



HORIZONTES TRANSDISCIPLINARIOS

Revista Digital de Divulgación y Difusión Científica

DIÁLOGOS HORIZONTALES PARA EL DESARROLLO SOSTENIBLE DE LA REGIÓN PACÍFICO SUR (CHIAPAS, OAXACA Y GUERRERO)



CONAHCYT
CONSEJO NACIONAL DE HUMANIDADES
CIENCIAS Y TECNOLOGÍAS







HORIZONTES
TRANSDISCIPLINARIOS

Revista Digital de Divulgación y Difusión Científica

Horizontes Transdisciplinarios, año 1, No. 1, julio – diciembre 2023, es una publicación digital semestral editada por el 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.; teléfonos 3333455200 ext. 1418 y 2007. Página electrónica de la revista: <https://www.revistaht.mx/>, correo electrónico: revistaht@ciatej.mx. Editores responsables Dr. Luis Alfonso Mojica Contreras y Dr. Gustavo Adolfo Castillo Herrera. Reserva de derechos al Uso Exclusivo en trámite, ISSN-E en trámite; ambos otorgados por Instituto Nacional del Derecho de Autor.



DIRECTORIO

DIRECTORA GENERAL DE LA REVISTA

Dra. Eugenia del Carmen Lugo Cervantes
elugo@ciatej.mx

EDITORES EN JEFE

Dr. Luis Alfonso Mojica Contreras
lmojica@ciatej.mx

Dr. Gustavo Adolfo Castillo Herrera
gcastillo@ciatej.mx

EDITORES

Dra. Anne Christine Gschaedler Mathis
agschaedler@ciatej.mx

Dra. María de Lourdes Flores López
lflores@ciatej.mx

EDITOR EXTERNO

Dr. Ever Sánchez Osorio
esanchezos@conacyt.mx

EDITORES(AS) ASOCIADOS(AS) INTERNOS(AS)

Tecnología Alimentaria

Dra. Judith Esmeralda Urias Silvas
jurias@ciatej.mx

Dra. Elba Montserrat Alcázar Valle
ealcazar@ciatej.mx

Tecnología Ambiental

MC. Leonel Hernández Mena
lhernandez@ciatej.mx

Biotecnología Industrial

Dra. Rosa María Camacho Ruíz
rcamacho@ciatej.mx

Biotecnología Vegetal

Dra. Soledad García Morales
smorales@ciatej.mx

Biotecnología Médica y Farmacéutica

Dra. Alba Adriana Vallejo
avallejo@ciatej.mx

Unidad De Servicios Analíticos y Metrológicos (Usam)

Dra. Yadira Lugo Melchor
ylugo@ciatej.mx

M. en C. José de Jesús Díaz Torres
jdiaz@ciatej.mx

Subsede Sureste

Dra. Ana Luisa Ramos Díaz
aramos@ciatej.mx

Dra. Élica Gastélum Martínez
egastelum@ciatej.mx

Subsede Noreste

Dra. Noemi Nava Valente
nnava@ciatej.mx

Dr. Daniel Simon Olivo Alanis
dolivo@ciatej.mx

PROTEAA

Dr. Yair Romero Romero
yromero@ciatej.mx

EDITORES(AS) ASOCIADOS(AS)

EXTERNOS(AS)

Universidad Autónoma Benito Juárez de Oaxaca - Instituto de Investigaciones Sociológicas (IISUABJO)

Dra. Virginia Guadalupe Reyes de la Cruz
vgreyes@iisuabjo.edu.mx

Dr. Manuel Garza Zepeda
mgarza.cat@uabjo.mx

Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas (UNICACH)

Dr. Gilber Vela Gutiérrez
gilber.vela@unicach.mx

Centro de Investigaciones y Estudios Superiores en Antropología Social (CIESAS)

Dra. María Guadalupe Ramírez Rojas
guadalupe.ramirez@ciesas.edu.mx

Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo (CIAD)

Dra. Doris Arianna Leyva Trinidad
doris.leyva@ciad.mx

Universidad de Guadalajara (UDG)

Dr. Efrén Orozco López
lopez_efren@hotmail.com

Dr. David Sánchez Sánchez
mpsdavid@gmail.com

Universidad Autónoma de Guerrero (UAGro)

Dr. Martín Fierro Leyva
martinfierroleyva@yahoo.com.mx

Dra. Teolincacihuatl Romero Rosales
18029@uagro.mx

Tecnológico de Monterrey (Puebla)

Dr. Diego Armando Luna Vital
dieseluna@tec.mx

Centro de Investigación en Ciencias de Información Geoespacial, A.C. (GEO)

Dra. Loecelia Ruvalcaba Sánchez
lruvalcaba@centrogeo.edu.mx

Colegio de Postgraduados (COLPOS)

Dr. Arturo Pérez Vázquez
parturo@colpos.mx

DISEÑO EDITORIAL

Producción y cuidado editorial

Lic. Enrique Rentería Méndez y

Lic. Jesús Fuentes González

Ilustración de portada y maquetación

Lic. María Fernanda Gutiérrez Orozco y

Mtro. Jorge Enrique Yong Orozco.

CONTENIDO



Desarrollo y procesos científicos y tecnológicos

- 13 Los agaves del sur y sus fructanos**
Rosa María Camacho Ruiz, Mirna Estarrón Espinosa, Javier Plácido Arrizón Gaviño y Anne Christine Gschaedler Mathis.
- 23 Compuestos fenólicos de especies criollas de frijol de la región Pacífico sur de México**
Lucero Avalos-Flores, Alejandro Escobedo y Montserrat Alcázar-Valle
- 31 El frijol endémico de la región Pacífico sur: color y potencial beneficio a la salud**
Jonhatan Contreras, Óscar Abel Sánchez-Velázquez, David Fonseca-Hernández y Luis Mojica
- 43 Desarrollo de un proceso para la producción de ingredientes funcionales de proteína de frijol**
Arturo Alfaro, Filiberto Ramírez y Luis Mojica
- 53 Acoplamiento molecular de proteínas cristalográficas y modelos construidos de hemaglutinina**
Alma Zúñiga-Lerma, Alfonso Méndez-Tenorio, Juan C. Mateos-Díaz, Alba Adriana Vallejo-Cardona, Flor Yohana Flores-Hernandez, Erika Nahomy Marino-Marmolejo y Jorge Bravo-Madrigal



Alimentación, salud y medioambiente

- 67 Enfermedad renal en la región occidente y Pacífico sur de México: impacto en la sociedad, ciencia y recomendaciones**
Marco Kú Centurión, Luz Aurora Ramírez Ronzón, Zesergio Melo, Pavel H. Lugo Fabres y Tanya A. Camacho Villegas
- 79 Evaluación in vitro del efecto antiviral del Litocoiloleato frente al Virus de Herpes Simplex**
Luis Enrique Puga-Galván, Erika Nahomy Marino-Marmolejo, Flor Yohana Flores-Hernández, Darwin Eduardo Elizondo-Quiroga, Juan Carlos Mateos-Díaz, Ana Daniela Vega-Rodríguez, Ernesto Prado-Montes de Oca, Jorge Gaona-Bernal y Jorge Bravo-Madrigal



Sociedad y sistemas agroalimentarios

- 91 Dolores comunes y sueños colectivos. La experiencia metodológica de una red de tejidos locales agroalimentarios en Guerrero**
Román A. H. Rivas, A. Marussia Serafin Castro, Joaliné Pardo Núñez, María Elena Matías Arcos y Jesús Conrado Ochoa Acosta

- 105 Interconexiones de acceso universal del conocimiento: La experiencia de trabajo en la universidad Ayuuk y el control microbiológico de plagas diseñado en CIATEJ**
María del Lourdes Flores- López, Jonny Navat Enríquez Vara y Genaro Vásquez Vásquez.
- 115 Situación del picudo del agave y alternativas de control en las zonas productoras de mezcal del Pacífico sur**
Jonny Navat Enríquez-Vara, Gabriela I. Salazar-Rivera y Anne Christine Gschaedler-Mathis.
- 125 Saberes y tradiciones que dan identidad y sabor a los mezcales en Guerrero y Oaxaca**
Joaliné Pardo Núñez, Manuel Kirchmayr y Anne Christine Gschaedler Mathis
- 137 Caracterización de agaves endémicos del estado de Chiapas**
Anahí Jobeth Borrás-Enríquez, Jorge Luis González-Escobar y Lorena Moreno-Vilet
- 147 Aspectos nutricionales y sociales del frijol criollo de la región Pacífico sur**
Montserrat Alcázar-Valle, Soledad García-Morales, Luis Alberto Olvera-Vargas, Ever Sánchez-Osorio y Eugenia Lugo Cervantes
- 157 Experiencias y aprendizajes en la difusión de ciencia y tecnología sobre frijol y calabaza en el estado de Guerrero como parte de la apropiación social del conocimiento**
Arturo Alfaro, Filiberto Ramírez, Ignacio Orozco-Ávila, Luis Mojica, y María de Lourdes Flores
- 169 Café: Rompiendo el paradigma de su potencial en la salud, más allá de la bebida**
Gustavo Castillo-Herrera, Mario Alberto Ochoa-Becerra, Juan Carlos Mateos-Díaz y Ever Sánchez
- 181 Caracterización y transformación de mangos de traspatio del sureste mexicano**
Anahí Jobeth Borrás Enríquez, Jorge Luis González Escobar y Lorena Moreno Vilet
- 189 Alianza estratégica para la producción y aprovechamiento del mango en la región Costa Grande de Guerrero**
Martín Fierro Leyva
- 197 Avances y retos en la producción de cultivos en México: caso del agave, café, mango y frijol**
Julia Sánchez Gómez, Yair Romero Romero, Marisol Vázquez Alfaro y Ever Sánchez Osorio
-  *Voces y diálogos divergentes*
- 211 La lucha contra el glifosato y el intento de una transformación en el sistema alimentario mexicano nos costó un secretario: entrevista con Cecilia Elizondo**
María de Lourdes Flores López y Gisela Valdés Padilla



CARTA EDITORIAL

Sean bienvenidas y bienvenidos a Horizontes Transdisciplinarios, la revista digital del Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco (CIATEJ). En CIATEJ planteamos Horizontes Transdisciplinarios como un instrumento de análisis y discusión inter y transdisciplinario sobre los sistemas agroalimentarios, salud, medio ambiente, tecnología y ciencias sociales. Los artículos publicados se orientan hacia el análisis inter y transdisciplinarios vinculados a la incidencia, efectos y cambios sociales a partir de investigaciones científicas, tecnológicas y sociales. Las colaboraciones se sujetan a un estilo de divulgación, con un lenguaje accesible y ensayístico, con la intención de permitir su lectura a todos los lectores que tengan acceso a la revista.

Nuestro primer número aborda, como eje principal, la región Pacífico sur (Chiapas, Oaxaca y Guerrero), cuyos patrones históricos han estado asociados a un rezago en términos de productividad, competitividad, pobreza y afectación a los recursos naturales. Las aportaciones de los autores abordan análisis sobre materias primas de importancia económica y cultural procedentes de esta región: mango, frijol, café y agave. Siendo esta región una de las zonas con mayor biodiversidad y riqueza cultural del país.

Por la relevancia cultural y biodiversidad de los estados de la región Pacífico sur, Horizontes Transdisciplinarios dedica este primer número a los Diálogos horizontales para el desarrollo sostenible de la Región Pacífico sur, que busca llevar a cabo estrategias para el aprovechamiento y valorización de materias primas producidas en la región.

Horizontes Transdisciplinarios está conformada por cuatro secciones principales. La primera sección es Desarrollo y procesos científicos y tecnológicos, en ella se convoca a la publicación de documentos sobre resultados de investigación, proyectos de investigación finalizados o reflexiones en torno a la generación de planteamientos científicos y tecnológicos. En este primer número la conforman cinco artículos. El artículo que abre, Los agaves del sur y sus fructanos, explica la variedad de agaves encontrados en el sur de México, el proceso para extraer sus fructanos y las características químicas estructurales de estos. Los siguientes tres artículos: Compuestos fenólicos de especies criollas de frijol de la región Pacífico sur de México, El frijol endémico de la región Pacífico sur: color y potencial beneficio a la salud y Desarrollo de un proceso para la producción de ingredientes funcionales de proteína de frijol encontraremos un estudio acerca del poder antioxidante y color de los compuestos fenólicos de variedades nativas de frijol de la región Pacífico sur de México, así como una caracterización de especies endémicas de la región y su potencial beneficio a la salud. Por otro lado, se abordará el desarrollo de un proceso para la producción de concentrados de proteína de frijol. La sección cierra con el artículo titulado Acoplamiento molecular de proteínas cristalográficas y modelos construidos de hemaglutinina se presenta la comparación de acoplamiento molecular de dos proteínas creadas con herramientas bioinformáticas a partir de secuencias de hemaglutinina, contra acoplamiento hechos con proteínas de hemaglutinina cristalizadas y descargadas del PDB.

Nuestra segunda sección Alimentación, salud y medio ambiente presenta investigaciones, análisis y reflexiones actuales en torno al tema de la alimentación, salud y medio ambiente a partir de trabajos realizados por investigaciones científicas y tecnológicas, así como por estrategias que converjan entre actividades de investigación e iniciativas. En este número la integran dos artículos. El primer artículo Enfermedad renal en la región occidente y Pacífico sur de México: impacto en la sociedad, ciencia

y recomendaciones describe el impacto de la ERC en la zona del occidente (Jalisco) y del Pacífico sur (Chiapas, Oaxaca y Guerrero) del país, donde la incidencia se ha incrementado debido a factores socioeconómicos que limitan la atención primaria a la salud y conllevan a una detección tardía que se traduce en mayores complicaciones en la población afectada. Por su parte, en Evaluación in vitro del efecto antiviral del Litocoiloleato frente al Virus de Herpes Simplex 1 se realiza un estudio sobre la capacidad antiviral del Litocoiloleato frente al Virus de Herpes simplex 1.

La tercera sección de Horizontes Transdisciplinarios, la más amplia en este número, es Sociedad y sistemas agroalimentarios, en ella se integran propuestas con una perspectiva sociocultural, orientada al análisis, reflexión y estudios de casos. Esta sección se conforma de 11 artículos. El artículo que apertura la sección se titula Dolores comunes y sueños colectivos. La experiencia metodológica de una red de tejidos locales agroalimentarios en Guerrero, en él los colaboradores exponen la experiencia metodológica del proyecto conocido a nivel territorial como Telar (Tejidos Locales Agroalimentarios en Red), muestran las aristas que implica proponer la creación de una Red de colaboración en materia de soberanía alimentaria, energética, hídrica, salud comunitaria y economía solidaria en Guerrero. El artículo Interconexiones de acceso universal del conocimiento: La experiencia de trabajo en la universidad Ayuuk y el control microbiológico de plagas diseñado en CIATEJ describe la experiencia de trabajo, el diálogo, la enseñanza y las acciones que se gestaron entre el Instituto Superior Intercultural Ayuuk y el Centro de Investigación en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco mediante la propuesta del desarrollo de laboratorios comunitarios para el control microbiológico de plagas.

El tema sobre agave es abordado por los artículos Situación del picudo del agave y alternativas de control en las zonas productoras de mezcal del Pacífico sur, donde se describen los daños, biología y algunas alternativas de manejo de los picudos del agave que se observaron en los recorridos de campo realizados de 2018 a 2022 en las principales zonas de producción de mezcal en Oaxaca, Guerrero y Michoacán. Saberes y tradiciones que dan identidad y sabor a los mezcales en Guerrero y Oaxaca hace una revisión de los principales elementos culturales, normativos y tecnológicos que en la actualidad posicionan al mezcal como una bebida con identidad. En Caracterización de agaves endémicos del estado de Chiapas se centra en la identificación y caracterización de tres especies de maguey endémicas del estado de Chiapas como lo son el Agave americana, Agave chiapensis y Agave grijalvensis.

El frijol es uno de los productos ejes de estudio dentro de este número. El objetivo del artículo Aspectos nutricionales y sociales del frijol criollo de la región Pacífico sur fue realizar un recorrido por las zonas productoras de frijol de la región para conocer los aspectos territoriales y sociales que giran en torno a la producción del frijol. El segundo artículo de esta sección que aborda el tema del frijol se titula Experiencias y aprendizajes en la difusión de ciencia y tecnología sobre frijol y calabaza en el estado de Guerrero como parte de la apropiación social del conocimiento tiene como objetivo compartir los resultados de los proyectos tecnológicos financiados por el Consejo Nacional de Humanidades, Ciencia y Tecnología (CONAHCYT) sobre calabaza y frijol con las comunidades productoras de frijol y calabaza, con jóvenes estudiantes y personal académico de centros universitarios del estado de Guerrero como parte de un ejercicio de difusión, divulgación y apropiación social del conocimiento.

Por su parte, Café: rompiendo el paradigma de su potencial en la salud, más allá de la bebida presenta una exploración alternativa e innovadora para el aprovechamiento de las semillas de café, más allá de uso común, considerando la cultura cafetícola en la región Pacífico sur (Chiapas, Guerrero y Oaxaca). La temática sobre mangos se plantea en los artículos Caracterización y transformación de mangos de traspatio del sureste mexicano, el cual se centra en la transformación de cuatro variedades de mango de traspatio, conocidos como Manililla, Payasito, Piña y Kamico en productos artesanales como mermelada, salsa, mango en almíbar, jalea, entre otros; así como el aprovechamiento de los residuos como la cáscara, hueso y almendra para la producción de extractos antioxidantes. El segundo artículo sobre mango, Alianza estratégica para la producción y aprovechamiento del mango en la región

Costa Grande de Guerrero, visibiliza y discute sobre los elementos de organización en comunidades de aprendizajes y de acción territorial de los productores de mango en la Costa Grande de Guerrero. Por último, en un trabajo donde se engloba el estudio de agave, mango, café y frijol, el artículo Avances y retos en la producción de cultivos en México: caso del agave, café, mango y frijol analiza los cambios en la producción y retos de los cultivos agave, café, mango y frijol en México, donde se destaca el papel de los estados Chiapas, Guerrero y Oaxaca en su producción.

La cuarta sección que conforma Horizontes Transdisciplinarios es Voces y diálogos divergentes, donde se reúnen las voces de actores sociales de diferentes sectores de producción (campesinos, emprendedores, productores, comerciantes, organizaciones civiles, jóvenes, mujeres, empresas, gobiernos, entre otros). El documento de esta sección titulado La lucha contra el glifosato y el intento de una transformación en el sistema alimentario mexicano nos costó un secretario. Entrevista con Cecilia Elizondo es una entrevista realizada a la Dra. Cecilia Elizondo en el marco del proyecto CONAHCYT de Ciencia Básica y de Frontera “Prospección sobre la reconfiguración de los sistemas alimentarios a partir de soberanía, derecho humano y justicia alimentaria fortalecida por una política alimentaria fundamentada en justicia social. En ella, las autoras abordan el tema de un futuro alimentario justo, sano y sostenible, puntualizando las modificaciones sustantivas en la política alimentaria, prospectando cambiar el paradigma del modelo de producción, transformación y consumo alimentario actual.

Reiteramos nuestra bienvenida a este espacio de análisis y debate, que sirva como un medio para difundir resultados de proyectos científicos y tecnológicos, así como actividades de incidencia social.

Dr. Luis Alfonso Mojica Contreras
Dr. Gustavo Adolfo Castillo Herrera

Editores en jefe





DESARROLLO Y PROCESOS CIENTÍFICOS Y TECNOLÓGICOS





Los agaves del sur y sus fructanos

**Rosa María Camacho Ruiz^{1*}, Mirna Estarrón Espinosa²,
Javier Plácido Arrizón Gaviño¹ y Anne Christine Gschaedler Mathis¹**

¹ Biotecnología Industrial, Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco, Zapopan, Jalisco, México.

² Tecnología Alimentaria, Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco, Zapopan, Jalisco, México.

* Autor de correspondencia: Rosa María Camacho Ruiz, rcamacho@ciatej.mx

Palabras clave:

Agave, fructanos, fibra soluble, extracción, caracterización.

Resumen

Los agaves acumulan energía a lo largo de su vida, la cual utilizarán para florecer y reproducirse. La manera como los agaves acumulan la energía es sintetizando moléculas complejas llamadas fructanos, cadenas de fructosas unidas por enlaces químicos. Los fructanos del agave se pueden recuperar empleando distintos procesos mecánicos y físicos, de tal manera que los podemos extraer de las plantas, purificar y secar para tener un polvo soluble en agua. Este polvo de fructanos puede servir para la salud intestinal de los humanos y animales dado que se considera como fibra dietética soluble, indispensable para la salud digestiva. En este texto explicaremos cuáles variedades de agaves encontramos en el sur de México, qué procesos podemos usar para extraer los fructanos de estos agaves y, finalmente, mostraremos algunas características químicas estructurales de los fructanos extraídos de agaves de Guerrero, Oaxaca y Chiapas. Se colectaron muestras de *Agave angustifolia*, *Agave americana*, *Agave potatorum*, *Agave cupreata* de los estados de Guerrero, Chiapas y Oaxaca. Se realizó la extracción de azúcares solubles en agua y posteriormente se realizó la caracterización de los azúcares extraídos utilizando metodología de HPLC-SEC. Se observó que el grado de polimerización (GP) promedio osciló entre 8.15 y 21.80. En las muestras analizadas se detectaron porcentajes de fructooligosacáridos (FOS) que oscilaron entre 12 y 78%. Se observó que los azúcares libres son mayoritariamente fructosa (40-80%), seguido de sacarosa (3 - 40%) y glucosa (3-30%). Los agaves del sur muestreados en este proyecto mostraron potencial para obtener de ellos fibras solubles o agavinas mostrando diversidad en el GP y contenido de azúcares libres, encontrando que se pueden obtener productos diferenciados pero también productos similares de los fructanos comerciales de *Agave tequilana*.



Introducción

México es poseedor de una gran diversidad de especies de agaves. Los agaves o magueyes son plantas monocotiledóneas que pertenecen a la familia *Asparagaceae*. Existen más de 200 especies y, particularmente, el centro y sur de México tienen la mayor diversidad de ellas (Mendoza-García, 2007). Los estados de Guerrero, Chiapas y Oaxaca se caracterizan por tener ecosistemas con diversas especies de agaves, algunas especies de interés económico que encontramos en esta región son *Agave angustifolia*, *Agave americana*, *Agave potatorum*, *Agave cupreata* (Mendoza-García, 2007). Generalmente estas especies se utilizan en la región para la producción de bebidas alcohólicas, como el mezcal; sin embargo, los agaves pueden ser aprovechados para otros usos, entre los que se encuentran las fibras digestivas o fructanos de agave.

Los fructanos de agave, también conocidos como agavinas, son moléculas complejas, compuestas por fructosas, unidas entre sí y que, además, se encuentran formando ramificaciones (López *et al.*, 2003). Se ha documentado que los fructanos de agave son útiles para la salud digestiva debido a que funcionan como fibra soluble con capacidad prebiótica (Marquez-Aguirre *et al.*, 2013), esto quiere decir que cuando son ingeridos por una persona los fructanos resisten las enzimas digestivas y son capaces de pasar intactos a los intestinos, donde son usados como alimento por las bacterias benéficas o también conocidas como microbioma intestinal. Tener una adecuada cantidad de bacterias benéficas en el intestino permite una buena salud digestiva y, en general, una mejor salud de las personas.

Los fructanos de agave ya se comercializan en México y en el mundo bajo el nombre comercial de inulina de agave, estos se extraen principalmente de *Agave tequilana*, y comienza a encontrarse también fructanos de *Agave salmiana*, que han sido estudiados respecto de su extracción y uso como estimulantes del sistema inmune (Moreno-Vilet *et al.*, 2014; Plascencia *et al.*, 2022). Los fructanos comerciales de *Agave tequilana* han sido ampliamente caracterizados (Alvarado *et al.*, 2014). Se sabe que los fructanos de agave son una mezcla de moléculas de diferente tamaño o grado de polimerización (DP) y que, dependiendo de su tamaño, tendrán distinto efecto en salud humana, los fructanos de cadena corta tuvieron efecto en ratones con dietas altas en grasa disminuyendo la ganancia de peso (Marquez-Aguirre *et al.*, 2013). Sin embargo, poco se sabe sobre los fructanos de otras especies de agave distintas del *Agave tequilana* y de si es posible su extracción. El estudio realizado a agaves de Oaxaca como *Agave angustifolia* mostró mayor contenido de sacarosa y fructanos de alto peso molecular, mientras que *Agave potatorum* mostró mayor contenido de fructanos de cadena corta (FOS), glucosa y fructosa (Márquez-López *et al.*, 2022). La extracción de los fructanos de agave es relativamente fácil dado que son sustancias solubles en agua, los métodos consisten en molienda, extracción con agua, purificación y secado (López *et al.*, 2017).

Dado el panorama que aquí se aborda, nos planteamos coleccionar agaves del sur del país, particularmente de Guerrero, Chiapas y Oaxaca, con el objetivo de extraer sus fructanos y caracterizarlos utilizando métodos de laboratorio. En este artículo encontrarán la descripción de los agaves muestreados, de los métodos de extracción de sus fructanos y las características estructurales que encontramos en los fructanos extraídos.



Metodología

Agaves muestreados: Se colectaron los corazones o piñas y, en algunos casos, pencas de los siguientes agaves: *Agave angustifolia*, *Agave americana*, *Agave potatorum*, *Agave cupreata* de los estados de Guerrero, Chiapas y Oaxaca (Tabla 1).

Tabla 1. Agaves colectados de la región Pacífico Sur de México

Especie	Región/ Estado
<i>A. angustifolia</i> espadín	Huitzucó, Guerrero
<i>A. cupreata</i>	Chilapa, Guerrero
<i>A. cupreata</i>	Mazatlán, Guerrero
<i>A. cupreata</i> capón	Los amates, Chilapa, Guerrero
<i>A. cupreata</i> capón	Los amates, Chilapa Guerrero
<i>A. potatorum</i>	San Juan del Río, Oaxaca
<i>A. angustifolia</i> espadín	San Juan del Río, Oaxaca
<i>A. angustifolia</i> espadín	San Juan del Río, Oaxaca
<i>A. americana</i> (corazón)	Comitán, Chiapas
<i>A. americana</i> (corazón y penca)	Comitán, Chiapas

Extracción de fructanos

Los fructanos contenidos en los corazones y pencas 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 minutos, seguido de un enfriamiento en hielo hasta 15°C para evitar alguna fermentación o deterioro microbiológico. Los jugos tratados fueron centrifugados a 4000 rpm por 30 min en una centrífuga. El sobrenadante fue recuperado y conservado a -12°C, hasta su secado. El jugo fue deshidratado por aspersion a 170°C, con una temperatura de 65-70°C en la salida del producto. El polvo de fructanos fue envasado en bolsa plástica doble para evitar humectación y conservado para su caracterización.

Caracterización de los fructanos

Cromatografía de exclusión de tamaño (HPLC-SEC): la distribución del grado de polimerización de los fructanos de agave fue realizada usando la metodología reportada por Moreno-Vilet (2017). Las muestras fueron diluidas y filtradas a través de un filtro de 0.45 µm. El sistema cromatográfico consistió en un instrumento Waters e2695 acoplado a un detector de índice de refracción (2414 RI). La fase estacionaria consiste de una columna de exclusión de tamaño Ultrahydrogel DP (7.8 mm d.i. x 300 mm, Waters, Milford, Ma, USA). La fase móvil fue agua MiliQ (18 MΩ) con un pH 5.4. El cálculo de los parámetros de la distribución del peso molecular se realizó con las ecuaciones reportadas por Moreno-Vilet *et al.* (2017). Se tomaron diez muestras de fructanos de agave comerciales extraídos de *Agave tequilana* como contratipo para comparar.



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 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) 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° C 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.

Resultados y discusión

Agaves muestreados

La región Pacífico sur (Guerrero, Chiapas y Oaxaca) fue seleccionada para el muestreo dado que este trabajo se insertó en el marco del proyecto “Estrategias multidisciplinares 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”. Por tanto, este trabajo pretende abonar en el aprovechamiento del agave mezcalero para la producción de fructanos de agave como moléculas para la salud humana.

Los agaves que se muestrearon corresponden a las siguientes especies: *Agave angustifolia*, *Agave americana*, *Agave potatorum*, *Agave cupreata*. Estas especies son de interés económico dado que se usan para la producción de mezcal en la zona de estudio. A continuación, se describen algunas características importantes de cada especie. *Agave angustifolia*, conocido también como agave espadín, es la especie más cultivada en Oaxaca y en otros estados de la cuenca del Pacífico mexicano (Mendoza-García, 2007). Una característica morfológica particular de esta especie son sus hojas largas y angostas, se puede confundir con *A. tequilana*, pero este último tiene un color azulado. *Agave americana*, se conocen distintas variedades de esta especie (americana, oaxacensis, marginata) y, dependiendo de la variedad, se encuentran distintas morfologías. La variedad americana es un agave de gran tamaño, sus hojas son anchas y grandes de color verde blanquecino, se han documentado distintos nombres comunes: blanco, coyote, arroqueño, maguey (Figueredo-Urbina *et al.*, 2021). *Agave potatorum*, también conocido como tobalá o Papalometl (que significa mariposa), es un agave con hojas ovaladas y anchas en la base como alas de mariposa, se distribuye en Oaxaca, Puebla y algunas zonas de Guerrero. *Agave cupreata*, esta especie de agave se localiza principalmente en Guerrero y Michoacán, se caracteriza por sus espinas de color cobre, hojas anchas verde claro, muy dentadas con espinas marcadas en los bordes, se utiliza para la producción de mezcal (Avendaño-Arrazate *et al.*, 2015).

En la Tabla 1 se muestran los agaves que fueron colectados en la región sur de México, en localidades de Comitán, Chiapas; San Juan del Rio, Oaxaca; Huitzucó, Chilapa y Mazatlán, Guerrero.

Método de extracción

El método para extraer los fructanos del agave consiste básicamente en una reducción de tamaño de la muestra, que puede hacerse a nivel industrial con una desgarradora, como la que se usa en la industria del tequila para reducir tamaño. El siguiente paso consiste en una extracción de los azúcares utilizando agua, de preferencia a 80°C. Los siguientes pasos permitirán la eliminación de saponinas, ceras, proteínas, etc., se pueden hacer con un choque térmico, seguido de centrifugación. En la industria se hace una clarificación y una remoción de sustancias distintas de fructanos empleando resinas de intercambio iónico. Finalmente, los fructanos pueden concentrarse por evaporación o de preferencia hacer un secado por aspersión.



En las muestras de agave colectadas del sur se siguió el método que se describe con detalle en la sección de metodología, se lograron obtener fructanos de todas las muestras colectadas y fue posible secar utilizando un secador por aspersión, es importante comentar que si la muestra contiene una elevada concentración de fructosa libre el proceso de secado se ve afectado. En la Figura 1 se describe a grandes rasgos el proceso de extracción de fructanos a partir de agaves.

Figura 1. Proceso para la extracción de fructanos de agave. El agave se procesa crudo.



Caracterización de los fructanos extraídos

Es importante puntualizar que los fructanos de agave son sustancias formadas de fructosas unidas entre sí. En una muestra de fructanos extraídos podemos encontrar una población de moléculas, dicho de otra manera, vamos a encontrar muchas moléculas con distinto número de fructosas unidas entre sí, en el laboratorio lo que podemos ver es el valor promedio. Al número de fructosas que están unidas se le llama grado de polimerización o GP, en el laboratorio se cuantifica de qué tamaño es toda la población de moléculas que existe en la mezcla y se obtiene un promedio (Moreno-Vilet *et al.*, 2017). El GP nos indica las características del fructano de agave, a menor tamaño tendrá una mayor capacidad como prebiótico y a mayor tamaño podrá usarse, por ejemplo, como agente espesante en alimentos (Santiago-García *et al.*, 2017). El GP depende de muchos factores, entre otros, de la especie de agave, de la edad en la que se cosecha, de las características de la región donde fue cultivado, clima, suelo (Arrizón *et al.*, 2010).

En la Tabla 2 se muestran los resultados de la caracterización de los fructanos extraídos de los agaves colectados en la región sur de México, observamos que el GP promedio osciló entre 8.15 y 21.80, llama la atención que el agave capón de Guerrero tiene los valores de grado de polimerización GP más bajos (8 -10), esto podría deberse a que el agave capón (que se ha cortado el escapo floral para que no florezca) comienzan un proceso de autohidrólisis de los fructanos para generar fructosa libre y que pueden usar como energía para florecer.

Tabla 2. Peso molecular y grado de polimerización de diferentes fructanos de Agave extraídos de agaves de la región del pacífico sur de México obtenidos por la técnica de HPLC-SEC.

Especie de agave	M _n (g/mol)	GP _n
<i>A. angustifolia</i> espadín, Huitzuco, Guerrero	3330.94	20.44
<i>A. cupreata</i> Chilapa, Guerrero	2834.08	17.37
<i>A. cupreata</i> , Guerrero	3551.52	21.80
<i>A. cupreata</i> capón, Guerrero	1641.96	10.02
<i>A. cupreata</i> capón, Guerrero	1338.33	8.15
<i>A. potatorum</i> , San Juan del rio, Oaxaca	2528.25	14.87
<i>A. angustifolia</i> , San Juan del rio, Oaxaca	2915.17	17.89
<i>A. angustifolia</i> espadín, San Juan del rio, Oaxaca	2922.71	17.92
<i>A. americana</i> (cabeza), Comitán, Chiapas	2106.70	12.89
<i>A. americana</i> (cabeza-penca), Comitán, Chiapas	1872.76	11.40
<i>A. tequilana</i> , Fructanos comerciales*	2701.58	16.32

M_n=Masa molar promedio en número, GP_n= grado de polimerización promedio en número. *Se analizaron fructanos comerciales de *A. tequilana* como contratipo para comparar.



Por otro lado, los agaves que presentaron grados de polimerización más elevados, es decir, que tienen más unidades de fructosa (20 - 22) unidas, fueron el *A. angustifolia* espadín de Huitzuco y el *A. cupreata*, ambos de Guerrero. En general, los *A. angustifolia* de Oaxaca mostraron mayores (17) GP que los *A. americana* de Chiapas (12). Se observó que los fructanos extraídos de *A. angustifolia* de Oaxaca mostraron GP (17) similares a los que se encuentran para fructanos comerciales de *A. tequilana* (GP 16).

Otro parámetro que se exploró en los agaves del sur es la distribución de tamaños (Figura 2), este parámetro se refiere a en qué proporción encontramos la población de moléculas en la mezcla de fructanos, es decir, qué cantidad tenemos de moléculas grandes y cuántas moléculas pequeñas. Las moléculas pequeñas son aquellas que tienen entre 3 y 10 unidades de fructosa; mientras que los fructanos grandes tienen entre 10 y hasta 40 fructosas unidas (Moreno-Vilet *et al.*, 2017). Cabe aclarar que, en promedio, los agaves estudiados mostraron de 8 a 21 fructosas unidas entre sí (GPn promedio).

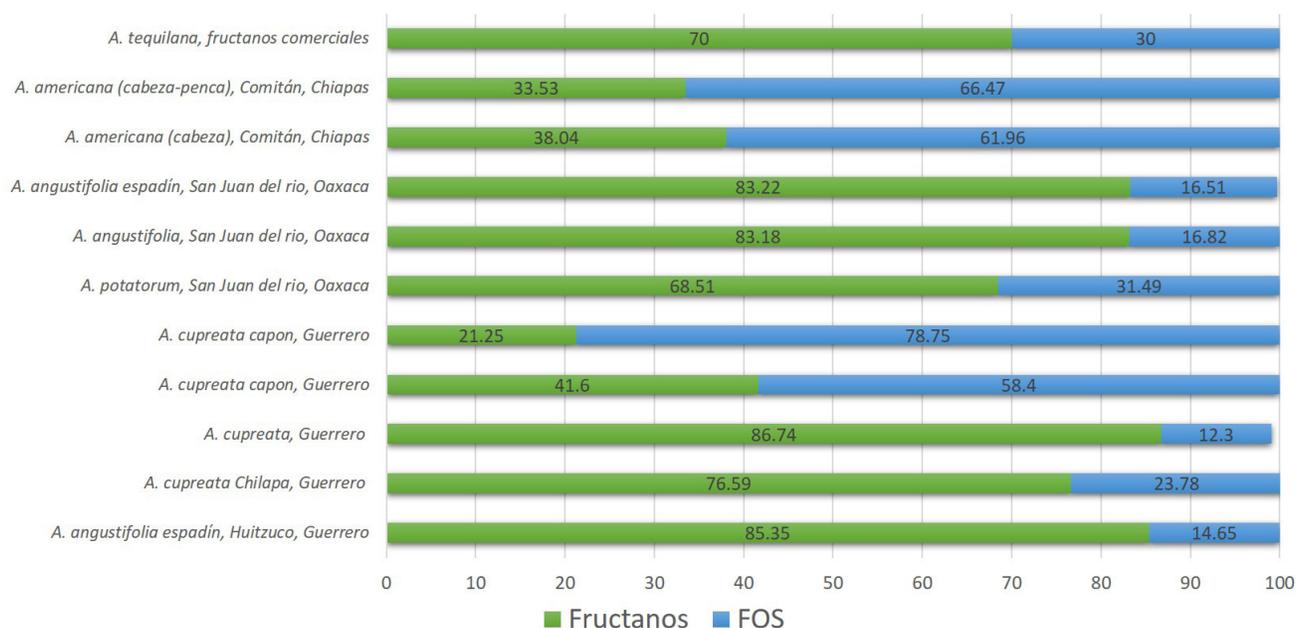


Figura 2. Distribución de tamaños de los fructanos polimerizados. Los porcentajes se muestran en base seca y se refieren a la proporción que guardan entre sí los Fructanos (fructanos con GP mayores a 10) y los FOS (fructooligosacridos de GP entre 3 y 10)

Pero, ¿por qué nos interesa saber cuántos fructanos pequeños, mejor conocidos como fructooligosacáridos (FOS), contiene el agave estudiado? Se ha visto que los fructanos pequeños o FOS son buenos para la salud digestiva, en particular podrían ayudar en problemas de obesidad, se observó una disminución en la ganancia de peso de ratones alimentados con dietas altas en grasa (Márquez-Aguirre *et al.*, 2013). En las muestras analizadas se detectaron porcentajes de FOS que oscilaron entre 12 y 78% (Figura 2), siendo el valor más bajo encontrado para el *A. cupreata* de Guerrero y el más alto en el *A. cupreata* capón, también de Guerrero; esto confirma nuestra hipótesis que se plantea en la sección anterior de que cuando el agave se capa existe una ruptura o hidrólisis de los fructanos para producir moléculas más pequeñas y poder usarlas como energía. Resulta interesante también que los *A. americana* de Chiapas contienen mayor porcentaje de FOS (61 – 66%) que los *A. angustifolia* de Oaxaca o Guerrero (14 -16%). En el caso de los fructanos de agave comerciales de *A. tequilana*, encontramos contenido de FOS del 30%. Similar a los extraídos de Agave *potatorum* de



Oaxaca. Los agaves con alto contenido de FOS pueden ser empleados como prebióticos en distintas formulaciones o como ingredientes altos en fibra con aplicación para la salud digestiva. Por otro lado, los fructanos con alto contenido de fructanos de cadena larga pueden ser empleados como espesantes en formulaciones alimentarias, entre otros usos.

Se analizó también el contenido de azúcares libres, glucosa, fructosa y sacarosa (Figura 3), los resultados que se muestran en la figura 3 están representados en base seca y se muestra la proporción que guardan entre sí los azúcares libres. En general, se observó que los azúcares libres son mayoritariamente fructosa (40-80%), seguido de sacarosa (3 - 40%) y glucosa (3-30%). Los agaves con elevado contenido de fructosa pueden ser destinados a la elaboración de jarabes de agave, que son empleados como edulcorantes por la industria alimentaria y como producto untable a manera de miel por el consumidor final.

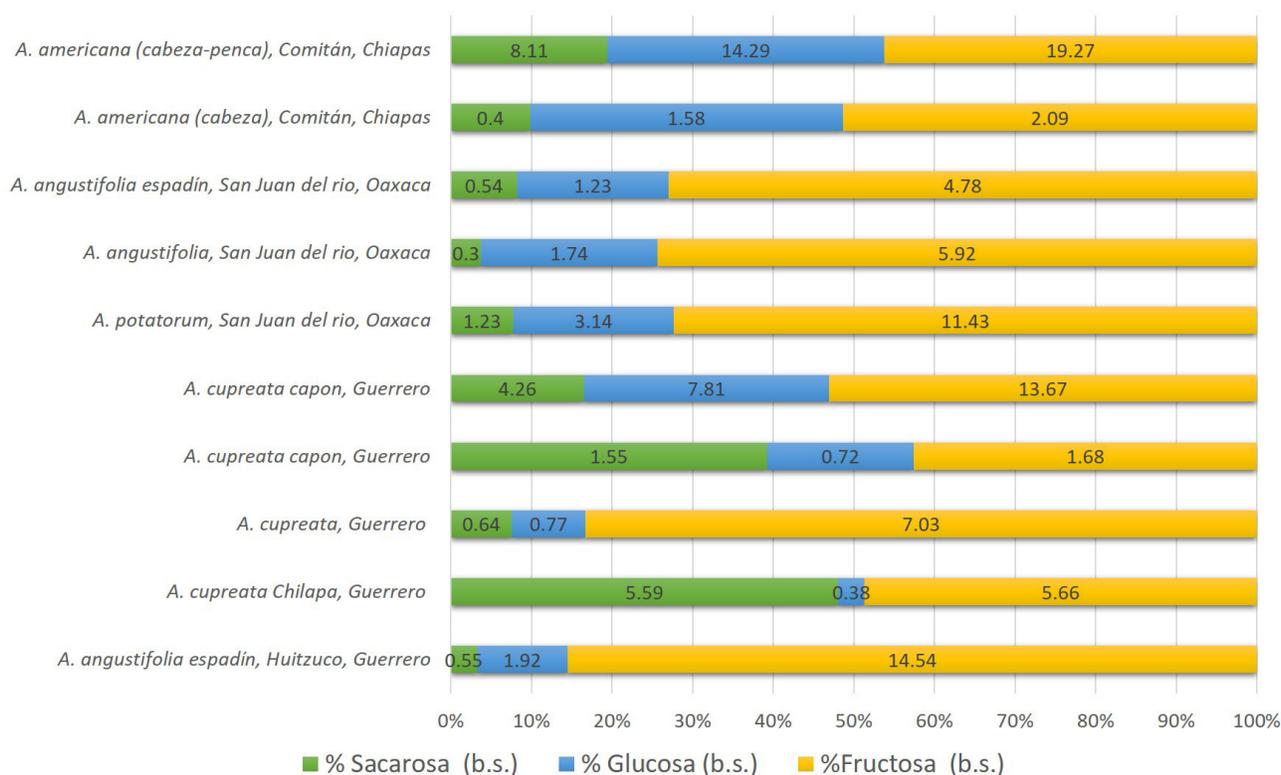


Figura 3. Distribución de azúcares libres, fructosa, glucosa y sacarosa. Los porcentajes se muestran en base seca y se refieren a la proporción que guardan entre sí los azúcares libres.

Conclusión

Los agaves del sur muestreados en este proyecto mostraron un gran potencial para obtener de ellos fibras solubles, mejor conocidas como fructanos de agave o agavinas. Estos agaves representan una alternativa de aprovechamiento de la diversidad de los agaves mezcaleros incrementando el valor agregado de los mismos a través de procesos de extracción de azúcares o fructanos útiles en salud humana. Los fructanos extraídos de *Agave angustifolia*, *Agave americana*, *Agave potatorum* y *Agave cupreata* muestran composiciones de interés por la diversidad que mostraron en el GP y contenido de azúcares libres, encontrando que se pueden obtener productos similares, pero también diferenciados de los fructanos comerciales de *Agave tequilana*. Por otro lado, se concluye que la diversidad de agaves



de la región Pacífico sur podrían tener diversas aplicaciones en las industrias alimentaria y de salud dado la diversidad de composiciones que se encuentran.

Conflicto de intereses

Los autores declaran que la investigación se realizó en ausencia de cualquier relación comercial o financiera que pudiera interpretarse como un potencial conflicto de interés.

Financiamiento

Este trabajo fue financiado por CONACYT en el marco del proyecto FORDECYT 29247 “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”.

Referencias

- Alvarado, C., Camacho, R. M., Cejas, R., & Rodríguez, J. A. (2014). Perfil de fructooligosacáridos de agave comerciales empleando ultrafiltración y cromatografía en capa fina de alta resolución. *Revista mexicana de ingeniería química*, 13(2), 417-427.
- Arrizón, J., Morel, S., Gschaedler, A., & Monsan, P. (2010). Comparison of the water-soluble carbohydrate composition and fructan structures of Agave tequilana plants of different ages. *Food Chemistry*, 122(1), 123-130.
- Avendaño-Arrazate, C. H., Iracheta-Donjuan, L., Gódinez-Aguilar, J. C., López-Gómez, P., & Barrios-Ayala, A. (2015). Caracterización morfológica de Agave cupreata, especie endémica de México. *Phyton* (Buenos Aires), 84(1), 148-162.
- Figueredo-Urbina, C. J., Álvarez-Ríos, G. D., García-Montes, M. A., & Octavio-Aguilar, P. (2021). Morphological and genetic diversity of traditional varieties of agave in Hidalgo State, Mexico. *Plos one*, 16(7), e0254376.
- Lopez, M. G., Mancilla-Margalli, N. A., & Mendoza-Díaz, G. (2003). Molecular structures of fructans from Agave tequilana Weber var. azul. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 51(27), 7835-7840.
- López, M. G., Camacho-Ruiz, R. M., González-Avila, M., Mellado-Mojica, E., Moreno-Vilet, L., Godínez-Hernández, C. I., Aguirre-Rivera, J. R., De la Mora-Amutio, M., Juárez-Flores, B. I., Ramos-Clamont, M. G., Armenta-Corral, R. I., Prado-Ramírez, R., Mendoza-Rivera, M. A., Arrizon, J., Andrade-González, I., Aldrete-Herrera, P. I., Ortiz-Basurto, R. I. (2017). Fructanos de agave: actualidad y perspectivas. En *Panorama del aprovechamiento de los agaves en México* (pp. 70-120). CONACYT, CIATEJ, AGARED.
- Márquez-Aguirre, A. L., Camacho-Ruiz, R. M., Arriaga-Alba, M., Padilla-Camberos, E., Kirchmayr, M. R., Blasco, J. L., & González-Avila, M. (2013). Effects of Agave tequilana fructans with different degree of polymerization profiles on the body weight, blood lipids and count of fecal Lactobacilli/Bifidobacteria in obese mice. *Food & Function*, 4(8), 1237-1244.



- Márquez-López, R. E., Santiago-García, P. A., & López, M. G. (2022). Agave Fructans in Oaxaca's Emblematic Specimens: *Agave angustifolia* Haw. and *Agave potatorum* Zucc. *Plants*, *11*(14), 1834.
- Mendoza-García, A. J. (2007). Los agaves de México. *Ciencias*, (87), 14-23.
- Moreno-Vilet, L., Garcia-Hernandez, M. H., Delgado-Portales, R. E., Corral-Fernandez, N. E., Cortez-Espinosa, N., Ruiz-Cabrera, M. A., & Portales-Perez, D. P. (2014). In vitro assessment of agave fructans (*Agave salmiana*) as prebiotics and immune system activators. *International Journal of Biological Macromolecules*, *63*, 181-187.
- Moreno-Vilet, L., Bostyn, S., Flores-Montano, J. L., & Camacho-Ruiz, R. M. (2017). Size-exclusion chromatography (HPLC-SEC) technique optimization by simplex method to estimate molecular weight distribution of agave fructans. *Food Chemistry*, *237*, 833-840.
- Plascencia, A., Gutiérrez-Mora, A., Rodríguez-Domínguez, J. M., Castañeda-Nava, J. J., Gallardo-Valdez, J., Shimada, H., & Camacho-Ruiz, R. M. (2022). Molecular weight distribution of fructans extracted from *Agave salmiana* leaves. *Botanical Sciences*, *100*(3), 657-666.
- Santiago-García, P. A., Mellado-Mojica, E., León-Martínez, F. M., & López, M. G. (2017). Evaluation of *Agave angustifolia* fructans as fat replacer in the cookies manufacture. *LWT*, *77*, 100-109. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2016.11.028>



Compuestos fenólicos de especies criollas de frijol de la región Pacífico sur de México

Lucero Ávalos-Flores¹, Alejandro Escobedo¹ y Montserrat Alcázar-Valle^{1*}

¹ Tecnología Alimentaria, Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco (CIATEJ), A.C., Zapopan, Jalisco, México.

* Autor correspondiente: Montserrat Alcázar-Valle, ealcazar@ciatej.mx

Palabras clave:

leguminosas,
ingrediente
nutracéutico,
antioxidante,
pigmento.

Resumen

El frijol es una de las legumbres más importantes por su valor nutricional, debido al alto contenido de proteína y fibra. Además, contiene compuestos fenólicos que son benéficos a la salud. El objetivo fue determinar el contenido de compuestos fenólicos, antocianinas y actividad antioxidante de seis especies criollas de frijol de la región Pacífico sur (Chiapas, Guerrero y Oaxaca), con la finalidad de vincular su potencial relación ante la prevención de enfermedades crónico-degenerativas. Los resultados muestran que las variedades procedentes del estado de Guerrero GR-4 (frijol común) y GR-1 (frijol comba) presentaron el mayor contenido de fenoles totales. En antocianinas totales, la muestra GR-4 fue la que presentó una mayor concentración. La muestra CH-11 (frijol gordo) obtuvo un porcentaje de inhibición del radical libre del 96.9% por la técnica de DPPH. En conclusión, las variedades de frijol criollo de la región Pacífico sur analizadas podrían presentar potencial biológico.

Introducción

Los radicales libres son moléculas que producimos diariamente en nuestras células y están asociadas a la generación de especies reactivas de oxígeno y de nitrógeno, ambas son responsables del daño oxidativo de las células. Sin embargo, existe un sistema de defensa antioxidante que limita los efectos nocivos de estos radicales. El desequilibrio entre la generación de los radicales libres y las defensas antioxidantes lleva a tener un proceso denominado estrés oxidativo, que puede ocasionar un daño celular, generando alteraciones fisiológicas que posteriormente conllevan a enfermedades cardiovasculares, diabetes, obesidad o inclusive cáncer (Ganesan & Xu, 2017; Moreno-Valdespino *et al.*, 2020). En México, en los últimos años se han observado cifras alarmantes de estos padecimientos. En especial la obesidad, de acuerdo con la Encuesta Nacional de Salud y Nutrición 2018, del total de adultos de 20 años y más, 39.1% tienen sobrepeso y 36.1% obesidad; mientras que los niños de 0 a 4 años, el 22.2% tiene riesgo de sobrepeso y aquellos de 5 a 11 años, el 35.6% presenta esta condición (ENSANUT, 2018).



La obesidad está asociada con un aumento en la producción de adipocitocinas proinflamatorias en el tejido graso, estas son proteínas que inducen la producción de especies reactivas de oxígeno y aumentan el estrés oxidativo, lo que desencadena una respuesta inflamatoria en todo el cuerpo (Moreno-Valdespino *et al.*, 2020). El ejercicio regular y los patrones de alimentación saludables son esenciales para contrarrestar estos efectos (Kánter Coronel, 2021). Particularmente, el consumo frecuente de alimentos ricos en antioxidantes naturales -como las legumbres- se ha asociado con un mejor manejo de la obesidad al disminuir el estrés oxidativo y reducir los niveles de lípidos. Este efecto está relacionado con las actividades antioxidantes de los compuestos fenólicos propios de las legumbres.

Dentro de las legumbres, el frijol es una de las más consumidas a nivel mundial. En México las especies más cultivadas son: el frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.), el frijol ayocote (*Phaseolus coccineus* L.), el frijol comba (*Phaseolus lunatus* L.), el frijol gordo o ibes (*Phaseolus polyanthus* L.) y el frijol tépari (*Phaseolus acutifolius* L.). De acuerdo con la Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural, la producción de frijol durante el ciclo primavera-verano 2022, los estados de la región Pacífico sur (Chiapas, Oaxaca y Guerrero) formaron parte de los diez estados con la mayor producción de frijol en el país (SIAP, 2022).

El frijol posee un alto contenido de proteína, fibra dietética, y como compuestos bioactivos posee grandes concentraciones de compuestos fenólicos, tales como antocianinas (Hsieh-Lo *et al.*, 2020), presentes en la cascarilla. Las antocianinas, en el reino vegetal, son las responsables de la pigmentación naranja, rojo, rosa, violeta y azul. En años recientes se ha demostrado que los compuestos fenólicos manifiestan diversos potenciales beneficios a la salud, incluyendo actividad antiinflamatoria, antimicrobiana, anticancerígena, antidiabéticas y antioxidante (Guzmán-Figueroa, Ortega-Regules & Anaya-Berrios, 2010). Este estudio tuvo como objetivo obtener un extracto purificado rico en compuestos fenólicos de la cascarilla de seis variedades de frijol criollo de los estados de Chiapas, Guerrero y Oaxaca, así como determinar el contenido de compuestos fenólicos y antocianinas, y evaluar la actividad antioxidante.

Materiales y métodos

Descascarillado del frijol

El descascarillado se realizó a seis variedades de frijol criollo de los estados de Guerrero, Chiapas y Oaxaca (Figura 1).

Se remojó el frijol en agua destilada en una relación de cinco partes de frijol por seis partes de agua a 40 °C entre 4 a 6 h. Posteriormente, se secó el frijol en horno de convección a 50 °C por 6 h. Para desprender la cascarilla del cotiledón se utilizó un descascarillador eléctrico (Modelo piloto, CIATEJ, México).

Rendimiento de Cascarilla y de Extractos Purificados Ricos en Compuestos Fenólicos

Muestra	Cascarilla (g) / Frijol (kg)	Extractos (mg) / Frijol (kg)
Frijol común		
GR-4	65	318
CH-9	72	252
OX-13	52	102
Frijol comba		
GR-1	30	42
Frijol ayocote		
CH-7	20	60
Frijol gordo		
CH-11	48	49

Figura 1. Nombre Clave y Especie de las Muestras de Frijol de Guerrero, Chiapas y Oaxaca.



Extracción y purificación de antocianinas

La cascarilla de cada muestra de frijol fue molida y mediante lixiviación convencional con una solución de etanol/agua/ácido fórmico (70:29.7:0.3, v/v) se obtuvo un extracto rico en compuestos fenólicos. Posteriormente, para su conservación el extracto se deshidrató en frío y se almacenó en congelación hasta el momento de su purificación.

El extracto se rehidrató con la misma solución etanólica, previamente mencionada. Posteriormente, la solución se colocó en una columna de separación por gravedad empacada con resina comercial (Amberlite XAD-7) con el fin de retirar azúcares, compuestos fenólicos pequeños y otros elementos para obtener un extracto purificado rico en compuestos fenólicos complejos como las antocianinas. El extracto purificado rico en compuestos fenólicos se concentró, deshidrató en frío y se almacenó a -18°C hasta su análisis.

