prácticas de cuidado, manejo y monitoreo de la calidad nutricional e inocuidad de los alimentos para tilapia. Los cursos abordaron los temas: Alimentos balanceados para acuacultura (Retos para productores de tilapia y de alimentos balanceados); Requerimientos nutricionales de la tilapia en sus diferentes etapas de cultivo; Características fisicoquímicas de los alimentos; Análisis de la composición nutricional de los alimentos para tilapia; Tipos de alimentación relacionados con diferentes sistemas de cultivo; Criterios de selección de alimentos balanceados; Buenas prácticas del uso y manejo de los alimentos; Fuentes alternativas de proteína para alimentos balanceados; Importancia de los lípidos en la alimentación; Efecto de los lípidos peroxidación en la tilapia de cultivo y Generalidades de las aflatoxinas e Implicaciones de las aflatoxinas en el alimento para tilapia en cultivo.

Figura 1. Impartición de cursos en los estados de Chiapas, Oaxaca y Guerrero

El 1 de diciembre de 2022 se impartió el curso teórico-práctico “Elaboración Artesanal de Alimento para Tilapia y Buenas Prácticas de Manejo”, en Nuevo Pescadito de Abajo II del municipio de San Miguel Soyaltepec. Al curso asistieron productores indígenas y técnicos del estado de Oaxaca, así como docentes del Instituto Tecnológico de Juan Rodríguez Clara de Veracruz. La C. Elza Edith Sánchez Romero, originaria de Oaxaca, apoyó en la traducción del curso del español al mazateco. Cabe mencionar que el curso fue realizado a solicitud de los productores Oaxaqueños, quienes expresaron la necesidad de aprender a elaborar alimento para tilapia, en aras de reducir los costos de producción de sus cultivos (Figura 2). En el curso los productores aprendieron a elaborar alimento balanceado para tilapia mediante el empleo de materiales, insumos (ingredientes) y equipo de laboratorio (Figura 3).

Figura 2. Impartición del Curso "Elaboración Artesanal de Alimento para Tilapia y Buenas Prácticas de Manejo" en Nuevo Pescadito de Abajo II del municipio de San Miguel Soyaltepec

Figura 3. Productora de tilapia elaborando alimento

***Elaboración de un manual sobre la elaboración de alimentos para tilapia***

El equipo del Laboratorio de Nutrición de CIAD, Unidad Mazatlán, realizó el manual ilustrativo titulado *Elaboración Artesanal de Alimento para Tilapia y Buenas Prácticas de Manejo*, el cual fue traducido al mazateco y al tzotzil (Figura 4). Por ello se contó con la participación de la oaxaqueña Elza Edith Sánchez Romero, quién tradujo el manual del español al mazateco, y con los chiapanecos Delicia Hernández Velasco y Juan Hernández Santiz, quienes tradujeron el manual del español al tzotzil. En Guerrero la mayoría de los productores de tilapia hablan español, por lo que el manual para este estado no fue traducido.

El contenido del Manual incluye los temas siguientes: Materias primas localizadas en la región del Pacífico Sur y su uso en la alimentación de tilapia, Elaboración de alimento para tilapia, Elaboración artesanal de

los alimentos balanceados y prácticas de alimentación de tilapia.

Figura 4. Manual ilustrativo titulado Elaboración Artesanal de Alimento para Tilapia y Buenas Prácticas de Manejo en español, mazateco y tzotzil respectivamente

***Elaboración de proyectos ejecutivos de plantas productoras de alimentos para tilapia***

Se elaboraron tres proyectos ejecutivos de plantas productoras de alimento para tilapia en Chiapas, Oaxaca y Guerrero, los cuales transmiten los beneficios económicos y sociales de la implementación de estos proyectos. Previo y durante la realización de los proyectos ejecutivos se contó con el apoyo de los gerentes y presidentes de los siguientes comités: El Comité Estatal de Sanidad Acuícola de Chiapas, A.C., El Comité Oaxaqueño de Sanidad e Inocuidad Acuícola, A.C. y el Comité de Sanidad Acuícola del Estado de Guerrero A.C. Los proyectos ejecutivos plantearon la instauración de las plantas productoras de alimentos en los municipios de Raudales Malpaso, Chiapas (2.4 ton de alimento por día); San Miguel Soyaltepec, Oaxaca (4.9 ton de alimento por día) y Chilpancingo de los Bravo, Guerrero (2.4 ton de alimento por día). Cabe mencionar que las localidades mencionadas fueron seleccionadas con base en los puntos siguientes 1) Terrenos de donación por parte del gobierno, 2) Impacto social, 3) Operaciones diarias, 4) Servicios públicos y de agua, 5) Distancia de distribución del producto y 5) Impacto ambiental en la zona.