Cuantificación de fenoles totales

La cuantificación de fenoles totales se llevó a cabo por el método colorimétrico de Folin-Ciocalteu (Marina *et al.*, 2008). Los resultados se expresaron en miligramos de equivalentes de ácido gálico por gramo de extracto (mg EAG/g).

Determinación de antocianinas totales

El contenido de las antocianinas totales se realizó mediante el método de diferencia de pH (AOAC International, 2006). Este es un método colorimétrico que se basa en la transformación estructural de las antocianinas con el cambio de pH (Martínez-Cruz *et al.*, 2011).

Determinación de la actividad antioxidante

La actividad antioxidante se evaluó con el método basado en la molécula 2,2- difenil-1-picrilhidracilo (DPPH). Este método de evaluación consiste en mezclar el DPPH, un radical libre estable, con una muestra que le dona un átomo de hidrógeno para que se transforme en su forma reducida. Al momento de reducir el DPPH, la solución pierde su color violeta original. El porcentaje de la pérdida del color es proporcional a la actividad antioxidante de nuestra muestra (Martínez-Cruz *et al.*, 2011).

Análisis estadístico

Los resultados se presentan como promedio \pm error estándar del promedio (SEM). El programa estadístico Statgraphics Centurion XVI v15.2.06 (Statistical Graphics Corp, The Plains, VA, EE. UU.) fue empleado para comparar los resultados de antocianinas, polifenoles totales y actividad antioxidante a través de un análisis de varianza (ANOVA) seguido de la prueba de diferencia mínima significativa (LSD).

Resultados y discusión

Rendimiento de cascarilla y de los extractos

El rendimiento más elevado en cuanto a la cascarilla de frijol corresponde a la muestra CH-9 (frijol común) con 72 g por cada kilogramo de frijol (Tabla 1). Mientras que el menor rendimiento pertenece a la muestra CH-7 (frijol ayocote) con un valor de 20 g de cascarilla por kilogramo de frijol. Entre las



posibles razones de la diferencia en los rendimientos se encuentra el tamaño del frijol y la facilidad con la que se desprende la cascarilla de los granos, así como las pérdidas de cascarilla durante el proceso de descascarillado. Respecto al rendimiento del extracto purificado rico en compuestos fenólicos, el mayor rendimiento fue de 318 mg por kilogramo de frijol, perteneciente a la muestra GR-4 (frijol común). Mientras que el rendimiento más bajo se observó en la muestra GR-1 (frijol comba) con un valor de 42 mg de extracto por kilogramo de frijol.

Fenoles totales

Los resultados obtenidos de la cuantificación de fenoles totales de los extractos purificados de la cascarilla del frijol evidencian que las muestras provenientes del estado de Guerrero fueron las que presentan mayor contenido de fenoles totales con una concentración de 70.5 mg EAG/g para GR-4 y 69.3 mg GAE/g para GR-1. En cambio, la menor concentración fue observada por la muestra OX-13 (frijol común), con 21.3 mg GAE/g. El presente trabajo obtuvo una mayor concentración de fenoles totales en el frijol ayocote (66.6 mg GAE/g) comparado con lo reportado por Garzón (2019). Dicha autora reportó concentraciones que oscilaron entre 19.9 y 29.6 mg GAE/g en variedades de frijol ayocote. Además, al comparar los resultados obtenidos con los reportados por García (2016) es discrepante en las variedades de frijol comba (GR-1), debido a que la concentración obtenida en el presente estudio fue de 69.3 mg GAE/g, en tanto, lo reportado por García (2016) fue de 248.9 mg GAE/g en variedades provenientes de la región mixteca en el estado de Oaxaca.

Antocianinas totales

Los resultados obtenidos para la concentración de antocianinas totales se muestran en la Tabla 2. Comparando las muestras, se observó que las muestras GR-4 (frijol común) y GR-1 (frijol comba) mostraron la mayor concentración de antocianinas totales. Esto era de esperarse, ya que las variedades de frijol negro comúnmente presentan los mayores niveles de antocianinas (Moreno-Valdespino *et al.*, 2020). Por el contrario, la muestra CH-11 procedente de Chiapas mostró un contenido nulo de antocianinas. Además, se observó que las concentraciones de antocianinas obtenidas en las variedades CH-9 y OX-13 son similares a las reportadas por Garzón (2019).

Actividad antioxidante

Los porcentajes de inhibición de DPPH de las muestras analizadas rondaron entre 22.8 a 98.4 %. Los mayores porcentajes de inhibición se observaron en la muestra CH-11 (frijol gordo), con 98.4 %. Enseguida, con resultados similares, las muestras GR-4 (frijol común) y GR-1 (frijol comba) procedentes de Guerrero mostraron porcentajes de inhibición de 91.0 y 90.1 %, respectivamente (Figura 2). En un estudio previo, la harina de las muestras GR-4 y GR-1 mostraron una correlación positiva entre el contenido de antocianinas y el potencial antioxidante (Alcázar-Valle *et al.*, 2021). En otras palabras, es probable que las antocianinas sean las responsables de la mayor actividad antioxidante en los frijoles negros. Mientras tanto, el potencial antioxidante de las muestras restantes se puede deber a la presencia de otros compuestos fenólicos como la quercetina, kaempferol, genisteína, entre otros (Alcázar-Valle *et al.*, 2020; Yang *et al.*, 2018). El consumo frecuente de estas especies de frijol podría ayudar a prevenir y controlar no solo la obesidad, sino otras enfermedades crónicas como diabetes, cáncer y enfermedades del corazón. Además, la incorporación de estos extractos en alimentos como suplementos podría ser una estrategia paralela para generar valor agregado al frijol criollo de los estados de Guerrero, Chiapas y Oaxaca.



Tabla 2. Potencial Antioxidante de los Extractos Purificados Ricos en Compuestos Fenólicos

Fenoles Totales y Antocianinas de Extractos Purificados Ricos en Antocianinas

Muestra	Fenoles totales (mg EAG/g)	Antocianinas (mg EC3G/g)
Frijol común		
GR-4	70.5 ± 19.8 ^a	289.0 ± 106.4 ^a
CH-9	37.0 ± 0.1 ^{ab}	6.25 ± 2.4 ^b
OX-13	21.3 ± 1.0 ^b	3.91 ± 2.2 ^b
Frijol comba		
GR-1	69.3 ± 10.3 ^a	143.4 ± 14.5 ^{ab}
Frijol ayocote		
CH-7	66.6 ± 7.9 ^a	14.09 ± 0.03 ^b
Frijol gordo		
CH-11	39.9 ± 0.9 ^{ab}	ND

Nota. Los valores son promedio ± SEM. Diferentes letras indican una diferencia significativa ($p < 0.05$) dentro de una columna utilizando un ANOVA y una prueba de LSD. EAG = equivalentes de ácido gálico; EC3G= equivalentes de cianidina 3 glucósido.; ND = no detectado;

Conclusión

Este trabajo representa un preámbulo hacia la revalorización del frijol criollo de la región Pacífico sur, una zona que presenta gran desigualdad socioeconómica. A través de este tipo de proyectos se impulsa el desarrollo científico y social de la región. Los resultados obtenidos en este proyecto respecto al frijol común, frijol ayocote, frijol comba y frijol gordo resultan favorables para la selección de especies de frijol destinadas al consumo humano que pueden ser empleados como ingredientes nutraceuticos en la industria alimentaria.

Conflicto de intereses

Los autores declaran que la investigación se realizó en ausencia de cualquier relación comercial o financiera que pudiera interpretarse como un potencial conflicto de interés.



Financiamiento

Esta investigación fue financiada por el Fondo Institucional de Fomento Regional para el Desarrollo Científico, Tecnológico y de Innovación (FORDECYT) del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT). Número de proyecto: 292474-2017.

Agradecimientos

Damos gracias a los productores de frijol y a los líderes de las comunidades por permitirnos adquirir las muestras. Asimismo, agradecemos el apoyo del Fondo Institucional de Fomento Regional para el Desarrollo Científico, Tecnológico y de Innovación (FORDECYT) del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT). Número de proyecto: 292474-2017.

Referencias

- 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 (Switzerland)*, *11*(11). <https://doi.org/10.3390/agriculture11111031>
- 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*(15). <https://doi.org/10.3390/molecules25153528>
- Ganesan, K., & Xu, B. (2017). Polyphenol-rich dry common beans (*Phaseolus vulgaris* L.) and their health benefits. *International Journal of Molecular Sciences*, *18*(11). <https://doi.org/10.3390/ijms18112331>
- García, Y. (2016). *Compuestos fenólicos y actividad antioxidante en testa y grano de 54 poblaciones nativas de frijol común (Phaseolus vulgaris L.)* [tesis de maestría]. Universidad Veracruzana. <https://www.uv.mx/mca/files/2018/01/L.-N.-Yatzil-Denih-Garcia-Diaz.pdf>
- Garzón García, A. K. (2019). *Polifenoles, aminoácidos y actividad antioxidante en ejote y flor de poblaciones nativas de Phaseolus vulgaris L. y P. coccineus L* [tesis de maestría]. Universidad Veracruzana. <https://cdigital.uv.mx/bitstream/handle/1944/50803/GarzonGarciaAlma.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Guzmán-Figueroa, M. P., Ortega-Regules, A., & Anaya-Berrios, C. (2010). Piranoantocianinas modificaciones estructurales de antocianinas. *Temas Selectos de Ingeniería de Alimentos*, *1–4*, 84–95. [http://www.udlap.mx/WP/tsia/files/No4-Vol-1/TSIA-4\(1\)-Guzman-Figueroa-et-al-2010.pdf](http://www.udlap.mx/WP/tsia/files/No4-Vol-1/TSIA-4(1)-Guzman-Figueroa-et-al-2010.pdf)
- 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), 703–703. <https://doi.org/10.3390/foods9050655>
- Kánter Coronel, I. (2021). México: Un cambio de estrategia para su erradicación. *Magnitud Del Sobrepeso y Obesidad En México: Un Cambio de Estrategia Para Su Erradicación*, *197*, 1–24.



- Lee, J., Durst, R. & Wrolstad, R. (2005). AOAC 2005.02: Total Monomeric Anthocyanin Pigment Content of Fruit Juices, Beverages, Natural Colorants, and Wines- pH Differential Method. En *Official Methods of Analysis of AOAC International* (pp. 37-39). AOAC International.
- Marina, D., Avella, G., Alberto, C., García, O., & Cisneros, A. M. (2008). *Medición de fenoles y actividad antioxidante en malezas usadas para alimentación animal*. Simposio de Metrología, 1–5. http://cenam.mx/simposio2008/sm_2008/memorias/M2/SM2008-M220-1108.pdf
- Martínez-Cruz, N. del S., Arévalo-Niño, K., Verde-Star, M. J., Morales, C. R. M., Oranday-Cárdenas, A., Adriana Núez-González, M., & Eufemia Morales-Rubio, M. (2011). Antocianinas y actividad anti radicales libres de *Rubus adenotrichus* Schltdl (zarzamora). *Revista Mexicana de Ciencias Farmaceuticas*, 42(4), 66–71.
- Moreno-Valdespino, C. A., Luna-Vital, D., Camacho-Ruiz, R. M., & Mojica, L. (2020). Bioactive proteins and phytochemicals from legumes: Mechanisms of action preventing obesity and type-2 diabetes. *Food Research International*, 130(February 2019), 108905. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2019.108905>
- SIAP. (2022). *Anuario Estadístico de la Producción Agrícola*. <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/>
- Yang, Q., Gan, R., Ge, 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*, 0, 1–22. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12391>



El frijol endémico de la región Pacífico sur: color y potencial beneficio a la salud

Jonhatan Contreras, Óscar Abel Sánchez-Velázquez, David Fonseca-Hernández y Luis Mojica*

Tecnología Alimentaria, Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco (CIATEJ),
Zapopan, Jalisco, México

* Autor de correspondencia: lmojica@ciatej.edu.mx

Palabras clave:

antocianinas,
fenólicos,
pigmentos,
potencial
biológico.

Resumen

El frijol negro (*Phaseolus vulgaris* L.) es la variedad más producida y consumida en el sur del país. La región Pacífico sur, integrada por Chiapas, Oaxaca y Guerrero, posee una gran diversidad biológica de especies de frijol, las cuales han sido poco estudiadas. Este trabajo tuvo como objetivo comparar 15 variedades de frijol negro de esta región a través del contenido de antocianinas, compuestos fenólicos y taninos, así como del color. Se encontraron valores entre 4 y 10 mg de equivalentes de cianidin-3-glucósido (EC3G) por gramo de cascarilla para el contenido de antocianinas. Así mismo, se obtuvieron valores entre 38 y 65 para la intensidad de los colores rojo, verde y azul generando distintas tonalidades de color negro. El contenido de fitoquímicos asociados al color de estas variedades de frijol es un indicador del potencial beneficio del consumo de frijol en el mejoramiento de la salud y la prevención de enfermedades.

Introducción

El frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) es una leguminosa domesticada en Mesoamérica hace aproximadamente 8,000 años, que posteriormente fue introducida para su cultivo al Centro y Sudamérica (Hernández-López *et al.*, 2013; SADER, 2022). Los granos de frijol, o simplemente llamados “frijoles”, se desarrollan en una vaina llamada “ejote” que al secarse se abre para liberar entre 5 y 8 semillas.

Al inicio de su domesticación, el frijol fue cultivado junto a otras plantas de interés agronómico como maíz (*Zea mays*), calabazas (*Cucurbita spp.*), amarantos (*Amaranthus spp.*), chiles (*Capsicum annum*), tomates (*Solanum lycopersicum*), entre otras, bajo un sistema agroproductivo conocido como “milpa”. La milpa fue la manera más común de cultivo de frijol hasta hace unos pocos siglos cuando se popularizó su monocultivo (Méndez-Benavides *et al.*, 2018).

Actualmente en el mundo se conocen cerca de 150 especies de frijol, de las cuales 58-70 se desarrollan de manera natural o artificial en México (CONABIO, 2020), siendo las variedades amarillo, blanco, morado, bayo, pinto, moteado y negro del frijol común las que se cultivan en México con mayor frecuencia (FIRA,



2015). En México, el cultivo de frijol común alcanzó 1 690 000 hectáreas durante el 2021, lo que significó una disminución del 1.3% respecto al año anterior (SADER, 2022). Sin embargo, se estimó un volumen de producción de 1 289 000 toneladas, un 22% mayor al 2021, lo que coloca a México como el séptimo productor a nivel mundial (SADER, 2022). El frijol representa actualmente el 85.2% de la producción nacional de leguminosas secas, completando el resto con soya, garbanzo, habas, chícharo, entre otros.

A pesar de que desde la década de 1980 y hasta el año 2015 se observó una tendencia a la baja en el consumo de frijol a nivel nacional (FIRA, 2015), a partir de ese año se ha popularizado nuevamente su consumo, donde gracias a las nuevas tendencias de alimentación más saludable, diversificación de la dieta y rescate de alimentos originarios se ha observado un aumento constante en la demanda de esta legumbre, incluyendo los frijoles negros del sur de México (SADER, 2023). Para el 2017 el consumo per cápita de frijol era de 9.9 kg, pero para el 2020 alcanzó hasta los 11 kg por habitante (SAGARPA, 2017; SADER, 2022); sin embargo, aún está lejos de los 16 kg que se consumían por los mexicanos en los años 80 (FIRA, 2015).

Estados como Zacatecas, Sinaloa, Durango y Chihuahua concentran el 65% de la producción nacional, donde más del 93% de la producción se conforma por algunas pocas variedades y cultivares de frijol como pinto, mayocoba, flor de mayo, flor de junio, garbancillo, manzano, negro San Luis y negro Querétaro; el porcentaje restante corresponde a genotipos menos populares (SADER, 2019). La región Pacífico sur de México está integrada por los estados de Chiapas, Oaxaca y Guerrero y posee la mayor diversidad genética de frijoles endémicos en el país. Sin embargo, sólo Chiapas se encuentra entre los principales productores de frijol con una superficie de 114,613 hectáreas y 62,217 toneladas cosechadas (76.4% correspondió a variedades de frijol negro y el 24.6% restante a variedades de otros colores, exceptuando colores blancos y claros) con un valor de 838 millones de pesos (SIAP, 2020). Lo anterior se puede explicar considerando la situación agronómica de la mayoría de los genotipos de frijol presentes en la zona ya que estos suelen producirse sólo como cultivo de subsistencia, de traspatio y/o de temporal para el consumo local, lo que hace que sus volúmenes de producción y cosecha sean bajos (INIFAP, 2021).

La variedad de frijol negro es apreciada por muchas culturas originarias de los estados del Pacífico sur de México por sus características agronómicas, nutricionales y sensoriales, por lo que las comunidades han domesticado, cuidado y preservado especies de frijol negro que sólo se encuentran en la zona (Alcázar-Valle *et al.*, 2022; Contreras *et al.*, 2020), lo que hace a esta zona especialmente rica en estos frijoles, cuyas semillas forman parte del patrimonio biocultural de estos pueblos originarios. Sin embargo, la información sobre la producción neta y el impacto agroeconómico de las variedades endémicas de frijol negro en esta región es escasa y requiere de un consenso para conocer cifras más precisas. Además, recientes estudios indican que estos frijoles, no sólo son nutritivos, de alto valor gastronómico y de sabor agradable, sino que también son ricos en compuestos bioactivos como compuestos fenólicos, que son reconocidos como pigmentos naturales con grandes beneficios a la salud (Alcázar-Valle *et al.*, 2022; Flores-Medellín *et al.*, 2021; Fonseca-Hernández *et al.*, 2020, 2021; Mojica *et al.*, 2016, 2017a, 2017b, 2018; Ramos-Lopez *et al.*, 2020; Valdespino *et al.*, 2019).

Una de las razones por las que el frijol negro es apreciado en la gastronomía local es por su sabor y color, este último se debe principalmente a la presencia de compuestos como las antocianinas (Fonseca-Hernández *et al.*, 2020; Mojica *et al.*, 2017a, 2017b). Las antocianinas son pigmentos naturales ampliamente distribuidos en el reino vegetal responsables de los colores llamativos de granadas, uvas, fresas, arándanos y zarzamoras, pero también de los tonos oscuros del frijol negro (Speer *et al.*, 2020).

Debido a que las antocianinas y otros compuestos como los taninos y en general los compuestos fenólicos presentes en estas semillas poseen potencial preventivo contra enfermedades no transmisibles, se recomienda el consumo de frijol negro como una fuente de antioxidantes que pudiera auxiliar en la prevención y tratamiento de enfermedades como la diabetes tipo 2, el cáncer y problemas cardiovasculares



(Alcázar-Valle *et al.*, 2022; Flores-Medellín *et al.*, 2021; Fonseca-Hernández *et al.*, 2020, 2021; Mojica *et al.*, 2016, 2017a, 2017b, 2018; Ramos-Lopez *et al.*, 2020).

El presente trabajo tuvo como objetivo comparar 15 variedades de frijol negro de la región Pacífico sur a través del contenido de antocianinas, compuestos fenólicos y taninos, así como del color y su potencial antioxidante. Además, el conocer y difundir la información generada sobre los compuestos fenólicos presentes en variedades de frijoles endémicas.

Metodología

En este apartado se detallan los métodos o procedimientos con los cuales fue posible obtener los resultados que se presentan en el trabajo.

Preparación de la muestra y obtención de extractos de cada variedad de frijol

Se utilizaron 15 variedades de frijol negro endémico de los estados de Chiapas, Oaxaca y Guerrero para el estudio. Una muestra de frijol de cada una de las variedades fue descascarillada manualmente y la cascarilla fue molida y cernida. Se prepararon dos extractos a partir de la cascarilla molida. Se obtuvo un extracto mezclando la cascarilla con metanol por 4 horas; posteriormente se obtuvo otro extracto mezclándola con etanol acidificado durante 1 hora. A partir de estos dos extractos se procedió a determinar el contenido de fitoquímicos.

Cuantificación de compuestos fenólicos

Los compuestos fenólicos se cuantificaron utilizando el método Folin-Ciocalteu reportado por Mojica *et al.* (2015). El extracto metanólico de cada variedad se mezcló con el reactivo Folin-Ciocalteu y carbonato de sodio al 20%. Posteriormente, se determinó la absorbancia a 690 nanómetros con un espectrofotómetro UV-visible. Los resultados se reportan como miligramos equivalentes de ácido gálico (EAG) por gramo de cascarilla.

Cuantificación de antocianinas

Las antocianinas se determinaron por el método de pH diferencial (Método oficial AOAC 2005.02). Los extractos etanólicos se analizaron por separado con dos tampones con valores de 1.0 y 4.5 para el pH, respectivamente. Se tomaron 200 microlitros y se procedió a leer la absorbancia a 520 y 700 nanómetros usando un espectrofotómetro UV-visible. Los resultados se expresaron en miligramos de EC3G por gramo de cascarilla.

Cuantificación de taninos

Los taninos se cuantificaron utilizando el método descrito por Mojica *et al.* (2015). Los extractos metanólicos fueron mezclados con una solución de metanol acidificado y 100 μ l de una solución de vainillina. Finalmente, se procedió a medir la absorbancia a 500 nanómetros con un espectrofotómetro UV-visible. Los resultados fueron expresados como miligramos de equivalentes de catequina (ECA) por gramo de cascarilla.

Medición del color

El color de cada semilla de frijol se midió utilizando un colorímetro y se determinaron los parámetros del espacio de color CIELAB L^* , a^* y b^* . Estos datos fueron convertidos al sistema RGB (red, green and blue) a través del portal Color Converter, de donde fueron obtenidos los valores y los colores correspondientes que son presentados en la Tabla 1.



RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Contenido de compuestos fenólicos

En la Figura 1 se presentan los resultados para la cuantificación de los compuestos fenólicos presentes en las variedades de frijol endémicas de la región Pacífico sur. De manera general, el rango fue desde 7 hasta 33 mg EAG/g cascarilla. La variedad OX-04 fue la que exhibió un mayor contenido de estos compuestos, mientras que la GR-10 fue la que presentó un contenido menor.

Las diferencias en los resultados de los análisis de compuestos fenólicos para estas variedades pueden deberse a que, como se conoce, el desarrollo de los metabolitos secundarios en las plantas depende de diversos factores como lo son: el tipo de suelo, el ambiente, la temperatura, la calidad de agua, el estrés externo e interno de la planta, entre otros (FIRA, 2015). Para el caso del frijol, el contenido de compuestos fenólicos varía de acuerdo con el lugar de donde fue obtenida la variedad ya que las condiciones diversas de nuestro país han permitido el desarrollo de variedades regionales y endémicas durante varios años (De los Santos Ramos *et al.*, 2017; Delgado-Salinas & Gama-López, 2015).

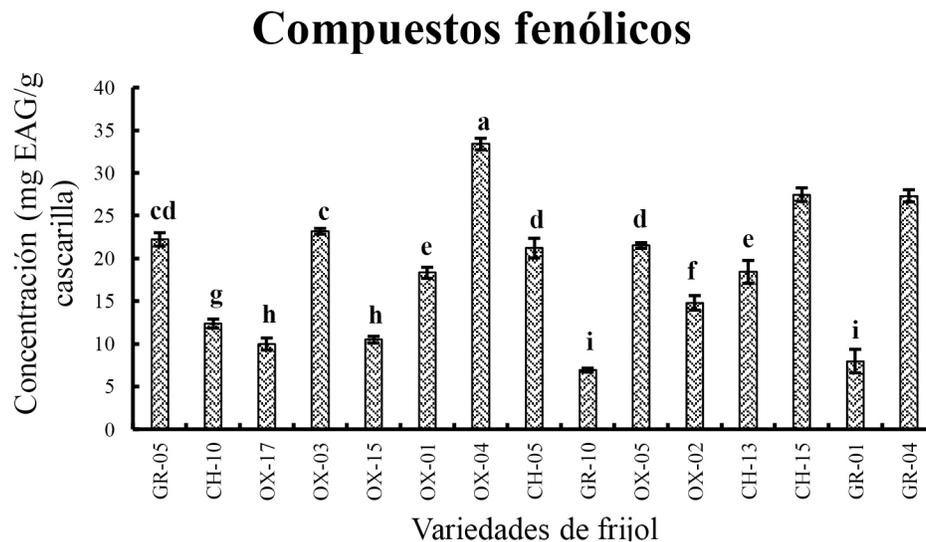


Figura 1. Cuantificación de compuestos para las variedades de frijol endémico de los estados de Chiapas, Oaxaca y Guerrero. Equivalentes de ácido gálico (EAG). Los resultados se muestran como la media \pm desviación estándar de dos muestras independientes. Las letras minúsculas indican diferencias significativas entre grupos basados en la prueba de Tukey ($p < 0.05$).

Los resultados obtenidos en este trabajo fueron dos veces más altos en el contenido de compuestos fenólicos para algunas variedades con respecto a Mojica *et al.* (2015), que reportaron valores en un rango de 6 – 16 mg EAG/mg cascarilla en frijol de variedades negro, pinto, flor de junio, entre otros. Gan *et al.* (2016) reportaron valores entre 1 – 57 mg EAG/mg peso seco que, comparado con nuestros resultados, contienen un rango más amplio al encontrar valores tanto más altos como más bajos.

Contenido de antocianinas

La Figura 2 muestra los resultados de la cuantificación para antocianinas. El rango en el que se muestran los resultados varía desde 4 hasta 10 mg EC3G/g cascarilla. La variedad con mayor contenido de antocianinas fue GR-05 y, por otro lado, la variedad con menor contenido fue la CH-02.

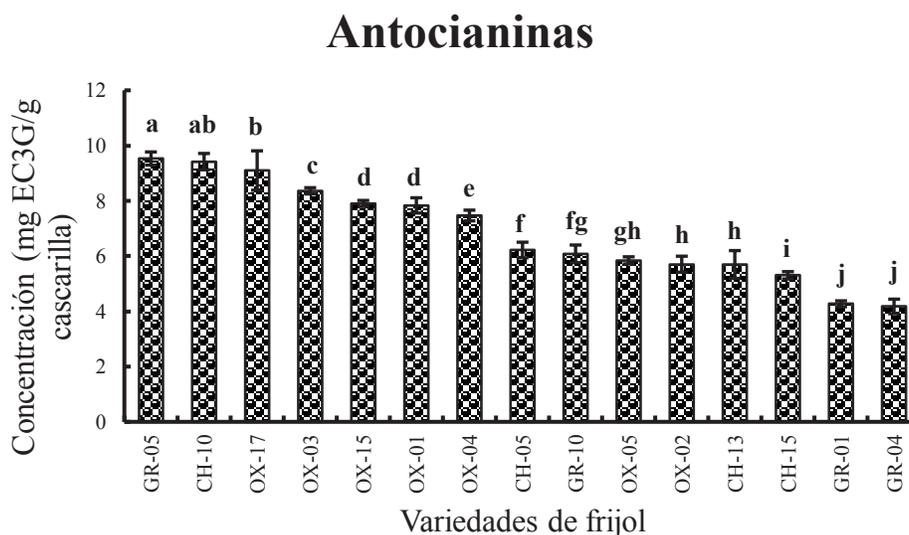


Figura 2. Cuantificación de antocianinas totales para las variedades de frijol endémico de los estados de Chiapas, Oaxaca y Guerrero. Equivalentes de cianidina-3-glucósido (EC3G). Los resultados se muestran como la media \pm desviación estándar de dos muestras independientes. Las letras minúsculas indican diferencias significativas entre grupos basados en la prueba de Tukey ($p < 0.05$).

Las antocianinas son compuestos que naturalmente dan color a diversos frutos de plantas, estos colores pueden variar entre rojos y morados intensos (Braga *et al.*, 2018). En el caso del frijol, numerosos trabajos han comprobado el contenido rico de estos metabolitos en el frijol negro (Aguilera *et al.*, 2016; Chávez-Mendoza & Sánchez, 2017; Mojica *et al.*, 2015).

Las diferencias encontradas entre las variedades pueden ser debidas al contexto donde se desarrolla el cultivo de frijol, además del color mismo de las variedades (Aguilera *et al.*, 2016). El contenido de antocianinas está directamente relacionado con el color del frijol; las variedades negras son las de mayor contenido, le siguen las variedades de tonalidades rojas-naranjas, después las moradas y al finalizar las pintas, claras y blancas. Para este trabajo fueron ordenadas de acuerdo con su contenido de antocianinas, todas de coloración negra. Los resultados encontrados para el contenido de antocianinas son cuatro veces más altos que los reportados por Mojica *et al.* (2015), quienes reportaron un contenido de aproximadamente 2.5 mg EC3G/g cascarilla para variedades de frijol negro.



Contenido de taninos

En la Figura 3 se muestran los resultados del contenido de taninos. Los contenidos van desde 21 hasta 359 mg ECA/g cascarilla. La variedad con menor contenido fue OX-02, mientras que la variedad con mayor contenido fue la variedad OX-17.

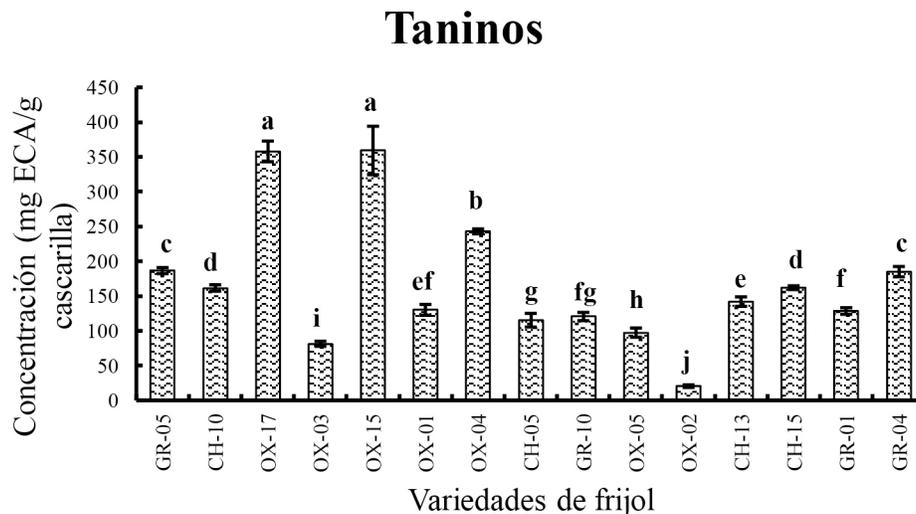


Figura 3. Cuantificación de taninos totales para las variedades de frijol endémico de los estados de Chiapas, Oaxaca y Guerrero. Equivalentes de catequina (ECA). Los resultados se muestran como la media \pm desviación estándar de dos muestras independientes. Las letras minúsculas indican diferencias significativas entre grupos basados en la prueba de Tukey ($p < 0.05$).

Los taninos son flavonoides poliméricos que comprenden una pequeña parte de los compuestos fenólicos producidos por las plantas como metabolitos secundarios. Los taninos influyen en el color de los órganos de las plantas. En la semilla de frijol, estos metabolitos se encuentran principalmente en la cubierta de la semilla y determinan el color general, el tono y la intensidad de la semilla (Díaz *et al.*, 2010).

El contenido de taninos de las muestras de frijol es menor a los reportados por Mojica *et al.* (2015), quienes encontraron contenidos entre 50 y 350 mg CAE/g cascarilla; sin embargo, los reportados en este trabajo están dentro del rango de ellos.

Medición del color

Para el presente trabajo se consideró la medición del color como parámetro indicador del contenido de fitoquímicos en la cascarilla de frijol. La Tabla 1 presenta los resultados de dichos análisis presentados en el sistema RGB, en la cual cada letra se refiere a la intensidad de un color primario en la muestra. R hace referencia a las tonalidades rojas, G a las verdes y B a las azules. Como se puede observar en la Tabla 1, la mayoría de las variedades seleccionadas y presentadas tienen valores muy semejantes para cada tonalidad, lo cual quiere decir que no hay una intensidad que predomine sobre la otra, generando así el color negro como una mezcla de las tres tonalidades.

Todas las variedades seleccionadas tienen un color negro en su cascarilla, esta colección de frijol negro del Pacífico sur es importante debido a que este frijol es el más consumido y, por lo tanto, el más producido en esa zona. Así pues, los parámetros presentados generales, la columna de color de la tabla muestra las diferentes tonalidades de negro entre las variedades de frijol estudiadas.



En la Tabla 1 se encuentran los datos para los resultados colorímetros divididos en cuatro resultados interesantes. La columna R presenta datos en relación con la intensidad del color rojo en la cascarilla del frijol, se encontraron valores desde 39 hasta 57 para este parámetro. Por su parte, la segunda columna representa la intensidad del color verde (G) dando valores desde 38 hasta 60. La columna B presenta los datos para la intensidad del color azul, donde los datos obtenidos van desde el 37 hasta el 64, siendo este último parámetro el del rango más amplio. Se sabe que la combinación de los tres parámetros de intensidad generará en su combinación un color, mismo que es presentado en la última columna.

Como se puede observar, todas las variedades elegidas son de color negro; sin embargo, es importante destacar que este color, a pesar de poder considerarse el mismo, puede variar entre sus tonalidades, generadas por la combinación diferente de las intensidades. Así pues, encontramos colores negros diferentes entre las variedades colectadas y estudiadas.

Tabla 1. Parámetros colorimétricos RGB y color de las variedades de frijol endémico del Pacífico sur

Variedad	R	G	B	Color
GR-05	50.82	52.93	55.97	
CH-10	40.47	40.00	38.73	
OX-17	57.31	60.33	64.08	
OX-03	46.41	46.64	46.92	
OX-15	52.49	53.92	55.95	
OX-01	48.00	47.70	49.56	
OX-04	41.77	41.98	42.54	
CH-05	43.30	43.45	43.51	
GR-10	51.43	53.06	55.11	
OX-05	47.38	45.77	43.91	
OX-02	42.67	42.88	43.34	
CH-13	38.66	38.30	37.07	
CH-15	39.66	39.32	38.26	
GR-04	56.38	57.80	59.07	
CH-02	39.75	37.29	35.19	

Cuantificación del color para las variedades de frijol endémico de los estados de Chiapas, Oaxaca y Guerrero. (R) intensidad del color rojo, (G) intensidad del color verde, (B) intensidad del color azul.

Por lo anterior, era importante no solo observar que el color puede ser diferente en el frijol de esta zona, sino que además este puede ser asociado al contenido de fitoquímicos en la cascarilla (He *et al.*, 2010; Yang *et al.*, 2018). Componentes como las antocianinas y los taninos han sido frecuentemente reportados para este tipo de materiales biológicos (Li *et al.*, 2017; Mattioli *et al.*, 2020). Por lo tanto, el color es un indicador del contenido de estos compuestos. En este trabajo hemos comprobado que el frijol negro es una fuente rica de pigmentos naturales y compuestos fenólicos.



Potencial antioxidante

El potencial antioxidante es definido como aquella capacidad que tienen las moléculas para reaccionar con los radicales libres presentes en los organismos vivos (Moreno-Jiménez *et al.*, 2015). Es decir, los compuestos contenidos en los alimentos o materias primas naturales tienen la capacidad de interactuar con dichos radicales, casi siempre ligados a procesos de estrés oxidativo e inflamación celular y, por lo tanto, eliminar la acción que estos tienen sobre los tejidos u organismos (Meenu *et al.*, 2023).

El frijol, de manera general, ha sido ampliamente reportado como fuente de compuestos antioxidantes y se han determinado y verificado esta propiedad a través de diversas pruebas en las que se incluyen ensayos de inhibición de radicales libres como el DPPH (2,2-Difenil-1-Picrilhidrazilo) y el ABTS (2, 2'-Azinobis-3-etil- benzo-tiazolina-6-acido sulfónico) (Hsieh-Lo *et al.*, 2020; Fonseca-Hernández *et al.*, 2023).

Alcázar *et al.*, 2020 y Alcázar *et al.*, 2021, reportaron datos para el potencial antioxidante de las variedades colectadas en el Pacífico sur. Los resultados mostraron que extractos ricos en compuestos fenólicos obtenidos desde estas variedades inhibieron en promedio un 85.35% al radical ABTS con un rango desde 62 hasta 100 por ciento de inhibición para las 15 variedades de este estudio. Por su parte, reportaron una inhibición en promedio de 91.59% para el radical DPPH con un rango desde 87 hasta 97 por ciento de inhibición. Así pues, bajo estos resultados quedó comprobado que los compuestos fenólicos de estos frijoles endémicos tienen una alta capacidad antioxidante.

Esto concuerda por los resultados obtenidos por Hsieh-lo *et al.* (2020), quienes reportaron una concentración de extracto de 0.078 ± 0.01 mg EC3G/g CS para DPPH y 0.161 ± 0.03 mg EC3G/g CS para la inhibición del 50% de los radicales DPPH y ABTS, respectivamente. Este trabajo fue llevado a cabo con la variedad comercial “Negro San Luis”, demostrando que tanto las variedades comerciales como las nativas conservan este potencial inhibitorio de radicales libres por lo que el consumo de frijol pudiera relacionarse con la disminución del estrés oxidativo y pudiera promover el mejoramiento de la salud.

Análisis de correlación

Se realizó un análisis de correlación considerando los datos generados para este trabajo en relación con los parámetros R, G y B de color de la semilla, la concentración de fenoles totales, antocianinas y taninos de los extractos y los datos publicados previamente para el potencial antioxidante en las pruebas de inhibición de DPPH y ABTS. El conjunto de datos para cada una de las 15 variedades fue introducido y analizado por el software Statgraphics Centurion XVI version 16.1.03 (Statgraphics Technologies, The Plains, VA, USA) y el coeficiente de correlación de Pearson (r) fue determinado con un nivel menor al 0.05. Los resultados obtenidos para esta prueba estadística se muestran en la Tabla 2.

La Tabla 2 muestra las correlaciones de Pearson entre cada par de variables. El rango de estos coeficientes de correlación va de -1 a +1, y miden la fuerza de la relación lineal entre las variables. Este análisis presenta el valor-P que prueba la significancia estadística de las correlaciones estimadas. Valores-P abajo de 0.05 indican correlaciones significativamente diferentes de cero, con un nivel de confianza del 95.0%.

Los siguientes pares de variables tienen valores-P por debajo de 0.05 por lo que tienen una correlación lineal: B y FT, B y G, B y R, B y TAN, FT y G, FT y R, G y R. La relación lineal es positiva entre cada uno de los parámetros de color (R, G y B) lo cual indica y comprueba que los valores para cada uno de estos parámetros son cercanos y generan el color negro y oscuro de la semilla. Por su parte, el contenido de taninos tiene una correlación positiva con la intensidad del color azul, lo cual puede dar a entender que el color azul está relacionado con el contenido de este fitoquímico en los frijoles.



En contraparte, hay una correlación negativa entre cada uno de los parámetros de color (R, G y B) y el contenido de fenoles totales. Lo anterior demuestra que el contenido de fenoles totales no está asociado directamente al color en la semilla, debido a que muchos de los compuestos fenólicos contenidos tanto en la cascarilla como en el cotiledón de frijol son compuestos incoloros. Sin embargo, se sabe que tanto el contenido de taninos como el de antocianinas está relacionado con el color de la cascarilla de frijol, pero en este estudio se evaluó el color de la semilla completa y no de extractos obtenidos a partir de ella.

Por último, el análisis arroja que no hay correlación entre el contenido de fitoquímicos y el potencial antioxidante reportado, ni del potencial antioxidante con los parámetros de color. Esto pudiera deberse que, al evaluarse el color directamente en la semilla, sin embargo, al realizar extracción de estas moléculas en soluciones acuosas, los compuestos en solución pueden generar diferentes colores al pasar a líquido. Es decir, los fitoquímicos cuantificados, así como su potencial antioxidante están asociados a extractos y no a la semilla completa (Meenu *et al.*, 2023; Yang *et al.*, 2018). Se sabe que este potencial aumentará cuando los compuestos sean extraídos desde la matriz y por lo tanto el color también dependerá de esto.

Tabla 2. Análisis de correlación entre los parámetros de color (R, G, B), los fitoquímicos (antocianinas, fenoles totales, taninos) y el potencial antioxidante (DPPH, ABTS)

	ABTS	ACN	B	DPPH	FT	G	R	TAN
ABTS		0.4005	0.2677	0.1578	0.3182	0.2440	0.2065	0.2212
ACN	0.4005		0.3734	-0.3918	0.0348	0.3241	0.2687	0.5084
B	0.2677	0.3734		-0.2599	-0.5295	0.9944	0.9772	0.5180
DPPH	0.1578	-0.3918	-0.2599		0.3663	-0.2415	-0.2062	0.0858
FT	0.3182	0.0348	-0.5295	0.3663		-0.5579	-0.5697	-0.1259
G	0.2440	0.3241	0.9944	-0.2415	-0.5579		0.9921	0.4966
R	0.2065	0.2687	0.9772	-0.2062	-0.5697	0.9921		0.4552
TAN	0.2212	0.5084	0.5180	0.0858	-0.1259	0.4966	0.4552	

Análisis de correlación para las variables de color, contenido de fitoquímicos y potencial antioxidante evaluadas en las variedades de frijol. ABTS: 2, 2'-Azinobis-3-etil- benzo-tiazolina-6-acido sulfónico; ACN: antocianinas; B; intensidad del color azul; DPPH: 2,2-Difenil-1-Picrilhidrazilo; FT: fenoles totales. G: intensidad del color verde; R: intensidad del color rojo; TAN: taninos. Los datos presentados corresponden al valor para el coeficiente de correlación de Pearson (r), valores de r en negritas presentan un nivel de significancia ($p < 0.05$).

Los componentes encontrados y reportados para el frijol negro del Pacífico sur no solo son importantes por la pigmentación de la cascarilla, lo cual puede ser una potencial aplicación para la industria de alimentos, sino que además se sabe que estos compuestos tienen beneficios para la prevención y el tratamiento de enfermedades no transmisibles tales como diabetes, hipertensión, obesidad, envejecimiento de la piel, entre otros cardiovasculares (Alcázar-Valle *et al.*, 2020, 2021,



2022; Contreras *et al.*, 2020; Flores-Medellín *et al.*, 2021; Fonseca-Hernández *et al.*, 2020, 2021, 2023; Mojica *et al.*, 2016, 2017a, 2017b, 2018; Ramos-Lopez *et al.*, 2020). Dichos compuestos tienen una alta capacidad antioxidante y pueden interactuar con radicales libres o con enzimas relacionadas con la alteración y generación de los padecimientos antes mencionados.

Por lo tanto, el consumo de estas variedades de frijoles negros no solo tiene un aporte nutricional y gastronómico para la población, sino que también son fuentes de pigmentos naturales que, además de dar color a la semilla y los plátanos y productos derivados de ellos, también puede ser una fuente de compuestos antioxidantes que pudieran tener una influencia en la prevención, el cuidado y el mejoramiento de la salud de las personas que los consumen.

Conclusiones

Las 15 variedades de frijoles endémicos del Pacífico sur de México mostraron un alto contenido de compuestos fenólicos totales, antocianinas y taninos. Las variedades de frijoles pigmentados poseen diferente contenido de los compuestos fenólicos evaluados, lo cual habla de una gran diversidad fitoquímica en estos genotipos endémicos del Pacífico sur mexicano. Además, los frijoles con coloración negra en su cascarilla son una fuente rica en compuestos antioxidantes, como las antocianinas. Las diferentes tonalidades de las cascarillas de los frijoles podrían ser consideradas como parámetro para la selección de variedades con perfiles deseables de compuestos fenólicos y, a su vez, estos pueden ser utilizados y aplicados como ingredientes y/o alimentos funcionales para la industria de los alimentos y, en general, en su consumo directo.

Financiamiento

Este proyecto fue financiado por el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) a través del proyecto FORDECYT No. 292474-2017.

Referencias

- Aguilera, Y.; Mojica, L.; Rebollo-Hernanz, M.; Berhow, M.; Gonzalez de Mejía, E.; Martín-Cabrejas, M.A. (2016). Black bean coats: New source of anthocyanins stabilized by β -cyclodextrin copigmentation in a sport beverage. *Food Chemistry*, 212, 561–570.
- 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(15), 3528.
- 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.
- Alcázar-Valle, M., Lugo-Cervantes, E., Fonseca-Hernandez, D., & Mojica, L. (2022). Common Beans Bioactive Components and Their Potential to Modulate Molecular Markers of Obesity and Type 2 Diabetes. *Molecular Mechanisms of Functional Food*, 87-111.



- Braga, A. R. C., Murador, D. C., de Souza Mesquita, L. M., & de Rosso, V. V. (2018). Bioavailability of anthocyanins: Gaps in knowledge, challenges, and future research. *Journal of Food Composition and Analysis*, 68(July 2017), 31–40.
- Chávez-Mendoza, C. & Sánchez, E. (2017). Bioactive compounds from Mexican varieties of the common bean (*Phaseolus vulgaris*): Implications for health. *Molecules*, 22(8), 1360.
- Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. (2020). *Qué nos aportan los frijoles*. https://www.biodiversidad.gob.mx/diversidad/alimentos/que-nos-aportan/N_frijoles.
- Contreras, J., Herrera-González, A., Arrizón, J., Lugo-Cervantes, E., & Mojica, L. (2020). Mexican endemic black bean phenolic extract antioxidant and anti-inflammatory potential. *Current Developments in Nutrition*, 4(Supplement_2), 382-382
- De los Santos Ramos, M.; Romero Rosales, T.; Bobadilla Soto, E.E. (2017). Dinámica de la producción de maíz y frijol en México de 1980 a 2014. *Agronomía Mesoamericana*, 28, 439–453
- 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(2), 595–601.
- Fideicomisos Instituidos en Relación con la Agricultura. (2015). *Panorama agroalimentario Frijol*. http://www.fira.org/pdf/Panorama_Agroalimentario_frijol.
- Flores-Medellín, S. A., Camacho-Ruiz, R. M., Guízar-González, C., Rivera-León, E. A., Llamas-Covarrubias, I. M., & Mojica, L. (2021). Protein hydrolysates and phenolic compounds from fermented black beans inhibit markers related to obesity and type-2 diabetes. *Legume Science*, 3(1), e64.
- Fonseca-Hernández, D., Orozco-Ávila, I., Lugo-Cervantes, E., & Mojica, L. (2020). Black bean (*Phaseolus vulgaris* L.) phenolic extract exhibits antioxidant and anti-aging potential. *Current Developments in Nutrition*, 4(Supplement_2), 24-24.
- Fonseca-Hernández, D., Lugo-Cervantes, E. D. C., Escobedo-Reyes, A., & Mojica, L. (2021). Black bean (*Phaseolus vulgaris* L.) polyphenolic extract exerts antioxidant and antiaging potential. *Molecules*, 26(21), 6716.
- Fonseca-Hernández, D.; Mojica, L.; Berhow, M.; 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 International*, 169, 112816.
- Gan, R. Y., Deng, Z. Q., Yan, A. X., Shah, N. P., Lui, W. Y., Chan, C. L., & Corke, H. (2016). Pigmented edible bean coats as natural sources of polyphenols with antioxidant and antibacterial effects. *Food Science and Technology*, 73, 168–177.
- He, J.; Giusti, M.M. (2010). Anthocyanins: Natural colorants with health-promoting properties. *Annual Reviews of Food Science and Technology*, 1, 163–187.
- Hernández-López, Víctor M., Vargas-Vázquez, Ma. Luisa P., Muruaga-Martínez, José S., Hernández-Delgado, Sanjuana, & Mayek-Pérez, Netzahualcóyotl. (2013). Origen, domesticación y diversificación del frijol común: Avances y perspectivas. *Revista fitotecnia mexicana*, 36(2), 95-104.
- 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, 655.



- Li, D.; Wang, P.; Luo, Y.; Zhao, M.; Chen, F. (2017). Health benefits of anthocyanins and molecular mechanisms: Update from recent decade. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 57, 1729–1741.
- Mattioli, R.; Francioso, A.; Mosca, L.; Silva, P. (2020). Anthocyanins: A Comprehensive Review of Their Chemical Properties and Health Effects on Cardiovascular and Neurodegenerative Diseases. *Molecules*, 25, 3809.
- Meenu, M.; Chen, P.; Mradula, M.; Chang, S.K.C.; Xu, B. (2023). New insights into chemical compositions and health-promoting effects of black beans (*Phaseolus vulgaris* L.). *Food Frontiers*, 00, 1–20.
- Méndez-Benavides, Z. (2018). La milpa como centro de origen. *Temas de Nuestra América Revista de Estudios Latinoamericanos*, 34(63), 111-119.
- Mojica, L., Berhow, M., & De Mejia, E. G. (2017a). Black Bean Coat Anthocyanin-Rich Extracts and Pure Anthocyanins Modulated Molecular Markers of Diabetes. *The FASEB Journal*, 31, 646-38.
- Mojica, L., Berhow, M., & de Mejia, E. G. (2017b). Black bean anthocyanin-rich extracts as food colorants: Physicochemical stability and antidiabetes potential. *Food chemistry*, 229, 628-639.
- Mojica, L., De Mejia, E. G., Menjivar, M., & Granados-Silvestre, M. Á. (2016). Antidiabetic Effect of Black Bean Peptides through Reduction of Glucose Absorption and Modulation of SGLT1, GLUT2 and DPP-IV in *in vitro* and *in vivo* Models. *The FASEB Journal*, 30, 125-6.
- Mojica, L., Luna-Vital, D. A., & de Mejia, E. G. (2018). Black bean peptides inhibit glucose uptake in Caco-2 adenocarcinoma cells by blocking the expression and translocation pathway of glucose transporters. *Toxicology Reports*, 5, 552-560.
- Moreno-Jiménez, M.R.; Cervantes-Cardoza, V.; Gallegos-Infante, J.A.; González-Laredo, R.F.; Estrella, I.; García-Gasca, T.; Herrera-Carrera, E.; Díaz-Rivas, J.O.; Rocha-Guzmán, N.E. (2015). Phenolic composition changes of processed common beans: Their antioxidant and anti-inflammatory effects in intestinal cancer cells. *Food Research International*, 76, 79–85.
- Ramos-López, A., Mojica, L., Gómez-Ojeda, A., Macias-Cervantes, M., & Luévano-Contreras, C. (2020). Acute Effect of Black Bean (*Phaseolus vulgaris* L.) Hydrolyzed Protein on Glucose Levels in Adults with Prediabetes and Normal Glucose Tolerance. *Current Developments in Nutrition*, 4, 4140458.
- Reyes-Moreno, C., Paredes-López, O., & González, E. (1993). Hard-to-cook phenomenon in common beans—A review. *Critical Reviews in Food Science & Nutrition*, 33(3), 227-286.
- Valdespino, C. M., Mejia, E. G. D., Mojica, L., Luna-Vital, D., & Camacho, R. (2019). Bioactive Peptides from Black Bean Proteins Play a Potential Role in the Prevention of Adipogenesis (P06-119-19). *Current Developments in Nutrition*, 3(Supplement_1), nzz031-P06.

Desarrollo de un proceso para la producción de ingredientes funcionales de proteína de frijol

Arturo Alfaro¹, Filiberto Ramírez¹ y Luis Mojica^{1*}

¹Tecnología Alimentaria, Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco, A. C., CIATEJ, 44270, Guadalajara, México.

* Autor de correspondencia: Luis Mojica, lmojica@ciatej.mx

Palabras clave:

Proteína vegetal, ultrafiltración, industria mexicana, extracción de proteína.

Resumen

Debido a su composición, el frijol podría ser una fuente alternativa de proteína para atender la demanda de productos a base de proteína vegetal en México. Sin embargo, es necesario el desarrollo tecnológico para su aprovechamiento integral y el desarrollo de ingredientes de valor agregado como aislados y concentrados de proteína, pigmentos, fibras y almidones. En este trabajo se investigaron condiciones de hidratación y secado para descascarillar frijol. Se evaluaron los efectos de la relación soluto/solvente, temperatura y extracciones consecutivas, sobre la eficiencia de extracción de proteína de frijol. El extracto de proteína se concentró por ultrafiltración determinando las condiciones de operación del equipo. Los resultados muestran condiciones de proceso para el descascarillado, extracción y concentración de proteína de frijol. Esta investigación puede servir como punto de partida para la industrialización del frijol como fuente de ingredientes para la industria de los alimentos más allá de su uso como producto de consumo directo.

Introducción

El rápido incremento en la población mundial, los cambios sociodemográficos de países en vías de desarrollo y el aumento en la popularidad de dietas con alto contenido de proteína han generado un incremento mundial en la demanda de proteínas vegetales. En los últimos 50 años, a nivel mundial, el promedio de consumo de proteína pasó de 62 a 83 gramos al día por cada habitante (Henchion *et al.*, 2021). La búsqueda de fuentes alternativas de proteínas obedece a una necesidad nutricional, ecológica y social que busca la sustentabilidad a largo plazo.

De acuerdo con líderes de la industria alimentaria mexicana, en México, el valor de mercado de los productos elaborados a partir de proteínas vegetales crece a una tasa superior al 20% anual (Echeverría, 2021). Para satisfacer la demanda de este sector se necesita desarrollar tecnología a nivel local, ya que uno de los efectos principales de la reciente pandemia global de la COVID-19 fue la necesidad de reordenar las cadenas de suministro de bienes, que debe privilegiar la autosuficiencia regional de los productos de consumo para disminuir la dependencia de las importaciones y sus complicaciones logísticas en tiempos de contingencia (Sánchez-Suárez *et al.*, 2021).



En este sentido, el frijol surge como un recurso regional para la producción de proteína de origen vegetal, debido a que posee un contenido relevante de proteína (cercano al 20% de su peso), a su bajo costo y a su amplia disponibilidad en la región. Por otro lado, las proteínas de frijol no están consideradas por agencias gubernamentales regulatorias como la Food and Drug Administration (FDA) como un ingrediente potencialmente alérgeno, como sí lo son proteínas provenientes de otras fuentes convencionales como soya, cacahuete o trigo (Boye *et al.*, 2010).

El desarrollo de ingredientes altos en proteína a partir de frijol es una oportunidad de negocio debido a que en el país la mayor parte de las fuentes alternativas de proteína son importadas. Sin embargo, el establecimiento de una industria de ingredientes alrededor de esta leguminosa requiere de la innovación en procesos que, además de obtener sus proteínas, se aproveche integralmente toda la semilla mediante el desarrollo de otros ingredientes de interés para la industria alimentaria, como son pigmentos naturales, harinas, almidones y fibras. El descascarillado de frijol es el primer paso en la separación de sus dos principales componentes: cascarilla y cotiledón. De la cascarilla se pueden obtener los pigmentos que pueden funcionar como colorantes naturales y antioxidantes, mientras que de los cotiledones se extraen harinas suaves, proteínas y sus derivados, almidones, entre otros compuestos de interés (Los *et al.*, 2018).

Los procesos para la extracción de proteína de frijol deben ser eficientes para aumentar los rendimientos, y que el producto final presente niveles de pureza de acuerdo con su potencial aplicación en la industria de alimentos. No obstante, es prioritario que las tecnologías de obtención sean escalables a nivel industrial. Una de las propuestas tecnológicas de vanguardia para la obtención y purificación de proteínas es la ultrafiltración. Esta tecnología se usa en la separación de moléculas, de acuerdo con su tamaño, a un nivel muy fino. De manera práctica, en el caso de las proteínas, permite concentrar, purificar y desmineralizar soluciones de estos polímeros (Van-Reis & Sydney, 2010). Empresas como “Merittm Functional Foods”, con sede en Canadá, actualmente basan sus métodos de producción en esta tecnología obteniendo proteínas de chícharo y canola con alta pureza, solubilidad y sin dejar un sabor remanente en los productos finales.

Dicho lo anterior, en la obtención de proteína de frijol como nuevas fuentes de proteína vegetal se deberán contemplar importantes retos, como con el establecimiento y desarrollo de cadenas de valor productivas, garantizar su inocuidad, establecer procesos escalables y eficientes de producción, así como permear en la aceptación cultural y sensorial por parte de los consumidores. El objetivo de este trabajo fue encontrar condiciones de proceso para el descascarillado de frijol, la extracción de proteína y su concentración por ultrafiltración.

Metodología

Proceso de obtención de concentrado de proteína de frijol

En la Figura 1a se representa un diagrama del proceso para la obtención de concentrado de proteína de frijol, este proceso cuenta con una solicitud de patente por el expediente Mxa2019011175 “CONCENTRADO DE PROTEÍNA DE FRIJOL Y SU PROCESO DE OBTENCIÓN”. De manera breve se describe el proceso. Primero se debe seleccionar y descascarillar la materia prima. Una vez obtenidos los cotiledones limpios, estos pueden o no ser sometidos a un tratamiento térmico, previo a la obtención de una harina fina. Después, la harina se solubiliza en un medio alcalino (pH 9-10) para realizar la extracción de proteína. Posteriormente, se separan las fases por centrifugación para obtener un extracto soluble de proteína (sobrenadante) y una fase sólida más rica en carbohidratos (precipitado). El extracto, a partir de este punto, se somete a un proceso de concentración por ultrafiltración, en el cual se eliminan agua y sales minerales. Durante la ultrafiltración obtenemos dos fases: el retenido, que es donde se concentran las proteínas de interés y el permeado, donde se eliminan agua, sales y

pequeñas cantidades de proteínas de bajo peso molecular. Una vez que se logra la concentración y desmineralización requerida, el retenido (rico en proteínas) es ajustado a un pH neutro y secado por aspersion para obtener un polvo fino de aspecto blanquecino (Figura 1b).

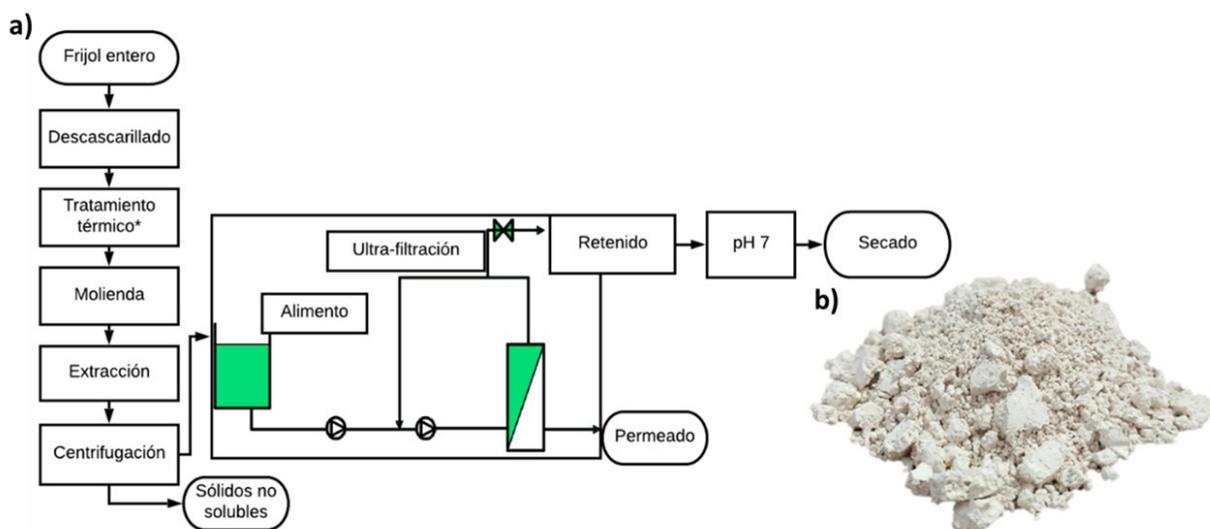


Figura 1. a) Diagrama del proceso de obtención de concentrados de proteína de frijol. b) concentrado de proteína de frijol en polvo *El tratamiento térmico puede ser un proceso opcional.

Descascarillado

Para desarrollar un proceso de descascarillado eficiente y escalable se evaluaron dos condiciones de proceso. Primero, previo a un remojo de 4 horas, se evaluó el efecto de un tratamiento de escaldado (inmersión en agua hirviendo por 2 minutos) en el frijol sobre el porcentaje de captación de agua. Posteriormente, se realizó una cinética de secado a 50°C para determinar el tiempo en el que el frijol pierde el excedente de humedad. Estos dos procesos (remojo y secado) son indispensables para generar una textura quebradiza de la cascarilla y poder separarla del cotiledón con la ayuda de una descascarilladora.

Extracción de proteína

Para obtener las condiciones de proceso que permitieron conseguir los mejores rendimientos de extracción de proteína de frijol se realizaron tres experimentos. En todos los experimentos se trabajó con harina de frijol descascarillado crudo o cocido a presión por 10 min. El primer experimento consistió en observar el comportamiento de la solubilidad de la proteína en medios acuosos entre pH 2 (ácido) y 12 (alcalino). El segundo experimento evaluó el efecto de realizar hasta tres extracciones secuenciales. Esto quiere decir que el precipitado producto de la primera extracción fue solubilizado y se extrajo proteína nuevamente en otras dos ocasiones. El tercer experimento consistió en evaluar los efectos de la cocción, la temperatura de extracción (25, 60 y 90°C) y la relación soluto/solvente (1:10 y 1:20) sobre el porcentaje de eficiencia de extracción. La concentración de proteína soluble fue determinada por el método de “Lowry” y se calculó el porcentaje de extracción tomando como 100% la proteína total del frijol que fue de 21.9 g de proteína/ 100 g de frijol.



Concentración por ultrafiltración

El extracto de proteína (crudo y cocido) fue concentrado por ultrafiltración usando una membrana con un corte de 5 kDa. Se utilizó esta membrana debido a que la mayor parte de las proteínas tienen un peso molecular superior y son retenidas. Con la finalidad de establecer las mejores condiciones de operación se determinó la presión transmembrana crítica (TMPc). Para establecer este parámetro se midió el efecto del incremento de la presión transmembrana (TMP) (cada 5 psi) sobre el flujo de permeado (mL /min). La TMPc se determinó como el punto de inflexión en donde los incrementos de flujo se reducen por cada unidad de TMP establecida. También se evaluó el efecto de la TMP sobre la permeabilidad de las proteínas midiendo la concentración de proteína soluble en el permeado con respecto a incrementos de 5 psi en la TMP.

Resultados y discusión

Descascarillado

Además de la separación inicial para fraccionar el frijol en cascarilla y cotiledones, el descascarillado es necesario para evitar que los compuestos fenólicos abundantes en la cascarilla interactúen con las proteínas y afecten el rendimiento en la extracción de estas. Para favorecer el descascarillado, el frijol debe estar completamente hidratado, esto permite el total desprendimiento de la cascarilla. Sin embargo, de acuerdo con Ulloa *et al.* (2011), la semilla de frijol posee una baja permeabilidad al agua en condiciones de baja temperatura. En este sentido, se evaluó el efecto del escaldado previo al remojo sobre el proceso de hidratación de los granos de frijol. Como se observa en la Figura 2a, el proceso de escaldado tiene un efecto pequeño pero significativo sobre la resistencia del frijol a la hidratación. Los resultados muestran que el porcentaje de captación de agua a los 120, 180 y 240 min fue mayor para los granos de frijol que recibieron el tratamiento térmico previo al remojo. A los 240 min los granos sin tratamiento mostraron un porcentaje de captación de agua de 98.7% en relación con su peso, mientras que el frijol escaldado captó un porcentaje de 109%. En el trabajo de Ulloa *et al.* (2011) se reportó que la tasa máxima de captación de agua fue de entre un 105 a 120%, siendo distinto para diferentes variedades de frijol. Estas observaciones podrían indicar que después de 4 horas de remojo el escaldado ayudó a lograr la hidratación total del frijol.

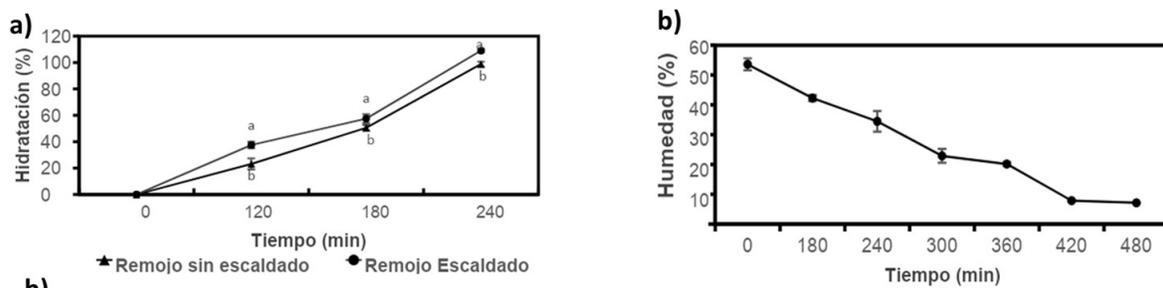


Figura 2. a) Efecto del escaldado sobre la hidratación del frijol. b) Cinética de secado del frijol hidratado (escaldado). *Letras diferentes indican diferencias significativas entre los tratamientos (n=3).

Posterior a la hidratación, la cinética de secado (Figura 2b) mostró que entre 7 y 8 horas de horneado a 50°C son suficientes para reducir la humedad del frijol a un porcentaje menor al previo a la hidratación. Una vez seco, la cascarilla del frijol se remueve fácilmente por presión mecánica. Con base en las características adquiridas por el frijol después del tratamiento (hidratación-secado), se utilizó una máquina descascarilladora rotatoria con labios de neopreno (Figura 3a) que separó los cotiledones de la cascarilla (Figura 3c). La descascarilladora se acopló a un túnel con aire comprimido (Figura 3b) que retiró la cascarilla para obtener cotiledones limpios (Figura 3d) y cascarilla (Figura 4e).

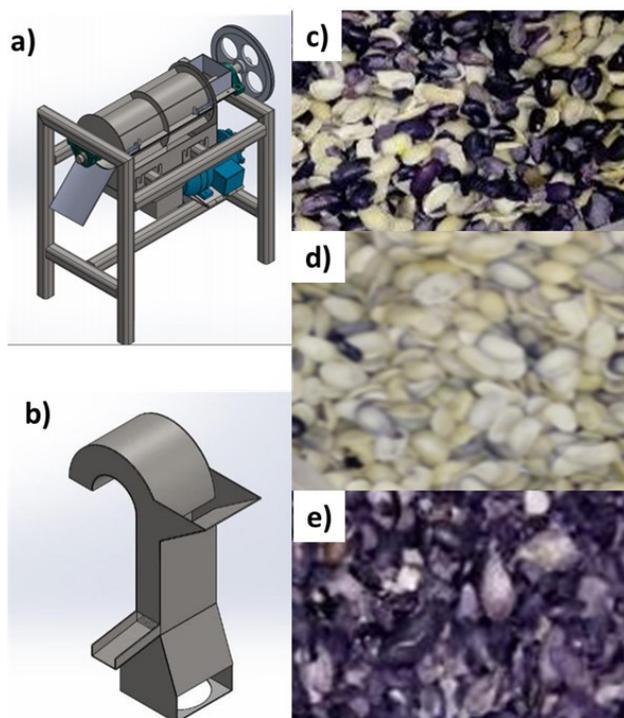


Figura 3. a) Modelo de descascarilladora rotativa con labios de neopreno, b) prototipo de túnel de separación de cascarilla, c) frijol descascarillado, d) cotiledones de frijol limpios, e) cascarilla de frijol.

Extracción de proteína

En la Figura 4 se muestran dos curvas típicas de solubilidad de proteína, donde la solubilidad máxima y mínima para el frijol crudo fue de 250 mg/1 g de cotiledón (pH 12) y 19 mg/1 g de cotiledón (pH 4), mientras que para el frijol cocido fue de 132 mg/1 g de cotiledón (pH 12) y 40 mg/1 g de cotiledón (pH 4). Se observa que tanto para frijol crudo como cocido los medios alcalinos por encima de pH 8 favorecen la extracción de proteína, teniendo su pico máximo de solubilidad en pH 12. Por otro lado, en pH 4 (un medio ligeramente ácido) las proteínas de frijol presentan su mínima solubilidad. La solubilización en medios acuosos alcalinos es efectiva para obtener altos rendimientos de extracción de proteína de leguminosas como el frijol (Aguiló-Aguayo *et al.*, 2021). Si bien en pH 12 se reportó una mayor concentración de proteína soluble, la diferencia con el valor reportado a pH 10 no fue estadísticamente significativa. Por esta razón se decidió trabajar a un pH 10 en todas las extracciones subsecuentes ya que según lo reportado por Hadnadev *et al.* (2018), la solubilización de proteínas por encima de este valor tiende a afectar su calidad y funcionalidad.

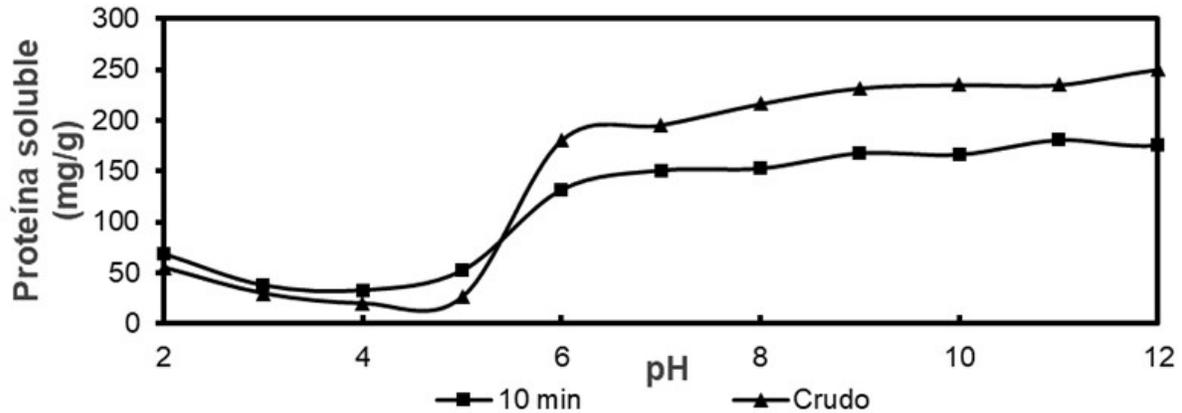


Figura 4. Curva de solubilidad de proteína de frijol crudo y cocido.

Además del pH, fue necesario explorar otras condiciones del proceso que permitieran maximizar los rendimientos de extracción de proteína. En la Figura 5a se muestra el rendimiento de proteína expresado en porcentaje de eficiencia de extracción (con respecto a la proteína total en el frijol crudo) al realizar hasta tres extracciones secuenciales y considerando dos diferentes relaciones entre soluto y solvente (1:10 y 1:20). Después de las tres extracciones secuenciales, los tratamientos con una relación soluto/solvente 1:20 presentan la más alta eficiencia de extracción, siendo 80.2% y 90.5% para frijol crudo y cocido, respectivamente. Bajo estas condiciones, la primera extracción es eficiente en 62.2% para frijol crudo y 56.7% para frijol cocido. Con la segunda y tercera extracción, en conjunto, suman entre un 18% extra de rendimiento para el frijol crudo y un 33% extra para el frijol cocido. Esta información puede ser relevante para la toma de decisiones a nivel industrial, ya que se deberá valorar los beneficios de reprocesar la materia prima a través de extracciones secuenciales y obtener los máximos rendimientos contra los beneficios logísticos de solo procesar la materia prima una sola vez.

El efecto de la temperatura y la relación soluto/solvente sobre la extracción de proteínas se muestra en las Figuras 5b y 5c para frijol crudo y cocido, respectivamente. En frijol crudo la temperatura no tuvo un efecto ($p > 0.05$) sobre la eficiencia de extracción en ninguna de las dos relaciones soluto/solvente. Sin embargo, para el frijol cocido la temperatura de solubilización influyó significativamente ($p < 0.05$) en la eficiencia de extracción. El aumento en la eficiencia de recuperación fue de 52.7% para la extracción a 25°C y una relación soluto/solvente 1:20, mientras que fue de hasta un 67% para el tratamiento a 90°C. Sin embargo, no existieron diferencias entre el tratamiento a 90°C y a 60°C, por lo que, en términos de eficiencia energética, el tratamiento a 60°C sería el mejor para extraer la proteína de una matriz de frijol cocido.

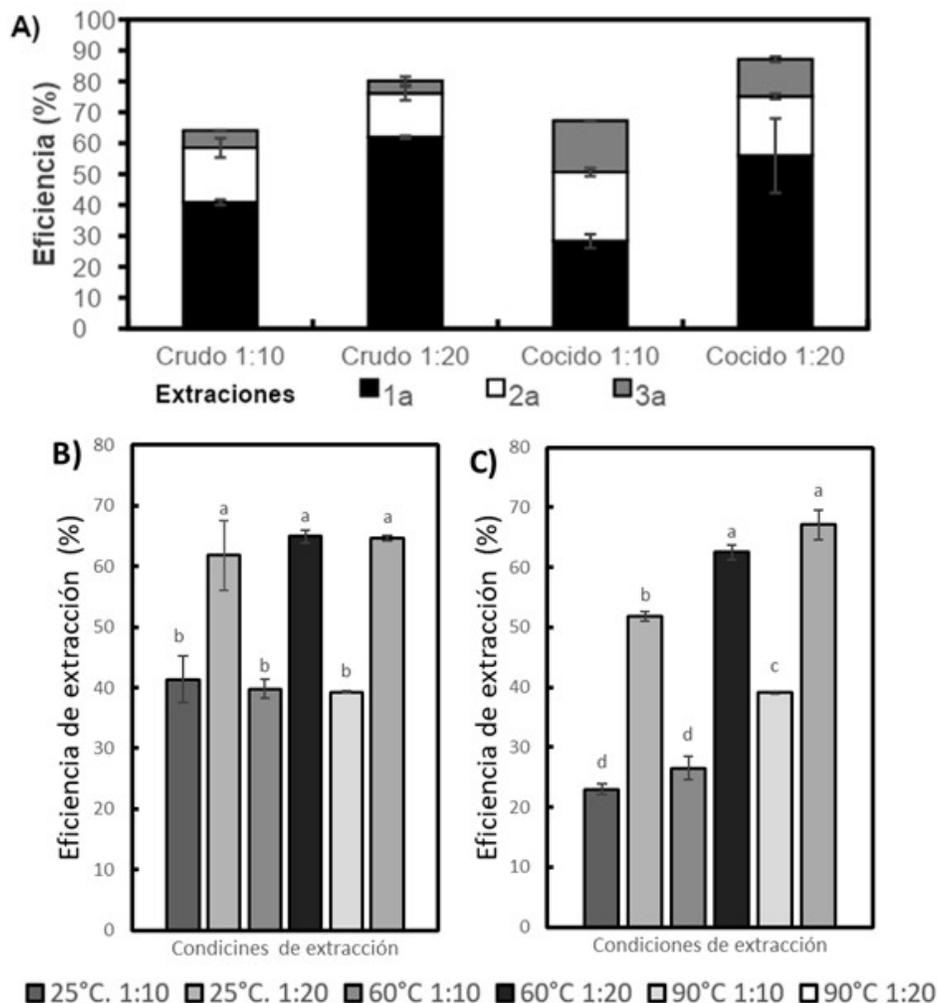


Figura 5. Efecto de diferentes condiciones de proceso sobre la extracción alcalina de proteína en frijol. a) Solubilizaciones alcalinas consecutivas sobre la eficiencia de extracción en frijol crudo y cocido. b) Temperatura y la relación soluto/solvente sobre la eficiencia de extracción en frijol crudo. c) Temperatura y la relación soluto/solvente sobre la eficiencia de extracción en frijol cocido. *Los resultados se expresan como el promedio y la desviación estándar. El porcentaje de eficiencia se calculó con base en la proteína soluble cuantificada en frijol crudo. Letras diferentes indican diferencias entre las muestras de cada tratamiento ($p < 0.05$, Tukey).

Concentración de proteína

La exploración de tecnologías emergentes, como la ultrafiltración para la concentración de proteínas, ha demostrado la obtención de altos rendimientos, permitiendo una mayor funcionalidad tecnológica cuando se compara con otras metodologías como la precipitación isoeléctrica o la precipitación micelar. Además, permite la eliminación de algunos compuestos no deseables en el producto final como sales y oligosacáridos (Alfaro-Díaz *et al.*, 2021). Otra ventaja de la ultrafiltración en los procesos de concentración de proteínas es la capacidad de escalamiento para el manejo de grandes volúmenes. No obstante, la eficiencia de este proceso requiere de una correcta exploración de las condiciones de operación, principalmente presión, flujo y concentración de sólidos.



Una correcta configuración de las condiciones disminuye la acumulación de sólidos en la membrana, retardando el ensuciamiento y en consecuencia se alarga el tiempo de operación previo a la limpieza (Tejeda *et al.*, 1995). En la Figura 6a se muestra una curva típica de la medición del flujo con respecto al aumento de la TMP en el proceso de ultrafiltración para frijol crudo y cocido cuando se utilizó una membrana con un corte de 5 kDa. Aunque es tenue, se aprecia una flexión negativa en la linealidad de la curva entre la TMP 25–30, pasando de un aumento de 8 mL/min de flujo por cada 5 psi de aumento a 6 mL/min para frijol crudo y de 9 a 6 mL minuto para frijol cocido. Esta disminución en el flujo se determinó como la TMP_c para concentrar proteína de frijol crudo o cocida solubilizada en pH 10. Trabajar por debajo de la TMP_c disminuye la probabilidad de la formación de la película de proteínas en la superficie de la membrana retrasando el fenómeno de ensuciamiento (Tejeda *et al.*, 1995).

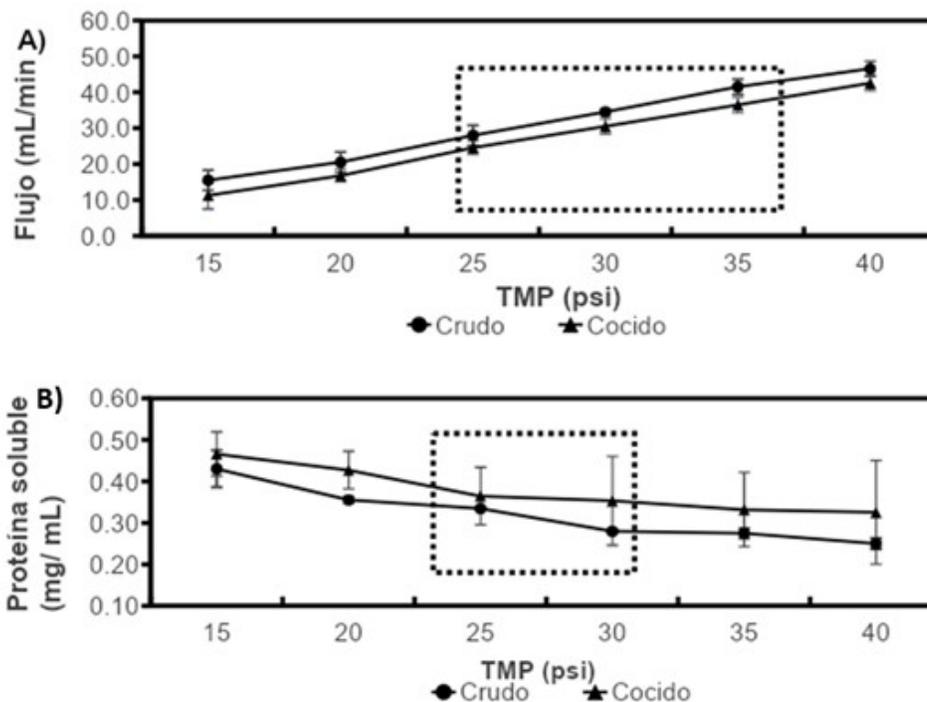


Figura 6. Determinación de condiciones para el proceso concentración de proteínas de frijol negro San Luis por ultrafiltración con membrana polimérica de 5 kDa MWCO. a) Perfil de ensuciamiento de membrana con respecto a la TMP. b) Concentración de proteína soluble en permeado con respecto a la TMP. Los resultados se expresan como la media y la desviación estándar. *TMP= Presión Transmembrana. psi= Libras de presión por pulgada cuadrada.

Otro aspecto importante dentro de los parámetros de operación del equipo de ultrafiltración durante la concentración de proteína de frijol es evaluar la pérdida de proteína en permeado con respecto a la TMP durante el proceso de ultrafiltración para frijol crudo y cocido (Figura 6 b). Se observó que a medida que la TMP aumenta, el permeado de proteína disminuye, permitiendo la pérdida de 0.42 a 0.47 mg/mL cuando la TMP fue configurada a 15 psi y pasando a solo 0.25 a 0.33 mg/mL cuando la TMP se configuró por encima de 30 psi. Sin embargo, las pruebas estadísticas no indican diferencias para las condiciones de TMP, tanto en frijol crudo y cocido ($p > 0.05$), por lo que se puede trabajar por debajo del punto de TMP crítico, favoreciendo el proceso para no ensuciar prematuramente la membrana sin afectar el permeado de proteína de manera significativa.

De acuerdo con los resultados expuestos, se decidió que la TMP que mejor favorece la concentración de proteína de frijol fue de 25 psi. Esta condición de operación fue replicada en procesos de ultrafiltración donde se trabajaron lotes de 1 kg de frijol (10 litros de extracto) y los resultados fueron publicados



en el trabajo de Alfaro-Díaz *et al.* (2021), cuyas conclusiones sobre el proceso es que bajo estos parámetros una membrana de corte de 5 kDa permite una pérdida máxima de proteína de 2.54% para frijol crudo y hasta 4.14% para cocido. No obstante, existen pérdidas de proteína durante el proceso de ultrafiltración, estas son menores comparadas con el trabajo de Vijayasanthi *et al.* (2019), quienes reportaron una permeabilidad de hasta 10% de proteína cuando se concentró proteína de coco con una membrana de 5kDa.

Con las condiciones exploradas en este trabajo, Alfaro-Díaz *et al.* (2021) reportó que para 1 kg de harina de frijol descascarillados fue posible extraer entre 49 y 55% de la proteína contenida en el frijol. Obteniendo un rendimiento de entre 185 y 195 g de polvo con una concentración de proteína de entre 55.9 y 60%.

Conclusiones

Se exploraron las condiciones que permitieron un proceso eficiente para la obtención de un concentrado de proteína de frijol a través de procesos escalables en cada una de sus etapas. El tratamiento de escaldado aplicado a los granos de frijol previo al remojo permitió una mejor hidratación para el frijol y benefició el descascarillado. Por otro lado, la relación soluto/solvente fue el parámetro que más impacto tuvo sobre la eficiencia de extracción de proteína de frijol, siendo favorecida por una mayor proporción de solvente. Por último, se determinó el punto crítico de presión operativa de la membrana durante el proceso de ultrafiltración, siendo este el principal factor para ejecutar este proceso de manera escalable y concentrar mayores volúmenes de proteína en solución. Este estudio ofrece un punto de partida para la industrialización del frijol como fuente de proteínas alternativas e ingredientes funcionales para satisfacer la creciente demanda de la industria de alimentos en México.

Conflicto de intereses

Los autores declaran que la investigación se realizó en ausencia de cualquier relación comercial o financiera que pudiera interpretarse como un potencial conflicto de interés.

Financiamiento

Esta investigación fue financiada con los fondos del CONACYT, México (Convocatoria para resolver Problemas Nacionales, Otorgamiento número 2016-2081).

Referencias

- Aguiló-Aguayo, I., Álvarez, C., Saperas, M., Rivera, A., Abadias, M., & Lafarga, T. (2021). Proteins isolated from Ganxet common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) landrace: techno-functional and antioxidant properties. *International Journal of Food Science & Technology*, 56(11), 5452-5460.
- Alfaro-Díaz, A., Urías-Silvas, J. E., Loarca-Piña, G., Gaytan-Martínez, M., Prado-Ramírez, R., & Mojica, L. (2021). Techno-functional properties of thermally treated black bean protein concentrate generated through ultrafiltration process. *Lwt*, 136, 110296.
- Boye, J., Zare, F., & Pletch, A. (2010). Pulse proteins: Processing, characterization, functional properties and applications in food and feed. *Food research international*, 43(2), 414-431.



- Echaverría M. (2021). Unilever y Danone van por el millonario mercado de las proteínas veganas. *Revista Expansión en línea*. Consultado el 14 de marzo de 2023. <https://expansion.mx/empresas/2021/05/20/unilever-danone-mercado-proteinas-vegas-mexico-valor>
- Hadnađev, M., Dapčević-Hadnađev, T., Lazaridou, A., Moschakis, T., Michaelidou, A. M., Popović, S., & Biliaderis, C. G. (2018). Hempseed meal protein isolates prepared by different isolation techniques. Part I. physicochemical properties. *Food Hydrocolloids*, 79, 526-533.
- Henchion, M., Hayes, M., Mullen, A. M., Fenelon, M., & Tiwari, B. (2017). Future protein supply and demand: strategies and factors influencing a sustainable equilibrium. *Foods*, 6(7), 53.
- Los, F. G. B., Zielinski, A. A. F., Wojeicchowski, J. P., Nogueira, A., & Demiate, I. M. (2018). Beans (*Phaseolus vulgaris* L.): whole seeds with complex chemical composition. *Current Opinion in Food Science*, 19, 63-71.
- Sánchez Suárez, Y., Pérez Castañeira, J. A., Sangroni Laguardia, N., Cruz Blanco, C., & Medina Nogueira, Y. E. (2021). Retos actuales de la logística y la cadena de suministro. *Ingeniería Industrial*, 42(1), 169-184.
- Tejeda, O. A., Montesinos, O.R.M. & Guzmán, O.R. (1995). Ultrafiltración. En *Bioseparaciones* (pp. 461-511). Pearson.
- Ulloa, J. A., Rosas Ulloa, P., Ramírez Ramírez, J. C., & Ulloa Rangel, B. E. (2011). El frijol (*Phaseolus vulgaris*): su importancia nutricional y como fuente de fitoquímicos. *Revista Fuente*, 3 (8), 5-9.
- Vijayasanthi, J., Adsare, S. R., Lamdande, A. G., Naik, A., Raghavarao, K. S. M. S., & Prabhakar, G. (2020). Recovery of proteins from coconut milk whey employing ultrafiltration and spray drying. *Journal of food science and technology*, 57, 22-31.

Acoplamiento molecular de proteínas cristalográficas y modelos construidos de hemaglutinina

Alma Zúñiga-Lerma¹, Alfonso Méndez-Tenorio², Juan C. Mateos-Díaz¹, Alba Adriana Vallejo-Cardona¹, Flor Yohana Flores-Hernandez¹, Erika Nahomy Marino-Marmolejo¹ y Jorge Bravo-Madrigal^{1*}

¹Unidad de Biotecnología Médica y Farmacéutica, Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco, A.C., Guadalajara Jalisco, México

²Laboratorio de Biotecnología y Bioinformática Genómica, Escuela Nacional de Ciencias Biológicas, IPN, Campus Zacatenco, Departamento de Bioquímica, Ciudad de México, México

*Autor de correspondencia: Jorge Bravo-Madrigal, jbravo@ciatej.mx

Palabras clave:

Influenza A, hemaglutinina, acoplamiento molecular, energía de acoplamiento.

Resumen

La escasez en investigaciones de desarrollo nacional propio en México ha sido y podría seguir siendo una complicación para la salud pública; las vidas cobradas de la pandemia de COVID-19, así como la pandemia de Influenza A H1N1 del 2009 son muestra de ello. En este trabajo se ha planteado un nuevo paradigma en el diseño de fármacos útiles contra la generación de variantes resistentes a los antivirales contra el virus de la Influenza A, para ello se ha planteado generar un modelo bioinformático a partir del cual se puedan diseñar nuevos antivirales. En particular, se presenta la comparación de acoplamiento molecular de dos proteínas creadas con herramientas bioinformáticas a partir de secuencias de hemaglutinina, contra acoplamiento hechos con proteínas de hemaglutinina cristalizadas y descargadas del PDB. Los resultados muestran que los modelos construidos tienen potencial para el desarrollo en investigación de nuevas moléculas antivirales. Las limitantes son discutidas en el artículo y se proponen nuevas líneas de investigación.

Introducción

La influenza ha sido un reto para la humanidad, tan sólo aquí en México la pandemia del 2009 cobró miles de vidas, dado que su tratamiento ha representado un gran desafío. Entre las características que dificultan dicho tratamiento se encuentran su alta mutabilidad y que es estacional, que son características del virus, y la gran cantidad de recursos económicos que consume derivado de estos precedentes (Cordova-Villalobos *et al.*, 2017).

Dado lo anterior, encontrar una forma de optimizar un tratamiento que sea robusto a dichas dificultades mejoraría las condiciones del sistema de salud, no solo en condiciones normales sino también en posibles eventos impredecibles, como una nueva pandemia. Otras características que dificultan el tratamiento son de carácter social y económico. Actualmente, la mayor parte de la producción e



investigación de medicamentos la producen un número limitado de farmacéuticas, lo que implica que su disponibilidad sea limitada y que su costo se pueda elevar, volviendo prohibitiva su adquisición.

La autosuficiencia en los procesos biofarmacéuticos y su investigación en México traería consigo un mejor abasto de medicamentos en las zonas marginadas o de difícil acceso dentro del país. Aplicar estrategias como el uso de herramientas bioinformáticas y el modelaje de proteínas en software para el estudio de los virus con el objetivo de crear antivirales eficaces que se encuentren al alcance de toda la población, marcaría el comienzo (Lemoine *et al.*, 2021).

En el presente artículo se plantea hacer una comparación de energías de acoplamiento de dos proteínas modeladas computacionalmente (modelo H1-H3 y modelo 18HA) a partir de diferentes secuencias de aminoácidos de hemaglutinina del virus de la Influenza A, y estructuras descargadas del banco de proteínas (PDB, por sus siglas en inglés) con las moléculas Arbidol, IY7640 y JNJ4796, con la finalidad de estudiar el potencial de los modelos construidos para su uso en investigación.

Virus de Influenza A.

El virus de la influenza A pertenece a la familia Orthomixoviridae (Thanee *et al.*, 2021) y se dividen según sus glicoproteínas de membrana: hemaglutinina y neuraminidasa. Existen 18 subtipos de hemaglutinina que se dividen en grupo 1 que incluyen H1, H2, H5, H6, H8, H9, H11, H12, H13, H16, H17, H18 y grupo 2 que incluye H3, H4, H7, H10, H14 y H15 (Wu & Wilson, 2020). Esta proteína cuenta con dos subunidades unidas por enlaces disulfuro, HA1 donde se encuentra el sitio de unión al receptor, distal a la membrana del virus y HA2 con forma de tallo anclada a la membrana del virus que contiene el péptido de fusión (ver Figura 2) (Galloway *et al.*, 2013). Dicho péptido es clave para que se dé la fusión de las membranas y el ingreso de las partículas virales a la célula y sumado a que se encuentra altamente conservado entre todos los subtipos de HA, se ha vuelto un objetivo importante para la creación de fármacos antivirales, que puedan evadir la mutación de los virus de la Influenza (Boonstra *et al.*, 2018; Ranaweera *et al.*, 2019).

Moléculas con potencial actividad antiviral

Se escogieron el arbidol y las moléculas IY7640 y JNJ4796, moléculas que han mostrado inhibir la fusión de la hemaglutinina (Z. Chen *et al.*, 2021). El arbidol es un antiviral usado como tratamiento y profilaxis, aprobado para su uso en China y Rusia. Existe evidencia experimental que señala su sitio de unión en la región de prefusión en una cavidad hidrofóbica de la subunidad HA2 del trímero, entre dos monómeros adyacentes y que se une con mayor afinidad a los subtipos de Influenza A del grupo 2 (Kadam & Wilson, 2017; Li *et al.*, 2022). Sin embargo, también existe evidencia computacional de su unión estable en la región de fusión, cercana al péptido de fusión. Ambas zonas fueron tomadas para el objetivo de este artículo (Leneva *et al.*, 2009).

La molécula IY7640 fue seleccionada de ensayos *in vitro* e *in vivo* por su capacidad de inhibición en fases tempranas de la infección y la fusión de membranas mediada por la región del tallo de la hemaglutinina. Tras su estudio se encontró que tenía más eficacia contra los subtipos H1N1, H3N2 e Influenza B a nivel celular, en ensayos con ratones no mostró eficacia en cepas H3N2, pero sí una eficacia marcada con cepas resistentes a oseltamivir, otorgándole potencial como nuevo fármaco contra la influenza (Kim *et al.*, 2019).

La molécula JNJ4796 surgió tras el procesamiento de péptidos cíclicos construidos a partir de la caracterización de los anticuerpos CR9114 y FI6v3 dirigidos a la región altamente conservada ubicada en el tallo de la hemaglutinina, cerca del péptido de fusión. Se observó tras pruebas *in vitro* e *in vivo* que tiene la capacidad de inhibir la fusión mediada por la HA de los virus de Influenza A del grupo 1 (Kadam *et al.*, 2017; van Dongen *et al.*, 2019).



Modelos construidos

Los modelos fueron construidos con modelado por homología usando Modeller (Webb & Sali, 2016) a partir de secuencias consenso extraídas de dos grupos de alineamientos de secuencias de aminoácidos de proteínas de hemaglutinina. El modelo H1-H3 fue construido a partir de 5 secuencias de H3N2 y 6 secuencias de H1N1. El modelo 18HA se construyó con secuencias representativas de los 18 subtipos de hemaglutinina. Abarcando así dos grupos importantes, el primero por su infectividad en humanos y el segundo por abarcar todos los subtipos de hemaglutininas conocidas hasta el momento.

Acoplamiento molecular y energía de acoplamiento

El acoplamiento molecular es un ejercicio que ha tomado importancia en el diseño y análisis de fármacos. Ayuda en la predicción de la orientación que podrían tener los ligandos (posibles fármacos) en modelos celulares y en vivo, otorga información de las interacciones como los enlaces de hidrógenos, interacciones de van der Waals e interacciones de Coulomb que sumadas dan valores de energía de acoplamiento entre el ligando y la proteína (Ciemny et al., 2018; Pagadala *et al.*, 2017).

Metodología

Se descargaron 20 estructuras cristalizadas de la base de datos PDB de alcance medio, con resoluciones menores o iguales a 2.7 Å y obtenidas por difracción de rayos X. Estas proteínas, tras eliminar presencia de inhibidores o ligandos, fueron sometidas a ejercicios de acoplamiento molecular dirigido con los antivirales Arbidol, JNJ4796 e IY7640, asignadas en su mayoría por su afinidad a los grupos uno o dos de la hemaglutinina. El programa usado fue Autodock Vina con el visualizador UCSF Chimera 64.1.14 (Eberhardt et al., 2021; Pettersen et al., 2004), para linux con la distribución Ubuntu 20.04 en una computadora Lenovo Legion Intel Core i5-7300HQ. Para las visualizaciones de superficie se usó el programa de código abierto PyMol (Schrödinger, LLC, 2015). Para evaluar la calidad de la estereoquímica global de los modelos se usó la herramienta MolProbity (V. B. Chen et al., 2010), y la desviación cuadrática media se calculó utilizando el programa UCSF Chimera 64.1.14.

Grupos de acoplamientos moleculares

Las estructuras de la hemaglutinina con las que se analizó el arbidol en la región del péptido de fusión y la zona distal a dicho péptido (por la región de prefusión) fueron, en su mayoría, del grupo dos: A/Hong Kong/1/1968(H3N2) (PDB ID: 4FNK) con 1.90 Å de resolución (Ekiert *et al.*, 2012); A/Puerto Rico/8/1934(H1N1) (PDB ID: 1RVX) con 2.20 Å de resolución (Gamblin *et al.*, 2004); A/California/04/2009(H1N1) (PDB ID: 3UBQ) con 2.0 Å de resolución (Xu *et al.*, 2012); A/mallard/Sweden/51/2002(H10N2) (PDB ID: 4CYV) con 2.30 Å de resolución (Vachieri *et al.*, 2014); A/Shanghai/02/2013(H7N9) (PDB ID: 4LN6) con 2.12 Å de resolución (Yang *et al.*, 2013); A/Netherlands/209/1980(H3N2) (PDB ID: 6N08) con 1.92 Å de resolución, A/swine/Missouri/A01727926/2015(H4N6) (PDB ID: 6V44) con 2.20 Å de resolución, A/turkey/Ontario/6118/1968(H8N4) (PDB ID: 6V46) con 2.25 Å de resolución, A/wedge-tailed shearwater/Western Australia/2576/1979(H15N9) (PDB ID: 6V49) con 2.5 Å de resolución (Yang *et al.*, 2020) y A/Sichuan/26221/2014 (H5N6) (PDB ID: 5HU8) con 2.45 Å de resolución (Yang *et al.*, 2016). Esta última proteína solo se trabajó con la región distal al péptido de fusión debido a que la estructura cristalizada no cuenta con los aminoácidos que conforman el péptido de fusión.



Las estructuras de la hemaglutinina con las que se evaluó la molécula IY7640 fueron, en su mayoría, H1N1 y solo dos H3N2: 3UBQ, 1RVX, 4FNK, 6N08, A/Thailand/CU44/2006(H1N1) (PDB ID: 4EDB) con 2.5 Å de resolución (Cho *et al.*, 2013); A/Brevig Mission/1/1918(H1N1) (PDB ID: 4GXX) con 1.80 Å de resolución (Tsibane *et al.*, 2012); A/South Carolina/1/1918(H1N1) mutante D225G (PDB ID: 4JUG) con 2.70 Å de resolución (Zhang *et al.*, 2013); A/Netherlands/002P1/1951(H1N1) (PDB ID: 6N41) con 2.50 Å de resolución, A/Hickox/1940(H1N1) (PDB ID: 6ONA) con 1.95 Å de resolución y A/Melbourne/1/1946(H1N1) (PDB ID: 6OSR) con 2.55 Å de resolución.

Las estructuras de la hemaglutinina con las que se evaluó la molécula JNJ4796 fueron solo del grupo 1: 1RVX, 3UBQ, 4BXX, 6ONA, 6OSR, 6V46, A/Solomon Islands/3/2006(H1N1) (PDB ID: 6CF7) con 2.72 Å de resolución (van Dongen *et al.*, 2019); A/flat-faced bat/Peru/033/2010 (H18N11) (PDB ID: 4K3X) con 2.15 Å de resolución (Tong *et al.*, 2013); A/gull/Maryland/704/1977(H13N6) (PDB ID: 4KPQ) con 2.50 Å de resolución (Lu *et al.*, 2013); y A/chicken/Guangdong/S1311/2010(H6N6) (PDB ID: 5BNY) con 2.66 Å de resolución (Ni *et al.*, 2015).

Resultados

En el estudio se utilizaron las primeras poses de los acoplamiento moleculares para generar los gráficos de energías de acoplamiento (Figura 1). Se considera que una energía de acoplamiento es más favorable cuando es más negativa (Bender *et al.*, 2021; Xue *et al.*, 2022). Además, se señala que este análisis se centra exclusivamente en los valores generados y representados en la figura, y se realiza una comparación entre estos valores, calificando como buenos aquellos que se obtienen a partir de las estructuras cristalográficas descargadas del PDB.

Acoplamiento de Arbidol en región de péptido de fusión

En la Figura 1.A se observa una media de aproximadamente -6.22 kcal/mol (línea punteada roja). El mejor acoplamiento se dio con la proteína 4FNK con un valor de -7.612 kcal/mol y peor acoplamiento con la proteína cristalizada 6V46 con un valor de -5.344 kcal/mol. Las energías de los modelos construidos fueron menores a la media, con valores de -5.795 y -6.14 kcal/mol para H1-H3 y 18HA respectivamente, sin embargo, ambos valores tuvieron mejor rendimiento que la proteína cristalizada 6V46, y el valor del modelo 18HA se encuentra muy cercano a la media.

Acoplamiento de Arbidol en zona de prefusión

En la Figura 1.B se observa una media de aproximadamente -5.92 kcal/mol. El mejor acoplamiento, al igual que en la región del péptido de fusión, se observó con la proteína 4FNK con un valor de -7.612 kcal/mol. El caso del peor acoplamiento se dio con el subtipo H7N9 (4LN6) con un valor de -4.625 kcal/mol. En esta región los modelos construidos se situaron sobre la media, con valores de -6.007 kcal/mol para H1-H3 y -6.341 kcal/mol para 18HA.

Acoplamiento de IY7640 en región de péptido de fusión

En la Figura 1.C se observa una media de aproximadamente -8.4745 kcal/mol. El mejor acoplamiento se observó con la proteína 6OSR con un valor de -9.039 kcal/mol y el peor acoplamiento se dio en el modelo construido H1-H3 con un valor de -7.026 kcal/mol. A excepción del modelo construido H1-H3, todos los valores de acoplamiento se encuentran relativamente cerca de la media, incluyendo el segundo modelo construido (18HA) que arrojó un valor de -8.262 kcal/mol.



Acoplamiento de JNJ4796 en región de péptido de fusión

En la Figura 1.D se observa una media de aproximadamente -9.35 kcal/mol. El mejor acoplamiento se observó con la proteína 4GXX con un valor de -11.914, siendo el más alto en todo el estudio. El peor acoplamiento se dio con la proteína -7.186 kcal/mol. Los modelos construidos arrojaron resultados menores a la media, con valores -8.057 kcal/mol y -9.075 kcal/mol para H1-H3 y 18HA, respectivamente. Cabe señalar, que nuevamente el valor de energía de acoplamiento de la proteína construida 18HA se encuentra muy cercano a la media y los valores más altos muy alejados de ella.

Poses de acoplamiento

La comparación de las poses se realizó dando por correcta la ubicación del reacoplamiento de las mismas proteínas utilizadas en las investigaciones previas del Arbidol, IY7640 y JNJ4796 representadas en la figura 2, señaladas con una “i”.

Las poses que tomó el arbidol en la región del péptido de fusión (Figura 2.A) fueron muy distintas entre proteínas, sin embargo, en todos los casos se puede observar que encaja la molécula perfectamente en la cavidad correspondiente.

En la Figura 2.B se observa en las poses cierta similitud entre el acoplamiento hecho con la proteína (B.i) y la del modelo construido H1-H3 (B.iii). La pose dada en el modelo 18HA (B.ii) se muestra diferente a las contiguas. La molécula IY7640 (Figura 2.C) tomó poses muy similares entre la proteína 3UBQ (C.i) y ambas proteínas modelos (C.ii y C.iii). Con la molécula JNJ4796 (Figura 2D) la peor pose se observó con la proteína 6CF7 (D.i) estando esta en una posición más externa a la cavidad del péptido de fusión que las tomadas en los modelos construidos (D.ii y D.iii) aun cuando distan entre ellas, orientándose en sentidos opuestos.

Desviación cuadrática media (RMSD)

Se compararon las proteínas modeladas, H1-H3 y 18HA contra la proteína cristalizada 6OSR descargada del PDB y previamente tratada como se señala en el presente artículo. Los resultados de RMSD fueron 2.545 Å y 1.919 Å para 18HA y H1-H3 respectivamente, valores que según Muratcioglu y colaboradores (2015) se consideran predicciones aceptables, por encontrarse debajo de 3 Å.

Estereoquímica global.

En el modelo H1-H3 se observó que los ángulos de torsión ϕ/ψ se encontraron en las regiones favorables solo en un 90.4% (1284/1420), siendo deseable un porcentaje mayor al 98%. Además, se encontraron en las regiones permitidas en un 98.0% de los casos, cuando se esperaba un porcentaje mayor al 99.8%. En cuanto al modelo 18HA, los ángulos de torsión en las regiones favorables solo alcanzaron el 89.6%, mientras que en las regiones permitidas se encontraron en un 97.5%. ver Figura 3.

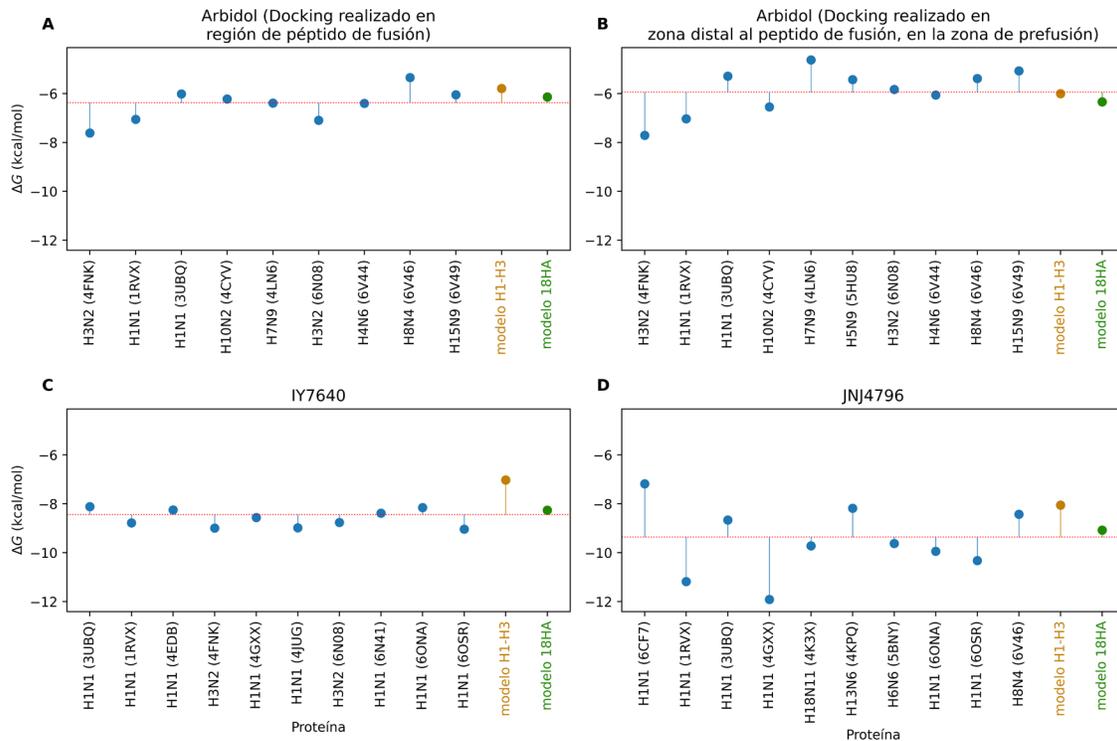


Figura 1. Energías de acoplamiento de moléculas con potencial antiviral y proteínas de hemaglutinina.

Nota. Las energías de acoplamiento correspondientes a las proteínas descargadas del PDB se representan en color azul, en naranja las correspondientes al modelo construido H1-H3 y en verde las del modelo construido 18HA. Las líneas punteadas rojas representan la media de los valores de las energías de acoplamiento. En el eje de las X se mencionan las proteínas de hemaglutinina por subtipo y código del PDB. (A, C, D) Muestran las energías de acoplamiento de las moléculas Arbidol, IY7640 y JNJ4796, respectivamente, en la región del péptido de fusión. (B) Muestran las energías de acoplamiento de la molécula de arbidol en la región distal al péptido de fusión, en la región de prefusión

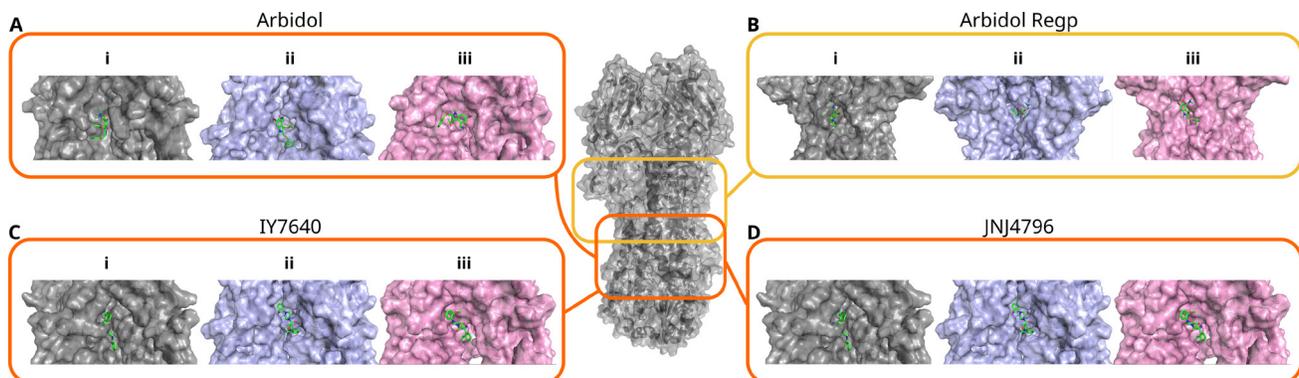


Figura 2. Estructura tridimensional de la hemaglutinina y poses de acoplamiento de las moléculas con potencial antiviral.

Nota. La proteína central color gris representa la estructura de hemaglutinina y las zonas donde fueron realizados los acoplamientos moleculares, en recuadro amarillo la región de prefusión y en recuadro naranja la región de fusión. Los acoplamientos se dan de la siguiente manera: En el recuadro (A) el arbidol con la proteína (A.i) 4FNK. Recuadro (B) arbidol con la proteína (B.i) 4FNK. Recuadro (C) IY7640 con la proteína (C.i) 3UBQ. Recuadro (D) JNJ4796 con la proteína (D.i) 6CF7. Las proteínas en color azul corresponden al modelo 18HA y las proteínas rosas corresponden al modelo H1-H3.

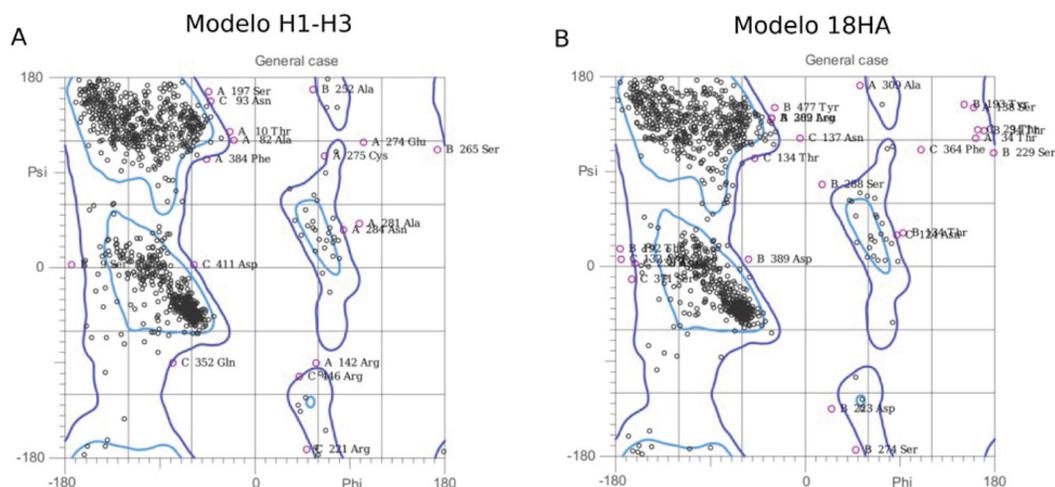


Figura 3. Gráficos Ramachandran de los modelos construidos por homología.