## Resultados

### *Calidad de los alimentos comerciales para tilapia*

Los resultados de composición nutricional, contenido de lípidos peroxidados y aflatoxinas fueron entregados a cada uno de los gerentes de los comités de sanidad acuícola de los estados participantes durante la impartición del segundo curso. La composición nutricional de los alimentos comerciales analizada en el Laboratorio de Nutrición fue muy similar al contenido de nutrientes presentados en la etiqueta de cada uno de los alimentos comerciales.

El nivel de lípidos peroxidados fue superior al de un alimento fresco para tilapia (1.7 - 2 mg MDA/kg de alimento) (Tabla 1). Los niveles de aflatoxinas totales (T-2/HT-2) y AFB1 no rebasaron los límites permisibles por la NOM-188-SSA1-2002 Productos y Servicios. Control de aflatoxinas en cereales para consumo humano y animal (200 ppb) y por la FDA (20 ppb), respectivamente. Sin embargo, respecto a la aflatoxina AFB1, se ha reportado que una concentración mayor a 5 ppb podría causar lesiones tisulares (hígado, páncreas, riñón, intestino) y alteraciones hematológicas en tilapia (Comunicación personal Dra. Gina Conroy, 2019).

Los valores altos de lípidos peroxidados y de aflatoxinas (AFB1; >5ppb) se han relacionado con la reducción del crecimiento, incremento de la tasa de conversión alimenticia e incremento del estrés oxidativo y tasa de mortalidad (Quintero-Martínez *et al.,* 2015; Gonçalves, 2016). Dado los resultados de lípidos peroxidación y aflatoxinas, es imprescindible su monitoreo en los alimentos, desde la compra de estos hasta su almacenamiento y uso. En el caso de lípidos peroxidados, se debe asegurar la compra de un alimento con valores similares al de un alimento fresco; en el caso de aflatoxinas (T-2/HT-2 y AFB1), certificar que no rebasen los límites permisibles mencionados. Posterior a la compra del alimento, los productores tienen la responsabilidad de mantener el alimento en las mejores condiciones de almacenamiento para evitar la pérdida de su calidad y en consecuencia se afecte la rentabilidad de los cultivos de tilapia.

Tabla 1. Niveles de MDA y aflatoxinas en muestras de alimentos para tilapia

| Estado | Sitio (Marca de alimento) | Etapa | MDA (mg/kg) | AFB1 (ppb) | T-2/HT-2 (ppb) |
|---|---|---|---|---|---|
| Guerrero | **Granja La Estrella (Growfish)** | Juvenil | 6.44 | 1.94 | 7.91 |
| | Javier Jaime Bautista (El pedregal) | 3 | 4.82 | 0.65 | 4.53 |
| | Luis Miguel Bautista (El pedregal) | 1 | 5.28 | 4.33 | 0.86 |
| Chiapas | Sociedad Acuícola La Esperanza de Apic-Pac (Nutripec-Purina) | Engorda | 9.41 | 3.26 | 6.83 |
| | **Acuícola Campo Viejo (Winfish-Zeigler)** | Engorda | 7.26 | 2.72 | 0 |
| | Acuacultores y Comercializadora de Tilapia el Jacalito Modulo "A" (Aquaplus-CAMPI) | Engorda | 7.78 | 3.3 | 6.43 |
| | Acuacultores y Comercializadora de Tilapia el Jacalito Modulo "B" (Aquaplus-CAMPI) | Engorda | 8.55 | 3.25 | 14.33 |
| Oaxaca | Unidad Ortela | Adulto | 7.78 | 4.78 | 4.41 |
| | **La Troje (Growfish-Malta Cleyton)** | juvenil | 5.39 | 4.69 | 2.53 |
| | Cultivo Romualdo (Aquapremiere-Vimifos) | Adulto | 7.33 | 2.93 | 14.49 |
| | **Tauro (Growfish tilapia)** | Adulto | 6.14 | 0.37 | 11.1 |
| | **Rancho Hui-tee (Growfish-Malta Clayton)** | Cría | 6.24 | 0.44 | 4.59 |
| | Granja Acuícola Comedor El Tigre **(Growfish-Malta Clayton)** | Juvenil | 5.21 | 5.49 | 3.84 |
| | Unidad Acuícola Juquilita (Aquaplus-CAMPI) | Engorda | 7.2 | 5.73 | 7.88 |

Muestras de alimentos comerciales enviadas por los Comités de Sanidad Acuícola de los estados de Guerrero, Chiapas y Oaxaca

***Cursos a los productores de tilapia***

Todos los asistentes a cada uno de los cursos impartidos participaron activamente. De manera particular los productores hicieron énfasis en la necesidad que tiene el sector de recibir capacitación sobre la alimentación de tilapia y el manejo del alimento en los cultivos de esta especie, ya que el mal uso del alimento y malas prácticas de su manejo genera problema de rentabilidad. Por otra parte, reconocieron la importancia de contar con equipos para la elaboración artesanal de alimentos balanceados para tilapia, que les permita obtener un alimento de bajo costo que mejore su economía a través del incremento de la rentabilidad de sus cultivos, ya que el alimento comercial es relativamente caro, sobre todo porque la mayoría de los casos es adquirido a crédito.