Nota. En el panel A se muestra el mapeo de pares de ángulos de torsión ϕ/ψ del modelo H1-H3 y en el panel B, los correspondientes al modelo 18HA.

Discusión

La metodología presentada aquí produjo resultados prometedores, en la mayoría de los casos las energías de acoplamiento de los modelos construidos estuvieron cercanas al promedio o superiores al peor valor, a excepción del acoplamiento con la molécula IY7640, donde el modelo H1-H3 mostró el peor valor.

Los resultados más promisorios se vieron con el modelo 18HA, que mantuvieron un rango positivo en cuanto a las energías de acoplamiento (muy cercanos a la media o con mejores rendimientos) y en poses donde las moléculas antivirales encajaron dentro de las cavidades esperadas, interactuando con las fracciones conservadas reflejadas también dentro del modelo y no sólo en las estructuras descargadas del PDB. Cabe señalar que este modelo fue creado con una secuencia representativa de los 18 subtipos de HA, por lo cual se considera que podría contribuir al futuro diseño de moléculas contra virus pandémicos y estacionales.

Se observó que los mejores resultados se obtuvieron en proteínas con resoluciones inferiores a 2 Å; por lo tanto, es recomendable llevar a cabo estudios adicionales utilizando proteínas cristalográficas con resoluciones más homogéneas. En relación a la estereoquímica de los modelos, se analizarán las zonas que presentan desviaciones significativas en las proteínas modeladas, con el objetivo de realizar modificaciones que no generen distorsiones artificiales en los ángulos de torsión ϕ/ψ (Wlodawer, 2017).

Conclusión

Gracias a esta metodología se ven características positivas y alentadoras en el modelo 18HA, formado a partir de secuencias de los 18 subtipos de HA. Los resultados representan un primer paso para el desarrollo de un algoritmo que permita el diseño de fármacos efectivos capaces de mostrar competencia aun con nuevas variantes de virus resistentes a fármacos convencionales. Es necesario en estudios posteriores para la optimización de los modelos, además de la suma de estructuras cristalográficas al estudio.



Conflicto de intereses

Los autores declaran que la investigación se realizó en ausencia de cualquier relación comercial o financiera que pudiera interpretarse como un potencial conflicto de interés.

Financiamiento

Este trabajo se realizó en el Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco con el apoyo del CONACYT a través del proyecto Ciencia de Frontera 171564, Diseño racional de moléculas con potencial uso antiviral con énfasis a limitar la resistencia a fármacos.

Agradecimientos

AZL agradece a Conacyt por la beca de maestría al CVU 1096780.

Referencias

- Bender, B. J., Gahbauer, S., Luttens, A., Lyu, J., Webb, C. M., Stein, R. M., Fink, E. A., Balius, T. E., Carlsson, J., Irwin, J. J., & Shoichet, B. K. (2021). A practical guide to large-scale docking. *Nature Protocols*, 16(10), 4799-4832. <https://doi.org/10.1038/s41596-021-00597-z>
- Boonstra, S., Blijleven, J. S., Roos, W. H., Onck, P. R., van der Giessen, E., & van Oijen, A. M. (2018). Hemagglutinin-Mediated Membrane Fusion: A Biophysical Perspective. *Annual Review of Biophysics*, 47, 153-173. <https://doi.org/10.1146/annurev-biophys-070317-033018>
- Chen, V. B., Arendall, W. B., Headd, J. J., Keedy, D. A., Immormino, R. M., Kapral, G. J., Murray, L. W., Richardson, J. S., & Richardson, D. C. (2010). MolProbity: All-atom structure validation for macromolecular crystallography. *Acta Crystallographica Section D Biological Crystallography*, 66(1), 12-21. <https://doi.org/10.1107/S09074444909042073>
- Chen, Z., Cui, Q., Caffrey, M., Rong, L., & Du, R. (2021). Small Molecule Inhibitors of Influenza Virus Entry. *Pharmaceuticals*, 14(6). <https://doi.org/10.3390/ph14060587>
- Cho, K. J., Lee, J.-H., Hong, K. W., Kim, S.-H., Park, Y., Lee, J. Y., Kang, S., Kim, S., Yang, J. H., Kim, E.-K., Seok, J. H., Unzai, S., Park, S. Y., Saelens, X., Kim, C.-J., Lee, J.-Y., Kang, C., Oh, H.-B., Chung, M. S., & Kim, K. H. (2013). Insight into structural diversity of influenza virus haemagglutinin. *Journal of General Virology*, 94(8), 1712-1722. <https://doi.org/10.1099/vir.0.051136-0>
- Ciemny, M., Kurcinski, M., Kamel, K., Kolinski, A., Alam, N., Schueler-Furman, O., & Kmiecik, S. (2018). Protein-peptide docking: Opportunities and challenges. *Drug Discovery Today*, 23(8), 1530-1537. <https://doi.org/10.1016/j.drudis.2018.05.006>
- Córdova-Villalobos, J. A., Macias, A. E., Hernandez-Avila, M., Dominguez-Cherit, G., Lopez-Gatell, H., Alpuche-Aranda, C., & Ponce de León-Rosales, S. (2017). The 2009 pandemic in Mexico: Experience and lessons regarding national preparedness policies for seasonal and epidemic influenza. *Gaceta Medica De México*, 153(1), 102-110.



- Eberhardt, J., Santos-Martins, D., Tillack, A. F., & Forli, S. (2021). AutoDock Vina 1.2.0: New Docking Methods, Expanded Force Field, and Python Bindings. *Journal of Chemical Information and Modeling*, 61(8), 3891-3898. <https://doi.org/10.1021/acs.jcim.1c00203>
- Ekiert, D. C., Kashyap, A. K., Steel, J., Rubrum, A., Bhabha, G., Khayat, R., Lee, J. H., Dillon, M. A., O'Neil, R. E., Faynboym, A. M., Horowitz, M., Horowitz, L., Ward, A. B., Palese, P., Webby, R., Lerner, R. A., Bhatt, R. R., & Wilson, I. A. (2012). Cross-neutralization of influenza A viruses mediated by a single antibody loop. *Nature*, 489(7417), Article 7417. <https://doi.org/10.1038/nature11414>
- Galloway, S. E., Reed, M. L., Russell, C. J., & Steinhauer, D. A. (2013). Influenza HA Subtypes Demonstrate Divergent Phenotypes for Cleavage Activation and pH of Fusion: Implications for Host Range and Adaptation. *PLoS Pathogens*, 9(2), e1003151. <https://doi.org/10.1371/journal.ppat.1003151>
- Gamblin, S. J., Haire, L. F., Russell, R. J., Stevens, D. J., Xiao, B., Ha, Y., Vasisht, N., Steinhauer, D. A., Daniels, R. S., Elliot, A., Wiley, D. C., & Skehel, J. J. (2004). The Structure and Receptor Binding Properties of the 1918 Influenza Hemagglutinin. *Science*, 303(5665), 1838-1842. <https://doi.org/10.1126/science.1093155>
- Kadam, R. U., Juraszek, J., Brandenburg, B., Buyck, C., Schepens, W. B. G., Kesteleyn, B., Stoops, B., Vreeken, R., Vermond, J., Goutier, W., Tang, C., Vogels, R., Friesen, R. H. E., Goudsmit, J., van Dongen, M. J. P., & Wilson, I. A. (2017). Potent Peptidic Fusion Inhibitors of Influenza Virus. *Science (New York, N.Y.)*, 358(6362), 496-502. <https://doi.org/10.1126/science.aan0516>
- Kadam, R. U., & Wilson, I. A. (2017). Structural basis of influenza virus fusion inhibition by the antiviral drug Arbidol. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 114(2), 206-214. <https://doi.org/10.1073/pnas.1617020114>
- Kim, J. I., Lee, S., Lee, G. Y., Park, S., Bae, J.-Y., Heo, J., Kim, H.-Y., Woo, S.-H., Lee, H. U., Ahn, C. A., Bang, H. J., Ju, H. S., Ok, K., Byun, Y., Cho, D.-J., Shin, J. S., Kim, D.-Y., Park, M. S., & Park, M.-S. (2019). Novel Small Molecule Targeting the Hemagglutinin Stalk of Influenza Viruses. *Journal of Virology*, 93(17), e00878-19. <https://doi.org/10.1128/JVI.00878-19>
- Lemoine, C. H., Nidom, R. V., Ventura, R., Indrasari, S., Normalina, I., Santoso, K. P., Derouet, F., Barrier-Quer, C., Borchard, G., Collin, N., & Nidom, C. A. (2021). Better Pandemic Influenza Preparedness through Adjuvant Technology Transfer: Challenges and Lessons Learned. *Vaccines*, 9(5), 461. <https://doi.org/10.3390/vaccines9050461>
- Leneva, I. A., Russell, R. J., Boriskin, Y. S., & Hay, A. J. (2009). Characteristics of arbidol-resistant mutants of influenza virus: Implications for the mechanism of anti-influenza action of arbidol. *Antiviral Research*, 81(2), 132-140. <https://doi.org/10.1016/j.antiviral.2008.10.009>
- Li, Z., Li, T., Liu, M., & Ivanovic, T. (2022). Hemagglutinin Stability Determines Influenza A Virus Susceptibility to a Broad-Spectrum Fusion Inhibitor Arbidol. *ACS Infectious Diseases*, 8(8), 1543-1552. <https://doi.org/10.1021/acsinfecdis.2c00178>
- Lu, X., Qi, J., Shi, Y., Wang, M., Smith, D. F., Heimbürg-Molinaro, J., Zhang, Y., Paulson, J. C., Xiao, H., & Gao, G. F. (2013). Structure and Receptor Binding Specificity of Hemagglutinin H13 from Avian Influenza A Virus H13N6. *Journal of Virology*, 87(16), 9077-9085. <https://doi.org/10.1128/JVI.00235-13>



- Muratcioglu, S., Guven-Maiorov, E., Keskin, Ö., & GURSOY, A. (2015). Advances in template-based protein docking by utilizing interfaces towards completing structural interactome. *Current Opinion in Structural Biology*, 35, 87-92. <https://doi.org/10.1016/j.sbi.2015.10.001>
- Ni, F., Kondrashkina, E., & Wang, Q. (2015). Structural and Functional Studies of Influenza Virus A/H6 Hemagglutinin. *PLOS ONE*, 10(7), e0134576. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0134576>
- Pagadala, N. S., Syed, K., & Tuszynski, J. (2017). Software for molecular docking: A review. *Biophysical Reviews*, 9(2), 91-102. <https://doi.org/10.1007/s12551-016-0247-1>
- Pettersen, E. F., Goddard, T. D., Huang, C. C., Couch, G. S., Greenblatt, D. M., Meng, E. C., & Ferrin, T. E. (2004). UCSF Chimera—A visualization system for exploratory research and analysis. *Journal of Computational Chemistry*, 25(13), 1605-1612. <https://doi.org/10.1002/jcc.20084>
- Ranaweera, A., Ratnayake, P. U., Ekanayaka, E. A. P., DeClercq, R., & Weliky, D. P. (2019). Hydrogen-deuterium exchange supports independent membrane-interfacial fusion peptide and transmembrane domains in subunit 2 of influenza virus hemagglutinin protein, a structured and aqueous-protected connection between the fusion peptide and soluble ectodomain, and the importance of membrane apposition by the trimer-of-hairpins structure. *Biochemistry*, 58(19), 2432-2446. <https://doi.org/10.1021/acs.biochem.8b01272>
- Schrödinger, LLC. (2015). *The PyMOL Molecular Graphics System*, Version 1.8.
- Thanee, C., Kittikraisak, W., Sinthuwattanawibool, C., Roekworachai, K., Klinklom, A., Kornsitthikul, K., Jirasakpisarn, S., Srirompotong, U., Chittaganpitch, M., Dawood, F. S., Suntarattiwong, P., Mott, J. A., & Chotpitayasunondh, T. (2021). Knowledge, attitude/perception, and practice related to seasonal influenza vaccination among caregivers of young Thai children: A cross-sectional study. *PLoS ONE*, 16(6), e0253561. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0253561>
- Tong, S., Zhu, X., Li, Y., Shi, M., Zhang, J., Bourgeois, M., Yang, H., Chen, X., Recuenco, S., Gomez, J., Chen, L.-M., Johnson, A., Tao, Y., Dreyfus, C., Yu, W., McBride, R., Carney, P. J., Gilbert, A. T., Chang, J., ... Donis, R. O. (2013). New World Bats Harbor Diverse Influenza A Viruses. *PLOS Pathogens*, 9(10), e1003657. <https://doi.org/10.1371/journal.ppat.1003657>
- Tsibane, T., Ekiert, D. C., Krause, J. C., Martinez, O., Jr, J. E. C., Wilson, I. A., & Basler, C. F. (2012). Influenza Human Monoclonal Antibody 1F1 Interacts with Three Major Antigenic Sites and Residues Mediating Human Receptor Specificity in H1N1 Viruses. *PLOS Pathogens*, 8(12), e1003067. <https://doi.org/10.1371/journal.ppat.1003067>
- Vachieri, S. G., Xiong, X., Collins, P. J., Walker, P. A., Martin, S. R., Haire, L. F., Zhang, Y., McCauley, J. W., Gamblin, S. J., & Skehel, J. J. (2014). Receptor binding by H10 influenza viruses. *Nature*, 511(7510), Article 7510. <https://doi.org/10.1038/nature13443>
- Van Dongen, M. J. P., Kadam, R. U., Juraszek, J., Lawson, E., Brandenburg, B., Schmitz, F., Schepens, W. B. G., Stoops, B., van Diepen, H. A., Jongeneelen, M., Tang, C., Vermond, J., van Eijgen-Obregoso Real, A., Blokland, S., Garg, D., Yu, W., Goutier, W., Lanckacker, E., Klap, J. M., ... Wilson, I. A. (2019). A small-molecule fusion inhibitor of influenza virus is orally active in mice. *Science (New York, N.Y.)*, 363(6431), eaar6221. <https://doi.org/10.1126/science.aar6221>
- Webb, B., & Sali, A. (2016). Comparative Protein Structure Modeling Using MODELLER. *Current Protocols in Bioinformatics*, 54(1). <https://doi.org/10.1002/cpbi.3>



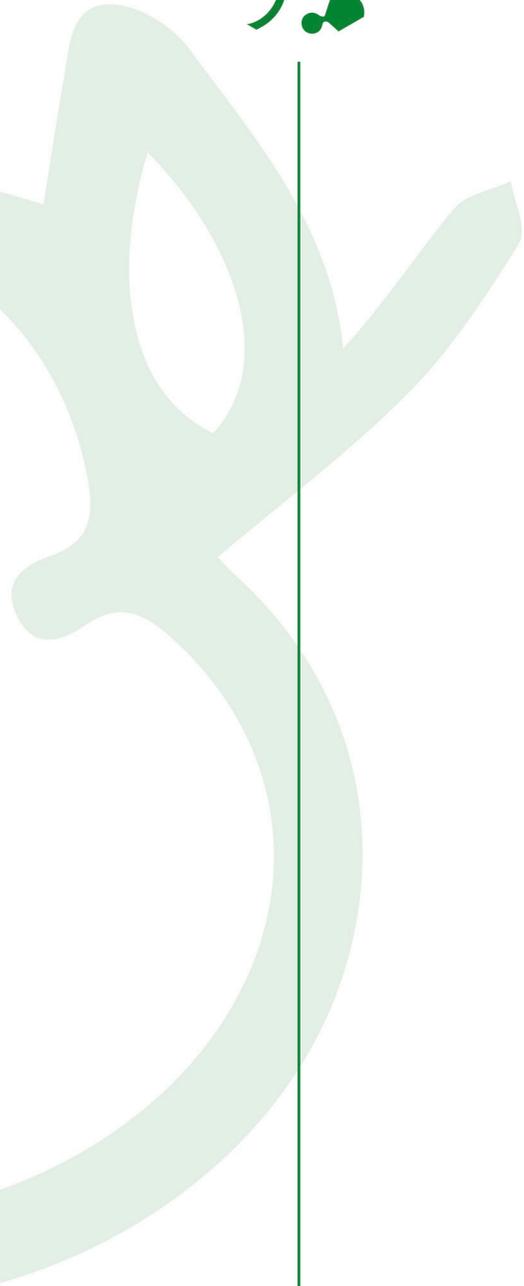
- Wlodawer, A. (2017). Stereochemistry and Validation of Macromolecular Structures. En A. Wlodawer, Z. Dauter, & M. Jaskolski (Eds.), *Protein Crystallography* (Vol. 1607, pp. 595-610). Springer New York. https://doi.org/10.1007/978-1-4939-7000-1_24
- Wu, N. C., & Wilson, I. A. (2020). Influenza Hemagglutinin Structures and Antibody Recognition. *Cold Spring Harbor Perspectives in Medicine*, 10(8), a038778. <https://doi.org/10.1101/cshperspect.a038778>
- Xu, R., McBride, R., Nycholat, C. M., Paulson, J. C., & Wilson, I. A. (2012). Structural Characterization of the Hemagglutinin Receptor Specificity from the 2009 H1N1 Influenza Pandemic. *Journal of Virology*, 86(2), 982-990. <https://doi.org/10.1128/JVI.06322-11>
- Xue, Q., Liu, X., Russell, P., Li, J., Pan, W., Fu, J., & Zhang, A. (2022). Evaluation of the binding performance of flavonoids to estrogen receptor alpha by Autodock, Autodock Vina and Surflex-Dock. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 233, 113323. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2022.113323>
- Yang, H., Carney, P. J., Chang, J. C., & Stevens, J. (2020). Molecular characterization and three-dimensional structures of avian H8, H11, H14, H15 and swine H4 influenza virus hemagglutinins. *Heliyon*, 6(6). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e04068>
- Yang, H., Carney, P. J., Chang, J. C., Villanueva, J. M., & Stevens, J. (2013). Structural Analysis of the Hemagglutinin from the Recent 2013 H7N9 Influenza Virus. *Journal of Virology*, 87(22), 12433-12446. <https://doi.org/10.1128/JVI.01854-13>
- Yang, H., Carney, P. J., Mishin, V. P., Guo, Z., Chang, J. C., Wentworth, D. E., Gubareva, L. V., & Stevens, J. (2016). Molecular Characterizations of Surface Proteins Hemagglutinin and Neuraminidase from Recent H5Nx Avian Influenza Viruses. *Journal of Virology*, 90(12), 5770-5784. <https://doi.org/10.1128/JVI.00180-16>
- Zhang, W., Shi, Y., Qi, J., Gao, F., Li, Q., Fan, Z., Yan, J., & Gao, G. F. (2013). Molecular Basis of the Receptor Binding Specificity Switch of the Hemagglutinins from both the 1918 and 2009 Pandemic Influenza A Viruses by a D225G Substitution. *Journal of Virology*, 87(10), 5949-5958. <https://doi.org/10.1128/JVI.0054>





ALIMENTACIÓN, SALUD
Y MEDIO AMBIENTE





Enfermedad renal en la región occidente y Pacífico sur de México: impacto en la sociedad, ciencia y recomendaciones

Marco Kú Centurión¹, Luz Aurora Ramírez Ronzón¹, Raquel Echavarría Zepeda², Zesergio Melo², Pavel H. Lugo Fabres³ y Tanya A. Camacho Villegas^{3*}

¹ Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco, Unidad de Biotecnología Médica y Farmacéutica. Guadalajara Jalisco

² CONACYT-Centro de Investigación Biomédica de Occidente, Instituto Mexicano del Seguro Social, Guadalajara, Jalisco

³ CONACYT- Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco, Unidad de Biotecnología Médica y Farmacéutica. Guadalajara, Jalisco

Autor de correspondencia: *tcamacho@ciatej.mx

Palabras clave:

ERC, Riñón,
Filtrado
glomerular,
investigación
transdisciplinaria,
PIB, I+D+i

Resumen

La enfermedad renal crónica (ERC) es un problema creciente que afecta al 10% de la población mundial. Generalmente, la detección del daño renal sucede cuando existe afectación severa en el riñón y desafortunadamente esta suele ser irreversible. En este trabajo describimos el impacto de la ERC en la zona del occidente (Jalisco) y del Pacífico sur (Chiapas, Oaxaca y Guerrero) del país, donde la incidencia se ha incrementado debido a factores socioeconómicos que limitan la atención primaria a la salud y conllevan a una detección tardía que se traduce en mayores complicaciones en la población afectada. Finalmente, exponemos como ejemplo la investigación colaborativa y transdisciplinaria realizada en dos Centros de Investigación que busca desarrollar y validar estrategias innovadoras para diagnosticar etapas tempranas del daño renal o prevenir las etapas avanzadas, generando conocimiento que establece acciones para mejorar la calidad de vida de quienes padecen enfermedad renal crónica.

Introducción

La denominada enfermedad renal crónica (ERC) o insuficiencia renal crónica (IRC) es un trastorno que se caracteriza por la alteración del funcionamiento habitual de los riñones. Es ocasionada por la pérdida progresiva y silenciosa de la funcionalidad del riñón, por lo que su diagnóstico generalmente es tardío y el daño sobre los riñones suele ser irreversible. En la mayoría de los casos, la enfermedad no presenta síntomas evidentes y son escasas las proteínas o metabolitos que puedan emplearse como biomarcadores específicos para etapas tempranas que indiquen el daño inicial en el órgano, en consecuencia, el daño progresa hasta que los síntomas son detectados, pero el daño es irreversible en el órgano (OPS-OMS, 2023).



En México, desde inicios del año 2000, la prevalencia, así como la tasa de mortalidad por ERC se han incrementado alrededor del 100%. Esto presupone un incremento en el costo de atención médica, así como la disminución de la calidad de vida de los pacientes y sus familiares (Sevilla, Antonio & Borrayo-Sánchez, 2019). Es necesario visualizar los factores que impactan en este incremento para tomar acciones oportunas que disminuyan su acelerado aumento. Por lo tanto, en este trabajo describimos cómo inicia la enfermedad renal crónica y qué la ocasiona, así como su incidencia en la zona del occidente (Jalisco) y del Pacífico sur (Chiapas, Oaxaca y Guerrero) de nuestro país; basados en la investigación documental bibliográfica realizada en bases de datos de organizaciones de salud tanto internacionales como nacionales, así como en bases de datos de publicaciones científicas. Además, exponemos la relación entre la situación socioeconómica de la población vulnerable en la zona del Pacífico sur y el acceso a servicios de salud disponibles en las localidades. Después, mencionamos la relevancia de la investigación básica y de frontera que se realiza en el país poniendo el ejemplo del grupo de trabajo transdisciplinario compuesto por dos centros públicos de investigación, quienes con abordajes novedosos buscan aportar soluciones tanto en el diagnóstico temprano, como en la terapéutica de la enfermedad renal. Finalmente, realizamos recomendaciones generales para que la población pueda prevenir la rápida y letal progresión de la enfermedad renal.

Desarrollo

¿De qué se encarga un riñón?

Un riñón sano tiene como función principal filtrar la sangre del cuerpo. Durante un minuto este órgano puede recibir 600 mL de sangre, lo que equivale a 180 litros por día. Este filtrado de la sangre se da en la unidad funcional del riñón denominada “Nefrona” (Figura 1), lo que permite al riñón dar lugar a la formación de orina, lo cual mantienen el equilibrio de electrolitos y elimina compuestos de desecho en el organismo a través de la orina (American Kidney Found, 2023).

El proceso de formación de orina comienza cuando la sangre llega por la arteria renal hacia el glomérulo y se realiza el proceso de filtración -que produce la orina primaria- también llamada ultrafiltrado. Gracias a los diferentes tipos de filtros que hay en el glomérulo, la orina primaria se compone en su mayoría de agua, azúcares (glucosa), desechos provenientes de proteínas (urea), vitaminas y minerales. Los glóbulos rojos, blancos, las proteínas grandes y oligoelementos pesados no pasan este filtro y se mantienen en la sangre (Carracedo & Ramírez, 2020).

El siguiente paso corresponde al proceso de reabsorción, donde se devuelven a la sangre sustancias importantes que no se deben desechar. Para lograr esto, la orina primaria llega al túbulo proximal, en donde las células internalizan compuestos importantes como la glucosa, las proteínas de menor tamaño, las vitaminas y los minerales. Este proceso se lleva a cabo mediante pequeñas vesículas de transporte que son absorbidas por las células o bien mediante proteínas en forma de canal en la superficie celular que permiten el paso selectivo de dichos compuestos. El agua también es reabsorbida y en su mayoría devuelta a la sangre, este proceso ocurre en el asa de Henle. Las células de esta sección cuentan con proteínas en su superficie llamadas acuaporinas, que están diseñadas para permitir el paso libre de moléculas de agua desde el asa de Henle devuelta a la sangre. Como resultado, la orina se va concentrando conforme pasa por este segmento (Carracedo & Ramírez, 2020).

El tercer y último paso en la formación de orina es la secreción de sustancias de desecho que se encuentran en la sangre que, ya sea por su tamaño o carga, no fueron capaces de filtrarse en el glomérulo. Estas sustancias incluyen iones de amonio e hidrógeno, algunos ácidos y bases orgánicas, así como medicamentos y sustancias del metabolismo como la creatinina, que es un desecho que generan los músculos después de la actividad física. Otro tipo de compuesto importante que se secreta es la urea,



ya que una pequeña cantidad de ella se reabsorbe en el túbulo proximal para generar un equilibrio de solutos. Como resultado, en el túbulo distal las células presentan proteínas transportadoras de urea para eliminarla de la sangre y excretarla en la orina. Una vez secretadas todas las sustancias nocivas, la orina pasa a los conductos colectores, que eventualmente desembocan en el uréter para ser excretada (Carracedo & Ramírez, 2020).

Además de mantener el equilibrio de los fluidos corporales, los riñones tienen la función de producir diversas hormonas, estas son proteínas consideradas mensajeros químicos que circulan por la sangre para regular la función de otro órgano o tejido. Las hormonas que produce el riñón son la eritropoyetina, el calcitriol, la renina y klotho. La eritropoyetina (EPO) es la hormona que regula la formación de glóbulos rojos o eritrocitos en la sangre. Su relevancia radica en que los glóbulos rojos son los encargados de transportar oxígeno a todas las células del cuerpo, por lo que su deficiencia resulta en anemia. El calcitriol es la forma activa de la vitamina D, la cual actúa para mantener el equilibrio de calcio y fósforo en el organismo, contribuyendo a la mineralización de los huesos. Su deficiencia puede causar osteomalacia, un padecimiento en el que los huesos se vuelven blandos y deformes. La renina se encarga de regular el transporte de sales en el riñón y, por lo tanto, controla la presión sanguínea y el balance de electrolitos en el órgano. Finalmente, la proteína klotho, así como el calcitriol, contribuyen a la mineralización de los huesos al regular el equilibrio de calcio y fósforo (Kurt & Kurtz, 2015).

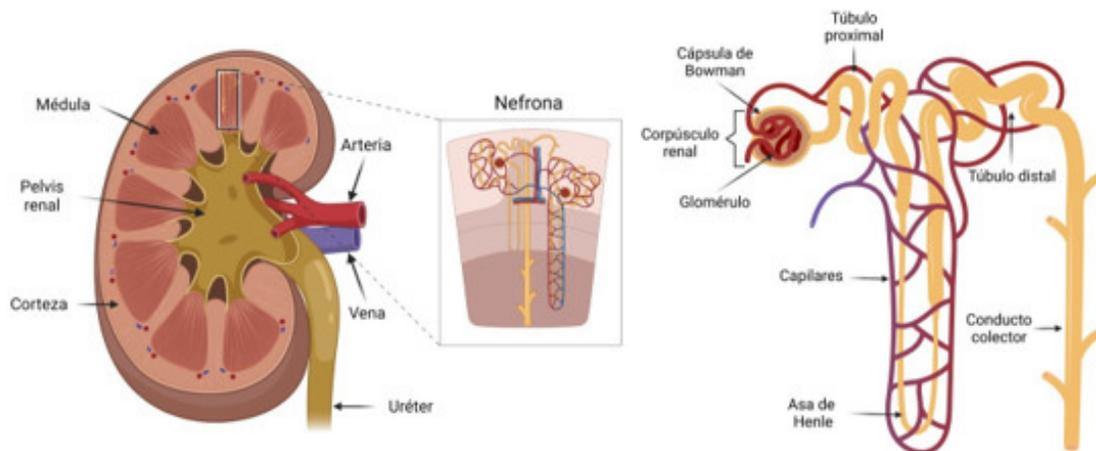


Figura 1. Esquema de las partes del riñón y la descripción de la nefrona.

Nota. El riñón es un órgano en forma de “frijol” que se presenta de manera bilateral en la parte posterior del abdomen, justo en las fosas anatómicas a los lados de la columna dorsal. Las estructuras que lo componen tienen como función la filtración de la sangre arterial para dar paso a la producción de orina. Este proceso se realiza en la unidad funcional denominada “Nefrona”, cuyo conjunto de estructuras celulares (descritas en la imagen) se encargan de filtrar metabolitos de la sangre y excretarlos en la orina. Cuando estas estructuras se dañan, su cometido biológico se afecta y eso lleva a retener sustancias que en exceso son nocivas para el organismo. Creado con BioRender.



¿Cómo avanza la ERC?

El daño en la capacidad funcional del riñón tiene lugar de manera progresiva y se evidencia por alteraciones que son halladas en análisis de laboratorio como hallazgos fortuitos o como parte de análisis de rutina. En todo caso, cuando el daño es grave, la detección de alteraciones es debido a que ya existen otros síntomas y se sospecha de enfermedad renal. El grado de avance de la enfermedad renal crónica se puede determinar de acuerdo con criterios que indican la capacidad de los riñones para filtrar compuestos tóxicos del organismo. El indicador más utilizado es la tasa de filtración glomerular (TFG), donde se mide la cantidad total de sangre que es filtrada por todas las nefronas del riñón por unidad de tiempo. En un humano sano, la TFG debe ser mayor o igual a 90 mL/min/1.73 m² (Webster *et al.*, 2017).

Dentro de este contexto, la ERC se clasifica en 5 etapas determinadas tanto por la TFG como por la presencia de marcadores de daño renal, por ejemplo, la albuminuria (proteínas en la orina), anormalidades en el balance de electrolitos, en el tejido renal, entre otros. La etapa 1 y 2 son las etapas tempranas, que presentan una TFG de 60 a 89 mL/min/1.73 m². Las etapas 3 y 4 se caracterizan por presentar un TFG de 59 a 29 mL/min/1.73 m² y se consideran de grado avanzado. Finalmente, la etapa 5 se considera enfermedad renal terminal (ERC) puesto que los riñones ya no pueden mantener vivo al paciente. Esta etapa presenta una TFG menor a 15 mL/min/1.73 m² y la única alternativa disponible para los pacientes es someterse a terapias de sustitución como la diálisis o el trasplante de órgano (Webster *et al.*, 2017; Kalantar-Zadeh, *et al.*, 2021; American Kidney Found 2023).

Complicaciones sistémicas como resultado de la ERC

Dado la importancia de los riñones en la fisiología del organismo y su función endocrina, la pérdida de nefronas, resultado de la ERC, genera complicaciones severas en los pacientes (Figura 2). Al inicio de la enfermedad renal no hay síntomas que hagan sospechar de la presencia de un daño. Sin embargo, con el paso del tiempo, el daño al riñón avanza progresivamente hasta manifestarse en síntomas no específicos como la fatiga, pérdida de peso, náuseas, vómito, calambres musculares, dificultad para respirar, picazón e hinchazón de brazos y piernas. Es importante resaltar que cada individuo experimenta estos síntomas con diferente magnitud en estadios diferentes de la enfermedad (Mayo Clinic, 2021).

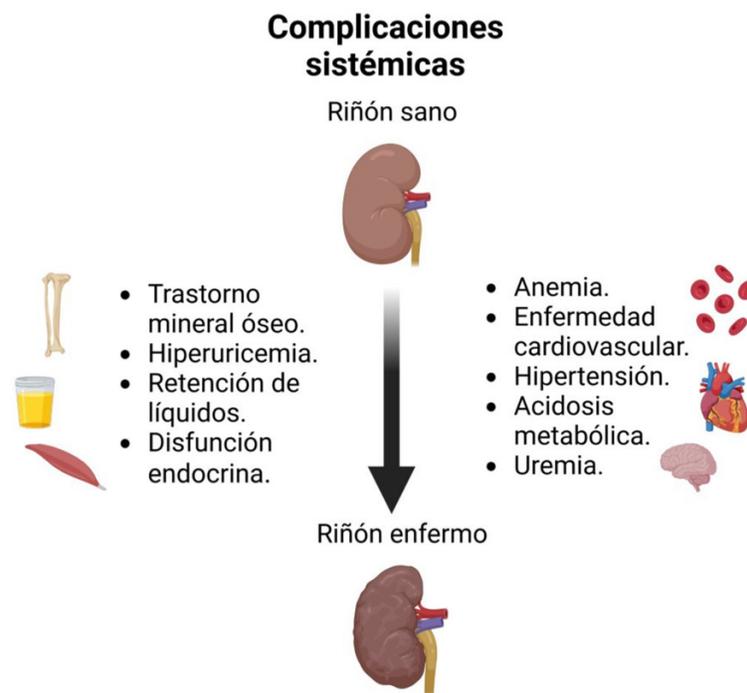


Figura 2. Esquema de las complicaciones sistémicas que acompañan la ERC.

Nota. La pérdida de la capacidad de filtración de los riñones implica complicaciones sistémicas variadas, en la etapa 5 de la ERC ocasionan la muerte del paciente. Cuando el daño al riñón es severo las opciones terapéuticas incluyen la hemodiálisis o el trasplante de órgano. Creado con BioRender.

Entre las complicaciones que se desarrollan en los individuos con ERC se encuentran la acidosis metabólica, la enfermedad cardiovascular, la uremia, el trastorno mineral óseo, la hipertensión arterial, la hiperuricemia y la expansión del volumen efectivo de circulación. La acidosis metabólica se refiere al exceso de ácido en la sangre que se manifiesta en la etapa 3. Esto es causado por la incapacidad de las células renales para excretar los ácidos y reabsorber el bicarbonato devuelto a la sangre para mantener un pH neutro. En consecuencia, el paciente puede presentar desmineralización de los huesos y pérdida muscular. Las enfermedades cardiovasculares son la mayor causa de muerte de los pacientes con ERC a nivel mundial, ya que está asociada con la hipertensión, la acumulación de ácido úrico en la sangre y elevados niveles de colesterol o triglicéridos. El trastorno mineral óseo engloba anomalías en la estructura ósea, el metabolismo de los minerales y la calcificación o depósitos de calcio y fósforo en tejidos o vasos sanguíneos. Los pacientes suelen presentar un alto riesgo de fracturarse, dificultad para caminar y dolor en los huesos (Romagnani *et al.*, 2017; Levey *et al.*, 2012).

La uremia es un conjunto de alteraciones que se producen cuando las células renales dejan de excretar en la orina productos tóxicos como la urea y creatinina y estos se acumulan en la sangre. Este padecimiento puede afectar el sistema respiratorio, digestivo, circulatorio, endócrino y tener repercusiones cerebrales. La hipertensión arterial suele ser una consecuencia de la ERC desde sus primeras etapas y se ha comprobado que contribuye a la mortalidad de las enfermedades cardiovasculares. La hiperuricemia se refiere a una elevada concentración de ácido úrico en la sangre como resultado de su baja excreción por parte de las células renales. Este padecimiento puede culminar en la enfermedad de la gota; un tipo de artritis que causa dolor e hinchazón en las articulaciones. Finalmente, la ERC



genera un incremento en la acumulación de fluidos en el cuerpo, lo cual se manifiesta como hipertensión arterial, hinchazón en los tejidos y dificultad para respirar. Asimismo, existen pacientes que presentan dificultad para concentrar orina en la vejiga y, por lo tanto, tienden a orinar un mayor volumen de orina más frecuentemente (Romagnani *et al.*, 2017; Levey *et al.*, 2012).

¿A quiénes afecta principalmente la ERC?

Causas de la ERC

Las condiciones que dan lugar a la ERC son, principalmente, el mal manejo de las condiciones de salud como la diabetes y la hipertensión, la edad e incluso infecciones por microorganismos. Estas condiciones incrementan el riesgo de sufrir alteraciones en el riñón, siendo la diabetes y la hipertensión arterial las principales causas de ERC y se les atribuye del 48 al 19% de los casos en México (Méndez-Duran 2010, Figueroa-García 2022, Jepson *et al.*, 2019).

Otros factores de riesgo son los antecedentes familiares de ERC, factores ambientales, alimentación y tener más de 60 años, debido a que dichos factores contribuyen a la adquisición de enfermedades crónicas que terminan en daño al riñón (Flores, 2010).

Estadística nacional para ERC

Según datos del Gobierno de México, en el año 2021 fueron realizados unos 1,971 trasplantes provenientes tanto de donadores vivos, así como fallecidos. En México existen zonas en donde la prevalencia de ERC es claramente más alta en comparación con otras zonas geográficas. De forma preocupante es la región del occidente (estado de Jalisco principalmente), donde existen más casos de enfermedad renal y trasplantes realizados, seguido del Estado de México. En contraparte, el estado de Campeche presenta la menor prevalencia de los casos (Méndez-Duran 2010; Secretaría de Salud, 2022).

En México el sector salud tiene una carga económica asociada al tratamiento de los pacientes con ERC de \$8,966 dólares anuales. En el estado de Jalisco se estima que 500 pacientes por cada millón de habitantes llegan a etapas terminales de daño por ERC, en donde los únicos tratamientos disponibles son la diálisis peritoneal, hemodiálisis y trasplante renal (Figueroa-Lara, 2016). En definitiva, el incremento de la incidencia de la ERC terminal afecta el número de pacientes que pueden ser tratados con el mismo presupuesto del sector salud, por lo que se requiere mejorar el presupuesto, pero no solo para enfocarlo al tratamiento de la ERC terminal, sino también en campañas de prevención y detección temprana que tomen en cuenta las poblaciones vulnerables del país.

Situación socioeconómica y el impacto en la salud en la región occidente (Jalisco) y Pacífico sur (Chiapas, Oaxaca y Guerrero)

En el año del 2016, en un estudio que abarcó principalmente a personas que padecen diabetes, se encontró que hasta el 44% de las personas con este padecimiento fueron diagnosticadas con ERC, sin embargo, una gran mayoría de las personas que participaron en el estudio no sabían que tenían afectación en el riñón, sino hasta que fue diagnosticado por pruebas de laboratorio (Tamayo & Orozco, 2016). Es decir, si extrapolamos esta situación para todos los pacientes que viven con diabetes, en México estaríamos contando con más de 6 millones de personas que viven con ERC y que, lamentablemente, no saben que cursan alguna etapa de enfermedad renal crónica (Tamayo & Orozco, 2016).

En la región del occidente de nuestro país existe una variación importante en el número de pacientes que han llegado a etapas terminales de la enfermedad y que se encuentran en tratamiento.



Un claro ejemplo es el estado de Jalisco, que lidera en incidencia de ERC. En paralelo, el estado de Chiapas, perteneciente al Pacífico sur; junto con los estados de Tlaxcala, Veracruz, CDMX y Estado de México, lideran las tasas más altas de mortalidad por enfermedad renal, superando el promedio nacional. Cabe señalar que dicha tendencia fue tomada en cuenta a partir de observaciones registradas desde el año 1990 hasta 2017 y sus valores se encontraron entre 66.1 y 168.2 defunciones por cada 100,000 habitantes (Sevilla, Antonio & Borrayo-Sánchez, 2019).

Según datos del INEGI en el 2020 (Tabla 1) los estados de Oaxaca, Chiapas y Guerrero se caracterizaron por tener un ingreso anual per cápita promedio de \$53,849.00 pesos, en contraparte con \$179,859.50 pesos para las regiones como Jalisco y Nuevo León (INEGI, 2020). Esta diferencia en el poder adquisitivo implica que pacientes provenientes de estados con pobreza o pobreza extrema como los del Pacífico sur, tienen escaso acceso a servicios de salud por ser derechohabientes, así como en la capacidad de mantener o incrementar su calidad de vida.

Por ello, el gobierno de México se esfuerza en brindar atención y actualmente se enfoca en estas regiones que históricamente se consideran económica y socialmente rezagadas, permitiendo que un ciudadano de dicha región tenga acceso a atención médica de calidad, de forma equivalente a la de ciudadanos de regiones con mayor desarrollo social y económico. Cada estado de la República tendrá mayor o menor grado de afectación en su ingreso per-cápita dependiendo de qué tan preparada está su estructura económica para solventar los gastos requeridos para el tratamiento y seguimiento de la ERC, pues el ingreso per-cápita se ve afectado por factores como sismos, desastres naturales, pandemias, desempleo, etc., que representan emergencias de alta prioridad.

Tabla 1. Producto interno bruto e ingreso per-cápita reportado por el INEGI en 2020. Se muestran los estados de la región Pacífico sur, Jalisco y Nuevo León (INEGI, 2020)

Estado	PIB 2020 en millones de pesos	PIB per-cápita 2020 en pesos
Chiapas	\$ 254,356	\$44,387
Guerrero	\$219,138	\$59,922
Oaxaca	\$237,177	\$57,239
Jalisco	\$1,125,699	\$133,857
Nuevo León	\$1,267,121	\$225,862

Existen contrastes entre las distintas zonas geográficas en nuestro país que incluyen diversos grupos étnicos y niveles socioeconómicos. Esta situación hace evidente los alcances y limitaciones de instituciones de salud para brindar cobertura en los diferentes estados, relacionado a su condición socioeconómica. Según datos del CONEVAL, en nuestro país la carencia de acceso a los servicios de salud a nivel nacional aumentó de 16.2% en 2018 a 28.2% en 2020. Sin embargo, la inversión en salud se encuentra limitada, esto puede ser evidente en el monto del producto interno bruto (PIB) destinado a salud. En nuestro país se destina el 2.7% del PIB, cifra que corresponde a menos del 50% de lo que establece la OPS/OMS que debe ser del 6%. Lo anterior significa que más de 15 millones de mexicanos se sumaron al grupo de personas que carecen de acceso a los servicios de salud en alguna institución pública o privada (CONEVAL, 2021).

El escaso acceso a los servicios de salud se da principalmente en aquellas personas con menores ingresos económicos. Específicamente los estados del Pacífico sur: Oaxaca, Guerrero y Chiapas presentan menor acceso a servicios de salud con un 20.7, 19.7 y 19.5%, respectivamente. De este porcentaje, las personas que tenían acceso a servicios de salud eran exclusivamente por los servicios de la Secretaría de Salud con un 78.0, 76.1 y 84.3% respectivamente para cada estado (CONEVAL



2021). Esto implica una relación entre el nivel socioeconómico de la población, el escaso acceso a instituciones de salud lo que incrementa la probabilidad de padecer enfermedad renal y de llegar a la muerte asociada a la agresividad del padecimiento, la baja tasa de trasplantes exitosos y las escasas estrategias terapéuticas cuando el daño al órgano es masivo.

Instituciones de salud que atienden en región Occidente y Pacífico sur

En México, en su gran mayoría la población tiene acceso a servicios de salud a través de la seguridad social, principalmente integrada por el Instituto Mexicano del Seguro Social (IMSS), los hospitales del Gobierno de México, el Instituto de Seguridad Social al Servicio de los Trabajadores del Estado (ISSSTE) y los Hospitales Civiles y Hospitales Militares (Méndez-Duran, 2010). Actualmente, se ha incorporado el IMSS-Bienestar, que es una opción para la población no derechohabiente de alguno de los servicios de salud antes mencionados (IMSS-Bienestar, 2023).

Según datos del reporte más reciente del centro nacional de trasplantes, en 2022 el IMSS fue líder nacional en realizar trasplante de riñón con 1,303 intervenciones que corresponden al 48% del total de cirugías de trasplante renal realizadas en el país (CENATRA 2023). Al primer trimestre de 2023, el IMSS reportó a 15,270 pacientes inscritos en lista de espera para recibir un trasplante de riñón (CENATRA 2023). Respecto a las terapias de diálisis peritoneal y hemodiálisis, el IMSS ofrece cobertura a más de 50 millones de mexicanos y cubre el 73% de estas intervenciones a nivel nacional, siendo estos los tratamientos más importantes en la ERC que permiten a las y los pacientes una oportunidad de vida ante los diversos tipos de afectaciones que causan enfermedad renal en etapa avanzada o terminal (Méndez-Duran, 2010).

Sin embargo, a pesar de estos números en cuanto a las capacidades de los institutos de seguridad social, dicha atención está rezagada o es deficiente en la región del pacífico sur (Oaxaca, Chiapas y Guerrero), lo que supone un reto importante para tomar acciones concretas para aminorar las deficiencias en cuanto a la atención y falta de servicios de salud en dichos estados.

Por lo tanto, es imperioso sumar estrategias para reducir el impacto por ERC en estas regiones. Entre las estrategias se encuentra la búsqueda de biomarcadores tempranos de la enfermedad, el desarrollo de pruebas de laboratorio que permitan la detección de etapas tempranas, así como nuevas estrategias terapéuticas que modulen o reviertan el daño establecido para proveer una mejor calidad de vida a los pacientes que viven con ERC.

Investigación en Centros Públicos: ejemplo de CIBO y CIATEJ

Es relevante intensificar la investigación en ciencia básica y de frontera en México enfocada en la ERC. Para lograr este objetivo, múltiples grupos de investigación trabajan en conjunto en los centros de investigación pertenecientes al sector público en México y en las universidades, para que los resultados de las investigaciones se trasladen a la clínica, pues existe una base científica sólida y de innovación que puede ser aplicada para beneficio de la población susceptible a padecer ERC.

En nuestro país existen centros de investigación importantes para el estudio del riñón, por ejemplo, el Centro de Investigación Biomédica de Occidente (CIBO), que forma parte del Centro Médico Nacional de Occidente (CMNO) del IMSS. El CIBO es un centro de investigación donde se lleva a cabo investigación para entender los mecanismos que acontecen en diversas enfermedades y específicamente, en el Departamento de Investigación Quirúrgica, la ERC. En dicho departamento se encuentran los grupos de investigación del Dr. Zesergio Melo y de la Dra. Raquel Echavarría, enfocados en la búsqueda de estrategias farmacológicas que permitan preservar el adecuado funcionamiento del riñón, así como la descripción para el entendimiento de los mecanismos que generan daño y/o protección



al riñón. Por ejemplo, estos estudios se han enfocado en conocer las diferencias en la producción de hormonas y su incidencia relacionada con el sexo femenino o masculino y cuando una persona tiene ERC o recibe un trasplante renal.

En el laboratorio del Dr. Zesergio y de la Dra. Raquel se emplean modelos animales, así como cultivos celulares para comprender cómo se llevan a cabo los mecanismos de daño en el riñón. También, se han centrado en la búsqueda de estrategias para evitar el progreso de la ERC o bien, mantener un riñón trasplantado para que sea funcional por varios años posteriores al trasplante. Asimismo, se evalúan muestras de sangre y orina de pacientes que viven con ERC para tratar de entender los mecanismos fisiopatológicos que existen cuando se presenta la enfermedad o se ha recibido un trasplante de riñón.

Todas estas investigaciones que hoy en día se realizan tienen la finalidad de aplicar el conocimiento adquirido para mejorar las condiciones de aceptación del trasplante de riñón, así como proponer estrategias farmacológicas de protección ante la presencia de factores que promueven el daño. Para el caso de las muestras que provienen de pacientes con enfermedad renal terminal se busca conocer la expresión de ciertas proteínas como la Catepsina D. Estos compuestos pueden servir como biomarcadores de daño temprano, esto es una ventaja muy útil ya que al realizarse el diagnóstico cuando las etapas son avanzadas no hay mucho por hacer para recuperar la funcionalidad del riñón (Miranda-Ramírez, 2019).

Por su parte, el Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco (CIATEJ A.C.) es otro Centro Público de Investigación que lleva a cabo investigación de vanguardia para atender las problemáticas que afectan a la sociedad, por lo tanto, la enfermedad renal no es la excepción.

Siguiendo la línea de investigación a nivel renal, en CIATEJ, específicamente en su área de Biotecnología Médica Farmacéutica, el Dr. Pavel H. Lugo Fabres y el doctorante M. C. Marco Kú Centurión diseñan cultivos celulares en 3D usando hidrogeles y células renales que funcionen como modelos fisiopatológicos que emulen diferentes aspectos de la ERC. Estos modelos son capaces de replicar diferentes condiciones dañinas de la ERC, como la fibrosis renal. Los cultivos celulares en 3D pueden ser utilizados para probar diferentes estrategias terapéuticas que tengan la capacidad de desacelerar el progreso de la enfermedad, o bien, modular algunos efectos causados por citocinas. La ventaja radica en ser más certeros que los modelos tradicionales en 2D por su capacidad de emular fielmente el entorno fisiológico natural de las células, su comunicación intracelular y la matriz extracelular. Además, resultan más accesibles y económicos que los modelos animales, puesto que no requieren de personal o instalaciones altamente especializadas. Adicionalmente, colaboran con la Dra. Tanya A. Camacho Villegas y la IBT. Luz Aurora Ramírez Ronzón, quienes se enfocan en el desarrollo de nuevas moléculas inhibitoras de citocinas implicadas en el proceso inflamatorio y en la progresión de la ERC. Este grupo de trabajo ha caracterizado una prometedora molécula llamada vNAR, la cual ha demostrado que tiene potencial en la modulación de la fibrosis. También, previamente, en colaboración con la Dra. Echavarría, se ha evaluado el uso del vNAR para la potencial detección en etapa temprana de la ERC mediante el empleo de una muestra de sangre, de tal forma que este vNAR puede representar una nueva molécula para uso en la terapia o en el diagnóstico al ser específico por su blanco. Los alcances de la ciencia colaborativa y multidisciplinaria realizada con la unión de esfuerzos y de tecnologías desarrolladas por científicos mexicanos pueden impactar de manera positiva en un futuro próximo la salud de la población nacional, alcanzando así un mayor estado de bienestar de aquellos pacientes que sufren de ERC.

Recomendaciones

Según un comunicado de la Organización Panamericana de Salud (OPS) y la Organización Mundial de la Salud (OMS), la enfermedad renal crónica es una enfermedad que, aunque no tenga una cura eficaz, se considera prevenible (OPS-OMS, 2023).



La enfermedad renal no es una enfermedad aislada, es decir, es resultado de la complicación de enfermedades subyacentes, por lo que el control adecuado de la presión arterial, así como de los niveles de la glucosa en la diabetes, disminuirán la posibilidad de presentar daño en el riñón como complicación de enfermedades subyacentes. De igual manera, es importante prestar atención a las infecciones del tracto urinario que, de no ser tratadas, causan daño al órgano (NIDDK, 2023).

En conjunto, con el cuidado de las enfermedades existentes es importante la elección de una dieta saludable y balanceada tales como frutas, verduras, granos enteros y derivados lácteos descremados. Es muy importante cuidar que la ingesta de sodio sea menor a 2.3 gramos al día y que la ingesta de azúcar añadida sea menor a 25 gramos al día (OMS, 2023).

Otra de las acciones de gran importancia para el cuidado del riñón es la actividad física según el Instituto Nacional de Diabetes y Enfermedades Renales y Digestivas (NIDDK). Es recomendable realizar unos 30 minutos de ejercicio al día, las acciones que se pueden realizar van desde caminar, subir las escaleras en lugar de usar el ascensor o usar bicicleta en lugar del automóvil para distancias cortas. Estas actividades, en conjunto con la alimentación sana, permitirán mantener un peso adecuado y controlado, reduciendo el riesgo de enfermedades crónicas que afectan al riñón (NIDDK, 2023). En nuestro país, requerimos hacer conciencia plena de la prevención, que implica la actividad física, alimentaria, pero también el seguimiento preventivo médico.

Conclusiones

La ERC implica un importante gasto económico para el sector salud nacional, al mismo tiempo el incremento del número de casos anuales, disminuyen la esperanza de vida y la disponibilidad de trasplantes renales. Es importante cuidar el estilo de vida de los mexicanos, sin restar importancia al autocuidado y al seguimiento personal de las recomendaciones emitidas por profesionales de la salud para evitar que un padecimiento progrese y disminuya la calidad de vida.

La atención a la salud y calidad de vida individual en las diferentes zonas geográficas en México está relacionada con los ingresos per cápita de cada entidad federativa, siendo más evidente en los estados de Chiapas, Guerrero y Oaxaca donde la incidencia de ERC no supera las proporciones de estados como Jalisco; sin embargo, el contexto socioeconómico en dichas regiones tiene un impacto más severo en la calidad de vida y pronóstico de las personas diagnosticadas con ERC en comparativa con la población afectada por ERC, donde los servicios de salud cuentan con mayor presupuesto e infraestructura.

Debido a la complejidad de la ERC, solamente una aproximación integral que involucre a las instituciones de salud, a los centros públicos de investigaciones, al gobierno, a la población, que sea constante y enfocada en la población vulnerable podrá hacer frente a esta enfermedad. Es por ello que la importancia de la investigación básica y de frontera, como la realizada en los centros públicos de investigación CIBO y CIATEJ, es de vital importancia, así como la suma de esfuerzos y el enfoque multidisciplinario que, en el corto o mediano plazo, puedan trasladar los resultados de laboratorio a la población más vulnerable y disminuir los efectos causados por la ERC en quienes la padecen. Investigación como la desarrollada por este grupo multidisciplinario tiene por objetivo impactar a la población nacional desde la generación del conocimiento básico, los desarrollos con aplicación directa (métodos diagnósticos y moléculas terapéuticas) hasta la difusión de la ciencia generando crecimiento y conciencia en todos los niveles. Todos en conjunto podemos educar y trabajar para disminuir la ERC.

Conflicto de interés

Los investigadores declaran que no existe relación comercial o financiera que pueda interpretarse como un potencial conflicto de interés.



Financiamiento

Proyecto Número 345366, Ciencia de Frontera 2019. Responsable técnico Dr. Zesergio Melo. Proyecto Número B-S-42687, Fondo Sectorial de Investigación en Salud y Seguridad Social, 2018. Responsable técnico Dra. Raquel Echavarría Zepeda.

Agradecimientos

Marco Kú Centurión con CVU 904734 agradece a CONACYT por la beca otorgada para su formación del programa de Doctorado en Ciencias en Innovación Biotecnológica. Luz Aurora Ramírez Ronzón con CVU 1133052 agradece a CONACYT por la beca otorgada para su formación en el programa de Maestría en Ciencias en Innovación Biotecnológica.

Referencias

- American Kidney Found. (2021). *Etapas o estadios de la enfermedad renal*. <https://www.kidneyfund.org/es/todo-sobre-los-rinones/etapas-o-estadios-de-la-enfermedad-renal>.
- Carracedo, J., & Ramírez, R. (2020). Fisiología Renal. *Nefrología al día*. ISSN: 2659-2606. <https://www.nefrologiaaldia.org/335>
- Centro Nacional de Trasplantes. (s/f). *Estadísticas*. Recuperado el 31 de mayo de 2023, de <https://www.gob.mx/cenatra/documentos/estadisticas-50060>
- Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social. (2021). *Nota técnica sobre la carencia por acceso a los servicios de salud, 2018-2020*. https://www.coneval.org.mx/Medicion/MP/Documents/MMP_2018_2020/Notas_pobreza_2020/Nota_tecnica_sobre_la_carencia_por_acceso_a_los_servicios_de_salud_2018_2020.pdf
- Figueroa-García, J., Granados-García, V., Hernández-Rivera, J. C. H., Lagunes-Cisneros, M., Alvarado-Gutiérrez, T., & Paniagua-Sierra, J. R. (2022). Evolution of the stage of chronic kidney disease from the diagnosis of hypertension in primary care. *Atención primaria*, 54(7), 102364. <https://doi.org/10.1016/j.aprim.2022.102364>
- Flores, H. J. C. (2010). Enfermedad renal crónica: epidemiología y factores de riesgo. *Revista Médica Clínica Las Condes*, 21(4), 502-507. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (s.f.). *Producto Interno Bruto per cápita*. Recuperado el 28 de febrero de 2023. <https://cuentame.inegi.org.mx/economia/pibpc.aspx?tema=e>
- Jepson, C., Hsu, J. Y., Fischer, M. J., Kusek, J. W., Lash, J. P., Ricardo, A. C., Schelling, J. R., Feldman, H. I., & Chronic Renal Insufficiency Cohort (CRIC) Study Investigators (2019). Incident Type 2 Diabetes Among Individuals With CKD: Findings from the Chronic Renal Insufficiency Cohort (CRIC) Study. *American journal of kidney diseases: the official journal of the National Kidney Foundation*, 73(1), 72–81. <https://doi.org/10.1053/j.ajkd.2018.06.017>
- Instituto Mexicano del Seguro Social-Bienestar (S/f-b). *IMSS-Bienestar*. Recuperado el 2 de junio de 2023, de <http://www.imss.gob.mx/imss-bienestar>
- Kalantar-Zadeh, K., Jafar, T. H., Nitsch, D., Neuen, B. L., & Perkovic, V. (2021). Chronic Kidney Disease. *The Lancet*, 398(10302), 786–802. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(21\)00519-5](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(21)00519-5)



- Kurt, B., & Kurtz, A. (2015). Plasticity of renal endocrine function. *American Journal of Physiology-Regulatory, Integrative and Comparative Physiology*, 308(6), R455-R466.
- Levey, A. S., Schwartz, W. B., & Coresh, J. (2012). Chronic kidney disease. *Lancet*, 379, 165–180. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(11\)60178-5](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(11)60178-5)
- Lustig, Nora. (2007). Salud y desarrollo económico. El caso de México. *El trimestre económico*, 74(296), 793-822. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2448718X2007000400793&lng=es&tlng=es
- Mayo Clinic. (s. f.). *Nefropatía crónica*. Recuperado el (01 de marzo de 2023). <https://www.mayoclinic.org/es-es/diseases-conditions/chronic-kidney-disease/symptoms-causes/syc-20354521>
- Méndez-Durán, A., Méndez-Bueno, J. F., Tapia-Yáñez, T., Montes, A. M., & Aguilar-Sánchez, L. (2010). Epidemiología de la insuficiencia renal crónica en México. *Diálisis y trasplante*, 31(1), 7-11.
- Miranda-Ramírez, P. (2018). *Influencia del género en el trasplante de riñón*. Cienciamx. <https://www.cienciamx.com/index.php/ciencia/salud/20462-influencia-genero-trasplante-rinon>
- Organización mundial de la Salud (OMS) (s/f). *Who.int*. Recuperado el 31 de mayo de 2023, de https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/154587/WHO_NMH_NHD_15.2_spa.pdf
- Organización Panamericana de la Salud-Organización Mundial de la Salud. (2015). *La OPS/OMS y la Sociedad Latinoamericana de Nefrología llaman a prevenir la enfermedad renal y a mejorar el acceso al tratamiento*. https://www3.paho.org/hq/index.php?option=com_content&view=article&id=10542:2015-opsoms-sociedad-latinoamericana-nefrologia-enfermedad-renal-mejorar-tratamiento&Itemid=0&lang=es#gsc.tab=0
- Prevención de la enfermedad de los riñones. (s/f). National Institute of Diabetes and Digestive and Kidney Diseases. (NIDDK) Recuperado el 31 de mayo de 2023, de <https://www.niddk.nih.gov/health-information/informacion-de-la-salud/enfermedades-rinones/informacion-general/prevencion>
- National Institute of Diabetes and Kidney Diseases. (s.f.). *Prevención de la enfermedad de los riñones*. Consultado el 28 de febrero 2023. <https://www.niddk.nih.gov/health-information/informacion-de-la-salud/enfermedades-rinones/informacion-general/prevencion>
- Rayner, H., Thomas, M., Milford, D. (2016). Kidney Anatomy and Physiology. En *Understanding Kidney Diseases* (pp. 1-10). Springer, https://doi.org/10.1007/978-3-319-23458-8_1
- Romagnani, P., Remuzzi, G., Glassock, R., Levin, A., Jager, K. J., Tonelli, M., Massy, Z., Wanner, C., & Anders, H. J. (2017). Chronic Kidney Disease. *Nature Reviews Disease Primers*, 3. <https://doi.org/10.1038/nrdp.2017.88>
- Secretaría de Salud. (2022). *Enfermedad renal en México: prevención, promoción, atención y seguimiento*. <https://www.gob.mx/salud/prensa/119-enfermedad-renal-en-mexico-prevencion-promocion-atencion-y-seguimiento?idiom=es>
- Sevilla, A., Borryayo-Sanchez, G., Molina, C. & Montiel, I. & Torres, M. (2022). Análisis geográfico de Nefropatía Diabética e Insuficiencia Renal en el primer nivel de atención, IMSS 2019. *Rev. Méd. Inst. Mex. Seguro Soc*, 60(2), 156-163
- Tamayo y Orozco J.A y Lastiri-Quirós H.S. (2016). *La enfermedad renal crónica en México: Hacia una política nacional para enfrentarla*. Academia Nacional de Medicina de México. https://www.anmm.org.mx/publicaciones/ultimas_publicaciones/ENF-RENAL.pdf
- Webster, A. C., Nagler, E. V., Morton, R. L., & Masson, P. (2017). Chronic Kidney Disease. *The Lancet*, 389(10075), 1238–1252. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(16\)32064-5](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(16)32064-5)

Evaluación *in vitro* del efecto antiviral del Litocoiloleato frente al Virus de Herpes Simplex 1

¹Luis Enrique Puga-Galván, ¹Erika Nahomy Marino-Marmolejo, ¹Flor Yohana Flores-Hernández, ¹Darwin Eduardo Elizondo-Quiroga, ¹Juan Carlos Mateos-Díaz, ¹Ana Daniela Vega-Rodríguez, ¹Ernesto Prado-Montes de Oca, ²Jorge Gaona-Bernal y ¹Jorge Bravo-Madriral*

¹Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco, A.C. (CIATEJ), Unidad de Biotecnología Médica y Farmacéutica. Guadalajara. Jalisco, México.

²Universidad de Guadalajara (UDG), Centro Universitario de Ciencias de la Salud, Guadalajara, Jalisco, México.

*jbravo@ciatej.mx.

Palabras clave:

Antiviral,
 Inmunología,
 VHS-1,
 Litocoiloleato

Resumen

El Litocoiloleato es un compuesto con potencial terapéutico desarrollado en CIATEJ, capaz de estimular células para la producción de moléculas con actividad antiviral como Catelicidina LL37, Beta defensina humana 1 e Interferón- γ , que permiten generar un estado de defensa celular contra infecciones. Se evaluó la capacidad antiviral de dicho compuesto frente al Virus de Herpes simplex 1 (VHS-1), donde se observó que existe sinergia con aciclovir al utilizar ambos en una concentración 0.05 mM, en combinación logró disminuir el título viral (TCID₅₀), el cual es la dosis necesaria para infectar al 50% del cultivo celular desde 4x10⁴ TCID₅₀ hasta 56.2 TCID₅₀, es decir, un 99.87%. Lo anterior al ser estimuladas las células durante 2 horas. También se observó que no existe una toxicidad considerable al hacer la prueba de viabilidad celular mediante la prueba de MTT. Estos resultados abren la puerta a posibles tratamientos para VHS-1 así como la evaluación de su efecto contra otros virus o infecciones.

Introducción

En la actualidad cuando uno escucha sobre el desarrollo de nuevos fármacos se piensa en grandes laboratorios de corporaciones de gran importancia económica como Bayer, Roche o Pfizer; sin embargo, en México existen diferentes grupos de investigación que constantemente están haciendo pruebas para encontrar o desarrollar nuevos fármacos que puedan ser útiles para la sociedad no solamente mexicana, sino global. En CIATEJ, por ejemplo, existen diferentes líneas de investigación que van dirigidas a generar fármacos que puedan ser utilizados en un futuro para dar un tratamiento eficaz contra alguna enfermedad. Es importante que estas investigaciones se lleven a cabo, ya que pueden ser benéficas para la población ante posibles brotes de microorganismos que pudieran ser resistentes a los medicamentos que existen en la actualidad, asimismo, nuestro país poco a poco dejaría de ser dependiente del desarrollo farmacéutico extranjero.

El Litocoiloleato (LO) es una molécula desarrollada en el grupo de investigación del Dr. Prado, que sirve como elicitador de péptidos antimicrobianos, el cual presenta



actividad antimicrobiana indirecta e inmunomoduladora al inducir la expresión o sobreexpresión de péptidos antimicrobianos e interferón tipo II (interferón- γ). El LO es un derivado del ácido litocólico esterificado con ácido oleico. Es un líquido oleoso amarillento a temperatura ambiente con un peso molecular de 641g/mol y fórmula química C₄₂H₇₂O₄ (Prado-Montes de OCA *et al.*, 2015). Los elicitores de péptidos antimicrobianos se clasifican en físicos (clase I), químicos (clase II) y biológicos (clase III). El Litocoiloleato forma parte de la clase II (Prado-Montes De Oca, 2013; Prado-Montes de OCA *et al.*, 2015).

El interferón- γ así como los péptidos inducidos por el Litocoiloleato (Catelicidina LL37 y Beta defensina Humana 1), debido a su naturaleza, tienen un gran potencial antiviral, como mencionaron Prado-Montes de oca & Bravo-Madrigal en el 2018 donde demostraron que al exponer un cultivo celular a LO 0.05 mM lograba haber una reducción del título viral de al menos 1 logaritmo respecto a la carga viral inicial, probablemente provocado gracias a estas moléculas antivirales (Prado-Montes de oca & Bravo-Madrigal, 2018). El hecho de que el Litocoiloleato fomente la producción de moléculas con capacidad antiviral abre la puerta a su uso en tratamientos contra este virus de forma más efectiva.

En este trabajo, nos dimos a la tarea de buscar una forma de solubilizar con mayor eficacia el Litocoiloleato, con el fin de favorecer la entrada a la célula, para posteriormente evaluar la actividad antiviral que tiene el Litocoiloleato frente al virus de Herpes Simplex tipo 1 (VHS-1). Una vez que se obtuvieron resultados favorables evaluamos diferentes concentraciones para poder confirmar su seguridad toxicológica en cultivos celulares.

Desarrollo

Cultivo celular

Se empleó la línea celular derivada del riñón de mono verde africano (VERO CCL-81), obtenida de la American Type Culture Collection (ATCC). Se propagó utilizando medio Dulbecco's Modified Eagle Medium (DMEM) (Sigma), el cual fue suplementado al 10% con Suero Fetal Bovino (SFB) (ByProducts) sin antibióticos. El cultivo celular fue colocado en una incubadora NuairMT (NU-4750) a 37°C y 5% de CO₂.

Virus

El Virus de Herpes simplex tipo 1 (VHS-1 VR-733) fue obtenido de la ATCC. Previamente fue replicado en células Vero donde se utilizó el medio DMEM con 1% de SFB. El título viral que se logró obtener fue de 7.4x10⁷ TCID₅₀/mL (TCID₅₀: Dosis necesaria para infectar al 50% del cultivo celular). Se replicó el virus en una monocapa de células Vero utilizando medio DMEM suplementado con 1% de SFB. El título viral infectivo de la suspensión de trabajo es de 1x10⁷ TCID₅₀/mL.

Estimulación e Infección Viral

Se evaluaron las concentraciones de 0.5 mM y 0.05 mM de Litocoiloleato, se compararon con el antiviral Aciclovir, efectivo contra el VHS-1 a la misma concentración 0.05 mM, así mismo, se evaluó la sinergia que existe entre ambas moléculas. Se emplearon dos microplacas de 12 pozos (Corning), las cuales se prepararon un día previo con 4x10⁵ células vero por pozo y medio DMEM (SIGMA) con Suero fetal bovino SFB al 5% (ATCC). Se desechó el medio y se realizaron dos lavados con 1 mL cada uno de PBS (Gibco), después se colocó 1ml de las soluciones a evaluar en los pozos y se estimuló una placa durante 2h y



la otra durante 24h. Una vez que concluyó el tiempo de estimulación se reservó este medio de estimulación, se procedió a realizar la infección viral con VHS-1 (4×10^4 TCID₅₀ en 60 uL por pozo), para los controles con células sin infectar, se colocó 60 uL de medio DMEM con 1% SFB, y se incubó durante 60 minutos para su adsorción en la cual cada 10 minutos se homogeneizó para evitar que se secan las células, pasado el tiempo se regresó cada medio de estimulación a sus respectivos pozos y se incubaron durante 3 días a 37°C/ 5% CO₂ mientras se observaba el avance de la infección y la aparición del efecto citopático clásico del VHS-1, una vez completados los días se congeló la microplaca para su posterior titulación.

Titulación Viral

Se llevó a cabo en microplacas de 96 pozos (Corning), las cuales fueron preparadas un día previo con 12,500 células por pozo en medio DMEM al 5% SFB. Se descongelaron las microplacas donde se realizó la infección viral y del contenido se realizaron diluciones con factor 1:10, posteriormente se descartó el medio de la placa de 96 pozos que se tenía previamente y se procedió a colocar 100 uL por pozo en la placa donde el pozo del extremo derecho era el más diluido y hacia la izquierda se iba concentrando de virus. Se incubó durante 3 días a 37°C/ 5% CO₂. Se marcaron los pozos donde había efecto citopático y mediante la ecuación de Spearman-Kärber se realizó el cálculo de TCID₅₀ existente después de la estimulación con los tratamientos.

Citotoxicidad celular

Se realizó en microplacas de 96 pozos (Corning) y por triplicado en diferentes tiempos. Una vez que la monocapa estuvo en confluencia, fue tratada con 0.1 mL por pozo de medio DMEM con 1% SFB, Etanol al 2%, albúmina al 0.4% y la concentración del Litocoiloleato a evaluar como se muestra en la Tabla 1, teniendo un total de ocho repeticiones por muestra y siete repeticiones por cada control. Las placas con las células fueron incubadas a 37°C y 5% CO₂ por 24h, 48h y 72h. Después de la evaluación microscópica, las concentraciones de LO a evaluar fueron removidas de las microplacas y se realizaron dos lavados con 0.1 mL por pozo con PBS (Gibco) para remover cualquier residuo. Se siguió el procedimiento descrito por Nga y colaboradores en el 2020 (Nga *et al.*, 2020). Se le añadió 0.1 mL de medio DMEM sin SFB, así como 10 uL de solución de MTT (Sigma) (la solución de trabajo de MTT contiene: 5mg de MTT por 2 mL de medio DMEM sin SFB), se agitó un poco para asegurar la incorporación y se cubrió de la luz. Las células fueron incubadas por 4h a 37°C/ 5% CO₂. Se añadieron 90 uL de DMSO (Merck) y después 60 uL de SDS 30% (Sigma) (30 g de SDS por 100 mL de agua destilada) por pozo y se cubrieron todos los pozos con una película adhesiva transparente para evitar la contaminación entre los pozos y se volvió a cubrir de la luz. Se agitó durante 60 minutos a 600RPM. Se leyó la absorbancia generada por cada muestra a 550 nm en el lector de microplacas xMarkMT Microplate Spectrophotometer (Biorad).

Se utilizó como control de células muertas DMSO al 60% (Sigma), así como un control de células vivas en el cual únicamente tenían medio DMEM con 1% SFB, también se añadió un control de los excipientes, el cual contenía medio DMEM con 1% SFB, 2% Etanol y albúmina 0.4% para observar el efecto que tienen estos en el monocapa celular.

Resultados

Ensayo actividad antiviral

En la Figura 1 se muestra el título final de cada una de las soluciones evaluadas, la Tabla 2 contiene los datos desglosados de la titulación, donde se logra observar que en ambos tiempos de estimulación el Litocoiloleato



no es capaz de hacer frente a la infección viral por sí misma al emplearse únicamente disuelta en el excipiente; sin embargo, existe una importante sinergia entre el Litocoiloleato y el aciclovir, los cuales tienen un mejor efecto antiviral en comparación con el aciclovir solo. También se observa que la estimulación del cultivo celular con 2 horas en contacto con la solución 0.05mM de Litocoiloleato y 0.05mM se logró disminuir 99.87% la carga viral inicial, es decir, de 4×10^4 TCID₅₀ a 56.2 TCID₅₀ mientras que la estimulación del mismo compuesto durante 24 horas a un cultivo celular logró disminuir un 99.55%, es decir, hasta 178 TCID₅₀. En el caso del LO 0.5 mM y aciclovir 0.05 mM, se observó a las 2 horas de estimulación una reducción similar, es decir, de 4×10^4 TCID₅₀ a 100 TCID₅₀ y a las 24 horas de 178 TCID₅₀. Si comparamos cualquiera de los dos resultados con la reducción del virus que hubo con el aciclovir 0.05mM la carga inicial se redujo un 99.21% después de 2 horas de estímulo (3.16×10^2 TCID₅₀); no obstante, no se observó efecto neto virucida después de 24 horas de estímulo ya que de hecho el título se incrementó a 5.62×10^4 TCID₅₀.

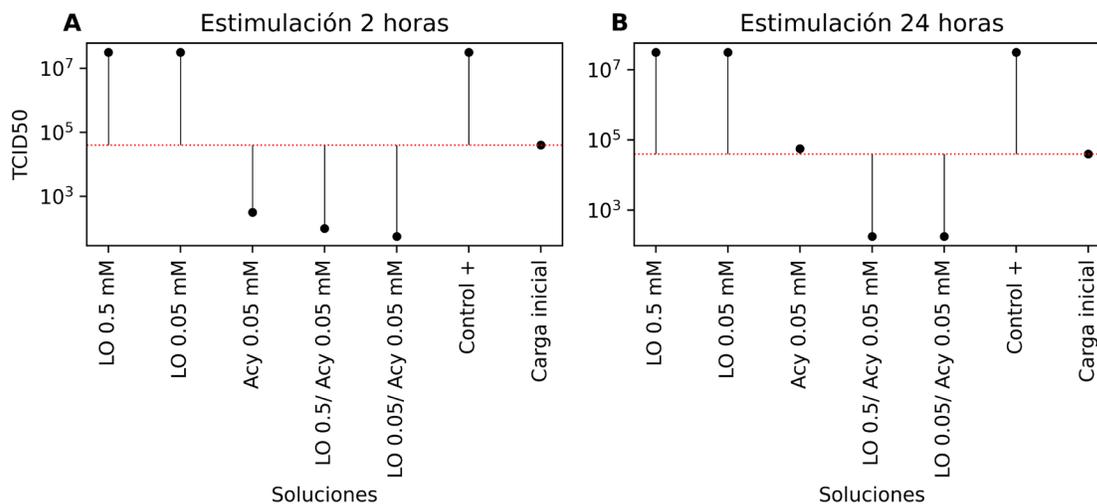


Figura 1. Resultados de las titulaciones virales tras la exposición a los tratamientos. La línea roja indica la carga inicial con la cual fue inoculado el cultivo 4×10^4 TCID₅₀. El punto representa el título viral al final del experimento de cada una de las soluciones evaluadas. Se puede observar cómo en ambos casos los tratamientos con Litocoiloleato 0.5/0.05mM y aciclovir 0.05 mM tuvieron un efecto sinérgico disminuyendo el título final aún más que el Aciclovir 0.05mM solo, también se observa la replicación normal del VHS-1 en el control positivo de infección.

Los resultados anteriores muestran que existe un mejor efecto antiviral a las 2h de estimulación en comparación con las 24h y en la concentración de Litocoiloleato a 0.05mM en combinación con el aciclovir a 0.05mM, siendo significativos ya que casi logran eliminar por completo el VHS-1. Es necesario corroborar estos resultados en queratinocitos humanos y en placas de 6 pozos.

Citotoxicidad celular

En la Figura 2 se muestran los resultados obtenidos del ensayo de citotoxicidad. Tras analizar los datos se observó una toxicidad moderada, la cual aparentemente se debe al etanol al 2% presente en el excipiente ya que se observan resultados muy parecidos cuando se compara con la toxicidad observada únicamente en las células expuestas sólo al excipiente. Los resultados estadísticos confirmaron que no hay una diferencia significativa.

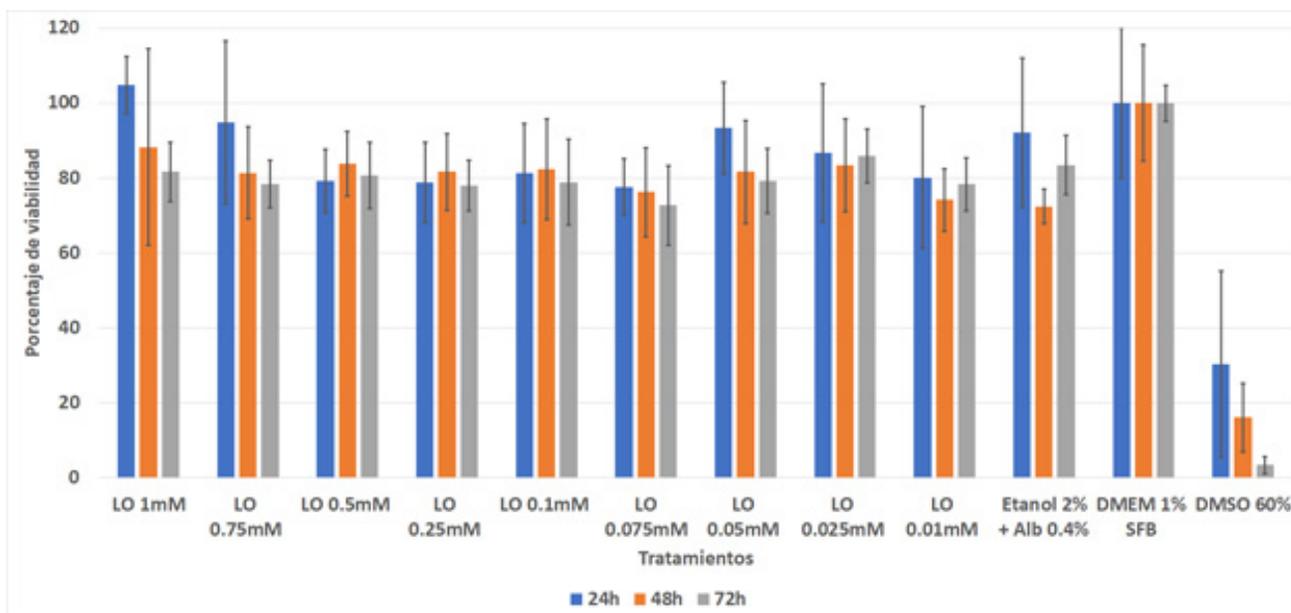


Figura 2. Gráfico de citotoxicidad mediante la prueba de MTT de los diferentes tratamientos evaluados. Se muestran las líneas de error que fueron establecidas de acuerdo con la desviación estándar de los resultados.

La prueba de citotoxicidad por MTT nos permite observar la respiración celular al metabolizar el MTT por parte de las células, sin embargo, esta puede ser modificada si el compuesto a evaluar crea estrés en las células y estas aumentan la velocidad de su metabolismo, motivo por el cual sería necesario complementar dichos resultados con la prueba de toxicidad mediante citometría de flujo, la cual nos mostraría la integridad celular y de esa forma asegurar que la molécula es segura, al menos a nivel celular, posteriormente será necesario también hacer evaluaciones de seguridad en su administración en un modelo preclínico.

Discusión

Diversos autores han encontrado que la beta defensina humana 1 (Álvarez *et al.*, 2018; Brice & Diamond, 2019), la catelicidina LL37 (Ahmed *et al.*, 2019; Pahar *et al.*, 2020) y el interferón- γ (Kajita *et al.*, 2015; Sainz & Halford, 2002) son capaces de hacer frente contra infecciones por VHS-1 por sí mismos, así que se podría hipotetizar que el Litocoiloleato al estar en contacto con las células estimula la síntesis de estos péptidos antivirales y citocinas posibilitando que la célula pueda hacer frente a una infección viral; sin embargo, es necesario realizar una qRT-PCR para poder confirmar que en la línea VERO se está llevando la sobreexpresión de estos así como cuantificar, además de realizarse el modelo de actividad antiviral en queratinocitos, modelo donde se ha constatado la sobreexpresión de la beta defensina, catelicidina e interferón- γ . Los resultados observados en este trabajo muestran que por sí solo el LO no ejerce un efecto antiviral, como sí lo hace el aciclovir, aunque se han detectado cepas resistentes a este antiviral, en especial en pacientes inmunocomprometidos, y que han sido tratados con un solo antiherpético (Epstein *et al.*, n.d.; Greeley *et al.*, 2020). En general, este virus sigue siendo tratado con aciclovir de manera efectiva, no obstante, el uso combinado con el aciclovir incrementa el efecto antiviral de este, lo que permitiría, en principio, reducir el tiempo de infección con un tratamiento en conjunto. Nuestro grupo considera que este efecto sinérgico puede ser al menos, en parte, debido a que se ha demostrado previamente que el LO tiene un efecto elicitor del interferón γ y de los péptidos antimicrobianos: catelicidina y beta-defensina en células A549 y queratinocitos



humanos (Prado-Montes de OCA *et al.*, 2015). Estos resultados abren la puerta a posibles tratamientos futuros con ambas moléculas con el fin de ayudar principalmente a pacientes inmunocomprometidos que sufran de infección viral por Herpes, sin embargo, es necesario continuar con la investigación sobre su actividad antiviral indirecta. También es importante mencionar que la citotoxicidad observada en los ensayos no sería perjudicial al momento de tratar con Litocoiloleato a pacientes que tengan alguna infección por VHS-1.

Uno de los principales problemas que se observaron en este trabajo fue lograr la correcta integración del LO en los cultivos celulares, esto dado la hidrofobicidad de la molécula, esto se logró resolver utilizando como agente acarreador el SFB al 80% o bien la albúmina al 4%, con lo cual se logró la integración del LO desde una concentración 1mM. Los mejores resultados se observaron en concentración 0.05mM, concentración que si bien no es viricida, sí es capaz de ejercer un efecto inhibitorio (virostático) cuando se compara con células expuestas únicamente al vehículo usado para resuspender el LO. Por otra parte, los resultados muestran que el mejor efecto se observa después de 2h de estimulación del LO sobre las células epiteliales, esto implica que aparentemente el LO es una molécula que ejerce su efecto antes de las 24h, no obstante, resulta contrastante que la expresión del Interferón γ se observa primordialmente después de 72 horas en líneas celulares humanas (Prado-Montes de OCA *et al.*, 2015). Esto implica que es necesario evaluar y comparar los niveles de expresión de la beta defensina, interferón gamma y catelicidina a las 72 h de estimulación con el LO. En relación con la solubilidad y tomando en consideración su uso industrial, podemos considerar que dado el carácter lipofílico del LO, se espera que dicha molécula pueda ser incorporada en formulaciones de aplicación tópica similares a las que actualmente se comercializa para tratar el fuego labial, el cual es uno de los principales trastornos causantes del virus VHS-1.

Conclusión

El Litocoiloleato es una molécula con actividad inmunomoduladora, la cual es capaz de proveer a las células de un mecanismo de defensa, el cual en sinergia con el aciclovir podría ayuda a tratar la infección contra el Virus de Herpes Simplex tipo 1, esto abre la posibilidad de utilizarlo con pacientes que estén inmunocomprometidos o incluso de poder utilizarlo con otros antivirales para evaluar su eficacia contra diferentes virus. Dada la capacidad del LO para estimular la expresión de péptidos antimicrobianos, se tienen las perspectivas que esta molécula pueda ser utilizada para inducir un incremento en la capacidad defensiva de las células epiteliales frente a diversas infecciones virales o bacterianas. Por otra parte, dado que esta molécula no tiene un efecto antiviral directo, sino más bien induce en las células la capacidad de generar diversas moléculas con actividad antimicrobiana, se podría advertir que, en particular, podría ser útil para evitar la resistencia antimicrobiana y/o resistencia antiviral. En relación con la seguridad, aunque aún hace falta realizar más pruebas, al menos la prueba de citotoxicidad indica que esta molécula es segura para las células en la concentración en la cual es efectiva como inductor de péptidos antivirales.

Financiamiento

Proyecto Clave 312570: Potencial Inmunomodulador para COVID-19: Evaluación del Litocoiloleato como inductor de síntesis de péptidos antivirales en células epiteliales expuestas a infección con el virus SARS-COV-2 (PAACTI-CONACYT)-2020.



Referencias

- Ahmed, A., Siman-Tov, G., Hall, G., Bhalla, N., & Narayanan, A. (2019). Human antimicrobial peptides as therapeutics for viral infections. *Viruses*, *11*(8), MDPI AG. <https://doi.org/10.3390/v11080704>
- Álvarez, Á. H., Martínez Velázquez, M., & Prado Montes de Oca, E. (2018). Human β -defensin 1 update: Potential clinical applications of the restless warrior. *International Journal of Biochemistry and Cell Biology*, *104*, pp. 133–137. Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.biocel.2018.09.007>
- Brice, D. C., & Diamond, G. (2019). Antiviral Activities of Human Host Defense Peptides. *Current Medicinal Chemistry*, *27*(9), 1420–1443. <https://doi.org/10.2174/0929867326666190805151654>
- Kajita, A., Morizane, S., Takiguchi, T., Yamamoto, T., Yamada, M., & Iwatsuki, K. (2015). Interferon-Gamma Enhances TLR3 Expression and Anti-Viral Activity in Keratinocytes. *Journal of Investigative Dermatology*, *135*(8), 2005–2011. <https://doi.org/10.1038/jid.2015.125>
- Nga, N. T. H., Ngoc, T. T. B., Trinh, N. T. M., Thuoc, T. L., & Thao, D. T. P. (2020). Optimization and application of MTT assay in determining density of suspension cells. *Analytical Biochemistry*, *610*, <https://doi.org/10.1016/j.ab.2020.113937>
- Pahar, B., Madonna, S., Das, A., Albanesi, C., & Girolomoni, G. (2020). Immunomodulatory Role of the Antimicrobial LL-37 Peptide in Autoimmune Diseases and Viral Infections. *MDPI*, *7*, 1–19.
- Prado-Montes De Oca, E. (2013). Antimicrobial peptide elicitors: New hope for the post-antibiotic era. *Innate Immunity*, *19* (3), pp. 227–241. SAGE Publications Ltd. <https://doi.org/10.1177/1753425912460708>
- Prado-Montes de oca, E., & Bravo-Madrugal, J. (2018). *Elicitor de péptidos antimicrobianos Litocoleato como agente antiviral*.
- Prado-Montes de OCA, E., Mateos-Díaz, J. C., Gonzalez-Avila, M., & Grajales-Hernández, D. Alberto. (2015). *Process for obtaining a molecule serving as an antimicrobial peptide elicitor*.
- Sainz, B., & Halford, W. P. (2002). Alpha/Beta Interferon and Gamma Interferon Synergize To Inhibit the Replication of Herpes Simplex Virus Type 1. *Journal of Virology*, *76*(22), 11541–11550. <https://doi.org/10.1128/jvi.76.22.11541-11550.2002>



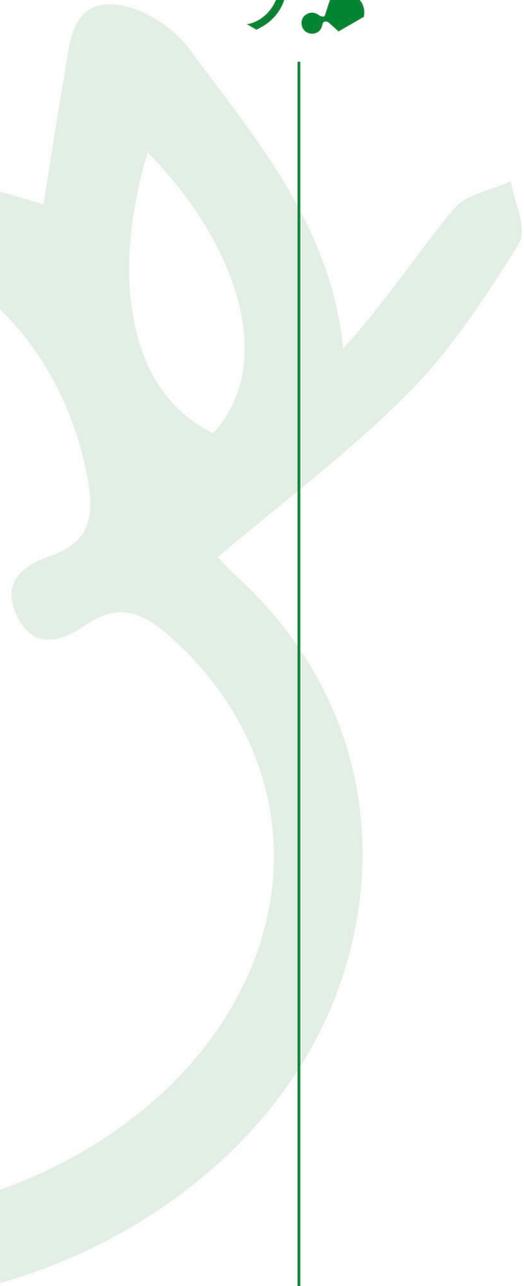
Tabla 1. Soluciones para evaluar la citotoxicidad.

Soluciones Para Evaluar	Albúmina 0.4%	Etanol 2%	SFB 1%	12,500 células vero / pozo	Propósito
Litocoiloleato 1 mM	+	+	+	+	Evaluar citotoxicidad.
Litocoiloleato 0.75 mM	+	+	+	+	Evaluar citotoxicidad.
Litocoiloleato 0.5 mM	+	+	+	+	Evaluar citotoxicidad.
Litocoiloleato 0.25 mM	+	+	+	+	Evaluar citotoxicidad.
Litocoiloleato 0.1 mM	+	+	+	+	Evaluar citotoxicidad.
Litocoiloleato 0.075 mM	+	+	+	+	Evaluar citotoxicidad.
Litocoiloleato 0.05 mM	+	+	+	+	Evaluar citotoxicidad.
Litocoiloleato 0.025 mM	+	+	+	+	Evaluar citotoxicidad.
Litocoiloleato 0.01 mM	+	+	+	+	Evaluar citotoxicidad.
DMEM + 1% SFB + DMSO 60% + Albúmina 0.4% + 2% Etanol	+	+	+	+	Control de células muertas.
DMEM 1% SFB + 2% Etanol + Albúmina 0.4%	+	+	+	+	Control de Excipientes
DMEM 1% SFB	-	-	+	+	Control de células vivas



Tabla 2. Resultados de la titulación viral tras la estimulación del cultivo celular con los diferentes tratamientos. LO: Litocoiloleato. Acy: Aciclovir.

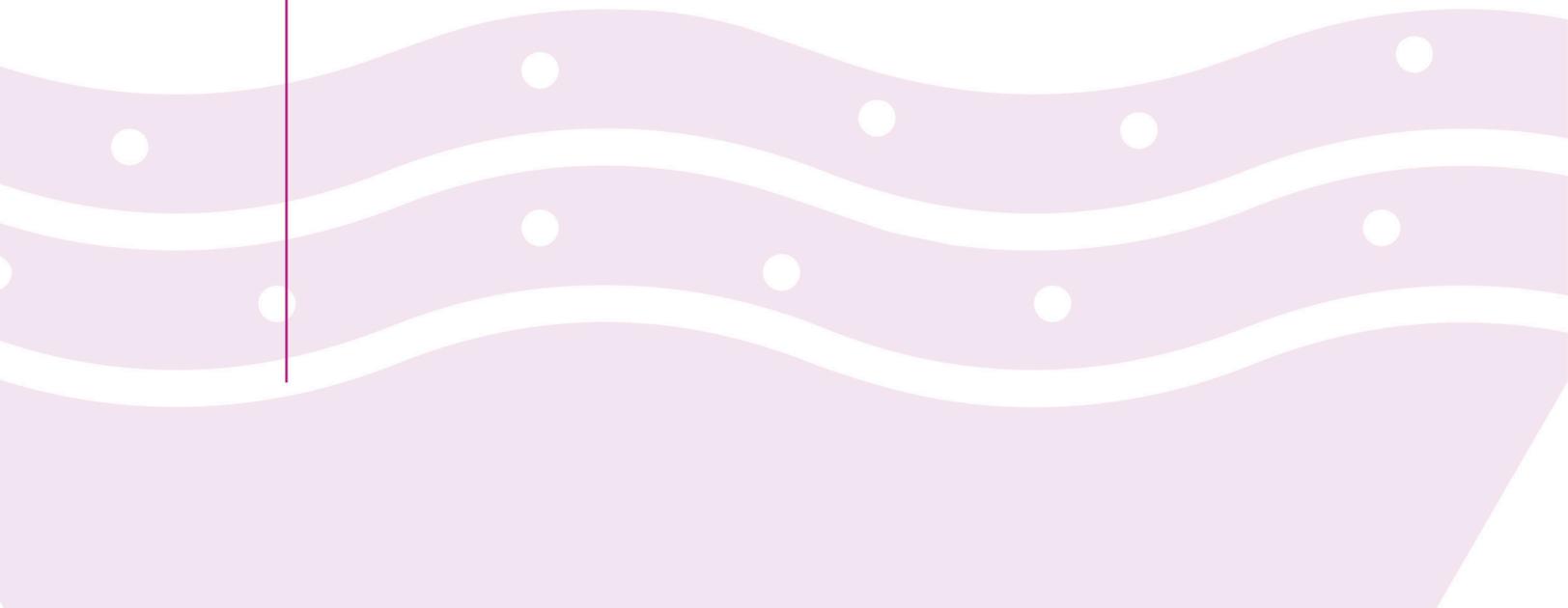
*Ensayos efectuados en presencia de 400,000 células VERO		Carga viral en DICT50% por ensayo		Modificación de la carga inicial	
		Carga viral Inicial	Carga viral 3 Días post infección	Número de veces que Aumento	Número de veces que disminuyo
2h estimulación	LO 0.5mM	4.00E+04	3.16E+07	790.6	-
	LO 0.05mM	4.00E+04	3.16E+07	790.6	-
	Acy 0.05mM	4.00E+04	3.16E+02	0.0	126.5
	LO 0.5/ Acy 0.05 mM	4.00E+04	1.00E+02	0.0	400.0
	LO 0.05/ Acy 0.05 mM	4.00E+04	5.62E+01	0.0	711.3
	Control +	4.00E+04	3.16E+07	790.6	0.0
24h estimulación	LO 0.5mM	4.00E+04	3.16E+07	790.6	-
	LO 0.05mM	4.00E+04	3.16E+07	790.6	-
	Acy 0.05mM	4.00E+04	5.62E+04	1.4	0.7
	LO 0.5/ Acy 0.05 mM	4.00E+04	1.78E+02	0.0	224.9
	LO 0.05/ Acy 0.05 mM	4.00E+04	1.78E+02	0.0	224.9
	Control +	4.00E+04	3.16E+07	790.6	0.0





SOCIEDAD Y SISTEMAS AGROALIMENTARIOS





Dolores comunes y sueños colectivos. La experiencia metodológica de una red de tejidos locales agroalimentarios en Guerrero

Román A. H. Rivas^{1*}, A. Marussia Serafin Castro¹, Joaliné Pardo Núñez¹, María Elena Matías Arcos¹ y Jesús Conrado Ochoa Acosta¹

¹ Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco
Av. Normalistas 800 Colinas de La Normal C. P. 44270 Guadalajara, Jalisco, México.

* Autor de correspondencia: roman.h.rivas@gmail.com

Palabras clave:

Agroecología,
Investigación
Acción
Participativa,
Comunidades de
aprendizaje, Redes
de colaboración.

Resumen

La experiencia metodológica del proyecto conocido a nivel territorial como Telar (Tejidos Locales Agroalimentarios en Red) muestra las aristas que implica proponer la creación de una Red de colaboración en materia de soberanía alimentaria, energética, hídrica, salud comunitaria y economía solidaria en Guerrero. La metodología base es la Investigación Acción Participativa (IAP), a través de la cual se propiciaron comunidades de aprendizaje a nivel regional (Tejidos), que buscaban el diálogo, las reflexiones y las acciones enfocadas al alivio de problemas locales. A la fecha, resultan la activación de cinco Tejidos con trabajo en torno a 18 líneas de acción, la conformación de cuatro procesos de investigación-acción a nivel interregional, la activación de cinco epicentros de incidencia socioambiental y el seguimiento al programa de formación permanente de actores locales clave “Diplomado en Agroecologías del Bien Común”. Existen dificultades relacionadas al carácter participativo de la IAP, sin embargo, sistematizar la experiencia nos permite analizar de manera crítica y autocrítica los horizontes de incidencia socioambiental que se pueden entretrejer con este proyecto, entrever la articulación de una pequeña red de colaboración estatal, así como propiciar el surgimiento y fortalecimiento de colectivos y grupos de trabajo que palpan en esta experiencia un parte aguas de autogestión e incidencia en el mejoramiento de los sistemas vida a nivel comunitario y regional, desde sus proyectos de vida profesional y comunitaria.

Introducción

El presente texto comparte la experiencia que como equipo de trabajo vivimos durante la implementación del proyecto “Impulso a redes de colaboración social-científico-tecnológica en el Estado de Guerrero, mediante el fortalecimiento de nodos regionales de incidencia socioambiental”, conocido a nivel territorial como Telar (Tejidos Locales Agroalimentarios en Red), financiado originalmente como



Fondo Mixto Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (conacyt) – Gobierno del Estado de Guerrero; por lo tanto, se da cuenta de la experiencia metodológica vivida entre marzo de 2021 y marzo de 2023.

El objetivo establecido del proyecto, según la convocatoria del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) (2019), es fortalecer una red de colaboración interinstitucional y multidisciplinaria en biotecnología del bien común y agroecología, que integre conocimientos, saberes y experiencias locales, capacidades e infraestructura científico-tecnológica para impulsar la soberanía alimentaria y energética, y la salud comunitaria en Guerrero, México.

El entramado social inicial de este proyecto, es decir una red inicial, se dio con los proyectos de investigación-acción-participativa (IAP) que desarrollaron 45 diplomantes guerrerenses de la segunda edición del Programa de formación permanente de actores locales clave “Diplomado en Agroecologías del Bien Común”, convocado entre la Dirección Regional Centro de conacyt en conjunto con el Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco (ciatej). Para el cierre de este diplomado se convocó a la conformación de comunidades de aprendizaje a nivel regional, tomando como referencia tanto la regionalización biocultural como la administrativa del estado de Guerrero, a partir de lo cual se definieron siete nodos o tejidos: Norte, Montaña, Centro, Acapulco, Costa Chica, Costa Grande y Sierra.

Cada tejido, a partir reflexiones colectivas, comenzó a indagar sobre sus dolores o problemas comunes y sueños colectivos relacionados con soberanía alimentaria, energética, hídrica, salud comunitaria y economía social y solidaria, con lo que definieron líneas de acción - reflexión a partir de las cuales comenzó la integración de una Red de colaboración y la experiencia metodológica que aquí se relata.

Desarrollo

En este apartado se mencionan algunos elementos de contexto que nos permitirán plantear con mayor profundidad la pertinencia del proyecto Telar en el momento actual. Posteriormente presentamos el componente central de la experiencia, que es precisamente la urdimbre y entramado metodológico que caracteriza al Telar, abordando los resultados del proyecto de manera general y entrelazando con algunos elementos conceptuales que permitirán desdoblar y complementar el análisis de la experiencia aquí expuesta.

Contexto

El 31 de diciembre de 2020 se publicó en el Diario Oficial de la Federación de México el Decreto por el que se establecen las acciones que deberán realizar las dependencias y entidades que integran la Administración Pública Federal (APF), en el ámbito de sus competencias, para sustituir gradualmente el uso, adquisición, distribución, promoción e importación de la sustancia química denominada glifosato y de los agroquímicos utilizados en nuestro país que lo contienen como ingrediente activo, por alternativas sostenibles y culturalmente adecuadas, que permitan mantener la producción y resulten seguras para la salud humana, la diversidad biológica del país y el ambiente (Presidencia de la República, 2020, diciembre 31).

Con ello, diferentes dependencias de la APF fundamentaron la implementación de programas y proyectos que, entre sus lineamientos u objetivos, establecen o dan pautas, que posibilitan impulsar procesos de transición agroecológica con los cuales buscan atender la sustitución gradual del glifosato y proveer de alternativas de producción sostenibles y culturalmente adecuadas a partir de la conformación de Comunidades de Aprendizaje, Escuelas de Campo, procesos de Investigación – Acción Participativa, campañas informativas y de sensibilización, programas de formación e incidencia, entre otros.



Así, en Guerrero la estrategia de reorientación de la política de humanidades, ciencia, tecnología e innovación impulsada por conacyt pretende incidir en la salud comunitaria, la soberanía alimentaria, energética e hídrica, la formación de actores locales clave y la territorialización de biotecnologías del bien común.

Dicha estrategia ha implicado para conacyt además del financiamiento del proyecto Telar, la realización de foros para la concertación y construcción de una agenda de humanidades, ciencia, tecnología e innovación para salud, educación y agroecología en Guerrero, una serie de acciones y programas que confluyen en la creación del primer Centro de Estudios e Investigación en Biculturalidad, Agroecología, Ambiente y Salud (ceibaas) en Acapulco, Guerrero.

Agroecologías emancipadoras e incidencia socioambiental

En este contexto cabe incorporar un par de elementos conceptuales que nos facilitarán comunicar el enfoque de intervención territorial del proyecto Telar. Por una parte, la noción de agroecologías emancipadoras introducida por Giraldo y Rosset (2022) para referir procesos de transformación radical que se posicionan desde la capacidad y organización colectiva para romper con dependencias externas relacionadas con la soberanía alimentaria, a partir de la construcción de autonomía y la implementación de múltiples prácticas agroecológicas, promoviendo el intercambio de bienes y servicios entre los entornos rurales y de estos con las ciudades.

En este sentido, el proyecto Telar ha puesto especial atención en las dimensiones políticas y sociales de la agroecología (Giraldo & Rosset, 2021), sin desestimar los aspectos técnicos, agronómicos y ecológicos, pero sí haciendo énfasis en los procesos organizativos, de concertación, colaboración, apropiación y articulación en red entre diferentes actores que de por sí ya accionan desde las prácticas agroecológicas y la apropiación de biotecnologías, con miras a cimentar la sostenibilidad de la red.

Por otro lado, la noción de incidencia socioambiental busca significar el ámbito, e incluso la urgencia, de las transformaciones que buscamos propiciar. Cuando hablamos de incidencia buscamos resaltar la intención declarada de intervenir para modificar la realidad, a partir de esfuerzos organizados y acciones emprendidas con base en su conocimiento y análisis. Incidir implica proponerse el despliegue de acciones multidisciplinarias para influir decisiones de personas clave, formar redes y procesos de articulación que movilicen a la población, entre otros efectos (Hernández de Toro, 2010).

El término socioambiental, si bien se analiza como una construcción conceptual aún inconclusa (Rodríguez Orozco, 2018), busca hacer referencia a las problemáticas y contradicciones provocadas en el ambiente por la acción humana, incorporando componentes de biodiversidad, paisaje, percepción de amenazas, poder, actores sociales y participación, con una estrategia de explicación sustentada en la recapitulación histórica (Ortega, *et al*, 2012).

Entonces, plantearnos la incidencia socioambiental implica intervenir procesos humanos que han provocado problemas o contradicciones en el ambiente para influir en la toma de decisiones de actores clave, que permitan transformar sistemas de prácticas con el propósito de generar sinergias entre sociedad y ambiente que deriven en actos de cuidado y sustentabilidad ambiental.

Ahorabien, la grandificultad que tenemos a propósito de la incidencia socioambiental es precisamente la forma de medir el nivel de incidencia, impacto o transformación atribuible a la intervención del Telar. Sin embargo, la sistematización de esta experiencia, que presentamos a continuación, nos ha permitido analizar la diversidad de formas en que se pueden expresar transformaciones en las comunidades que accionan desde las agroecologías y biotecnologías del bien común en el estado de Guerrero.



Urdimbre metodológica

En este apartado presentamos los principales hilos de la urdimbre¹ metodológica del Telar: IAP como base y secuencia de acción, comunidades de aprendizaje y herramientas de sistematización y análisis.

IAP: entendimiento de dolores comunes y construcción de sueños colectivos

El enfoque de la IAP como proceso reflexivo, sistemático, controlado y crítico tiene como propósito estudiar un aspecto de la realidad con una finalidad práctica y, lo más importante, en conjunto con los actores sociales territoriales. Implica que la forma de estudio es un modo de intervención surgido de actores que perciben su problema y deciden resolverlo a partir de sus capacidades y recursos, donde el propósito de la investigación es motivar acciones, que a su vez sean fuente de conocimiento. Esto implica que tanto investigadores como las y los habitantes del territorio participen como sujetos activos que contribuyen a conocer y transformar la realidad en la que están implicados(as) (Ander-Egg, 2003).

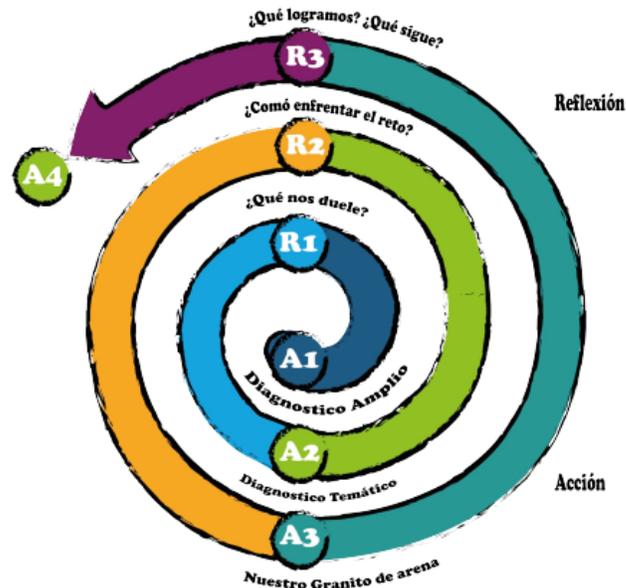


Figura 1. SEQ Figura * ARABIC: Espiral de la IAP. Elaborado por León Felipe de la Mora para el 2do Diplomado en Agroecologías del Bien Común. (A) Acción, (R) Reflexión.

La red de tejidos locales agroalimentarios ha tenido, desde su gestación, la premisa de trabajar con la metodología IAP, cuya secuencia se puede representar como una espiral como se observa en la Figura 1, la cual consiste en ciclos consecutivos de acción - reflexión (Ferguson *et al.* 2019). Por cada ciclo la reflexión tiene un origen práctico. En la experiencia de Telar, durante el primer ciclo se identifica el dolor común² a manera de diagnóstico amplio, y se conforman las comunidades de aprendizaje; el segundo ciclo, en el que se profundiza el diagnóstico, implica el diseño de un plan de acción, su implementación y la vinculación con actores, instituciones o procesos comunitarios; el tercer ciclo se

¹ En tejido, la urdimbre es la preparación y acomodo de los hilos longitudinales que serán entramados durante la elaboración de un textil.

² Por dolor común nos referimos a problemáticas que afectan a un conjunto de personas, puede ser una unidad familiar, productiva o comunitaria. Un ejemplo es la contaminación de fuentes de agua en una comunidad por uso excesivo de agrotóxicos.



traduce en el diseño y activación de prototipos y/o epicentros demostrativos, que se acompañan de reflexiones en torno a dificultades, retos, así como los cambios significativos y lecciones aprendidas.

Comunidades de aprendizaje (tejidos)

Las comunidades de aprendizaje, en tanto elemento clave de los marcos pedagógicos constructivistas para la acción social (Luna *et al.*, 2022), se plantean como espacios de diálogo igualitario a partir de los cuales es estrecha la relación entre teoría y práctica, incorporando elementos de análisis a las ciencias sociales y educativas, a partir de reconocer la voz de los actores sociales que, a través de sus acciones e interacciones entre diferentes culturas y de manera dialógica, transforman las prácticas y las teorías (Elboj Saso & Oliver Pérez, 2003).

Para Telar, las comunidades de aprendizaje se han interpretado como espacios donde confluyen actores territoriales, dedicados a compartir conocimientos, experiencias, saberes, materiales, infraestructura y aprendizajes desde y para la comunidad local. A estas comunidades se les llamó “tejidos” y, como parte fundamental de la metodología IAP, han sido el actor colectivo clave que ha definido el rumbo de la integración de la red. Este proceso se muestra en la figura 2 y se explica en los siguientes párrafos.

Fases del entramado de la Red

En la integración de la red de colaboración Telar se han identificado cuatro fases:

Activación de los tejidos

El núcleo base con el que inició cada tejido estuvo conformado por egresados de la segunda generación del “Diplomado en Agroecologías del Bien Común”, en cuyo módulo final se conformaron grupos de trabajo regionales. Con cada uno de estos grupos se realizó la programación y planeación del primer encuentro presencial en cada región. En la mayoría de los casos, este momento se abrió a la participación y el diálogo de actores involucrados en las comunidades de aprendizaje de los diplomantes, así como de actores locales externos al proceso. Fue así como se dio el primer espacio de trabajo colectivo, en donde se delimitaron nuevos dolores regionales y las líneas de acción para cada uno de ellos. Así se construyó la primera agenda de trabajo o primer momento de acción en la espiral IAP.

Entramado

La segunda fase se enfocó en la implementación de los planes de acción en cada tejido, lo que implicó el desarrollo de diferentes actividades públicas, principalmente encuentros de compartición de conocimientos y saberes en formato de talleres, campamentos, recorridos, etc., de tal forma que los y las participantes se conocieran y reconocieran entre sí, así como sus capacidades y sus espacios. Fue así como cada tejido fue construyéndose, cada uno con identidad y dinámica propia, definidas por la diversidad de actores que participaban, sus intereses, sus tiempos y las características propias de cada uno de sus territorios.