Al finalizar los cursos, la Dra. Crisantema Hernández, en colaboración con los Comités de Sanidad Acuícola de Chiapas, Oaxaca y Guerrero, se comprometieron a continuar con el apoyo a los productores de tilapia mediante la orientación y asistencia técnica relacionada con la Sanidad, Inocuidad y Alimentación de tilapia, en beneficio de todas las familias dedicadas a la producción de tilapia.

***Proyectos ejecutivos de plantas productoras de alimentos para tilapia***

Derivado de la elaboración del proyecto ejecutivo de una planta productora de alimentos para tilapia en Guerrero, se gestionó una reunión con el titular de la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca y Desarrollo Rural de Guerrero (SAGADEGRO), Dr. Jorge Peto Calderón, a través del director general de Pesca y Acuacultura, Biol. Miguel Balleza García.

El 17 de agosto de 2022 la Dra. Crisantema Hernández González sostuvo una reunión con el Dr. Jorge Peto Calderón a quien le presentó la iniciativa de la creación de una planta productora de alimentos balanceados con insumos locales, residuos agroindustriales y pesqueros, que garantiza beneficios económicos al Sector Acuícola y a Cooperativas en las Comunidades costeras con alto rezago y marginación en el estado. En la reunión estuvieron presentes el presidente del Comité de Sanidad Acuícola del estado de Guerrero, Omar Álvarez Santiago; por parte de la SAGADEGRO,

el subsecretario de Agricultura e Infraestructura Rural, Adalid Pérez Galeana y el director general de Pesca y Acuacultura, Miguel Balleza García (Figura 5). En la reunión el Dr. Jorge Peto destacó la relevancia de este tipo de proyectos de gran impacto para el bienestar social del sector acuícola, por lo que se acordó que el proyecto ejecutivo se gestionará en futuros Presupuestos de Egresos.

Figura 5. Reunión con el Dr. Jorge Peto Calderón y directivos para presentación de proyecto ejecutivo para el estado de Guerrero

***Manual sobre la elaboración de alimentos para tilapia***

El 29 de noviembre de 2022 la Dra. Crisantema, con el apoyo del Comité Estatal de Sanidad Acuícola de Chiapas, visitó la Presa Manuel Moreno Torres ubicada en el "El Jacalito" Osumacinta, Chiapas, para realizar la entrega de los manuales *Elaboración Artesanal de Alimento para Tilapia y buenas prácticas de manejo* a los productores hablantes de las lenguas español y tzotzil (Figura 6).

El 1 de diciembre de 2022 la Dra. Crisantema Hernández hizo entrega de los manuales *Elaboración Artesanal de Alimento para Tilapia y Buenas Prácticas de Manejo* en español y mazateco a los productores de tilapia de Oaxaca (Figura 7) que asistieron al curso de capacitación sobre elaboración de alimentos.

Figura 6. Entrega de manuales a productores hablantes de las lenguas español y tzotzil en Chiapas y Oaxaca

Los manuales en español fueron enviados por paquetería al MVZ Oscar Eguibar, Gerente del Comité de Sanidad Acuícola del estado de Guerrero, quien nos apoyó a entregar los manuales a los tilapieros Guerrerenses.

Cabe mencionar que la Dra. Crisantema hizo la entrega de los manuales digitalizados a cada uno de los Gerentes de los Comités de Sanidad Acuícola de Chiapas, Oaxaca y Guerrero para que estén a disposición de los productores que no tuvieron la oportunidad de asistir al curso y de todos aquellos interesados.

## Conclusiones

Con la entrega de proyectos ejecutivos se gestionará la creación de plantas productoras de alimentos en los presupuestos de egresos de los estados del Pacífico Sur, estos serán importantes para garantizar beneficios económicos al sector acuícola y a cooperativas en las comunidades costeras con alto rezago y marginación.

Para la finalizar, con la participación de cursos con pertinencia cultural y lingüística se logró que se adoptaran compromisos con los productores de tilapia de cada estado (Chiapas, Oaxaca y Guerrero) para continuar apoyando a la orientación y asistencia técnica relacionada con la Sanidad, Inocuidad y Alimentación, así como a través de la transferencia tecnológica, en beneficio de las familias productoras de tilapia.

## Referencias

Gonçalves, R. (2016) Aflatoxins: a threat to yellow catfish production. *World Aquacult*, March 2016,56–57. http://dx.doi.org/10.13140/RG.2.2.15707.67364

Secretaria de Gobernación. (2002, 15 octubre). *NORMA Oficial Mexicana NOM-188-SSA1-2002, Productos y Servicios. Control de aflatoxinas en cereales para consumo humano y animal. Especificaciones sanitarias.* Diario Oficial. https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=719385&fecha=15/10/2002#gsc.tab=0

Quintero-Martínez, G.A., Hernández, C., Hurtado-Oliva, M.G., Palacios-Mechetnov, E., Osuna-López, J.I. y Medina-Jasso, M.A. (2015). *Efecto de la rancidez lipídica del alimento en la hematología, bioquímica sanguínea, composición de ácidos grasos y rendimiento del cultivo del pargo Lutjanus guttatus (Steindachner 1869)* [tesis de maestría, Universidad Autónoma de Sinaloa, Facultad de Ciencias del Mar.

Solé, M., Potrykus, J., Fernández-Díaz, C. y Blasco, J. (2004). Variations on stress defences and metallo-thionein levels in the Senegal sole, Solea senegalensis, during early larval stages. *Fish Physiology and Biochemistry, 30*(1) , 57-66.

# Semillas de Cambio en la Región Pacífico Sur: Ciencia, Tecnología y Sociedad para el desarrollo local en las cadenas productivas principles en Guerrero, Oaxaca y Chiapas

Este libro compila el esfuerzo de más de treinta equipos de cuatro Centros Públicos de Investigación Conahcyt en los estados de Guerrero, Oaxaca y Chiapas. Cada uno da cuenta de los resultados de sus trabajos de investigación con cuatro cadenas productivas que son prioritarias para estos estados, trabajadas territorialmente por personas que labran y conocen su tierra, que es a quienes están dirigidos los hallazgos de investigación.

Habitantes del territorio e investigadores unieron esfuerzos a lo largo de seis años de trabajo, creando nuevas formas de colaborar y de re-conocer el espacio del Pacífico Sur; generando nuevas experiencias, nuevo conocimiento y esforzándose en crear culturas de cambio agrícola y tecnológico en zonas generosas por sus recursos y su ambiente físico.

Cada apartado de esta obra describe las diferentes formas de trabajo y miradas disciplinarias, que van desde la lectura del territorio y sus variables sociales, políticas, económicas y ambientales, el trabajo de investigación científica y tecnológica hasta las interacciones sociales que se dieron en estos años de arduo trabajo, dando cuenta de las formas de establecer diagnósticos y rutas metodológicas.

## Sobre los Centros de Investigación participantes

CentroGeo

Centro Geo es un centro experto en temas de informática. Creó una plataforma interactiva para el proyecto ADESUR en el que el público en general puede conocer las experiencias de este proyecto a través de un acceso amigable a todo el capital documental que se generó en el proyecto.

CIAD

El Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, CIAD, cuenta con amplia experiencia en investigación nutricional y en tecnología de los alimentos. Dentro del proyecto se enfocó a desarrollar líneas de investigación en las bondades y criterios de cultivo de tilapia en granja, también abordó estudios de las cadenas enfocados a encontrar usos alternativos de sus propiedades y procesos amigables para los agentes productores. Igualmente realizó diagnósticos para proyectar ideas de proyectos futuros relevantes para cada región, involucrando manejo poscosecha, empaque y aspectos de inocuidad

CICY

El Centro de Investigación Científica de Yucatán, CICY, cuenta con un sólido grupo de expertos en micropropagación de plántulas, análisis genéticos, y el desarrollo de viveros demostrativos. Así también cuenta con el capital de conocimiento de sus investigadores que han apoyado en capacitación a las comunidades de Guerrrero, Chiapas y Oaxaca en la preparación de suelos instalación de viveros. Sus equipos se enfocaron a buscar formas para la apropiación de nuevas tecnologías por parte de los usuarios en la región de trabajo.

CIATEJ

El Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco, CIATEJ es el Centro "cuna" del proyecto. Sus equipos de investigación han aportado al fortalecimiento de las redes de los estados de Guerrero en temas de la importancia social en el manejo de distintos cultivos regionales. En el proyecto Adesur se enfocaron en usos alternativos de los compuestos bioquímicos, desarrollo de cosmecéuticos y nutricosméticos, así como los diagnósticos socioambientales de cada cadena.

Estos Centros Públicos de Investigación forman parte del Consejo Nacional de Humanidades, Ciencia y Tecnologías, CONAHCYT.

CONAHCYT

Conozca la página del proyecto ADESUR: https://plataformapacificosur.mx
Si desea el libro en formato digital: poner aquí la liga.
Contacto sobre el proyecto: agschaedler@ciatej.mx

PLATAFORMA PACÍFICO SUR