Durante el caminar de esta fase se diferenciaron las líneas de acción que no prosiguieron por la salida de actores interesados, así como de aquellas que prosiguieron y que derivaron en nuevos procesos IAP, en muchos casos gracias a vínculos formados o potenciados durante las actividades.



Entretejido

Los comienzos de esta fase están ligados estrechamente al camino que cada tejido tomó durante el entramado, pues en gran parte el entretejido comienza cuando se forman y/o se refuerzan los vínculos entre actores que llevaron dos procesos importantes surgidos en esta etapa: la consolidación de las líneas IAP propias de cada tejido y la conformación de nuevos grupos de trabajo entre actores de diferentes tejidos, que también se transformaron en nuevos procesos IAP (inter tejidos). Esta fase está caracterizada por la potencialización de estas articulaciones inter e intra regionales, que fueron surgiendo en función de uno o más temas de interés común, en la mayoría de los casos definidos durante los momentos de encuentro y diálogo ocurridos en el transcurso de las actividades del proyecto.

Epicentros demostrativos³

Esta cuarta fase ocurre con el seguimiento de tres líneas de trabajo: 1) La continuación de los procesos en cada tejido; 2) La activación o fortalecimiento de epicentros demostrativos, que son espacios físicos en algunos tejidos, cuya función es contribuir a la articulación de la red con acciones a corto, mediano y largo plazo, especialmente a través de actividades de formación, experimentación y encuentro en temas de agroecología y soberanías alimentarias; 3) La construcción y ejecución de la tercera edición del Programa de formación permanente de actores locales clave Diplomado en Agroecologías por el Bien Común. La participación en este programa de formación de actores locales que han estado involucrados en el Telar es parte del seguimiento que da el proyecto a los mismos ciclos de reflexión-acción que se han conformado y transformado durante todas las etapas en las distintas regiones. En ese sentido, esta etapa representa el inicio de una nueva vuelta en la espiral, en donde se integran nuevamente actores locales y se conforman nuevas comunidades de aprendizaje.



Figura 2. SEQ Figura * ARABIC: Fases identificadas en el avance de la red de articulación.

³ La noción de epicentros demostrativos establece una vocación orientada al movimiento y a la réplica de experiencias, contraria a la noción de centro que trae consigo la percepción de concentración y acumulación.



Sistematización de experiencias

En tanto que Telar es un proceso vivo, las herramientas que se han utilizado para la sistematización de cada actividad debían ser útiles para identificar momentos, procesos, actores y temas clave para marcar rumbos y avances de las diferentes fases; dos de estas herramientas que se utilizaron para ello son el mapeo de actores y la línea del tiempo.

Mapeo y análisis de actores

El mapeo de actores es una herramienta que permite identificar a las personas y organizaciones que pueden ser relevantes en el proceso de elaboración de estrategias, planes, programas y proyectos (Ayuso, 2021). Debido a la propia naturaleza de las comunidades de aprendizaje, los mapas no representaban una realidad estática, ya que sólo son una fotografía de ciertos momentos en la configuración cambiante de los tejidos.

Es por lo anterior que ha sido necesario hacer el mapeo de cada tejido en distintos momentos: 1). En la fase de activación, en donde sólo se plasmaron los actores que participaron en la definición de la planeación estratégica inicial del tejido; esto permitió conocer la diversidad de actores que convergen, así como de sus actividades e intereses. 2). En la fase de entramado y entretejido, en donde se colocó el grado de participación de cada actor en las distintas fases. Este mapa permitió identificar los actores con intereses activos y a aquellos que habían extendido sus redes de colaboración a través de procesos entre tejidos.

Línea de tiempo

Se utilizó como herramienta complementaria a partir de actividades realizadas en cada tejido. El análisis de la línea de tiempo ayudó a identificar momentos clave o hito dentro de los tejidos, entendidos como aquellos que contribuyeron a desencadenar procesos en la conformación de la red, como la consolidación de articulaciones, de nuevos colectivos o grupos de trabajo, la disolución de alguna línea de acción o la construcción y avance de algún proceso IAP en torno a alguna de ellas.

Resultados

A continuación, se presentan de manera general los resultados de dos años de experiencia, organizados de acuerdo con los componentes de la metodología.

Comunidades de aprendizaje y líneas de acción

Si bien en un inicio se propuso la activación de siete comunidades de aprendizaje, a la fecha se mantienen activas cinco: Norte, Montaña, Centro, Costa Grande y Costa Chica.

En el caso del Tejido Sierra, que desde entonces se reconoció como región por la particularidad identitaria de sus habitantes, la mayoría de los actores no continuó con las líneas de acción, algunos de ellos continuaron trabajando después con actividades del Tejido Costa Grande.



TEJIDOS NODOS TERRITORIALES

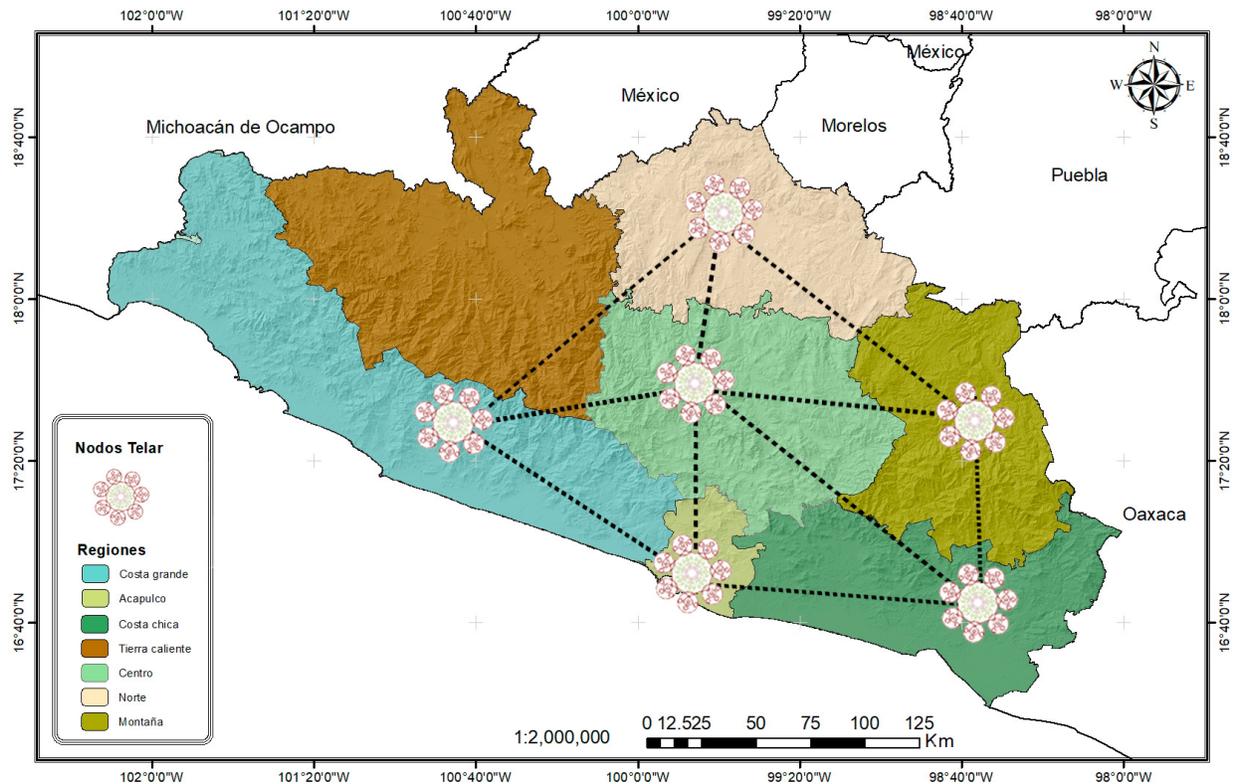


Figura 3. SEQ Figura * ARABIC: Ubicación de los Tejidos de Telar.

Actualmente el tejido Acapulco se ha diluido un poco, entre otras razones, por la dificultad de entamar relaciones comunitarias en entornos urbanos. Aun así, es sede del ceibaas, uno de los epicentros demostrativos y punto de encuentro de diferentes tejidos, por lo que consideramos que se encuentra latente a espera de algún proceso que lo dinamice.

Como se puede notar en el mapa, el proyecto no ha tenido presencia en la región Tierra Caliente, esto es por dos razones: la primera, porque no hubo participantes de esta región en la segunda generación del diplomado ABC. La segunda causa es por falta de condiciones de seguridad en la región debido a presencia de crimen organizado. La tabla 1 muestra una síntesis del caminar de cada tejido a partir del número de actividades presenciales que sucedieron (principalmente en las dos primeras fases), las líneas de acción que estuvieron y/o están presentes en los tejidos y la cantidad de actores que participaron por fase.



Tabla 1. Comunidades de aprendizaje, líneas de acción y actores

Tejido	Encuentros / talleres	Líneas de acción	Actores por fase	
			Activación	Entramado y entretejido
Costa Grande	8	Biodigestores	16	11
		Microbiología de biopreparados.		
		Cromatografía de Pfeiffer		
		Diplomado ABC 3.0		
		Bioinsumos y vitalidad de suelos		
Costa Chica	8	Apicultura	12	12
		Ecotecnias		
		Biofábricas y bioremediación de suelos		
		Economía Social y Solidaria		
		Diplomado ABC 3.0		
Centro	8	Ecotecnias	15	10
		Medicina tradicional		
		Manejo de recursos naturales		
		Economía social y solidaria		
		Manejo de residuos		
Montaña	9	Diplomado ABC 3.0	13	12
		Monitoreo de calidad del agua		
		Biotecnología en alimentos		
		Procesamiento de Tlahuanca		
Norte	8	Diplomado ABC 3.0	14	9
		Apicultura y meliponicultura		
		Manejo y optimización de agua		
Acapulco	3	Medicina tradicional	13	---
		Economía social y solidaria		
		Alimentación sana en escuelas		
		Apicultura		

Líneas de acción entretejidas

Algunos de los procesos interregionales que han avanzado en la conformación de redes de aprendizaje se describen a continuación. Todas con sus propios ritmos, incluso aun definiéndose o tomando pequeñas pausas, pero ya encaminadas y con planes a futuro.

Jóvenes por la agroecología: Son parte fundamental de Telar exponiendo problemas, creando alternativas y dando respuestas a dolores colectivos en sus regiones; así mismo, han propuesto e incluso dinamizado convocatorias de encuentros. Han creado vínculos entre los tejidos Centro, Norte, Montaña, Costa Grande y Costa Chica y han trabajado en torno a prácticas agroecológicas y herramientas de sistematización y socialización de sus propios aprendizajes territoriales.

Cromatografía en suelos: Trabajo colaborativo entre estudiantes y participantes de los Tejidos Centro, Costa Grande y Costa Chica cuyo interés se centra en dar seguimiento a la vitalidad y manejo de suelos utilizando la técnica cualitativa de cromatografía de Pfeiffer.

Medicina Tradicional: Este interés ha estado vigente principalmente en los Tejidos Centro, Norte y Acapulco, y atiende al dolor de la pérdida de conocimientos en torno al uso de plantas medicinales. Aunque cada Tejido avanzó a su paso en torno a esta línea, existen colaboraciones que desembocaron en un encuentro interregional de uso de plantas y en un trabajo colaborativo de investigación en plantas de sauco, pericón y tila.



Diplomado ABC 3.0. La tercera edición del diplomado se enfocó en la formación en desarrollo de proyectos IAP para la incidencia socioambiental. Incluyó cuatro ejes temáticos que responden a intereses de actores que forman parte de los Tejidos. Resultaron 23 prototipos: 11 en el eje de agroecología, 5 en salud y toxicidad, 3 en feminismos populares y 4 en bioculturalidad.

Epicentros demostrativos

La mayoría de ellos son espacios en donde ya existían prácticas e intereses relacionados a los Tejidos. En ese sentido, Telar ha contribuido en la activación de tres epicentros demostrativos y en el fortalecimiento de dos de ellos.

COA Apoyec, región Centro. Sistema agroforestal con interacción de fauna silvestre, en el que se practican técnicas agroecológicas y metodologías participativas de investigación-acción.

Rancho Agroecológico Las Finas, región Centro. Espacio dedicado al cultivo y experimentación agroecológica. Es parte de un proyecto familiar en donde convergen productores locales, docentes y estudiantes de la Universidad Autónoma de Guerrero (UAGro).

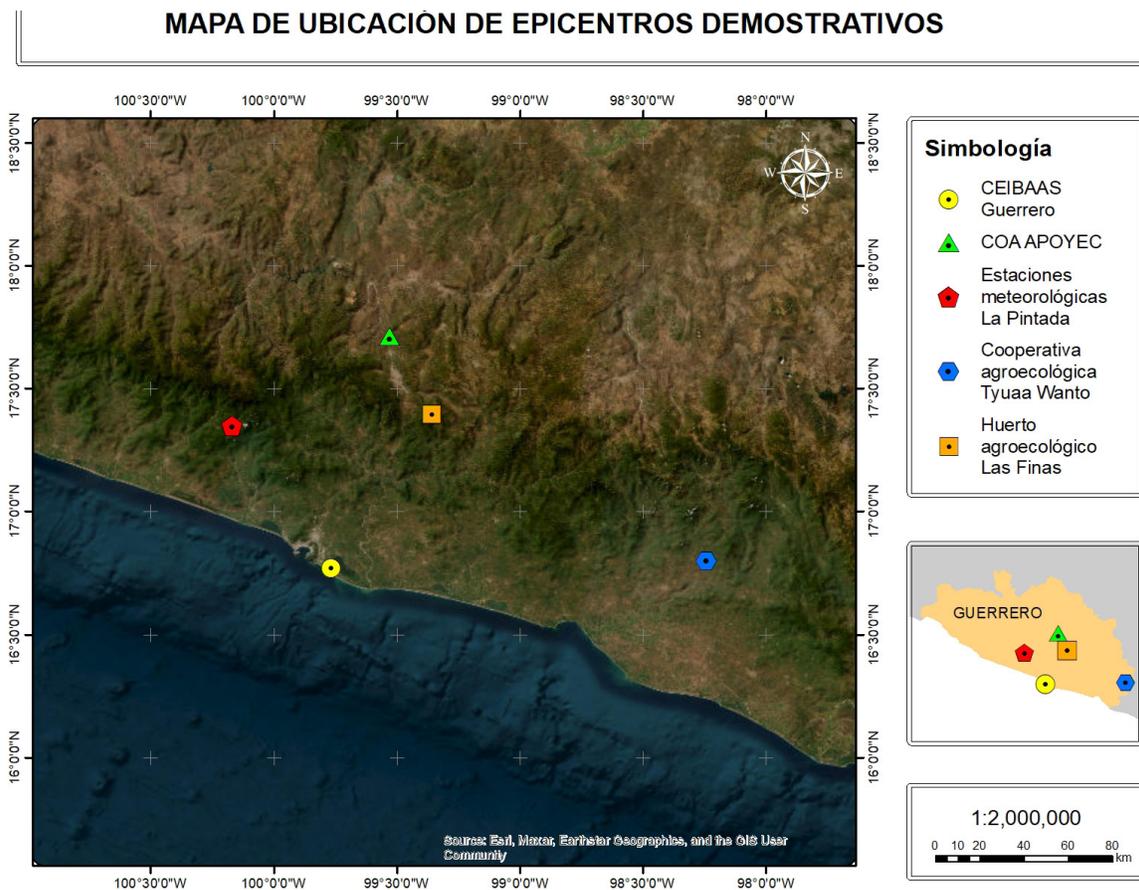


Figura 4. SEQ Figura * ARABIC: Mapa de ubicación de los epicentros demostrativos.

Cooperativa agroecológica Tyuaa Wanto' (Tierra viva), región Costa Chica. Es parte de la Cooperativa Ojo de Pueblo en donde convergen estudiantes, docentes y campesinos con interés en la transición agroecológica.



Estaciones meteorológicas La Pintada, región Costa Grande-Sierra. Dos estaciones meteorológicas colocadas en la comunidad de La Pintada para el monitoreo de elementos climáticos que ayudan a definir acciones de alerta temprana a la roya en café.

CEIBAAS Guerrero, región Acapulco. Sede de encuentros regionales entre tejidos y momentos de planeación. En sus laboratorios se da seguimiento a trabajos colectivos de los tejidos en torno a microbiología, cromatografía de suelos y calidad de agua.

Análisis y Conclusiones

Las dinámicas establecidas al interior de comunidades de aprendizaje a partir del entramado de saberes, conocimientos e infraestructura; el desarrollo de líneas de acción entretejidas a nivel interregional, la activación de epicentros demostrativos, así como la sistematización de experiencias son hilos de una urdimbre metodológica con el que se ha podido entramar una incipiente red de colaboración entre comunidades con dolores comunes y sueños colectivos.

Ciertamente el camino de consolidación de relaciones, principalmente el de una red a nivel estatal, ha tenido dificultades relacionadas con el carácter participativo de la metodología de investigación-acción, misma que reconoce la subjetividad intrínseca en la investigación -particularmente en las ciencias sociales- e incluye a los ciclos de reflexión como una parte integral de los procesos de investigación, (Hall, 1990). Es justamente el compromiso de participación que exige la investigación-acción lo que pone a prueba la pertinencia de la propuesta metodológica, la continuidad de los actores territoriales y, por lo tanto, las posibilidades reales de incidir en el ámbito socioambiental.

No teníamos -y es probable que sigamos sin tener aún- una respuesta clara a la cuestión de cómo medir el nivel de incidencia socioambiental, en tanto que se trata de procesos de largo aliento; sin embargo, caminar con un costal de herramientas metodológicas nos permitió documentar y sistematizar nuestra experiencia, con lo que podemos analizar de manera crítica y autocrítica los horizontes de incidencia socioambiental que se pueden entretejer con este proyecto.

Incluso pudiera discutirse que desde el Telar se pretenda impulsar agroecologías emancipadoras si dependió de recursos públicos para ejecutarse como proyecto, sin embargo, el entretejido de esta red de colaboración apuesta por una transformación radical en los sistemas agroalimentarios a partir del fortalecimiento de las capacidades de autogestión de actores territorializados con base en la organización colectiva para romper con dependencias externas en su proceso de transición agroecológica y apropiación de biotecnologías.

Por mencionar un ejemplo, los procesos vividos en el caminar del Telar han detonado casos en que emergen y/o fortalecen colectivos/grupos de trabajo, en su mayoría aquellos integrados por jóvenes que palpan en estos procesos un parte aguas de autogestión e incidencia en el mejoramiento de los sistemas vida a nivel comunitario y regional, desde sus proyectos de vida profesional y comunitaria.

Grupos como el Colectivo Trágame Tierra, en Costa Grande, Tierra Sur, Voz de mi tierra, Tierra Viva y Ojo de Pueblo en Costa Chica, COA Apoyec, en Centro, AGROVIDA en Región Norte, han dinamizado y multiplicado sus capacidades para facilitar y acompañar procesos de incidencia socioambiental en sus territorios, esto a través de la incorporación de conocimientos y herramientas que potencian las capacidades humanas de cada grupo de trabajo, a tal punto que estos mismos actores comienzan a ser referentes de las articulaciones con otros bloques en sus regiones, lo que extiende los alcances de la Red de colaboración.

Así, en esta Red de Tejidos Agroalimentarios ya se perfilan grupos/colectivos dinamizadores, equipos de facilitación, secuencias didácticas para la compartición de técnicas y herramientas, así como un acervo de materiales de comunicación comunitaria, y otros tantos componentes que están presentes pero que no han terminado de emerger y articularse por completo, como las redes de



economía social y consumo solidario, o los prototipos de incidencia socioambiental y procesos IAP que están en pleno desarrollo y que aún faltan por sistematizar sus experiencias. De tal manera que de a poco se van construyendo sueños colectivos que se entretajan entre inercias físicas, integraciones y desintegraciones biológicas, ciclos bioculturales y agrofestivos, ciclos de producción y consumo, marcos jurídicos y políticas de administración pública que enmarcan y acotan nuestras acciones, al tiempo en que provocamos su transformación.

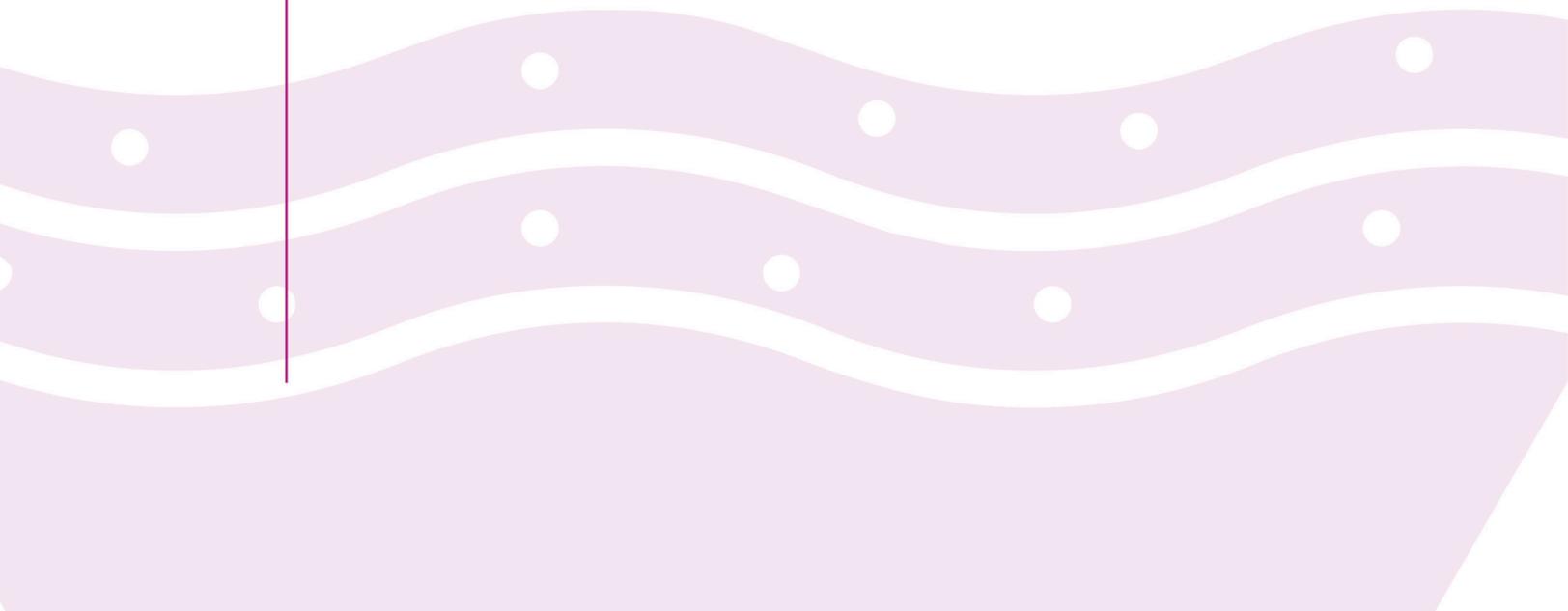
En este sentido, podemos concluir que si bien aún estamos lejos de la consolidación de un red estatal de colaboración en soberanía alimentaria, energética, hídrica y salud comunitaria, las relaciones entre actores y los hilos para su entramado están tendidos, las herramientas y técnicas están puestas y dispuestas para seguir el entretajido, los dolores comunes están diagnosticados, lo que falta es seguir trabajando y colaborando para que nuestros sueños colectivos sean realidad.

Referencias

- Ander-Egg, Ezequiel. (2003). *Repensando la Investigación-acción- participativa: comentarios, críticas y sugerencias*. Editorial Distribuidora Lumen.
- Ayuso, Leticia. (2021). *Mapeo de actores clave en la prevención y protección de víctimas de trata de personas*. UNICEF-Unión Europea. <https://dominicanrepublic.un.org/sites/default/files/2021-05/Mapeo%20de%20actores%20clave%20en%20la%20prevenci%C3%B3n%20y%20protecci%C3%B3n%20de%20v%C3%ADctimas%20de%20Trata%20de%20Personas%20en%20Rep%C3%ABlica%20Dominicana%20-%20Publicaci%C3%B3n.pdf>
- Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología de México. (2019). *Convocatoria Gro-2019-01*. <https://conacyt.mx/convocatorias/fondos-mixtos-constituidos/fondos-mixtos-constituidos-guerrero/convocatorias-abiertas-fondos-mixtos-constituidos-guerrero/2019-01-fomix-guerrero/>
- Elboj Saso, C., y Oliver Pérez, E. (2003). Las comunidades de aprendizaje: Un modelo de educación dialógica en la sociedad del conocimiento. *Revista Interuniversitaria de Formación del Profesorado*, 17(3), 91–103.
- Ferguson, B. G., Morales, H., Hernández Meléndez, C., & López Reyes, L. E. (Eds.). (2019). *Alimentación, comunidad y aprendizaje: Recursos para docentes (Primera edición)*. ECOSUR.
- Giraldo, O. F., & Rosset, P. M. (2021). Principios sociales de las agroecologías emancipadoras. *DES-ENVOLVIMIENTO E MEIO AMBIENT*, 58, 708–732. <https://doi.org/10.5380/dma.v58i0.77785>
- Giraldo, O. F., & Rosset, P. M. (2022). Emancipatory agroecologies: Social and political principles. *The Journal of Peasant Studies*, 0(0), 1–31. <https://doi.org/10.1080/03066150.2022.2120808>
- Hall, S. (1996). Reflexivity in emancipatory action research: illustrating the researcher's constitutiveness. En O. Zuber-Skerritt (ed.), *New directions in action research*, 23-41. Falmer Press.
- Hernández de Toro, J. A. (2010). Hacia un concepto de incidencia social y política como reto para las ONGD del siglo XXI. *Revista de Fomento Social*, 65, 57–86.
- Luna, Y., Maya, E. M. A., Borrel, E. V., Morales, H., & Rosset, P. (2022). Crianza de abejas nativas: Una pedagogía agroecológica con raíces. *Revista Brasileira de Educação do Campo*, 7, e14508–e14508. <https://doi.org/10.20873/uft.rbec.e14508>
- Ortega, R., Leyva, J., Sánchez, M., Espejel, I., y Martínez, G. (2012). Diagnóstico socioambiental como fundamento para una estrategia de educación ambiental en Colonet, Baja California. *Región y sociedad*, 24(53), 153-187.



- Presidencia de la República. (2020, diciembre 31). *DECRETO por el que se establecen las acciones que deberán realizar las dependencias y entidades que integran la Administración Pública Federal, en el ámbito de sus competencias, para sustituir gradualmente el uso, adquisición, distribución, promoción e importación de la sustancia química denominada glifosato y de los agroquímicos utilizados en nuestro país que lo contienen como ingrediente activo, por alternativas sostenibles y culturalmente adecuadas, que permitan mantener la producción y resulten seguras para la salud humana, la diversidad biocultural del país y el ambiente*. Diario Oficial de la Federación. https://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5609365&fecha=31/12/2020#gsc.tab=0
- Rodríguez Orozco, A. (2018). Síntesis transdisciplinaria en la integración de la praxis socioambiental. Método en un estudio de caso. *Acta Universitaria*, 28(5), 1–10. <https://doi.org/10.15174/au.2018.1544>



Interconexiones de acceso universal del conocimiento: La experiencia de trabajo en la universidad Ayuuk y el control microbiológico de plagas diseñado en CIATEJ

María del Lourdes Flores- López^{1*}, Jonny Navat Enríquez Vara² y Genaro Vásquez³

¹Catedrática CONAHCYT-CIATEJ, Tecnología Alimentaria, Zapopan, Jalisco. México. Autor de correspondencia

²Laboratorio de Entomología, CONAHCYT-CIATEJ, Biotecnología Vegetal, Zapopan, Jalisco. México.

³Director Académico, Instituto Superior Intercultural Ayuuk, Oaxaca, México.

* Autor de correspondencia: María de Lourdes Flores López. Correo electrónico: lflores@ciatej.mx

Palabras clave:

comunicación de la ciencia, acceso universal y apropiación del conocimiento, laboratorios comunitarios, educación intercultural, control microbiológico de plagas.

Resumen

Se presenta una reflexión sobre la importancia de generar espacios de diálogo entre la comunidad científica y las instituciones de educación superior para contribuir e impulsar el acceso universal del conocimiento y generar condiciones de impacto social en comunidades rurales e indígenas del estado de Oaxaca. Se describe la experiencia de trabajo, el diálogo, la enseñanza y las acciones que se gestaron entre el Instituto Superior Intercultural Ayuuk y el Centro de Investigación en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco mediante la propuesta del desarrollo de laboratorios comunitarios para el control microbiológico de plagas. Este documento surge en el marco de actividades derivadas del componente social del proyecto “Cadenas de valor” financiado por el Fondo Institucional de Fomento Regional para el Desarrollo Científico, Tecnológico y de Innovación.

Introducción

El quehacer científico es relevante no solo por la generación de conocimiento que produce, sino porque este conocimiento debe permitir, en gran medida, la solución de problemáticas sociales. Se ha criticado la desarticulación entre la generación del conocimiento científico y su aplicabilidad o posible impacto en la sociedad, particularmente en países de ingresos medios como el nuestro. Actualmente se habla de ciencia con pertinencia social, impacto e incidencia sociales de la investigación científica y se cuestiona si ¿son las investigaciones pertinentes? ¿Qué problemáticas sociales están resolviendo? ¿Cómo se están resolviendo? ¿Quiénes las están resolviendo?



Otros de los actores involucrados que juega un papel importante en la generación y gestión del conocimiento se ubica en el ámbito educativo. En este espacio la formación académica permite se despliegue un proceso de aprendizaje, el conocimiento no sólo se transfiere, sino tiene que evidenciarse en la práctica y ejercicio profesional. Por tanto, la comunicación y apropiación del conocimiento son elementos sustantivos para la aplicabilidad, materialización y posible incidencia en determinadas problemáticas sociales.

Derivado del proyecto Estrategias multidisciplinares para incrementar el valor de las cadenas productivas del café, frijol, mango, agave mezcalero y productos acuícolas (Tilapia) en la región del Pacífico sur, específicamente en los estados de Guerrero, Oaxaca y Chiapas, financiado por el Fondo Institucional de Fomento Regional para el Desarrollo Científico, tecnológico y de Innovación (FORDECY),¹ tenía como objetivo contribuir a la reducción del rezago productivo a través de la generación y aplicación del conocimiento científico y tecnológico para lograr una aprovechamiento integral y sustentable de sus recursos agrícolas. La organización e implementación de este proyecto se abordó a través de seis ejes de trabajo². En este caso nos centraremos en los ejes relacionados con el manejo integral de plagas y divulgación-difusión de los resultados del proyecto. Para este propósito se realizaron visitas de trabajo de campo con el objetivo de desarrollar un diagnóstico comunitario en estos estados, lo que permitió el acercamiento con productores y actores clave, así como la vinculación con el Instituto Superior Intercultural Ayuuk (ISIA) ubicado en la región Mixe del estado de Oaxaca.

En este sentido, el artículo esboza la reflexión derivada de la experiencia de vinculación con ISIA, cómo surgen y derivan otros procesos que apuntan a la apropiación social del conocimiento. Se describe cómo se desarrolló el Laboratorio comunitario para el control microbiológico de plagas, un ejercicio que puede tener implicaciones en el aprendizaje con los alumnos y a su vez propiciar un trabajo en el espacio territorial para enfrentar la problemática y proponer soluciones, ejemplo de las implicaciones en la generación y apropiación del conocimiento.

Las universidades Interculturales en México

Las universidades nacen en la Edad media en el siglo XII y XIII vinculadas a la religión y focalizadas primordialmente a los estudios teológicos y filosóficos. Con el pasar de los tiempos las universidades logran autonomía, se secularizan y amplían las áreas del conocimiento. Es en el siglo XIII que se establecieron facultades de Artes liberales y tecnología, medicina, derecho y matemáticas (Benedicto Chuaqui, 2002). La ilustración modificó la noción de universidad dando origen a la concepción actual, caracterizadas por su distanciamiento de los estudios teológicos, postulando por la autonomía de cátedra, la diversidad de áreas de estudio, así como y la gratuidad de la educación. Nestor Emiliano Ramos Vega (2018) refiere dos grandes reformas en la educación superior en siglo XIX y XX, una de ellas fue la centralización de las instituciones educativas en una sola universidad, pero con distintos campos especializados, y la otra enfocando la investigación para redefinir el quehacer universitario como institución comprometida con el conocimiento.

En México la Real y Pontificia Universidad de México fue creada en 1553 por el Virrey Luis de Velasco, en 1778 fue abierta la Real Escuela de Cirugía y en 1792 el Real Colegio de Minería. Después de la Independencia se le denominó Universidad Nacional Pontificia y posteriormente se quedó el

¹ Proyecto financiado por CONAHCYT - FORDECYT No. 292474-2017. Denominado en este documento como FORDECYT-CADENAS.

² Los ejes de trabajo fueron: conservación y generación de germoplasma; manejo integral de plagas; innovación tecnológica para el aprovechamiento integral de los agro recursos; inteligencia tecnológica, competitiva y territorial y sus plataformas tecnológicas; coordinación, apoyo y divulgación y finalmente formación de recursos humanos especializados.



nombre de Universidad de México, fue cerrada entre 1899 y 1865. Es hasta 1907, dentro del marco del centenario de la independencia, que se acuerda la apertura de la universidad Nacional de México³.

Un siglo después, en 2004, se crean en México las primeras universidades interculturales, a partir de la demanda de los pueblos originarios para ejercer sus derechos educativos cultural y lingüísticamente adecuados bajo los lineamientos de la Coordinación General de Educación Intercultural y Bilingüe (CGEBI) perteneciente a la Secretaría de Educación Pública (SEP). Fueron creadas por el Estado 11 universidades interculturales que se ubican en los estados de Sinaloa, Estado de México, Tabasco, Puebla, Nayarit, Veracruz, Quintana Roo, Michoacán, Guerrero, San Luis Potosí, e Hidalgo. No obstante, también existen iniciativas no gubernamentales como son la Universidad Intercultural de los Pueblos del Sur de Guerrero, la Universidad Campesina Indígena en Red en Puebla y Chiapas y el Instituto Superior Intercultural Ayuuk en Oaxaca (Laura & Gunther, 2016)

Actualmente las universidades públicas y privadas enfrentan crisis asociadas a los propósitos, objetivos y fines que persiguen, dificultades en la organización institucional, así como problemáticas económicas y de financiamiento. Buendía describe un agotamiento de la educación superior reflejado en la disminución de la matrícula, baja calidad de la educación, cobertura limitada, así como la desvinculación entre la universidad y los problemas sociales, aumento en la participación del sector privado y la reducción progresiva de los derechos laborales del sector académico (2020). Esta crisis y retos también los enfrentan las universidades interculturales. Dietz y Cortés han estudiado el proceso de las universidades interculturales desde su fundación, refieren la iniciativa surgida a partir de decretos y convenios intergubernamentales más que una iniciativa de los pueblos indígenas, característica diferenciada de las universidades interculturales latinoamericanas, dos particularidades fueron la cobertura en regiones rurales y campesinas, y la oferta de carreras no convencionales con pertinencia cultural y lingüística. En este sentido, una delimitación es “la herencia indigenista, su carácter intercultural, diverso y abierto a toda la población juvenil” aunque algunas se identifican como entidades indígenas o étnicas como lo es el Instituto Maya o el ISIA, que atienden a regiones indígenas y población escolar históricamente excluidos (2019).

No nos centraremos en los embates que están librando las universidades interculturales tanto administrativos, financieros, académicos y políticos que abarcan desde la cobertura, la oferta educativa, el seguimiento a los egresados, la politización de la vida académica por la injerencia e intromisión de intereses político-partidista gobiernos municipales, las limitaciones en autonomía y toma de decisiones, etc., que aquejan particularmente a las universidades coordinadas por la CGEIB (Ávila Romero, 2016).

Situaremos el caso del Instituto Superior Intercultural Ayuuk, considerado como modelo alternativo a esta coordinación, donde desarrollamos la experiencia de vinculación y diálogo para generar condiciones que puedan estar encaminadas a impactar socialmente a la comunidad académica y las regiones.

El instituto Superior Intercultural Ayuuk (ISIA)

El instituto inició actividades en el año 2006 ofertando diplomados a la comunidad indígena de Jaltepec de Candoyoc Mixe, en Oaxaca. Surge por iniciativa de la organización civil de la comunidad denominada Servicios del Pueblo Mixe. En el año 2007, en convenio con el Sistema Universitario Jesuita, se constituye como centro de estudios ofreciendo cursos de licenciatura en Administración y Desarrollo Sustentable y Comunicación para el Desarrollo Social, en el año 2010 inicia la licenciatura en Educación Intercultural. Es considerada una institución de educación privada de acceso público, no necesariamente población indígena (Gunther D, Cortés M, 2019). A diferencia del resto de las

³ Información derivada de Cronología Histórica de la UNAM en <https://www.unam.mx/acerca-de-la-unam/unam-en-el-tiempo/cronologia-historica-de-la-unam#:~:text=Pronto%20se%20sum%C3%B3%20a%20esta,25%20de%20Enero%20de%201553.>



Universidades Interculturales, su planta docente está conformada por profesores indígenas, con una modalidad interesante de tequio académico que, de manera conjunta con la vocación de los Sistemas Universitarios Jesuitas⁴, permiten una educación integral e intercultural. Los programas educativos están enfocados en atender las problemáticas de la comunidad mediante los aspectos interculturales y de investigación⁵

Los centros públicos de investigación: El CIATEJ

Una de las políticas de Ciencia y Tecnología en México fue la creación de los centros públicos de investigación (CPI). En 1992 las actividades de coordinación y promoción de la actividad científica y tecnológica, a cargo de la Secretaría de Programación y Presupuesto, fueron transferidas a la Secretaría de Educación Pública. En el año 2000 se otorgó, bajo la nueva ley de Ciencia y Tecnología, independencia al Consejo Nacional de Humanidades, Ciencia y Tecnología (CONAHCYT) y los sistemas de centros públicos de investigación que forman parte sustantiva de los mecanismos de impulso a la investigación científica y “contribuyen al desarrollo regional, permitiendo mejorar la calidad de la educación superior, disponer de infraestructuras científicas altamente especializadas, brindar información y apoyo técnico para diversas organizaciones, empresas e industrias, vincularse con otros países, y operar con eficiencia empresas públicas” (Estrada & Aguirre, 2013).

Los centros públicos de investigación son considerados como entidades paraestatales, donde laboran más de 2500 investigadores, están distribuidos en el territorio nacional con 98 sedes y subsedes (Cebreros, 2020). Atienden diferentes líneas del conocimiento entre ellas: física, matemáticas y ciencias de la tierra; biología y química; medicina y salud; humanidades y ciencias de la conducta; ciencias sociales y económicas; biotecnología y ciencias agropecuarias e ingeniería e industria⁶.

El Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco (CIATEJ) es un centro público de investigación, pertenece a la coordinación de Medio Ambiente, Salud y Alimentación del CONAHCYT. Fue creado hace más de 40 años para realizar actividades de investigación, además ofrece servicios tecnológicos y de formación de recursos humanos especializados con programas de posgrado, educación continua e iniciación a la investigación. Las líneas de investigación están organizadas en áreas de Biotecnología vegetal, industrial, médica y farmacéutica, Tecnología ambiental, alimentaria. La visión institucional refiere al fomento del conocimiento e innovación tecnológica mediante las redes de colaboración nacionales, internacionales y las alianzas con diferentes sectores públicos y privadas con la finalidad de contribuir al desarrollo de la sociedad⁷.

El trabajo colaborativo e interinstitucional es parte de los valores del CIATEJ, permite la interacción de investigadores de diferentes disciplinas. Es el caso de uno de los proyectos del FORDECY-Cadenas⁸ financiado por CONAHCYT. En este proyecto colaboramos investigadores de diferentes áreas del CIATEJ, principalmente en la identificación de problemáticas agrícolas locales en la producción de café, frijol, mango y agave mezcalero, involucrándonos en el eje de manejo integral de plagas, así como un componente de difusión-divulgación de los impactos científicos y tecnológicos derivados del proyecto, y es donde aprovechamos la vinculación e interacción con el ISIA.

⁴ Pertenece a la Asociación de Universidades confiadas a la compañía de Jesús en América Latina (AUSJAL)

⁵ Contenido de la página web del Instituto Superior Intercultural Ayuuk <https://www.isia.edu.mx/>

⁶ Información derivada de la página web CONACYT. <https://conacyt.mx/conacyt/areas-del-conacyt/uasr/sistema-de-centros-de-investigacion/>

⁷ Información derivada de la página web CIATEJ. <https://ciatej.mx/el-ciatej/quienes-somos>

⁸ Proyecto FORDECYT No. 292474-2017 Estrategias multidisciplinares para incrementar el valor agregado de las cadenas productivas del café, frijol, mago, agave mezcalero y productos acuícolas (tilapia) en la región Pacífico Sur.

Foto 1. Profesores, alumnos de ISIA e investigadores CIATEJ. Foto de cierre de actividades Archivo ISIA 2022.



La divulgación del conocimiento: entre la enseñanza y la acción

La propuesta de esta interacción tuvo como finalidad realizar actividades de divulgación, partiendo de algunas problemáticas identificadas en la investigación respecto a las cadenas productivas de agave, mezcal, frijol, café y mango, buscando aportar y relacionar algunos resultados de nuestro trabajo sobre el manejo integral de plagas con las actividades que se desarrollan en el ISIA. Mediante dos actividades: la primera un foro que se denominó Revalorización y aprovechamiento del frijol, emprendimientos e innovaciones con perspectiva de impacto social. La intención fue promover vocaciones científicas, así como el cuidado y protección de semillas nativas a partir de encuentros con jóvenes, docentes y público interesado del ISIA. La segunda actividad consistió en un curso-taller sobre el control microbiológico de plagas. Esta última actividad nos permitió identificar perspectivas para en un futuro generar un laboratorio comunitario para el control microbiológico de plagas.

Un aspecto a señalar es cómo a través de este taller pueden integrarse en el proceso de enseñanza contenidos que no sólo son relevantes por el impacto que pueden tener para resolver el problema, como es el del control de plagas, sino que este proceso de enseñanza aprendizaje pueda derivar en acciones concretas que son aplicables en las situaciones que enfrentan los estudiantes del ISIA. Esta práctica implicó la visita de una plantación de cafetales donde los alumnos comúnmente realizan prácticas y tequio, se trasladó la vivencia al espacio de la parcela, se recuperaron materiales para la práctica del laboratorio comunitario. Un ejercicio donde se integraron los conocimientos derivados de una línea de investigación de un centro público de investigación en un laboratorio especializado en la enseñanza del manejo microbiológico de plagas a través de los insumos locales que permiten identificar y generar dicho control.



Foto 2. Taller de control microbiológico de plagas. Práctica en campo de cafetales. Archivo ISIA, Oaxaca, 2022.



Los aprendizajes: Laboratorios comunitarios para el control microbiológico de plagas

En el ISIA se impartió el curso-taller “Control Microbiano de Plagas: Del Laboratorio al Campo” como parte de las actividades del 6º Festival del Agua organizadas por el ISIA que se llevó a cabo del 17 al 21 de octubre del 2022. Al curso-taller asistieron 50 estudiantes y profesores del Bachillerato Integral Comunitario No. 14 de Jaltepec de Candoyoc, de la Universidad Veracruzana Intercultural-Las Selvas y estudiantes del ISIA que se encontraban desarrollando estrategias de control de plagas en el Laboratorio de Alternativas Agroecológicas y Solidarias.

En el curso se abordaron aspectos básicos del control microbiano de plagas, el aislamiento y estudio de los principales microorganismos entomopatógenos, la producción masiva y la evaluación de los agentes de control biológico en el campo. A los asistentes se les comentó que, para revertir el uso inadecuado de los insecticidas, se han desarrollado alternativas amigables con el medio ambiente mediante: el uso de enemigos naturales para el control biológico de plagas. Dentro de los enemigos naturales de los insectos se consideran a los parasitoides, depredadores y entomopatógenos como algunas especies de bacterias, hongos, nematodos y virus. Se hizo hincapié que el control biológico es regular las poblaciones de las plagas, no de erradicarlas, de tal manera que la densidad de la población de insectos plaga no afecte el rendimiento de los cultivos agrícolas.

El uso de microorganismos como agentes de control biológico causantes de enfermedades en los insectos o productos derivados de estos (enzimas, toxinas) y su aplicación como bioinsecticidas para reducir la densidad de los insectos plaga se llama “control microbiano”. El control microbiano de plagas se ha utilizado como parte del manejo integrado de plagas de cultivos agrícolas a cielo abierto, invernaderos, huertos, ornamentales, céspedes, granos almacenados, bosques y en la reducción de plagas y vectores de insectos de importancia veterinaria y médica. Dentro de las ventajas que ofrece el uso de microorganismos entomopatógenos es que son específicos, se encuentran en la mayoría de los agroecosistemas, son seguros para los humanos y otros organismos no objetivo, contribuyen a la disminución de residuos de insecticidas en los alimentos, preservación de los enemigos naturales y aumento de la biodiversidad en los agroecosistemas (Enríquez-Vara, 2021).

Después de abordar los aspectos básicos y técnicos del control microbiano, realizamos un recorrido por las parcelas experimentales del ISIA. En las parcelas de café se tomaron muestras de suelo para realizar aislamiento de hongos entomopatógenos, a los estudiantes se les explicó el método y técnica de la toma de muestras y se resaltó la importancia que tienen los microorganismos entomopatógenos en la regulación de las plagas, además de que en los suelos de los cultivos se encuentran microorganismos guardianes de los agroecosistemas. En el salón donde se llevó a cabo el curso-taller se les mostró a los estudiantes cómo realizar el trapeo de hongos entomopatógenos con la técnica del insecto cebo utilizando larvas del gusano de cera. El principio de esta técnica consiste en que las larvas se muevan sobre el suelo, tengan contacto con los conidios⁹ de los hongos entomopatógenos para posteriormente aislarlos e identificarlos.

Foto 3. Taller control microbiológico de plagas. ISIA, 2022.



La explicación de los aspectos básicos del control microbiano de plagas, el muestreo de suelos para aislar microorganismos benéficos y la demostración de la técnica del insecto cebo para aislar hongos entomopatógenos incentivó reflexiones importantes en los estudiantes de bachillerato y licenciatura. Una de las reflexiones más profundas fue cómo los microorganismos entomopatógenos, que se encuentran en las parcelas agrícolas, son los principales insumos para elaborar bioinsecticidas que contribuyen al control biológico de plagas en el cultivo de café de la comunidad de Jaltepec de Candayoc. También se comentó y se propuso la posibilidad de diseñar e implementar un laboratorio comunitario para la reproducción masiva de microorganismos entomopatógenos para manejar de manera ecológica las plagas de los cultivos como maíz, frijol, plátano y limón persa.

⁹ Término derivado de la botánica que refiere a la espora responsable de la reproducción asexual de hongos. En términos coloquiales, se puede entender como las estructuras reproductivas de los hongos.



Foto 4. Improvisando el laboratorio comunitario con estudiantes en ISIA.



De acuerdo con las reflexiones de los estudiantes y profesores del ISIA e investigadores del CIATEJ, un laboratorio comunitario podría detonar un manejo amigable de las plagas en la región. Algunas ideas que se mencionaron en el grupo fueron implementar un laboratorio en las instalaciones del ISIA para la producción de microorganismos entomopatógenos para el manejo de los principales problemas fitosanitarios de los cultivos de la región. También se conversó sobre tener espacios de capacitación a productores interesados en la implementación del control biológico de plagas. Estos aspectos ya han sido abordados en experiencias de implementación del manejo integrado de plagas en otros estados de México y el mundo, donde el principal objetivo es demostrar que el control biológico es una alternativa para el manejo de plagas y que es posible producir sus propios bioinsecticidas locales.

Conclusión

La experiencia de trabajo con el ISIA fue un punto de encuentro donde evidenciamos formas diferentes de fomentar procesos de enseñanza-aprendizaje con alto potencial de integrarse a la resolución de problemáticas a nivel regional y local en nuestro país a través de un ejercicio de articulación inter y trans-institucionalidad. La propuesta de un laboratorio comunitario que permita a los alumnos involucrar aspectos especializados en su comunidad, con las problemáticas que enfrentan, en los espacios comunes, son el punto medular de esta experiencia. La vinculación e interacción entre diferentes actores e instituciones debe ser considerada vital para poder trascender el acceso universal del conocimiento, los aspectos relacionados a los procesos de enseñanza-aprendizaje, la desarticulación entre las universidades e instituciones de educación superior, así como la falta de aplicabilidad para la resolución de problemas que aquejan a las comunidades y regiones de nuestro país.

La implementación del manejo ecológico de plagas con microorganismos patógenos de insectos requiere que los interesados se capaciten y sensibilicen sobre la tecnología y la construcción de un laboratorio comunitario. En este espacio tanto los campesinos, técnicos y estudiantes interactúan para desarrollar estrategias de control microbiano de plagas. Por otra parte, en los laboratorios comunitarios se podrá reproducir los microorganismos y enemigos naturales de los insectos que se encuentran en la región. Estos aspectos se conversaron en el curso-taller “Control Microbiano de Plagas: Del Laboratorio al Campo”.

Los principales retos que se enfrentan son garantizar la continuidad, el seguimiento y la permanencia de estas aproximaciones, visualizando estrategias y formas diferenciadas que contribuyan a hacer ciencia en las comunidades con pertinencia e incidencia social. Los centros públicos de investigación y las universidades,



en este caso la universidad intercultural, como entes de generación y gestión del conocimiento, deben encontrar caminos comunes articulados que contribuyan a los procesos de aprendizaje, apropiación del conocimiento, así como resolución de problemáticas comunitarias e incidencia social.

Referencias

- Ávila Romero, L. (2016). Las universidades interculturales de México en la encrucijada. *Nósis. Revista de Ciencias Sociales y Humanidades*, 25(50). <https://doi.org/10.20983/noesis.2016.2.8>
- Benedicto Chuaqui, J. (2002). Acerca de la historia de las universidades. *Revista Chilena de Pediatría*, 73 (6).
- Buendía Espinosa, A. (2020). Revisitar las políticas para la educación superior en México: ¿de su agotamiento a su transformación? *Universidades*, 71(86). <https://doi.org/10.36888/udual.universidades.2020.86.404>
- Cebberos, G. M. (2020). *Perspectivas globales de organización y evaluación de los Centros Públicos de Investigación mexicanos* [tesis de doctorado]. Universidad Autónoma de Baja California.
- Enriquez-Vara J.N. (2021). Control biológico de plagas con microorganismos entomopatógenos. In J. J. Castañeda-Nava (Ed.), *Tópicos de Herramientas Biotecnológicas para el Desarrollo Agrícola* (pp. 73–80). CIATEJ. https://ciatej.mx/files/divulgacion/divulgacion_61a6389738a4b.pdf.
- Estrada, S., & Aguirre, J. (2013). Los centros públicos de investigación como una herramienta de la política de ciencia, tecnología e innovación. *2013: XV Congreso Latino-Iberoamericano de Gestión Tecnológica*.
- Gunther D, Cortés M, S. L. (2019). Las universidades interculturales en México, logros y retos de un nuevo subsistema de educación superior. *Estudios Sobre Las Culturas Contemporáneas*, XXV (49).
- Laura, S. M. C., & Gunther, D. (2016). Universidades interculturales en México: Balance crítico de la primera década. En *Revista Mexicana de Investigación Educativa*, 21 (70).
- Ramos-Vega, N. (2018). Las universidades dentro de la Historia. *Revista Identidad Universitaria*, México, UAEM, 1 (3), septiembre-diciembre 2018, Pp. 1-3, e-Issn 2448-7651.

Conflicto de intereses

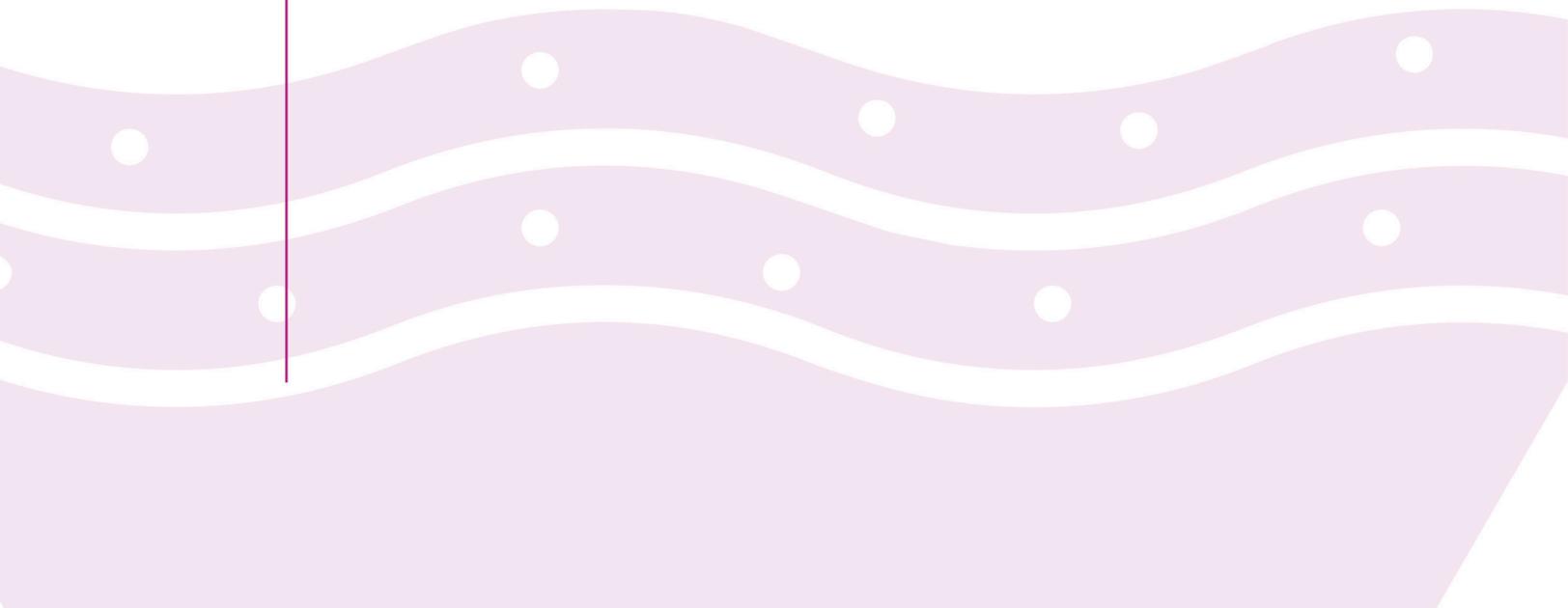
No existe conflicto de interés por ninguno de los autores de este documento.

Financiamiento

Las actividades realizadas en el foro y el taller fueron financiadas con fondos del FORDECYT-CONACYT. No. 292474-2017 “Estrategias multidisciplinares para incrementar el valor agregado de las cadenas productivas del café, frijol, mago, agave mezcalero y productos acuícolas (tilapia) en la región Pacífico Sur.

Agradecimientos

Agradecemos al personal y al Dr. Francisco Morfín Otero, director de ISIA, quienes nos abrieron las puertas del Instituto e hicieron posible esta experiencia de trabajo. Agradecemos a los investigadores Luis Mojica y Elba Monserrat Alcázar, quienes participaron en las actividades del foro y fueron colaboradores del proyecto FORDECYT.



Situación del picudo del agave y alternativas de control en las zonas productoras de mezcal del Pacífico sur

Jonny Navat Enríquez-Vara^{1*}, Gabriela I. Salazar-Rivera² y Anne Christine Gschaedler-Mathis³

¹ Laboratorio de Entomología, CONAHACYT-CIATEJ, Biotecnología Vegetal, Zapopan, Jalisco, México.

² Laboratorio de Entomología, CIATEJ, Biotecnología Vegetal, Zapopan, Jalisco, México.

³ CIATEJ, Biotecnología Industrial, Zapopan, Jalisco, México.

* Autor de correspondencia: Jhony Navat Enríquez Vara, jenriquez@ciatej.mx

Palabras clave:

plagas de agave, trampeo del picudo del agave, enemigos naturales, capacitación de productores

Resumen

El mezcal es una bebida espirituosa que se elabora a partir de varias especies de agave cultivados y silvestres. En los últimos años la producción de mezcal ha ido en aumento al igual que la demanda de materia prima. Sin embargo, las plantaciones de los agaves mezcaleros se han visto afectadas por una plaga conocida como picudo del agave *Scyphophorus acupuntatus*. Este insecto daña a los agaves desde que los adultos ponen sus huevos y las larvas realizan galerías en el interior de las piñas. Las lesiones provocadas por la alimentación de los picudos y sus microorganismos asociados pueden provocar enfermedades en los agaves. En este artículo se describen los daños, biología y algunas alternativas de manejo de los picudos del agave que se observaron en los recorridos de campo realizados de 2018 a 2022 en las principales zonas de producción de mezcal en Oaxaca, Guerrero y Michoacán.

Introducción

Los agaves son reconocidos a nivel mundial por las bebidas de moda como el mezcal y tequila. En cambio, en México tienen un valor cultural y económico desde tiempos ancestrales por su utilidad en la vida cotidiana, por lo que es común observar diferentes agaves con diferentes usos. El género *Agave* es endémico de América y cuenta con 210 especies, de las cuales México tiene 160 con 130 especies endémicas (García-Mendoza *et al.*, 2019). Para la elaboración del mezcal se utilizan 28 especies a nivel nacional, 14 a nivel comercial, ocho en forma local y seis de manera ocasional. Sin embargo, se estima que podrían utilizarse cerca de 50 especies de agave (García-Mendoza *et al.*, 2017). De acuerdo con el Consejo Mexicano Regulador de la Calidad del Mezcal (COMERCAM), las especies de *Agave* utilizadas comúnmente para la elaboración de mezcal certificado son: *Agave*



angustifolia Haw (88%), *Agave durangensis* Gentry (2.26 %), *Agave salmiana* Otto ex Salm-Dyck (1.9 %), *Agave cupreata* Trel. & Berger (1.29 %), *Agave potatorum* Zucc. (1.2 %), *Agave tequilana* Weber (0.89 %), *Agave karwinskii* Zucc. (0.39 %) y otras especies (3.62 %) (COMERCAM, 2022).

Por otra parte, la demanda de mezcal a nivel internacional y nacional ha propiciado una aceleración en la producción de materia prima y mezcal. Por ejemplo, en el 2021 se produjeron cerca de 8 millones de litros de mezcal certificado cuando en el 2010 se producía 1 millón de litros, además, se necesitaron 371, 000 toneladas de agaves (SIAP, 2023; COMERCAM, 2022). También, para el 2022 se reportó una derrama económica de 8.8 millones de pesos, que benefició a varias familias y creación de empleos. Sin embargo, a medida que aumenta la demanda de la materia prima como los agaves para mezcal y se incrementa la superficie para su cultivo, también aumentan los problemas fitosanitarios como las plagas. Uno de los insectos asociados a los agaves que pueden comprometer los rendimientos y beneficios económicos es el picudo del agave *Scyphophorus acupunctatus* Gyllenhal.

Desde el siglo pasado, el picudo del agave provocaba daños importantes en las plantaciones de agaves comerciales. Los daños pueden ser directos, pues larvas y adultos realizan galerías en el interior de las piñas de agave; e indirectos, al ser transmisores de bacterias fitopatógenas que producen la pudrición del cogollo del agave y otras enfermedades. En las últimas dos décadas es común escuchar a pequeños y grandes productores de agave sobre los daños que les ocasionan el picudo y sobre todo la pérdida de plantas de agave. Derivado de la problemática ocasionada por este insecto en las zonas de producción del mezcal, se realizaron de 2018 a 2022 una serie de recorridos en los estados de Oaxaca, Guerrero y Michoacán como parte de la vinculación entre el Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco (CIATEJ) y la Alianza Estratégica para el Desarrollo Sustentable de la Región Pacífico Sur (ADESUR) con la cadena productiva del mezcal. En los recorridos se documentaron los daños en los agaves, colecta de enemigos naturales, conversación con productores y capacitación de productores en el conocimiento del picudo. Por lo que en este artículo se hablará del picudo del agave, los daños que ocasiona, su biología, los enemigos naturales observados en las plantaciones de agave y algunas estrategias de control.

Donde hay agaves encontramos picudos

El picudo del agave *Scyphophorus acupunctatus* es una especie de escarabajo que prefiere alimentarse de plantas del género *Agave*, de origen americano, pero actualmente se encuentra en varias partes del mundo (CABI, 2022). En México suele encontrarse en agaves cultivados y silvestres como: *Agave fourcroydes* Lem., *Agave atrovirens* Karw., *Agave durangensis* Gentry, *Agave americana* L., *A. tequilana*, *A. salmiana*, *A. angustifolia*, *A. cupreata*, *A. potatorum*, *A. karwinskii* entre otras especies de agave. También podemos encontrarlo en plantas de nardo (*Polianthes tuberosa* L.), cardón (*Pachycereus pringlei* S. Watson) (Britton & Rose) y varias especies de yuca (Cuervo-Parra *et al.*, 2019; Aquino-Bolaños *et al.*, 2014).

Los picudos dañan la materia prima para el mezcal

En los últimos diez años los productores de mezcal han reportado un aumento en la presencia y daño de los picudos. De acuerdo con pláticas con productores y muestreos de predios de mezcal del estado de Oaxaca, se encontró que en el 72 % de las plantaciones visitadas había presencia de picudos (Paredes-Hernández & García-Olazo, 2017). Además, en los recorridos de campo realizados de 2018 a 2022 como parte de las actividades de vinculación de ADESUR-CIATEJ con el sector productivo del mezcal en Oaxaca, Guerrero y Michoacán, se encontraron varios sitios con presencia de picudos desde plantas de vivero, plantas de 1 a 3 años de edad con daño en cogollo y hojas y piñas dañadas totalmente (Figura 1).

Existen varios reportes sobre el daño que provocan los picudos en los agaves, estos van desde el 1 al 50 % (González-Hernández *et al.*, 2007; Aquino-Bolaños *et al.*, 2007). Esto quiere decir que los picudos podrían dañar más de la mitad de una piña que potencialmente serviría para la elaboración del mezcal. Estos daños dependen de la incidencia del picudo, el lugar, las condiciones ambientales, especie y edad de los agaves. Sin lugar a dudas, los daños ocasionados por el picudo representan pérdidas económicas y de tiempo porque el cultivo de los agaves necesita de 6 a 14 años para su maduración y extracción del mezcal (Arellano-Plaza *et al.*, 2022).

Otro de los daños que se ha asociado a los picudos es la transmisión de microorganismos fitopatógenos. Los picudos potencialmente pueden acarrear tanto externa e internamente microorganismos capaces de infectar las plantas de agave. Los insectos, al realizar heridas en los agaves, ya sea para poner sus huevos o alimentarse, generan una oportunidad de entrada para los microbios (Waring & Smith, 1986). Una de las bacterias que los picudos pueden acarrear es *Pectobacterium carotovorum* (Jones) Waldee, la cual provoca la enfermedad llamada pudrición blanda del cogollo (SENASICA-DGSV, 2017).

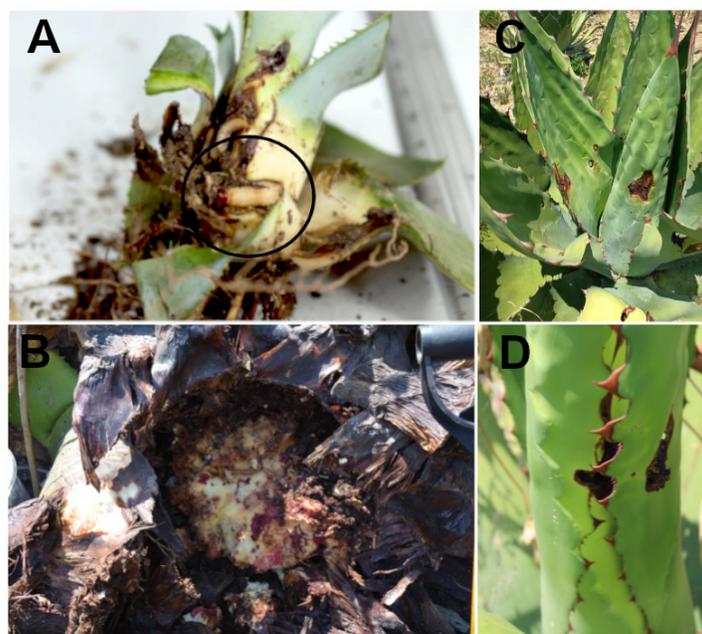


Figura 1. Daños del picudo del agave: A) Daño en plantas de vivero, B) Galerías en piñas por larvas y adultos del picudo, C y D) Perforaciones de hojas y cogollo.

Conociendo la biología y ciclo de vida de los picudos

El picudo del agave pasa por varias etapas durante su crecimiento que se le denomina metamorfosis completa, los estados de desarrollo son: huevo (3 a 8 días), larva (entre 58 a 60 día), prepupa (3 a 10 días), pupa (12 a 16 días) y los adultos que pueden vivir hasta un año (Figura 2). Las larvas pueden presentar de cinco hasta 11 instares (diferentes tamaños de larvas) de acuerdo a la calidad nutricional de los agaves y las condiciones ambientales como temperatura, humedad relativa y precipitación. De manera general, el ciclo completo de estos insectos se completa en tres meses (SENASICA-DGSV, 2016).

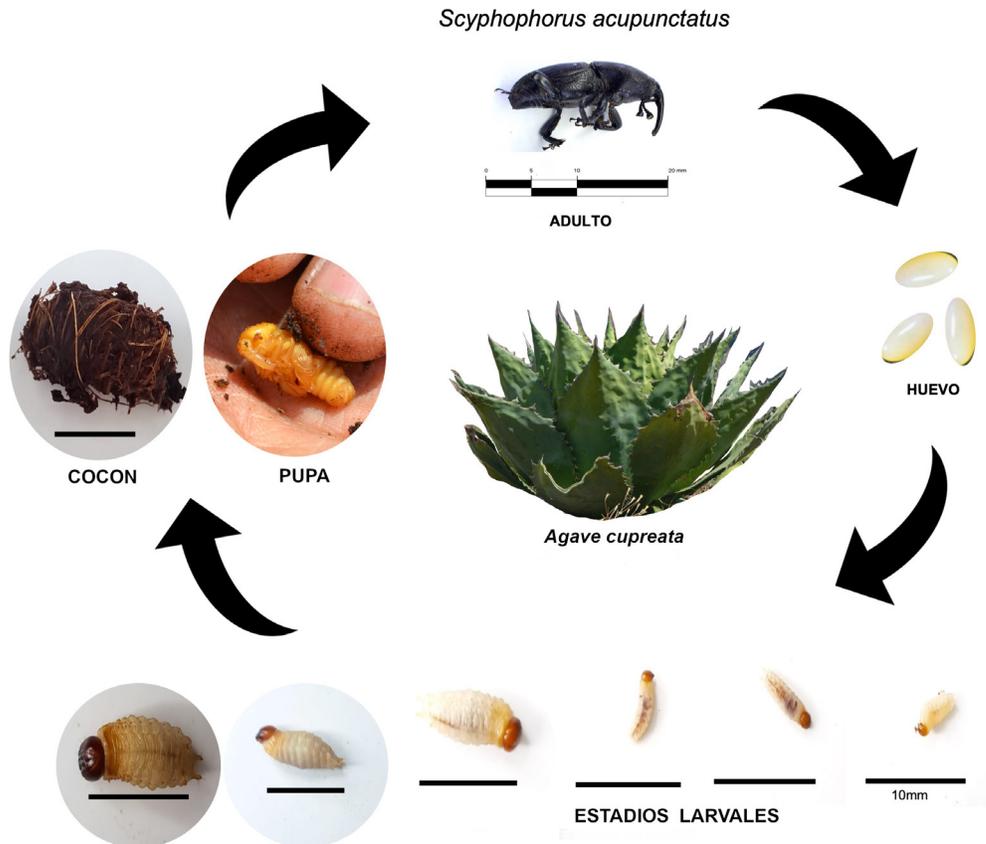


Figura 2. Ciclo de vida del picudo con sus diferentes etapas de desarrollo: huevo, larva, pupa y adulto. Las larvas y pupas suelen pasar la mayor parte del ciclo en el interior de los agaves y sólo los adultos se observan en el exterior.

Los picudos adultos tienen hábitos crepusculares, es decir que sólo saldrán por las tardes a buscar pareja o colonizar nuevos agaves jóvenes. En el día se encuentran en la base de las pencas o en el interior de piñas dañadas. La cópula entre el macho y las hembras se puede llevar a cabo tanto en piñas y hojas dañadas, mientras exista suficiente alimento no migrarán, pero una vez que escasee buscarán plantas nuevas para colonizar. Tanto las hembras como los machos pueden colonizar un agave, por eso es común encontrar orificios en los cogollos de los agaves jóvenes (ver Figura 1C y D). Cuando la hembra llega a colonizar un agave joven hace un orificio en la base de las hojas, cerca de la piña, para insertar los huevos, aproximadamente las hembras ovipositan entre 25 y 50 huevos. Una vez que emergen las larvas de los huevos, estas inician su alimentación consumiendo el interior de la piña haciendo orificios. En el interior de la piña pasarán dos terceras partes de su vida. Una vez completan su ciclo como larvas, inician con la fabricación de una cubierta protectora a base de fibras de agave conocida como cocón (Figura 2). En el interior de este cocón se transformarán en pupas y finalmente en adultos. Los adultos recién emergidos pueden quedarse por un tiempo o salir nuevamente a buscar pareja y/o una nueva fuente de alimento.

Todo el tiempo hay picudos

En varias especies de agave el picudo se comporta como una especie multivoltina, es decir que puede haber varias generaciones al año. Es común observar a los adultos todo el año y dependiendo el lugar, la especie de agave y las condiciones ambientales, se observan picos poblacionales en temporadas secas o lluviosas.

Por ejemplo, en Jalisco es común observar picos poblacionales en los meses de marzo a mayo; en Guerrero, de enero a marzo y en Oaxaca, en la época de lluvias (Macedonio-Guevara, 2015; Figueroa *et al.*, 2013; Bravo-Mosqueda, Arredondo-Velásquez & Espinosa-Paz, 2005). Además, el número de generaciones por año puede oscilar entre 1.4 a 2.6 (Bravo-Mosqueda *et al.*, 2005). Debido a la presencia de los picudos a lo largo de todo el año es necesario buscar alternativas para el manejo de las poblaciones de estos insectos.

Atrapar los picudos para contarlos y controlarlos

Una manera de saber cuándo los picudos invaden las plantaciones de agave es atraparlos y contarlos. En México para monitorear las poblaciones de los picudos se utilizan trampas con los siguientes componentes: una cubeta de 4 L perforada lateralmente, volátiles vegetales (trozos de agave) y un liberador de la feromona de agregación (Figueroa-Castro *et al.*, 2013) (Figura 3). Durante el proceso de colonización del agave los picudos usan compuestos volátiles de la planta hospedera y una feromona de agregación que liberan los machos para atraer a ambos sexos (Ruiz-Montiel *et al.* 2008). Los volátiles son señales químicas que solo los picudos pueden reconocer a largas distancias, en el caso de la feromona de agregación son compuestos que atraen a machos y hembras en proporciones similares. La intención de elaborar las trampas es engañar a los picudos con las señales químicas y atraparlos. La feromona de agregación sintética con los compuestos químicos 2-metil-4-heptanona y 2-metil-4-octanona se puede adquirir de manera comercial, existen varias presentaciones dentro de las cuales encontramos Agavenol®, Tequilur® y P440-Lure®. Cualquiera de estas presentaciones funciona en el trapeo, solo como recomendación es leer las instrucciones de uso, básicamente cambiar los liberadores a los 45 días o 2 meses y medio (esto depende de la época del año y la presentación comercial), debido a que los volátiles se agotan en este tiempo y pierden efectividad.

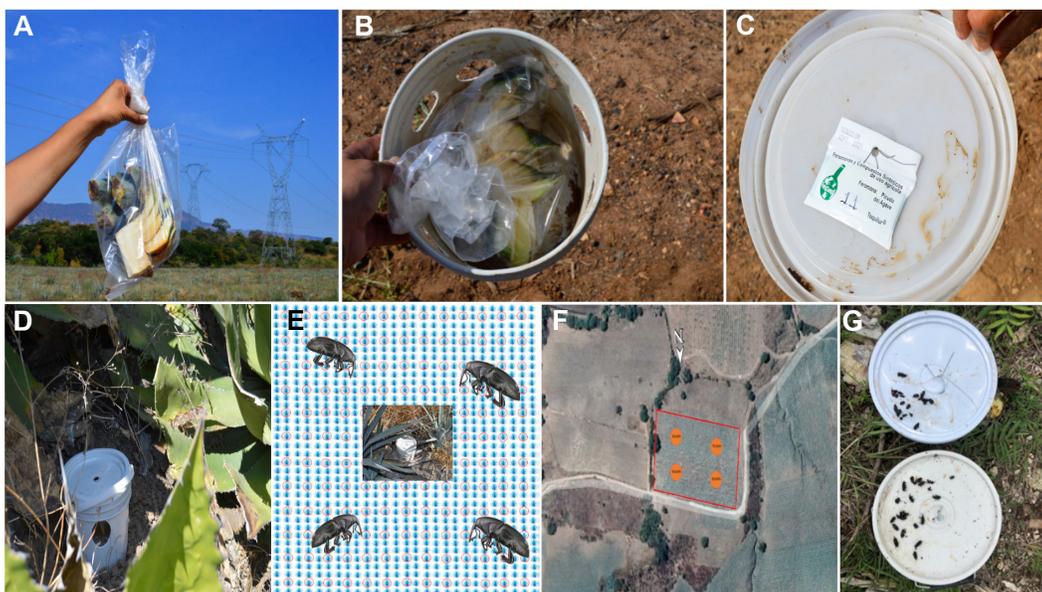


Figura 3. Trampeo del picudo del agave. A) Preparación de trozos de agave (300 g) mezclados con un insecticida de contacto (cambiarlo cada 15 días), B) Introducción de los trozos de agave en una cubeta de plástico perforada por los costados de 4 L, C) Montaje del liberador de la feromona de agregación en la tapa de la cubeta, D) Ubicación de la trampa entre los agaves, E) Monitoreo del picudo con una trampa por hectárea, F) Trampeo masivo del picudo del agave con cuatro trampas por hectárea y G) Conteo y seguimiento del número de picudos por trampa cada 15 días.



Las trampas sirven para dos propósitos: el monitoreo y trapeo masivo. El monitoreo consiste en colocar una trampa por hectárea y contar los insectos capturados cada 15 días (Figura 3 E y G). Con el número de insectos por trampa es posible saber cuando ingresan los picudos en las plantaciones y el aumento de las poblaciones. Se ha propuesto que si en los conteos quincenales se encuentran entre 50 a 75 individuos en dos conteos sucesivos, es un indicador de alta infestación de las plantas de agave con picudos, por lo que será necesario revisar los predios y determinar la mejor medida de control. Las trampas para monitoreo se recomienda colocarlas desde el inicio de la plantación y en los viveros.

El trapeo masivo se ha sugerido como una medida de control de altas poblaciones de picudos. Este consiste en colocar cuatro trampas por hectárea como se muestra en la Figura 3F y seguir las recomendaciones del cambio del cebo alimenticio y el liberador de la feromona. De acuerdo con Figueroa-Castro *et al.* (2017), el trapeo masivo reduce significativamente las densidades de los picudos, sin embargo, sugiere que esta estrategia se deberá utilizar a escala regional.

Alternativas para el manejo del picudo

En la actualidad para reducir las poblaciones de larvas y adultos de los picudos se aplican insecticidas de diferentes ingredientes activos sobre las plantas de agave (Terán-Vargas *et al.*, 2012). Sin embargo, la eficacia de los insecticidas sobre los picudos ha sido variable, en parte porque muchos de estos no llegan al interior de las plantas donde se resguardan los adultos y las larvas. Aunado a lo anterior, el uso de insecticidas como único método de control ha provocado un alto impacto al medio ambiente y a la salud de los trabajadores agrícolas, sobre todo por los residuos que se generan durante y posteriormente de la aplicación de los insecticidas.

Entre los métodos de control del picudo se ha usado el control cultural, etológico y biológico. El control cultural consiste en realizar jimias fitosanitarias, los agaves infestados por los picudos son eliminados e incinerados. El control etológico consiste en el uso del trapeo masivo, el cual se explicó anteriormente. En el control biológico se utilizan los enemigos naturales de los picudos para regular las poblaciones de los insectos en las parcelas de agave. Entre los enemigos naturales se encuentran los depredadores, parasitoides y entomopatógenos. De estos últimos organismos, suele encontrarse en el campo larvas o adultos infectados con nematodos entomopatógenos como *Steinernema carpocapsae* (Weiser), *Steinernema feltiae* (Filipjev), *Heterorhabditis bacteriophora* (Poinar) y los hongos entomopatógenos *Beauveria bassiana* (Balsamo) Vuillemin y *Metarhizium anisopliae* (Metschnikoff) Sorokin (Enriquez-Vara, 2019; Aquino-Bolaños *et al.*, 2006). De manera comercial, el uso de los agentes de control biológico mencionados aún no se utilizan en las plantaciones de agave, quizás faltaría incentivar el uso y manejo con los productores de agave mezcalero.

Por otra parte, en las diferentes zonas de producción de agave mezcalero de Oaxaca, Guerrero y Michoacán se observan con una alta frecuencia a los depredadores del género *Hololepta* consumiendo las larvas de los picudos. Además, con una menor frecuencia se observan a adultos micosados con el hongo entomopatógeno *Beuveria bassiana* (Figura 4). Al platicarles a los productores de mezcal sobre la importancia que tienen otros insectos asociados a los agaves, se quedaron sorprendidos de observar a un escarabajo consumiendo las larvas de los picudos. Una manera de usar los enemigos nativos de los picudos es por medio del control biológico por conservación, esto consiste en conservar las poblaciones de los escarabajos del género *Hololepta* reduciendo las aplicaciones de insecticidas.

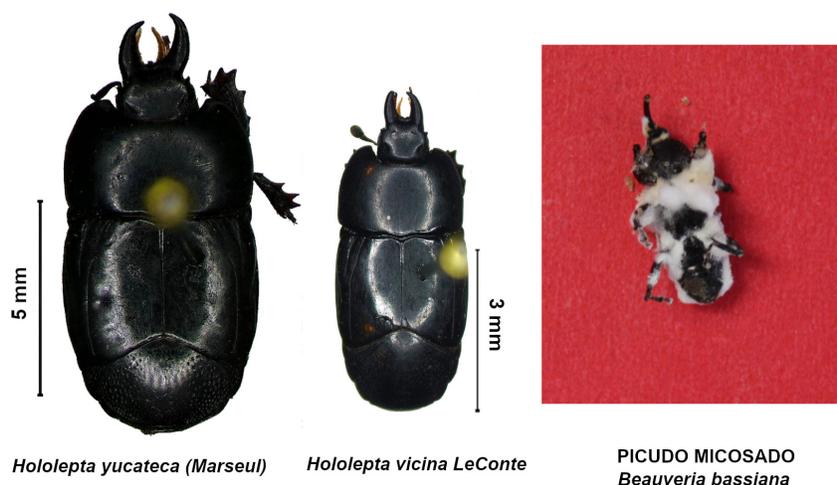


Figura 4. Enemigos naturales del picudo del agave en los recorridos de campo en Oaxaca, Guerrero y Michoacán.

Capacitación para conocer y manejar los picudos

Durante los recorridos por las zonas de producción de mezcal nos percatamos que los productores desconocían aspectos básicos sobre los picudos y otros insectos asociados, por lo que fue necesario organizar pequeños talleres para explicarles sobre la biología de los picudos y el trampeo (Figura 5). Además, se realizaron algunas demostraciones de campo y recorridos con los productores para el reconocimiento de los daños de los picudos en los agaves y otros insectos asociados.



Figura 5. Impartición de talleres y recorridos de campo para el trampeo e identificación de daños por los picudos del agave con pequeños productores de mezcal.



Conclusión

En los últimos años la presencia y daños de los picudos se han incrementado en las zonas de producción de agave para mezcal de los estados de Oaxaca, Guerrero y Michoacán. En recorridos de campo se observaron daños por picudos en plantas de agave mezcalero desde los viveros, plantas de 1 a 3 años y plantas maduras. En las plantas infestadas con los picudos se encontraron escarabajos depredadores del género *Hololepta* consumiendo larvas de los picudos y algunos adultos se observaron micosados por el hongo entomopatógeno *Beauveria bassiana*. La conservación de los enemigos naturales en las plantaciones de agave permitirá un control biológico del picudo. Además, el control cultural por medio de las jimas fitosanitarias y el control etológico con el trapeo masivo de los picudos contribuyen a la regulación de las poblaciones de los picudos. Por otra parte, la capacitación y recorridos de campo con los productores de mezcal para el reconocimiento de daños por picudos, identificación de enemigos naturales e implementación del trapeo es importante para la implementación de un manejo de las poblaciones de los picudos en zonas donde los daños se han incrementado.

Referencias

- Aquino-Bolaños, T., Iparraguirre-Cruz, M. A., & Ruiz-Vega, J. (2007). *Scyphophorus acupunctatus* (=interstitialis) Gyllenhal (Coleoptera: Curculionidae) plaga del agave mezcalero: pérdidas y daños en Oaxaca, México. *Revista UDOAgrícola*, 7, 175-180.
- Aquino-Bolaños, T., Pozo-Velázquez, E., Álvarez-Hernandez, U., & Delgado-Gamboa, J.R. (2014). Host Plants of the Agave Weevil *Scyphophorus acupunctatus* (Gyllenhal) (Coleoptera: Curculionidae) in Oaxaca, Mexico. *Southwestern Entomologist*, 39(1), 163–169. <https://doi.org/10.3958/059.039.0115>
- Aquino-Bolaños, T., Ruiz-Vega, J., & Iparraguirre-Cruz, M. A. (2006). Control biológico del picudo negro (*Scyphophorus interstitialis* Gyllenhal) con nemátodos y hongos entomopatógenos en agave en Oaxaca, México. *Revista UDO Agrícola*, 6, 92-101.
- Arellano-Plaza, M., Paez-Lerma, J. B., Soto-Cruz, N. O., Kirchmayr, M. R., & Gschaedler Mathis, A. (2022). Mezcal Production in Mexico: Between Tradition and Commercial Exploitation. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 6, 832532. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2022.832532>
- Bravo-Mosqueda, E., Arredondo-Velásquez, C., & Espinosa-Paz, H. (2005). Efectos de la lluvia, temperatura, y dinámica poblacional del maguey mezcalero *Scyphophorus interstitiales*. *Naturaleza y Desarrollo*, 3(1), 17-24.
- CABI. (2022). *Scyphophorus acupunctatus* (agave weevil). CABI Compendium. CABI International. doi: 10.1079/cabicompendium.49421.
- Consejo Mexicano Regulador de la Calidad del Mezcal. (2022). *Informe estadístico 2022*. https://comercam-dom.org.mx/wp-content/uploads/2022/06/INFORME-2022-_II_SINTESIS.pdf
- Cuervo-Parra, J. A., Pérez-España, V. H., López-Pérez, P.A., Morales-Ovando, M. A., Arce-Cervantes, O., Aparicio-Burgos, J. E., & Romero-Cortes, T. (2019). *Scyphophorus acupunctatus* (Coleoptera: Dryophthoridae): A Weevil Threatening the Production of Agave in Mexico. *Florida Entomologist*, 102(1), 1–9. <https://doi.org/10.1653/024.102.0101>
- Dirección General de Sanidad Vegetal/Centro Nacional de Referencia Fitosanitaria/Grupo Especialista Fitosanitario. (2017). *Ficha Técnica. Pudrición Blanda del cogollo del Agave*. *Pectobacterium*



- carotovorum subsp. carotovorum. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/244028/Ficha_Tecnica_Pectobacterium_carotovorum_en_agave_Versi_n_FINAL.pdf
- Enríquez-Vara, J.N. (2019, octubre 9). *Control biológico de los picudos del agave y cocotero*. CIA-TEJ Noticias. <https://ciatej.mx/el-ciatej/comunicacion/Noticias/Control-Biologico-de-los-Picudos-del-Agave-y-Cocotero/136>
- Figueroa-Castro, P., Rojas, J.C., López-Martínez, V., González-Hernández, H., & Pérez-Figueroa, M. (2017). ¿Funciona el trapeo masivo para la reducción de poblaciones de *Scyphophorus acupunctatus* Gyllenhal en maguey espadín? *Revista Mexicana de Agroecosistemas*, 4(Suplemento 2), 68-76.
- Figueroa-Castro, P., Solís-Aguilar, J. F., González-Hernández, H., Rubio-Cortés, R., Herrera-Navarro, E. G., Castillo-Márquez, L. E., & Rojas, J. C. (2013). Population Dynamics of *Scyphophorus acupunctatus* (Coleoptera: Curculionidae) on Blue Agave. *Florida Entomologist*, 96(4), 1454–1462. <https://doi.org/10.1653/024.096.0425>
- García-Mendoza, A. J., Cházaro-Basañez, M. J., Nieto-Sotelo, J., Sánchez Teyer, L. F., Tapia Campos, E., Gómez Leyva, ... Gutierrez-Mora, A. (2017). Agave. En A. C. Gschaedler Mathis (ed.), *Panorama del Aprovechamiento de los Agaves en México* (pp.15-68). CONACYT, CIATEJ y AGARED.
- García-Mendoza, A., Franco-Martínez, I. S., & Sandoval-Gutiérrez, D. (2019). Cuatro especies nuevas de Agave (Asparagaceae, Agavoideae) del sur de México. *Acta Botanica Mexicana*, 126, e1461. <https://doi.org/10.21829/abm126.2019.1461>
- González-Hernández, H., Solís-Aguilar, F., Pacheco-Sánchez, C., Flores-Mendoza, F.J., Rubio-Cortés, R., & Rojas-León, J.C. (2007). Insectos Barrenadores del Agave Tequilero. En H. González-Hernández, J. I. del Real-Laborde, & J. F. Solís-Aguilar (eds.), *Manejo de Plagas del Agave Tequilero* (pp. 39-67). Colegio de Postgraduados y Tequila Sauza S. A. de C. V.
- Macedonio-Guevara, A. (2015). *Abundancia estacional del picudo del agave en plantaciones de agave mezcalero en Guerrero* [tesis de maestría]. Repositorio institucional del Colegio de Posgraduados http://colposdigital.colpos.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/10521/2773/Macedonio_Guevara_A_MC_Entomologia_Acarologia_2015.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Paredes-Hernández, E., & García-Olazo, I. (2017). Plagas y Enfermedades de los magueyes mezcaleros. *Congreso Nacional de Agave-Mezcal*, 1(1), 59-61. www.ciidiroaxaca.ipn.mx/conagave/
- Ruiz-Montiel, C., García-Coapio, G., Rojas, J.C., Malo, E. A., Cruz-López, L, del Real, I., & González-Hernández, H. (2008). Aggregation pheromone of the agave weevil, *Scyphophorus acupunctatus*. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 127(2), 207–217. <https://doi.org/10.1111/j.1570-7458.2008.00703.x>
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. (2022, 13 de junio). *Producción Agrícola*. <https://www.gob.mx/siap/acciones-y-programas/produccion-agricola-33119>
- Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria/ Dirección General De Sanidad Vegetal. (2016). *Ficha Técnica. Picudo del agave (Scyphophorus acupunctatus Gyllenhal 1838) (Coleoptera. Dryophthoridae)*. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/281890/Ficha_Tecnica_Picudo_del_agave_2016.pdf



- Terán-Vargas, A. P., Azuara-Domínguez, A., Vega-Aquino, P., Zambrano-Gutiérrez, J., Blanco-Montero, C. (2012). Biological Effectivity of Insecticides to Control the Agave Weevil, *Scyphophorus acupunctatus* Gyllenhal (Coleoptera: Curculionidae), in Mexico. *Southwestern Entomologist*, 37(1), 47-53. <https://doi.org/10.3958/059.037.0106>
- Waring, G. L., & Smith, R. L. (1986). Natural History and Ecology of *Scyphophorus acupunctatus* (Coleoptera: Curculionidae) and Its Associated Microbes in Cultivated and Native Agaves. *Annals of the Entomological Society of America*, 79(2), 334–340. <https://doi.org/10.1093/aesa/79.2.334>

Conflicto de intereses

No hay conflicto de interés por ninguno de los autores de este documento.

Financiamiento

Este trabajo fue financiado por el proyecto FORDECYT ADESUR OPERATIVO-296369.

Agradecimientos

A los productores del mezcal del estado de Oaxaca, Guerrero y Michoacán. Al Comité Estatal de Sanidad Vegetal de Oaxaca.

Saberes y tradiciones que dan identidad y sabor a los mezcales en Guerrero y Oaxaca

Joaliné Pardo Núñez^{1*}, Manuel Kirchmayr¹ y Anne Christine Gschaedler Mathis¹

¹Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco A.C.

Camino Arenero 1227, El Bajío, CP 45019, Zapopan, Jalisco, Mexico.

* Autor de correspondencia: jpardo@ciatej.mx

Resumen

Se hace una revisión de los principales elementos culturales, normativos y tecnológicos que en la actualidad posicionan al mezcal como una bebida con identidad. Partiendo de entender que el proceso de elaboración del destilado está constituido por una serie de decisiones de la persona que lidera el proceso y estas, en conjunto, con particularidades de la planta, provistas por las condiciones físicas y metabólicas en que creció y maduró, son las que van a conferir a la bebida resultante sus particularidades tanto organolépticas como fisicoquímicas. Es por esta combinación de elementos derivados del conocimiento tradicional, físico-ambientales y materiales que un lote de mezcal es muy difícil e imposible de repetir. El entendimiento de las interrelaciones culturales, sociales, ambientales y tecnológicas del mezcal es indispensable para quienes forman parte de su cadena de valor, incluidos los consumidores.

Introducción

El mezcal es el segundo destilado mexicano con mayor presencia en los mercados internacionales. Originalmente se consideraba una alternativa económica al tequila y se empleaba para coctelería de manera genérica, sin destacar particularidades de su proceso de elaboración o región de procedencia; sin embargo, este panorama ha cambiado en los últimos diez años, en los que se ha distanciado por mérito propio del tequila y gradualmente se compara menos con el mismo, en tanto que cada vez se buscan más ciertos mezcales a partir de la especie o variedad de agave con la que se elaboraron, o bien de alguno de los nueve estados con denominación de origen o región productora.

En la versión más reciente de la norma del mezcal publicada en el 2016 (NOM-070-SCFI-2016) se define al mezcal como:

Bebida alcohólica destilada mexicana, 100 % de maguey o agave, obtenida por destilación de jugos fermentados con microorganismos espontáneos o cultivados, extraídos de cabezas maduras de magueyes o agaves cocidos, cosechados en el territorio comprendido por la Resolución (Denominación de origen). Es un líquido de aroma y sabor derivado de la especie



de maguey o agave empleado, así como del proceso de elaboración; diversificando sus cualidades por el tipo de suelo, topografía, clima, agua, productor autorizado, maestro mezcalero, graduación alcohólica, microorganismos, entre otros factores, que definen el carácter y las sensaciones organolépticas producidas por cada Mezcal. El mezcal puede ser añadido de edulcorantes, colorantes, aromatizantes y/o saborizantes permitidos por el Acuerdo correspondiente de la Secretaría de Salud.

Si bien esta definición es muy amplia y detalla aspectos de su proceso de elaboración de acuerdo con una norma de calidad, deja a un lado detalles importantes de su valoración cultural que se pueden considerar en el fragmento que menciona “entre otros factores”. Igualmente se refiere a las bebidas elaboradas en el territorio comprendido en la denominación de origen que protege a quienes lo producen ante otros destilados de agave de diferentes territorios, pero al mismo tiempo separa a las o los productores que se certifican, de quienes por algún motivo deciden no hacerlo, impidiendo a estos últimos llamar mezcal a su bebida, al menos en etiquetas de venta y espacios legales.

En algunas regiones de México la palabra mezcal se utiliza para nombrar a los agaves que se procesan para elaborar la bebida o bien al agave cocido, cuyos trozos también se venden en algunas ciudades. En nuestro caso vamos a considerar la palabra mezcal como aquella que califica a la bebida como tal desde la perspectiva de quien lo produce y quien lo bebe, independientemente de su apego a los criterios normativos; para esto consideramos que previo a la norma, hasta 1990 por lo menos, la palabra mezcal se utilizaba para todas las bebidas destiladas derivadas de agave a lo largo del territorio, sin importar la variedad de agave utilizada para su elaboración, su proceso o lugar geográfico. De hecho, el vocablo proviene del náhuatl *mexcalli* que significa maguey cocido, por lo que se trata de un concepto que evoca una forma de trabajo de origen prehispánico, característica de los pueblos indígenas y campesinos de gran parte del país (Domínguez, 2021). Incluso el tequila se llamaba vino mezcal, y fue hasta mediados del siglo XIX que aparece el término tequila para diferenciar a la bebida del vino mezcal (Bowen, 2016), y es que su proceso comprende las mismas etapas: cocción, molienda, fermentación y destilación, a lo largo de las cuales intervienen aspectos físico-ambientales del entorno en el que crece la planta, de los materiales que están disponibles para llevar a cabo cada momento, así como aspectos socio-culturales relacionados con el conocimiento que la persona que lidera el proceso, llamada maestra o maestro mezcalero, pone en juego para tomar decisiones que conferirá el sabor final a la bebida.

El mezcal es, entonces, un líquido de aroma y sabor derivado de la especie de maguey o agave empleado, así como del proceso de elaboración. Son muchos los elementos que determinan las características sensoriales finales de un mezcal y dependen tanto del medio físico en el que crece el maguey con que se hace, como de factores humanos que implican conocimiento y toma de decisiones. Estos elementos físicos (entorno de crecimiento), bióticos (características de la planta) y humanos (decisiones de proceso) hacen que el líquido que hay en una botella sea totalmente diferente de otra, aún si ambas mencionan haber sido elaboradas con la misma especie de agave, o bien en la misma comunidad geográfica. Algunos de los elementos en los que se diversifican las características del mezcal se definen por el tipo de suelo en que crecen las plantas, topografía, clima, características del agua, graduación alcohólica, microorganismos presentes en la fermentación, entre otros factores que definen el carácter y las sensaciones organolépticas producidas por cada lote u hornada de mezcal producido.

En el presente artículo queremos dar cuenta exhaustiva de todos los elementos que intervienen en el mezcal y que lo caracterizan como una bebida que no es replicable entre ciclos productivos, que hacen que cada hornada o lote de producción sea único e irrepetible. Lograr esto nos implica profundizar en aspectos simbólicos, humanos y tecnológicos que dan al mezcal su identidad, hablar de territorios geográficos y culturales de una forma amplia, dando cuenta de aquellas diferencias sutiles, pero contundentes que existen entre estados y entre culturas mezcaleras.

Nos enfocaremos en dos de los estados con mayor producción de mezcal artesanal, es decir, aquel



que implica el uso de hornos de tierra para la cocción del maguey, ya que se trata de aquellos con los que las autoras y el autor han tenido mayor interacción: Guerrero y Oaxaca. Ambos estados con gran diversidad biológica y cultural y que dan cuenta de la profunda interacción entre estos dos elementos.

Definiciones e implicaciones del mezcal

La producción de mezcal en México, sumando la obtenida en los nueve estados que cuentan con denominación de origen, aumentó de 1.5 millones de litros en 2014 a 8.1 millones en 2021 (Statista, 2022).

La información sobre las particularidades del proceso del mezcal comenzó a distinguirlo como un producto asociado al territorio y a destacar su carácter como bebida con identidad, es decir, asociada a un grupo humano con profunda relación con su territorio, que desarrolla procesos y recetas a partir del uso articulado de sus recursos naturales (Duhart, 2019), dotando a las bebidas de identidad y destacando las particularidades que tiene en función del lugar en donde se produce, de los materiales que el o la maestra mezcalera -persona encargada de tomar las decisiones a lo largo del proceso- elige para las diferentes etapas que conlleva su proceso, incluida la especie de maguey, la selección de plantas maduras y el momento de su cosecha.

El mezcal es uno de los 16 productos con denominación de origen registrada internacionalmente (IMPI, 2018) para México. Esta denominación se considera un signo distintivo para reconocer las características de proceso y materiales de una región. En palabras de Bowen (2016), la geografía es también un sabor y las denominaciones de origen surgieron para evitar falsificaciones y reconocer las propiedades que una demarcación geográfica, por sus características físicas, en conjunto con procesos local e históricamente desarrollados, confieren a un o una serie de productos (Hernandez, 2017).

La denominación de origen que nació para reconocer y proteger al mezcal se ha convertido en una herramienta de discriminación entre productores/as y comercializadores/as, ya sea entre regiones consideradas o excluidas de la norma, o bien entre aquellos que tienen la capacidad económica de lograr la certificación y pagar los requisitos hacendarios para incluir la palabra mezcal en su producto. Cada vez son más los estados que quieren incluirse en la denominación de origen y el rechazo de quienes ya están se convierte en un juego de poder. La norma únicamente categoriza de manera separada a los mezcales artesanales, que se caracterizan por una molienda mecánica y por una destilación en cobre; los ancestrales que se caracterizan por una molienda manual y destilación en barro y aquellos sin distintivo que son denominados llanamente como mezcal, habiendo pasado por una horneada en acero, molienda eléctrica o destilación en materiales metálicos. Todas las categorías refieren a posibilidades en materiales diferentes de horneado, molienda y destilación, pero sin atención a la procedencia de la materia prima (agave silvestre o cultivado), a particularidades culturales del proceso o al sentido que les da un pueblo mezcalero a las prácticas.

Un detalle que normalmente pasa desapercibido para las descripciones del mezcal y que depende directamente del ambiente de la fábrica (Guerrero) o palenque (Oaxaca) (lugar en donde se lleva a cabo todo el proceso de elaboración del mezcal una vez que el agave ha sido cosechado y jimado) es la presencia de los microorganismos responsables de la fermentación: las levaduras, mismas que son atesoradas por las y los productores en tanto que son resultado del trabajo ancestral de la familia, que se reproducen generación tras generación humana y que derivan de la mezcla específica de elementos físicos y prácticas culturales que existen en una fábrica o palenque.

El mezcal no es únicamente un destilado elevado en alcohol; es una bebida ritual que cohesiona a las familias y comunidades tradicionalmente productoras. Para ellas el mezcal siempre está ahí para celebrar alegrías y para curar dolores, para recibir a un nuevo ser y para despedirlo de este mundo. Está presente en bodas, bautismos, rituales para pedir lluvias y agradecer las cosechas, es también un ungüento medicinal y la base de bebidas con propiedades curativas cuando se mezcla con las plantas



adecuadas gracias al conocimiento tradicional, es decir, los conocidos “remedios” que curan huesos y músculos, pero que también sanan almas.

En Oaxaca, el estado con mayor volumen de producción en México (Cuevas, *et al.*, 2019), el mezcal se elabora con más de 30 variedades de maguey (Martínez *et al.*, 2019). Cada una de las siete regiones del estado que produce mezcal denomina a sus magueyes de forma local y emplea materiales diferenciados a lo largo del proceso productivo, pero siempre obtenidos de su entorno natural. En Guerrero, el mezcal se ofrece también a la tierra para agradecer su contribución al permitir el crecimiento del maguey, se agrega un trago al fuego de destilación para que la tierra esté contenta y se tenga una buena producción; en este estado es común la mezcla con damiana (*Turnera* spp.) como afrodisiaco.

La mayoría de cada pueblo tiene un ritual sobre cómo se bebe el mezcal, quién inicia, cómo inicia y cómo se hace la ronda de bebida, siempre compartiendo copa o bule, una jícara derivada del tomatillo (*Crescentia* spp), muy común en Guerrero. Aunque haya excesos en el consumo, siempre existe un respeto ceremonial al ofrendar y al recibir un mezcal para beber.

Existe en los pueblos tradicionalmente productores un gusto particular por el “buen mezcal”, que suele poseer entre 49 y 52 grados alcohólicos. En Guerrero es altamente valorado el corazón del mezcal, que es el fragmento de segunda destilación que no requiere ajuste porque sale al grado deseado, a esta porción se le llama “mezcalero” y es altamente apreciado, apartado para compartir con los seres más queridos.

Tanto en Guerrero como en Oaxaca existen colectividades, ya sean familias o pueblos, que confían su mezcal para celebraciones a una sola fábrica o palenque, con una familia fabriquera en particular porque logra un sabor particularmente valorado. Esto indica preferencias tradicionales o gustos históricos por notas de cata muy particulares, pero que dependen del proceso de elaboración, de la forma en la que se prepara y trata a la planta durante la corta, horneado, fermentado y destilado, los cuatro principales momentos de elaboración del mezcal, en los cuales profundizaremos posteriormente.

Para estas comunidades el distintivo de denominación de origen o bien la calificación mercantil de la calidad de un mezcal son poco relevantes en tanto que son categorías externas que no se apegan a los criterios culturales. Sin embargo, aunque no determinan la calidad de un mezcal para las personas de las comunidades, han causado divisiones sociales y cambios tecnológicos importantes, ya que con el aumento de la fama del mezcal se han incrementado sus precios, así como las personas o firmas que rastrean justamente a aquellos maestros mezcaleros más reconocidos por las sociedades locales, así como a magueyeros con quienes establecen contratos para comprometer altos volúmenes de producción de forma mensual. Esto ha modificado una tradición mezcalera familiar en una cadena de producción que tiene repercusiones ambientales y sociales importantes: desde la perspectiva ambiental ha aumentado la deforestación de vegetación nativa y sustitución de cultivos básicos familiares para la siembra de maguey (Susano, Palmero & Cabrera, 2014; Bautista, Antonio & León, 2017), así como una mayor extracción de madera forestal para los hornos de cocción. Socialmente, la promesa de mejores ingresos para las familias –o para las empresas-, ha llevado a que se vea la producción de mezcal, anteriormente netamente familiar y acotada a los meses sin lluvia u otras labores agrícolas, como una fuente de ingreso constante que resta significado cultural al proceso y rompe relaciones comunitarias o familiares por intereses económicos al fomentar el interés individual sobre el colectivo.

En los mercados de bebidas alcohólicas nacionales o internacionales, el mezcal de gusano o el mezcal anónimo “Recuerdo de -algún estado mezcalero-”, que anteriormente era compra común de los turistas, pasan a un segundo plano para consumidores que buscan mezcales de variedades silvestres de maguey o producciones de una región o familia productora específica. Esto implica que, de alguna forma, la elección de los consumidores repercute en las decisiones de algunos mezcaleros con respecto a qué especies de agave cultivar o aprovechar para la elaboración de la bebida. Las poblaciones silvestres



de magueyes han ido en detrimento (Martínez *et al.*, 2019) y las formas organizativas familiares han sido sustituidas por alianzas comerciales.

Quizás uno de los rasgos que más atractivo hace al mezcal ante los ojos de consumidores es su carácter de ser un destilado tradicional con significado cultural para las regiones y familias productoras, pero su mercantilización ha mermado muchas de las tradiciones que le daban identidad. Rasgos como región o productor, o materiales que antes eran descriptores, ahora son etiquetas de marcas que los resaltan como estrategia para aumentar el precio.

En las regiones productoras ya se busca incrementar el cultivo de los magueyes silvestres, como el tepextate (*A. marmorata*), tobalá (*A. potatorum*) o el cuish (*A. karwinskii*), o bien aumentar la producción de los semidomesticados como el arroqueño, el coyote o el mexicano (todas estas variedades o cultivares de *A. americana*) (Félix *et al.*, 2016). En tanto que el maguey no es un cultivo de cosecha anual, un productor o familia productora debe apostar al uso de un terreno cultivable durante mínimo seis años antes de tener materia prima para hornear, fermentar y destilar un lote de mezcal, por lo que se genera una decisión importante para la familia al decidir emplear un espacio agrícola, ya sea para maguey o para maíz y frijol.

El proceso del mezcal y los elementos que hacen única a cada hornada

Cada variedad o especie de agave tiene particularidades en su composición y dan lugar a sabores diferentes, pero en la elaboración del mezcal influyen también los materiales y los conocimientos que el o la maestra mezcalera ponen en práctica.

A continuación, se detallarán las diferentes etapas del proceso de elaboración considerando algunas particularidades de Oaxaca y Guerrero. En estas descripciones se diferenciarán los aspectos materiales de la parte donde la maestra o el maestro mezcalero toma una serie de decisiones que derivan en las características únicas de cada hornada. Además, se tratará de resaltar algunas prácticas específicas a cada estado y cada región que también les confieren particularidades regionales.

La materia prima: el agave

El primer punto fundamental es la especie de *Agave* (nombre científico) o maguey (nombre popular) con la cual se elaborará el destilado. Antes de mencionar a las especies de agave de manera más específica, es importante resaltar que se pueden diferenciar dos grandes esquemas de aprovechamiento: un agave cultivado o un agave silvestre que crece naturalmente en el campo. La demanda creciente de mezcal y en particular de destilados elaborados con especies silvestres conlleva una fuerte presión sobre el recurso, el cual cada vez es más escaso. Hace algunos años aparecieron iniciativas de algunas empresas con instituciones para micropropagación de plantas en laboratorio (Ríos, 2017). Sin embargo, hace falta concientizar más a los productores, a los dueños de marcas y a los consumidores sobre la implicación de apostar a esta forma de producción de la materia prima, que conlleva una disminución en la diversidad genética de las plantas, en tanto que se trata de clones con la misma información genética de la planta madre. Lo ideal siempre es permitir a un porcentaje mayor al 10% de las plantas en un espacio físico, lograr su inflorescencia hasta que se obtengan semillas, garantizando alimento para polinizadores y al mismo tiempo una diversidad genética constante.

Además, es apremiante contar con censos exhaustivos regionales de la materia prima silvestre (lo cual no se tiene actualmente) para tener una proyección de la disponibilidad de agaves a mediano y largo plazo y, a partir de estos censos, planear la producción a futuro de manera más ordenada para asegurar la conservación del recurso. La decisión de aprovechamiento de una población silvestre de magueyes o bien de siembra de una o un conjunto particular de especies corresponde a la persona que



produce, pero a menudo requiere de tener un consenso con su comunidad en tanto que se trata del uso o el impacto de uso sobre tierras comunales y sus ecosistemas.

En Oaxaca la principal especie de *Agave* utilizada es el *A. angustifolia* Haw (cultivado); en Guerrero, *A. cupreata* (silvestre). En los últimos años, en particular en el estado de Oaxaca, los consumidores buscan cada vez más mezcales elaborados a partir de especies de agave silvestres como por ejemplo *A. potatorum* (Tobala), *A. americana* var. *americana* (Arroqueño), *A. karwinskii* (Cirial), *A. marmorata* (Tepeztate), *A. rhodacantha* (Mexicano) por mencionar algunos de ellos. La decisión de utilizar alguna especie en particular va a depender en gran parte del o de la maestra mezcalera, pero también de la disponibilidad de plantas en su zona de producción. En Guerrero, además del *A. cupreata*, también se utiliza un tipo de *A. angustifolia* (cultivado o silvestre) llamado en algunas partes Sacatoro.

Otro punto destacable es la detección y el control de enfermedades que también afectan las variedades silvestres del agave tanto de Oaxaca como de Guerrero. Todos estos elementos sumados ponen en evidencia que es fundamental prestar más atención al asunto de la materia prima en el tema de la producción de mezcal para poder sostener una producción en importante crecimiento.

Cocimiento

La etapa de cocimiento tiene varios objetivos que se presentan a continuación:

- Hidrolizar (o romper) los azúcares presentes en los agaves para hacerlos más disponibles a las levaduras. Estos azúcares (llamados fructanos o agavinas) son cadenas ramificadas de moléculas de fructosa con una molécula de glucosa (interna o hasta el final de la cadena) que necesita desdoblarse para estar disponibles para la fermentación (Lopez *et al.*, 2003).
- Ablandar el agave para facilitar su molienda.
- Generar una serie de compuestos que definirán sensorialmente el destilado final (principalmente las notas ahumadas).

El cocimiento, a primera vista, parece un proceso muy parecido en las diferentes zonas de producción de mezcal de Oaxaca y Guerrero, ya que casi todos los productores utilizan el horno de piso (también llamado horno de tierra). Sin embargo, existen aspectos materiales que van a diferenciar estos procesos, iniciando por la especie de agave a cocer, el tipo de madera que se va a utilizar (la mayoría del tiempo depende de la madera disponible en la región), el volumen del horno, entre otros.

Una vez seleccionados los elementos anteriores, el maestro o la maestra mezcalera toma una serie de decisiones importantes para el desarrollo del proceso de cocimiento, las cuales pueden tener una influencia sobre las características del producto final. Estas son:

- El grado de rasurado de las piñas, que puede tener una influencia sobre la generación de metanol. En efecto, la molécula precursora del metanol se encuentra sobre todo en las partes “verdes” de la planta de agave. Así que si se mantiene una parte larga de hoja se incrementa el riesgo de encontrar una concentración alta de metanol (cabe mencionar que es uno de los factores importantes, pero no el único).
- Armado del horno, en general se busca aprovechar al máximo el espacio en el horno, dejando las menos cavidades entre piedras o entre trozos de maguey vacías. Dependiendo del tipo de agave y del tamaño de las piñas se pueden partir en dos o más pedazos o quedar enteras, como es el caso de los agaves que presentan piñas¹ largas.
- Adición –o ausencia– de agua. En algunas regiones cuando el horno ya está tapado se añade una

¹ Se llama piña al tallo del maguey, desprovisto ya de hojas y rasurado para la cocción de mezcal. El nombre hace referencia a una similitud con la fruta piña, en tanto que es un tallo bulboso con patrones simétricos de la parte basal de cada hoja rasurada.



o varias cubetas de agua por un hoyo realizado en el centro del horno. Esta adición de agua se convierte en vapor por el calor del centro del horno y permite tener un cocimiento más homogéneo.

- Tiempo de cocción. Este tiempo depende en gran parte del tamaño del horno y de la decisión de la maestra o del maestro mezcalero. En general, la larga experiencia práctica permite determinar el tiempo exacto de cocción; sin embargo, se observa a veces que puede hacer falta más tiempo (algunos agaves no se logran cocer bien) o al contrario se detecta un sobrecocimiento con agaves muy oscuros o incluso calcinados (en general, estos agaves no se pasan a la etapa de molienda).
- Tiempo de reposo antes de abrir el horno. En general, se espera que se enfríe el horno para poder sacar las piñas cocidas. Durante este lapso se finaliza lentamente la cocción de las piñas.

Molienda

La etapa de molienda tiene por principales objetivos:

- Fragmentar o desmenuzar el agave cocido para utilizarlo en el proceso de fermentación.
- Extraer los azúcares presentes en el agave cocido.

En general, en los estados de Oaxaca y de Guerrero las tinas de fermentación se llenan con la fibra del agave, es decir, no se separa el jugo al momento de realizar la molienda.

Los equipos utilizados son de diferentes tipos. El método ancestral es a mano, machucando el agave con hacha o con mazo (a veces se emplea una canoa). Tanto en Oaxaca como en Guerrero se sigue utilizando este método y es uno de los requisitos en la elaboración de un mezcal ancestral. Por otra parte, y sobre todo en el estado de Oaxaca, se emplean molinos de piedra, conocidos como tahona o molino chileno. Finalmente, sobre todo en Guerrero, se llegan a utilizar equipos eléctricos para la molienda del rastrojo. Cuando se utilizan estos molinos mecanizados de manera adecuada se logra desmenuzar el agave de manera óptima en poco tiempo, sin embargo, la utilización puede generar un riesgo de contaminación por el hecho que algunos molinos funcionan con diésel. Cada maestro o maestra mezcalera toma la decisión sobre utilizar la molienda más tradicional o invertir en un equipo con más tecnología, como podría ser el molino para rastrojo. En Guerrero es común encontrar este tipo de molinos ya que hace algunos años el gobierno estatal apoyó a los mezcaleros a adquirirlos.

Fermentación

Uno de los objetivos principales en los procesos de fermentación para la obtención de bebidas alcohólicas es contar con un proceso que genere un mosto fermentado con la mayor eficiencia fermentativa posible, es decir, con un alto porcentaje de conversión de los azúcares en etanol. También se busca la generación de una gran variedad de compuestos volátiles, lo cual repercute en la calidad del producto obtenido. En los estados considerados en esta publicación, la fermentación se realiza directamente sobre el bagazo molido añadiendo agua de manera espontánea, es decir, no se añade ningún microorganismo (levadura o bacteria). Una característica de estos procesos es la gran diversidad de microorganismos que conviven y contribuyen a estas fermentaciones artesanales. En un trabajo realizado en Oaxaca se detectaron las siguientes especies de levaduras en un proceso de fermentación con *Agave angustifolia*: *Candida apicola*, *Candida boidinii*, *Candida parapsilosis*, *Candida zemplinina*, *Citeromyces matritensis*, *Cryptococcus albidus*, *Dekkera anomala*, *Hanseniaspora guilliermondii*, *Hanseniaspora osmophila*, *Issatchenkia orientalis*, *Kluyveromyces marxianus*, *Pichia anomala*, *Pichia galeiformis*, *Pichia guilliermondii*, *Pichia membranifaciens*, *Pseudozyma prolifica*, *Rhodosporidium fluviale*, *Rhodotorula mucilaginoso*, *Saccharomyces cerevisiae*, *Schizosaccharomyces pombe*, *Torulaspora delbrueckii*, *Trigonopsis sp.*, *Zygosaccharomyces bailii*, *Zygosaccharomyces bisporus* y *Zygosaccharomyces rouxii* (Kirchmayr et al., 2017).



En estas fermentaciones artesanales es importante resaltar la presencia de numerosas bacterias lácticas y acéticas que también participan en la generación de aromas. Las bacterias acéticas son las responsables de que se avinagren las tinas, es decir, estas bacterias producen ácido acético (vinagre) a partir del etanol (alcohol) formado por las levaduras.

En general, el productor no interviene en el tema de los microorganismos, excepto en algunos casos particulares en donde el productor decide desarrollar un inóculo previo, esto significa que cultiva a los microorganismos de manera adecuada para fortalecerlos y posteriormente inocular la fermentación, la cual se desarrollará en mejores condiciones. Cabe mencionar que no se añaden microorganismos ajenos a la fermentación espontánea. Esta práctica es muy interesante ya que el proceso de fermentación sigue siendo 100% artesanal, pero con un poco más de control, lo que finalmente beneficiará al productor porque permite obtener un volumen más alto de mezcal de una misma cantidad de agave.

Un tema en donde se tiene que tomar una decisión es el material del cual se van a elaborar las tinas de fermentación. En Oaxaca y Guerrero se pueden encontrar tinas de madera, plástico, piedras, pieles de res y otros. Los materiales empleados son muy diversos y válidos siempre y cuando no interactúen con el mosto. Es importante resaltar que algunos plásticos podrán liberar algunas moléculas no deseadas por la acidez de los mostos.

La preparación de la tina de fermentación es un factor fundamental que va a condicionar el desarrollo posterior del proceso. En este punto las prácticas son muy diversas, cada maestro o maestra mezcalera tiene su propia estrategia. Por ejemplo, en algunas mezcaleras se pone una cierta cantidad de agave molido en las tinas y se deja durante 12h o hasta 24 horas para que inicie la fermentación (sin agua). En otros casos se añade agua desde el inicio del proceso fermentativo. La cantidad de bagazo y de agua añadida atañe a cada productor. Otra práctica que cambia es el hecho de remover periódicamente el contenido de la tina. A veces se realiza desde el inicio, o se espera uno o dos días. Estas prácticas, sin lugar a duda, tienen un fuerte impacto sobre el desarrollo de la fermentación. La adición de agua, así como el hecho de mezclar el bagazo con esta, propicia o no el desarrollo de la fermentación. El hecho de mezclar las tinas va a permitir homogeneizar el medio y soltar más azúcares en la parte líquida, azúcar que va a estar disponible para los microorganismos.

Finalmente, otro punto importante es la decisión de finalizar la fermentación. Ya en algunos casos la maestra o el maestro mezcalero mide el grado Brix de la tina para decidir si el mosto se pasa a destilar, pero en la mayoría de los casos la decisión se toma basada en la experiencia, probando el mosto fermentado, escuchando la tina.

Sin lugar a duda la etapa de fermentación es una etapa clave que influencia las características del producto final, así como en la cantidad de agave necesario para elaborar un litro de mezcal. La maestra o el maestro mezcalero toman varias decisiones en este proceso que influyen en el resultado final obtenido.

Destilación

Esta última etapa del proceso de elaboración de mezcal tiene como principal objetivo separar y concentrar tanto los vapores alcohólicos como los aromas deseados y característicos del mezcal. Además, sirve para eliminar los compuestos químicos no deseados, el bagazo, las sales minerales, levaduras y bacterias, y para obtener el grado alcohólico deseado.

Existen varias técnicas de destilación y la que se utiliza en Oaxaca y Guerrero es la técnica clásica de destilación diferencial o tradicional para la cual se emplean alambiques tradicionales construidos con cobre o acero inoxidable o de los dos materiales combinados. En algunas regiones productoras de Oaxaca se utiliza todavía un alambique ancestral construido con ollas de barro (alambique de cuchara). El tipo de alambique empleado depende en gran medida de las tradiciones de la región de producción.



El proceso de destilación es muy complejo -como en el caso de la fermentación-, que influye de manera importante en las características organolépticas del producto final. En general, se realiza en dos etapas (doble destilación): la primera se llama el destrozamiento; la segunda, rectificación. Otra característica de estas destilaciones es que el calentamiento de las ollas se realiza con leña y en algunos casos ya se utilizan quemadores de gas.

La experiencia de la maestra o del maestro mezcalero juega un papel fundamental en el desarrollo y el manejo del proceso de destilación. Una decisión importante son los cortes que se realizan durante el proceso de destilación. El responsable de la destilación tiene que decidir qué volumen va a dejar de cabezas (o “puntas”) y de colas. Estos esquemas de corte influyen en las concentraciones de alcoholes superiores y de metanol en el producto final. Por otra parte, la velocidad de la destilación, basada la cantidad de leña que se coloca en la hornilla y del control de la intensidad del fuego, es un factor importante de la destilación ya que un fuego intenso acelera el proceso pero con esto también genera pérdida de aromáticos importantes. El mantenimiento del alambique es otro factor que la mayoría de los productores cuidan mucho para tratar de evitar fugas de vapor y también depósitos de metales que afectan la destilación. En el caso específico del alambique de cuchilla, el proceso es más lento y en general menos eficiente. Sin embargo, existen ejemplos de productores que con base en su experiencia y a múltiples pruebas han logrado hacer más eficiente el proceso para mejorar al máximo el proceso de calentamiento de la olla en donde se carga el mosto fermentado y optimizar el proceso de enfriamiento.

Conclusiones y perspectivas

El mezcal es una bebida compleja, rodeada de significado y conocimiento por parte de los pueblos que históricamente lo producen y lo consumen. Es resultado de una serie de combinaciones tecnológicas y materiales, en gran medida definidas por quien lidera el proceso de elaboración, mismas que dan a cada hornada particularidades difícilmente repetibles.

El destilado ha logrado separarse del tequila en los mercados nacionales e internacionales. Actualmente ocupa en los menús de “espíritus” un lugar ganado por derecho propio, pero esto se ha logrado no únicamente por su sabor, sino por los elementos identitarios que lo rodean, posicionados en gran medida por quienes lo comercializan. Estos elementos son cada vez más contenidos por actores que buscan un lugar en la denominación de origen, así como por aquellos que quedan fuera de la norma por incumplir o bien por falta de recursos para certificarse. Estas “batallas”, principalmente económicas, han tenido consecuencias en los paisajes mezcaleros: 1. La organización social para la producción ha cambiado a partir de la llegada de empresas que buscan cantidades producidas bajo contrato, con esto se ha erosionado un trabajo estacional que era eminentemente de índole familiar; 2. El entorno agrícola y ambiental de los pueblos productores se ha modificado para aumentar la superficie cultivada de agave, ya sea a partir de espacios de vegetación nativa deforestados o bien a partir de cambiar espacios agrícolas de básicos por sembradíos de agave; 3. La producción de mezcal se ha extendido a lo largo de los años, llevando por un lado a la sobreexplotación de la materia prima y, por otro, a generar dependencia comercial para la provisión de granos básicos a las familias mezcaleras.

Vale la pena destacar que la NOM-070-SCFI-2016 es aún una derivación, no pulida, de la NOM-006-SCFI-2012 que rige sobre la producción del tequila, y no toma en cuenta las particularidades asociadas con la producción de mezcal; por lo tanto, debería seguir siendo sujeto a revisión y en su caso modificaciones adecuadas. Como ejemplo podemos mencionar el nivel de metanol que es extremadamente difícil de ajustar para especies y variedades silvestres de maguey.

Aún con estos problemas que faltan por resolver en los territorios mezcaleros y las batallas normativas a ser libradas, el mezcal es testimonio, a través de sus sabores, de la interrelación que hay detrás del conocimiento tradicional en cada una de sus fases. Al momento de beber una copa de



este destilado es importante considerar los rituales y decisiones detrás de su elaboración, tomarlo con respeto y ¿por qué no? Brindar con agradecimiento a la tierra y las culturas que lo hicieron posible.

Agradecimientos

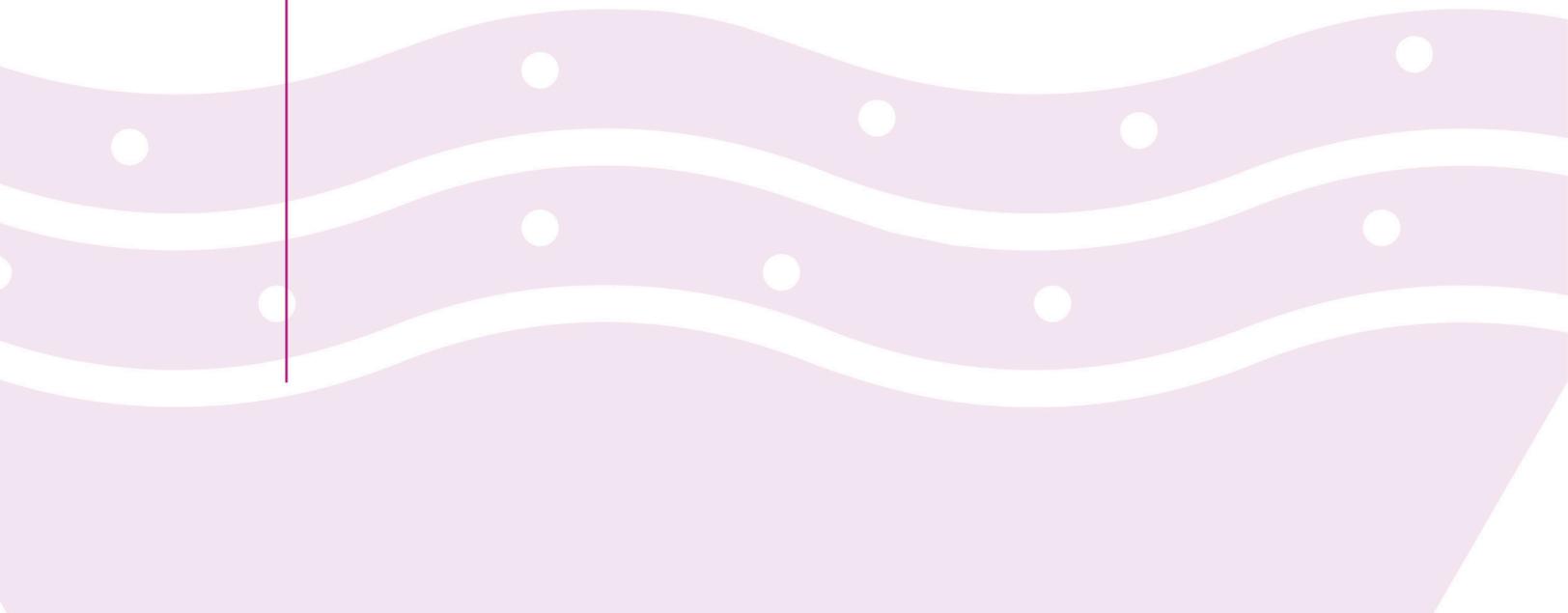
Al proyecto Conacyt GRO-2019-01-218213 “Impulso a redes de colaboración social, científico, tecnológicas en el estado de Guerrero, mediante el fortalecimiento de nodos regionales de incidencia socioambiental”, como parte del cual se enmarca esta publicación.

Referencias

- Bautista, A., Antonio, A. & León, J. (2017). Efectos socioeconómicos y ambientales de la sobreproducción de maguey mezcalero en la región del mezcal de Oaxaca, México. *Agricultura, sociedad y desarrollo*, 14 (4), 635-655. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1870-54722017000400635&lng=es&tlng=es.
- Bowen, S. (2016). *Divided Spirits: Tequila, Mezcal, and the Politics of Production*. California Studies in Food and Culture. Universidad de California.
- Cuevas, V, B. Sánchez, M. Borja, A. Espejel, M. Sosa, A. Barrera y M. Saavedra. (2019). Caracterización de la producción de maguey en el distrito de Miahuatlán, Oaxaca. *Revista mexicana de ciencias agropecuarias*, 10 (2), 365-377. <https://doi.org/10.29312/remexca.v10i2.1632>
- Domínguez, D. R. (2021). Construcción de un signo de calidad: la lucha por la geografía de la denominación de origen mezcal en México. *Veredas*, 4 (41), 101-125. <https://veredasojs.xoc.uam.mx/index.php/veredas/article/view/633/592>
- Duhart, F. (2019). Bebidas con identidad. Elementos para una antropología del beber. *Revista Analíticos*, (1), 31-47. https://www.researchgate.net/publication/338902143_Bebidas_con_identidad_Elementos_para_una_antropologia_del_beber_Analiticos_1_2019_p_31-47
- Félix-Valdez, L. I., Vargas-Ponce, O., Cabrera-Toledo, D., Casas, A., Cibrian-Jaramillo, A., & de la Cruz-Larios, L. (2016). Effects of traditional management for mescal production on the diversity and genetic structure of agave potatorum (asparagaceae) in central Mexico. *Genetic Resources and Crop Evolution*, 63(7), 1255-1271. doi:10.1007/s10722-015-0315-6
- Instituto Mexicano de la Propiedad Industrial. (2018). México tiene ya 16 Denominaciones de Origen. <https://www.gob.mx/imp/ articulos/mexico-ya-tiene-16-denominaciones-de-origen?idiom=es>
- Ríos, A.C. (2017). *Evaluación de sustentabilidad en sistemas de producción maguey y mezcal artesanal en el municipio de Villa Sola de Vega, Oaxaca* [tesis de maestría]. Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional, unidad Oaxaca, IPN.
- Kirchmayr, M. R., Segura-García, L. E., Lappe-Oliveras, P., Moreno-Terrazas, R., de la Rosa, M., & Gschaedler Mathis, A. (2017). Impact of environmental conditions and process modifications on microbial diversity, fermentation efficiency and chemical profile during the fermentation of mezcal in Oaxaca. *LWT*, 79, 160-169. doi:10.1016/j.lwt.2016.12.052
- Lopez, M. G., Mancilla-Margalli, N. A., and Mendoza-Diaz, G. (2003). Molecular Structures of Fructans from Agave tequilana Weber var. azul. *J. Agric. Food Chem*, 51, 7835–7840. doi:10.1021/jf030383v.



- Martínez R., J. Ruiz-Vega, M. Caballero, M.E. Silva y J.L. Montes. (2019). Agaves silvestres y cultivados empleados en la elaboración de mezcal en Sola de Vega, Oaxaca, México. *Tropical and subtropical agroecosystems*, 22 (2019), 477-485.
- Susano J.L., Palmero, N. & Cabrera, S. (2014). El mezcal guerrerense, su situación productiva y comercial. *Foro de estudios sobre Guerrero*, 1 (1), 66-71.
- Statista. (2022). *Producción de mezcal en México de 2014 a 2021*. <https://es.statista.com/estadisticas/1228940/produccion-mezcal-mexico/>



Caracterización de agaves endémicos del estado de Chiapas

Borrás-Enríquez Anahi Jobeth¹, González-Escobar Jorge Luis², Moreno-Vilet Lorena^{3*}

¹ Tecnológico Nacional de México/ IT de San Felipe del Progreso, Avenida Instituto Tecnológico S/N, Ejido, Tecnológico, 50640. San Felipe del Progreso, Estado de México, México.

² Tecnológico Nacional de México/IT de Ciudad Valles, carretera Al Ingenio Plan de Ayala Km. 2, Col. Vista Hermosa, 79010 Ciudad Valles, San Luis Potosí, México

³ Tecnología alimentaria. Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco A.C. Camino arenero 1227. El Bajío, 45019 Zapopan, Jalisco, México.

* Autor de correspondencia: LMV, lmoreno@ciatej.mx

Palabras clave:

agave, maguey,
Chiapas, fructanos,
bioactivos

Resumen

El presente trabajo se centró en la identificación y caracterización de tres especies de maguey endémicas del estado de Chiapas como lo son el *Agave americana*, *Agave chiapensis* y *Agave grijalvensis*, dichas variedades tienen gran importancia para las comunidades aledañas de las plantaciones, ya que forman parte de su cultura. Por ello, se documentaron los usos actuales y se realizaron estudios de morfología que permitió el Registro de variedades ante el SNICS. La recolección de las muestras de los diferentes magueyes se realizó en tres sitios de los diferentes del estado de Chiapas. También se realizó la recolección de unidades para su análisis en laboratorio como la caracterización de carbohidratos, extracción de compuestos bioactivos (polifenoles y flavonoides) y actividad antioxidante. Los resultados indicaron que las tres variedades endémicas del estado de Chiapas presentan propiedades atractivas para fomentar su participación en la producción de productos de mayor valor agregado.

Introducción

Chiapas es un importante estado al sur de la República Mexicana con clima cálido y húmedo o templado semihúmedo, donde la temperatura media anual varía entre los 18 y 28°C, haciendo de este territorio el sitio ideal para generación de una gran variedad de cultivos. Chiapas genera una gran cantidad de productos primarios en el país, sin embargo, su procesamiento sólo abarca el manejo pre y poscosecha, con muy pocas opciones de procesamiento para dar valor agregado a dichos productos y que a su vez beneficie al sector productivo.

Los magueyes son plantas monocotiledóneas de crecimiento lento que florecen por única ocasión entre los 5 y 7 años de edad, según la especie y después mueren. Desarrollan una característica inflorescencia en la parte más alta de unseudotallo que puede llegar hasta 9 metros de altura en algunas especies (Aguirre *et al.* 2001, Gallardo Valdez, 2016). Dichas flores ofrecen néctar a insectos, aves



y murciélagos a cambio del polen de otros individuos de su especie. Desde hace más de 10, 000 años el maguey ha sido de gran importancia en la vida de los pueblos de Mesoamérica, se considera “el árbol de las maravillas” debido a la gran diversidad de usos y aprovechamiento que se le ha dado. Se han utilizado como fuente de alimento, bebida, medicina, combustible, cobijo, ornato, fibras duras extraídas de las hojas (ixtle), abono, construcción de viviendas y elaboración de implementos agrícolas, entre otros. Sin embargo, el uso que les ha dado la fama es la producción de las importantes bebidas: aguamiel y su fermentado, el pulque, y más tarde de las destiladas: los mezcales (mezcal, tequila, comiteco y bacanora) (CONABIO, 2021). De las 210 especies de maguey que existen, 150 se encuentran distribuidas a lo largo del territorio de México. Estas plantas crecen y se desarrollan mejor en ambientes áridos y semiáridos, aunque también se adaptan bien en climas templados, por lo que la gran variedad de magueyes que existe en México, en parte, también es debido a diversidad de climas y suelo. Particularmente en el estado de Chiapas se encuentran los magueyes *Agave americana*, *Agave chiapensis* y *Agave grijalvensis*, los cuales han sido menos estudiados y explotados comparado con otras especies de maguey del centro y occidente de México (Santiz-Gómez *et al.*, 2012; Cadena-Iñiguez, 2016).

El *Agave americana* es un maguey conocido comercialmente en el estado de Chiapas como comiteco (Figura 1), su uso está ligado a la elaboración de bebidas como aguamiel, pulque y la elaboración de licor denominado “comiteco”. El cultivo es extenso, sin embargo, se encuentra disperso entre diferentes municipios. La propagación de maguey comiteco se realiza por hijuelos por parte de los productores de la localidad de Comitán de Domínguez, de ahí su nombre común. El uso de este maguey se remonta al año 1910 y hoy en día su cultivo es de importancia en el estado de Chiapas, sobre todo para la producción de “comiteco”, el cual es una bebida obtenida de la fermentación y posterior destilación del aguamiel (savia obtenida del raspado del maguey). Los municipios productores de maguey comiteco son Comitán de Domínguez, Amatenango del Valle y Las Rosas.



Figura 1. *Agave americana*, nombre común: maguey comiteco azul, localizado en la región de la meseta comiteca, ubicada a la salida del municipio de Comitán de Domínguez.

El *Agave chiapensis* es una variedad endémica del estado de Chiapas en los alrededores del municipio de San Cristóbal de las Casas; cercanos al ejido Rancho Nuevo (Figura 2). Esta variedad se caracteriza por crecer en áreas frías y cercanas a cerros. Las comunidades indígenas realizan la propagación de dicha variedad mediante hijuelos y los trasplantan en zonas con terreno más plano para tener fácil acceso a ellos. Tienen la tradición desde hace más de 30 años que por cada nacimiento de un integrante de la comunidad ejidal deben trasplantar un hijuelo. El *Agave chiapensis* es utilizado para el desarrollo de una bebida fermentada tipo pulque, como planta de ornato, para elaboración de fibras y como barrera para proteger sus terrenos. Las plantas muestreadas se encontraron en Los Altos, en el ejido de Rancho Nuevo, municipio de San Cristóbal de las Casas, Chiapas.



Figura 2. *Agave chiapensis*, nombre común: maguey chamula, localizado cerca del ejido Rancho Nuevo en los alrededores del municipio de San Cristóbal de las Casas.

El *Agave grijalvensis* también es una variedad endémica del estado de Chiapas (Figura 3). Actualmente está enlistada en la NOM-059-SEMARNAT-2010 como sujeta a protección especial debido a que sus hábitats se han visto destruidos y fragmentados por la intervención humana, principalmente por la construcción de la Presa Netzahualcóyotl en el cauce del Río Grijalva, entre los municipios de Berriozábal, Tecpatán y Ocozocoautla de Espinosa en el noroeste de Chiapas. El uso por parte de las comunidades ejidales cercanas al cañón del sumidero es como planta de ornato y/o uso como barrera para proteger sus terrenos. Las mismas comunidades realizan la propagación de dicha variedad, mediante hijuelos y siendo trasplantados en otra zona del terreno. Presenta una tradición mayor a 30 años; por cada nacimiento de un integrante de la comunidad ejidal. Dentro de los usos tradicionales de esta especie están: la cutícula de las pencas se utiliza en la elaboración de mixiotes (envuelto de carne) como platillo tradicional.



Figura 3. *Agave grijalvensis*, nombre común: maguey grijalva, localizado en el mirador Las Manos que imploran, en el municipio de San Fernando, Chiapas.

En las regiones aledañas a los sitios con la presencia de magueyes se encuentran presentes habitantes de comunidades indígenas y ejidos; cuyas actividades principales son pastoreo y cultivos, así como la venta de artesanías hechas por ellos mismos. Los magueyes son considerados reliquias de las regiones debido a que permiten la generación de bebidas espirituosas tradicionales como el comiteco, donde se aprovecha sólo la savia de la planta. La transformación de las pencas en productos de mayor valor agregado, aprovechando la presencia de azúcares, fructanos y compuestos bioactivos podría permitir generar una nueva fuente de ingresos para dichas comunidades.

En el Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco (CIATEJ) se realizó la caracterización de dichas especies de maguey del estado de Chiapas. En este documento se presentan y describen los resultados más importantes de dicha caracterización que incluyó morfología, extracción y caracterización de carbohidratos y compuestos fenólicos. Lo anterior, en el marco del programa de Estancias Posdoctorales para Mujeres Mexicanas Indígenas en Ciencia, Tecnología, Ingenierías y Matemáticas, con el proyecto titulado “Evaluación de cultivos primarios de la región del Soconusco, Chiapas para la obtención de compuestos bioactivos de importancia biotecnológica”.

Metodología

Características morfológicas de magueyes del estado de Chiapas

Se realizó trabajo de campo en dos temporadas (2019 y 2020) en sitios específicos del estado de Chiapas, donde se documentaron los usos actuales por entrevista directa con los pobladores. Se realizaron estudios de caracteres morfológicos (altura en planta, diámetro en roseta, número de hojas/roseta, longitud de la hoja, ancho de la hoja, espina apical, distancia entre espina lateral y espina



apical, longitud de diente, ancho basal del diente, distancia mínima entre dientes, distancia máxima entre dientes, número de dientes en 10 cm y proporción de largo/ancho de hoja) (Rodríguez-Garay *et al.*, 2009). Dichos datos permitieron realizar el trámite de Registro de variedades antes el Servicio Nacional de Inspección y Certificación de Semillas (SNICS).

Extracción y caracterización de carbohidratos

Se tomaron las pencas de las diferentes variedades en estudio (*Agave americana*, *Agave grijalvensis* y *Agave chiapensis*). Se cortaron en fresco tres secciones (superior, medio e inferior), trozos pequeños de 1 cm, y posteriormente se pesó 100 g de cada variedad y se batió en licuadora, utilizando agua como solvente a 80°C durante 30 minutos. Posteriormente se realizó una serie de microfiltraciones hasta 0.45µm para obtener un extracto libre de impurezas. Y posteriormente cuantificar los carbohidratos simples y fructanos presentes por cromatografía de líquidos (HPLC) de acuerdo a la metodología reportada por Moreno-Vilet, *et al.*, (2017).

Extracción y cuantificación de compuestos bioactivos y su actividad antioxidante

Las pencas enteras fueron deshidratadas en un horno de convección a 60°C, durante 48 horas, posteriormente fueron pulverizadas en un molino hasta obtener un polvo fino. Los polvos de agave fueron tamizados hasta obtener un polvo homogéneo. Las extracciones por maceración se realizaron al tomar 1g de polvo de penca de maguey, se disolvió con 50 mL de etanol y se dejó en agitación a 150 rpm durante 24 horas. Transcurrido el tiempo, se filtró hasta obtener un extracto libre de impurezas. Los extractos fueron cuantificados con base en polifenoles (Método de Folin-Ciocalteu), Flavonoides (método de tricloruro de aluminio) y la actividad antioxidante mediante las técnicas de ABTS y DPPH (Borrás-Enríquez *et al.*, 2021).



Resultados

Los resultados de la caracterización de las tres variedades de maguey (Tabla 1) muestran aquellos parámetros morfológicos que permiten definir la singularidad de cada variedad de maguey, en este caso, el *Agave americana* presenta los datos más altos en la mayoría de los parámetros evaluados (altura en planta, diámetro en roseta, longitud de hoja, ancho de hoja, espina apical, distancia mínima entre dientes, distancia máxima entre dientes). Mientras que el *Agave chiapensis* presenta mayor número de hojas por roseta; longitud de diente, número de dientes en 10 cm y, por último, el *Agave grijalvensis* presenta mayor distancia entre la espina lateral y espina apical, distancia mínima entre dientes, proporción largo/ancho. Así mismo, de acuerdo con las diferentes Figuras (1,2 y 3), físicamente se les puede reconocer a cada una de ellas, ya sea por su color, número de hojas y tipo de hoja.

Tabla 1. Caracterización morfológica de magueyes endémicos del estado de Chiapas.

Parámetro	<i>Agave chiapensis</i>		<i>Agave americana</i>		<i>Agave grijalvensis</i>	
	Media	Rango	Media	Rango	Media	Rango
Altura en planta (cm)	123.3	96-151	168	123-194	137.6	105-165
Diámetro en roseta (cm)	162.55	115-240	300.1	240-360	252.45	225-275
No. de hojas/ roseta	32.1	27-40	28.25	23-32	13.15	10-17
Longitud de hoja (cm)	68.2	53-88	133	117-150	129.8	91-156
Ancho de hoja (cm)	15.505	13.5-18	25.35	24-27	13.28	11-20
Espina apical (cm)	2.295	1.6-3.5	3.765	3.2-4.2	2.511	1-3.2
Distancia última espina lateral y espina apical (cm)	7.73	6.5-9.5	11.43	9.1-13.2	13.92	12-16
Longitud de diente (cm)	2.45	2-3	0.515	0.4-0.8	1.4	1-2
Ancho basal del diente (mm)	3.6	3-5	0.55	0.4-0.8	1.945	1-3.2
Distancia mínima entre dientes (mm)	4.25	3-5	2.395	1-3.5	6.25	2-9
Distancia máxima entre dientes (cm)	1.215	0.7-1.6	8.04	4.5-9.8	3.11	1.7-5
No. de dientes en 10 cm	13.4	9-18	2.75	2-4	6.35	3-10
Proporción de largo /ancho	4.408	3.5-5.73	5.2505	4.48-5.57	10.33	5.73-13.7

Con base en la caracterización antes mencionada, los resultados se sometieron al proceso de inscripción al Catálogo Nacional de Variedades Vegetales, antes el SNICS, cuya solicitud se realizó el 8 de diciembre del 2020 y se obtuvo el registro el 19 de octubre del 2021 con los siguientes números de registro CHAMULA (*Agave chiapensis*). No. Exp. 3908, No. CNVV: AGA-013-191021; COMITECO



AZUL (*Agave americana*) No. Exp. 3909, No. CNVV: AGA-014-191021; GRIJALVA (*Agave grijalvensis*), No. 3910. No. CNVV: AGA-015-191021, (CNVV, 2023). Dicho registro no confiere exclusividad de uso, pero es indispensable en el proceso de calificación de la calidad de las semillas y en el listado oficial de variedades de uso común. Además, dicho registro permite administrar y coordinar el sistema para que fomente la generación y transferencia de tecnología en variedades vegetales, con el fin de incrementar la producción agropecuaria. Esto permite a los productores nacionales la explotación de mejores variedades bajo un marco de certidumbre jurídica y retribución equitativa.

En la Tabla 2 podemos observar la cuantificación de los compuestos bioactivos (polifenoles y flavonoides), así como su actividad antioxidante presente en pencas de maguey. Se observó que el *A. americana* presentó los valores más altos de polifenoles y flavonoides (2.37 mg EAG/g y 3.78 mg EQ/g, respectivamente), sin embargo, su actividad antioxidante es muy baja. Los resultados de *A. grijalvensis* y *A. Chiapensis* son bajos comparado con otros tipos de plantas o frutos. Respecto a la cuantificación de actividad antioxidante por DPPH, la técnica no fue lo suficientemente sensible para la detección.

Tabla 2. Cuantificación de compuestos bioactivos presentes en magueyes endémicos del estado de Chiapas.

Variedad	Polifenoles mg EAG/g	Flavonoides mg EQ/g	ABTS % inhibición	DPPH %Inhibición
<i>A. americana</i>	2.38	3.67	5.109	ND
<i>A. chiapensis</i>	1.36	3.00	2.189	ND
<i>A. grijalvensis</i>	0.70	2.74	1.034	ND

EAG: Equivalentes de Acido Gálico

EQ: Equivalentes de Quercetina

Generalmente el valor de los magueyes para la producción de bebidas fermentadas y destiladas y/o jarabes endulzantes está basado en el contenido de carbohidratos, ya que los azúcares simples son la fuente de carbono que alimenta la fermentación en la elaboración de bebidas. Los fructanos de agave son los carbohidratos de reserva energética del maguey, que se considera fibra prebiótica ya que aporta un efecto benéfico a la salud intestinal de quien lo consume (Espinosa-Andrews *et al.* 2021). Los prebióticos son ingredientes muy cotizados en la industria para elaborar alimentos funcionales o suplementos. En la Figura 4 se presentan los resultados de la caracterización de carbohidratos en distintas fracciones de las pencas como inferior, media y superior para las tres variedades de maguey, en el cual se puede observar que el mayor contenido de carbohidratos se encuentra en el *A. americana* (comiteco) con 3.5-6.2 g/100mL de carbohidratos seguido del *A. chiapensis* (2.5-4 g/100mL) y *A. grijalvensis* (2-3.1 g/100mL). Así también, en la parte baja de la penca se obtuvo mayor concentración de carbohidratos, como era lo esperado, por estar más cerca al tallo o piña, donde se acumula la mayor cantidad de carbohidratos. La gráfica también ilustra la división de estos carbohidratos en dos grandes grupos: fructanos (de color verde) y azúcares simples (color azul). De la misma forma, la mayor proporción de fructanos se encuentra en la parte baja de las pencas con un porcentaje entre 49 y 76%, lo cual es de mayor interés si el fin es extraer esta fibra prebiótica. Por otro lado, si el interés es obtener azúcares simples, que puedan servir para diversos procesos de fermentación o bien producción de jarabes endulzantes, se buscaría hidrolizar el porcentaje de fructanos presente aun en las pencas.

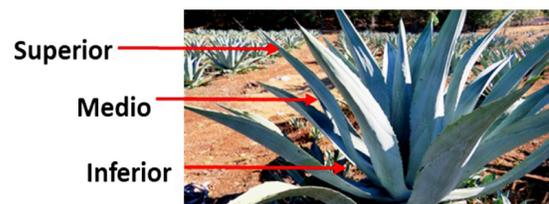
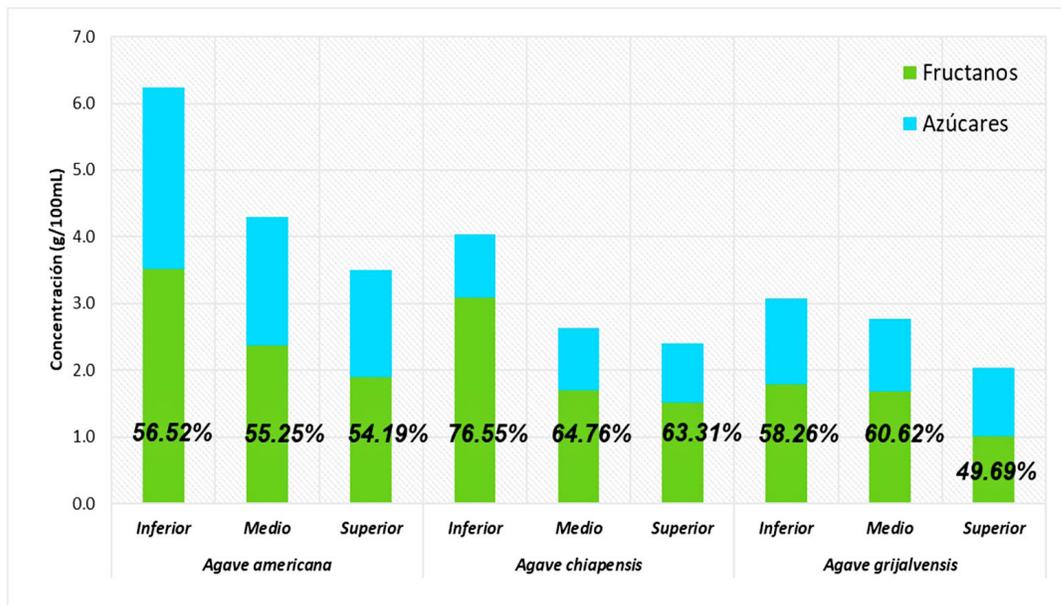


Figura 4. Cuantificación de carbohidratos (azúcares simples y fructanos) presentes en distintas fracciones de las pencas de magueyes de Chiapas.

Conclusiones

Se logró la identificación de tres variedades de magueyes endémicas de Chiapas: *A. grijalvensis*, *A. chiapensis*, *A. americana*, las cuales fueron registradas en el Catálogo Nacional de Variedades Vegetales ante el SNICS. Dicho registro le permitirá dar una protección para no ser transportada a otros países y mantener su origen. La mayor concentración de carbohidratos se encontró en el *Agave americana*. De las pencas de las tres especies de magueyes se logró obtener jugos de 2-6.3 g/100mL, dependiendo de la fracción y especie de maguey, de los cuales el 49-76% son fructanos. Se detectó la presencia de compuestos bioactivos como polifenoles y flavonoides en las pencas de las tres especies de maguey, aunque en bajas concentraciones. Estos resultados indican que las tres variedades endémicas del estado de Chiapas presentan propiedades atractivas para fomentar su participación en la producción de productos de mayor valor agregado.

Conflicto de intereses

Los autores declaran que la investigación se realizó en ausencia de cualquier relación comercial o financiera que pudiera interpretarse como un potencial conflicto de interés.

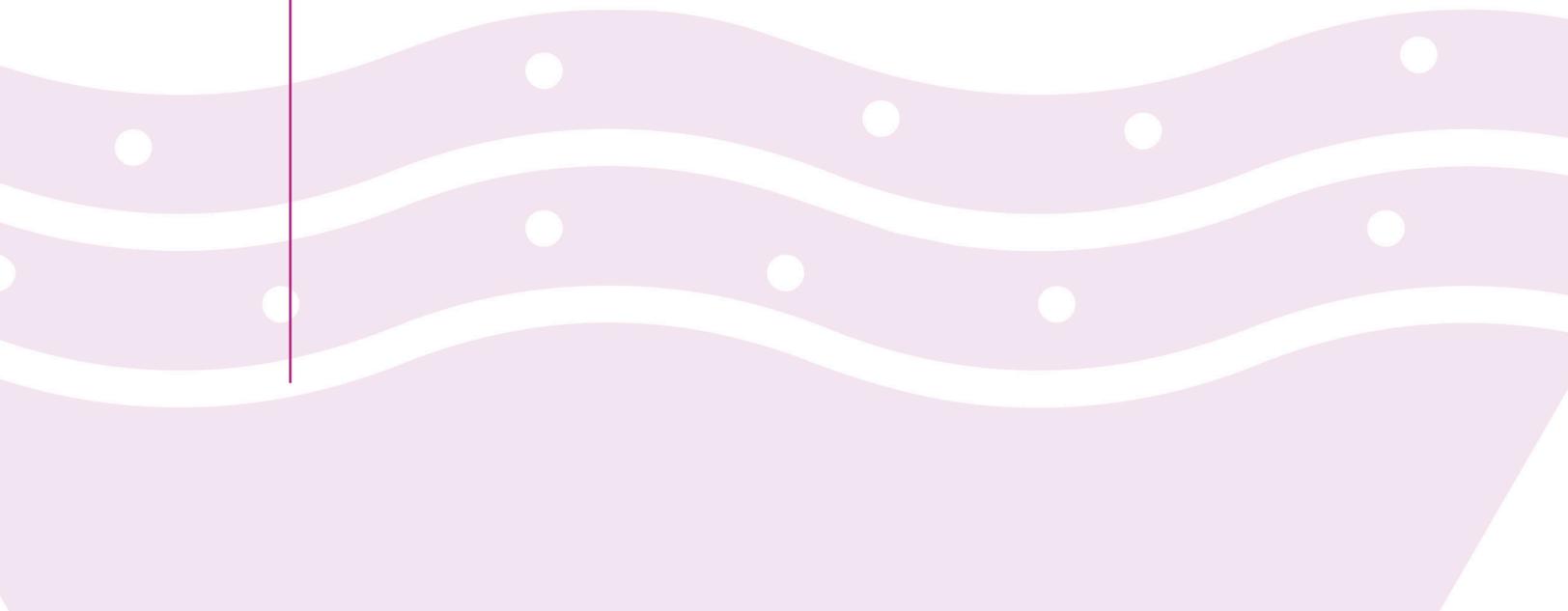


Financiamiento

Dichos proyectos se realizaron con recurso de los proyectos CIESAS CEAR2018-06 y FORDECYT-CONACYT 292474.

Referencias

- Aguirre-Rivera, J.R., Charcas Salazar, H. y Flores Flores, J. L. (2001). *El maguey mezcalero potosino*. Consejo Potosino de Ciencia y Tecnología, Gobierno del Estado de San Luis Potosí e Instituto de Investigación de Zonas Desérticas, Universidad Autónoma de San Luis Potosí.
- Gallardo-Valdez, J. (2016). *Breviario Mezcalero*. (Ed.). CIATEJ. <https://www.agared.org/libro-breviario-mezcalero>.
- Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO). (2021). *Magueyes*. <https://www.biodiversidad.gob.mx/diversidad/alimentos/magueyes>.
- Santiz-Gómez, J.; Rincón, Reiner; Gutiérrez-Miceli, F. (2012). In vitro propagation of *Agave grijalvensis* B.Ullrich, an endemic species from Chiapas under special protection. *Gayana - Botánica*, 69, 23-30.
- Cadena-Iñiguez, P. (2016). ÁREAS POTENCIALES PARA EL CULTIVO DEL AGAVE (*Agave americana* L.) EN LA MESETA COMITECA, CHIAPAS. *Agroproductividad*, 9, 56-61.
- Rodríguez-Garay, B., Lomelí-Sención, J.A., Tapia-Campos, E., Gutiérrez-Mora, A., García-Galindo, J., Rodríguez-Domínguez, J.M., Urbina-López, D. and VicenteRamírez, I. (2009). Morphological and molecular diversity of *Agave tequilana* Weber var. Azul and *Agave angustifolia* var. Lineño. *Ind. Crops Prod*, 29, 220-228.
- Catálogo Nacional de Variedades Vegetales en línea. (2023) <https://lookerstudio.google.com/reporting/5b7206ba-e190-48fe-9696-73523bfccf58/page/itBWB>
- Moreno-Vilet, L.; Bostyn, S.; Flores-Montaño, J.L.; Camacho-Ruiz R.M. (2017). Size-exclusion chromatography (HPLC-SEC) technique optimization by simplex method to estimate molecular weight distribution of agave fructans. *Food Chemistry*, 237, 10.1016/j.foodchem.2017.06.020.
- Borrás-Enríquez, A. J., Reyes-Ventura, E., Villanueva-Rodríguez, S. J., & Moreno-Vilet, L. (2021). Effect of Ultrasound-Assisted Extraction Parameters on Total Polyphenols and Its Antioxidant Activity from Mango Residues (*Mangifera indica* L. var. Manililla). *Separations*, 8(7), 94. MDPI AG. Retrieved from <http://dx.doi.org/10.3390/separations8070094>
- Espinosa-Andrews, H., Urías-Silvas, J.E., & Morales-Hernández, N. (2021). The role of agave fructans in health and food applications: A review. *Trends in Food Science & Technology*, 114, 585-598. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.06.022>.



Aspectos nutricionales y sociales del frijol criollo de la región Pacífico sur

Montserrat Alcázar-Valle¹, Soledad García-Morales², Luis Alberto Olvera-Vargas³, Ever Sánchez-Osorio⁴ y Eugenia Lugo-Cervantes^{1*}

¹ Tecnología Alimentaria, Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco (CIATEJ) A. C., Zapopan, Jalisco, México.

² Biotecnología Vegetal, CONACYT-Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco (CIATEJ) A. C., Zapopan, Jalisco, México.

³ PROTEAA, CONACTY-Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco (CIATEJ) A. C., Guadalajara, Jalisco, México

⁴ Investigador por México, CONACYT-Instituto de Investigaciones Sociológicas de la Universidad Autónoma “Benito Juárez” de Oaxaca (IISUABJO), Oaxaca, Oaxaca, México

* Autor de correspondencia: Eugenia Lugo-Cervantes, elugo@ciatej.mx

Palabras clave:

frijol criollo,
 Pacífico sur,
 nutricional,
 revalorizar

Resumen

La región del Pacífico sur, que comprende los estados de Chiapas, Oaxaca y Guerrero, presenta grandes desigualdades tanto sociales como económicas; no obstante, es una región que se caracteriza por su riqueza en productos agroalimentarios, entre los que destaca el frijol. El objetivo de este estudio fue realizar un recorrido por las zonas productoras de frijol de la región para conocer los aspectos territoriales y sociales que giran en torno a la producción del frijol. También se hizo una colecta de diferentes variedades de frijol criollo y se analizó su contenido nutricional. Se encontró una gran diversidad de variedades de frijol criollo (56 accesiones en total) con alto valor nutricional que potencialmente puede ayudar a la prevención de enfermedades cardiovasculares, obesidad, diabetes, entre otras. No obstante, es necesario generar acciones que permitan la revalorización del frijol criollo para consolidar y fortalecer la cadena de producción y de consumo.

Introducción

En el mundo existen aproximadamente 20 especies de leguminosas que se utilizan como granos secos en cantidades sustanciales para la nutrición humana. En el caso particular del frijol (*Phaseolus* spp.), los estudios arqueológicos revelan que su centro de origen es el continente americano, para después expandirse al resto del mundo. En la actualidad existen cinco especies domesticadas de frijol (Suárez-Martínez *et al.*, 2016).

Las variedades de frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) son las más consumidas en todo el mundo (Hayat *et al.*, 2013; Carbas *et al.*, 2020); mientras que el frijol comba o frijol lima (*Phaseolus lunatus* L.) y el frijol ayocote (*Phaseolus coccineus* L.) ocupan el segundo y el tercer lugar de consumo, respectivamente (Sinkovic *et al.*, 2019).



El frijol común se conoce como una buena fuente de proteína, que es de dos a tres veces mayor que los cereales; además, contiene altas cantidades de almidón, fibra, minerales, vitaminas y compuestos fenólicos, a estos últimos compuestos se les atribuye una alta actividad antioxidante. Esta actividad consiste en eliminar los radicales libres que se generan durante los procesos oxidativos de las células y que son causantes de enfermedades. Algunos factores que inducen la formación de radicales libres provienen del medioambiente, como la radiación ultravioleta, gases contaminantes o 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 cardiovasculares, obesidad, diabetes y cáncer, además de la reducción del proceso de envejecimiento (Yang *et al.*, 2018).

No obstante, el frijol contiene otro tipo de compuestos considerados como “anti-nutricionales”, que originan una baja digestibilidad de las proteínas del frijol, que dificultan la disponibilidad de los minerales y que son los responsables de causar flatulencias o en algunos casos diarrea. Sin embargo, en la actualidad se ha encontrado que estos componentes “anti-nutricionales” en pequeñas cantidades también pueden ser benéficos para la salud (Carbas *et al.*, 2020).

De acuerdo con la Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (SADER), México contribuye con el 4.4 % de la producción de frijol a nivel mundial. En 2021 se reportó una producción superior a los 1.2 millones de toneladas, provenientes de 1776 municipios, donde el estado de Zacatecas produjo el 34.9% de la producción nacional, seguido de Sinaloa con 11.8% y Durango con 9.5% (Figura 1). Además, de acuerdo con la SADER, en el periodo del 2019 al 2021 se logró una recuperación del 14.4% de la superficie de siembra de frijol, siendo el tercer cultivo con mayor superficie sembrada del país. Sin embargo, a pesar de la recuperación de la superficie de siembra y de su alto valor nutricional, el consumo de frijol en la población mexicana ha disminuido considerablemente, en la década de los 80 el consumo de frijol era de 16 kilogramos al año; mientras que para el 2021 el consumo anual de frijol es de sólo 9 kilogramos.

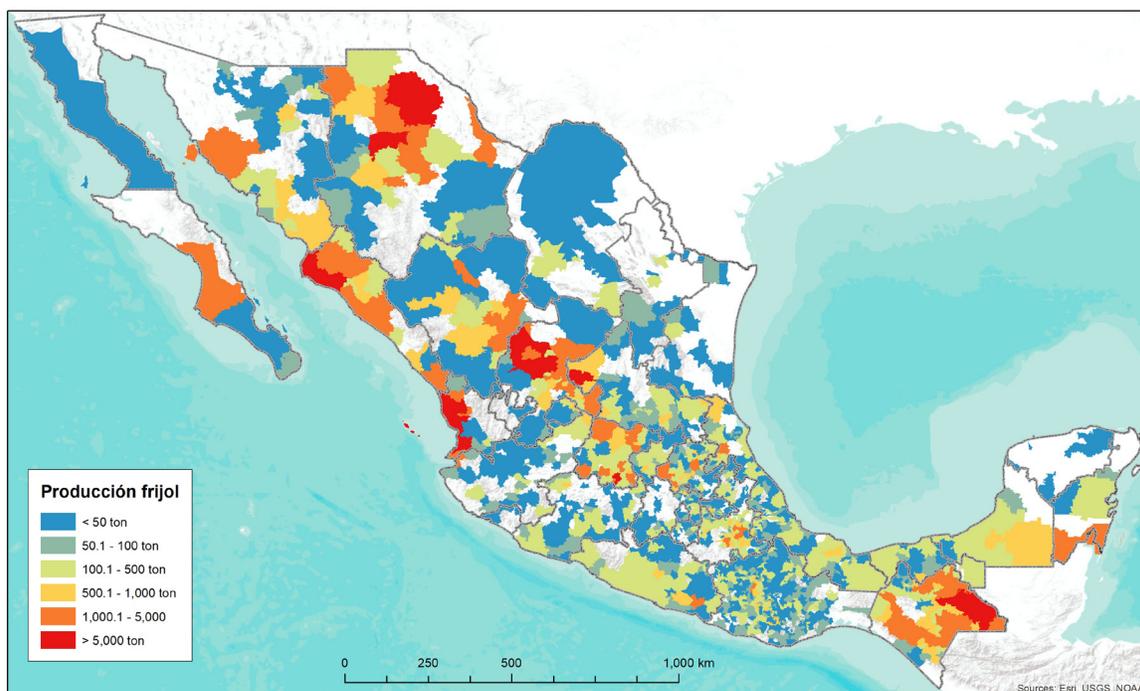


Figura 1. Producción de frijol en México representada a nivel municipal. (SIAP, 2021)

Por lo anterior, se trabajó de manera transdisciplinaria para estudiar los aspectos territoriales, nutricionales y sociales del frijol criollo con la finalidad de fomentar su revalorización en la región Pacífico sur, abarcando los estados de Guerrero, Oaxaca y Chiapas. Esta región presenta grandes desigualdades y asimetrías en los aspectos sociales y económicos. Este trabajo busca sentar las bases hacia un desarrollo equilibrado a través del impulso de capacidades científicas, tecnológicas e innovadoras en aspectos relacionados con la cadena productiva de frijol.

Desarrollo

Se realizaron recorridos por las diferentes regiones productoras de frijol de los estados de Guerrero, Oaxaca y Chiapas (Figura 2). En total se colectaron 56 variedades de frijol, de las cuales 46 variedades corresponden al frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.), cuatro variedades de frijol son comba o lima (*Phaseolus lunatus* L.), cuatro variedades de frijol ayocote (*Phaseolus coccineus* L.) y dos variedades de frijol gordo o ibes (*Phaseolus polyanthus* L.).

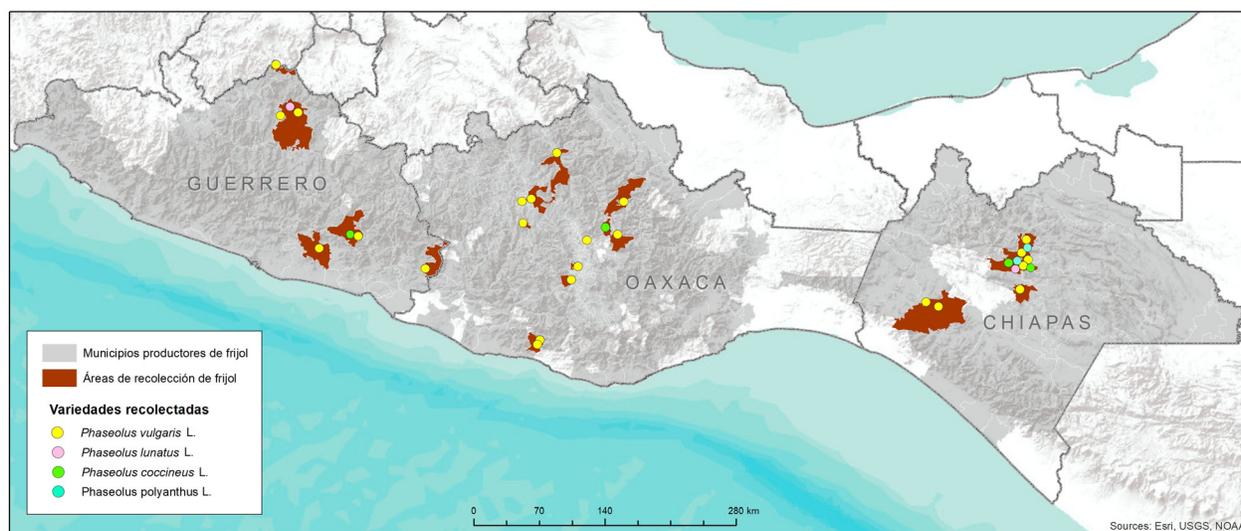


Figura 2. Recorrido por la región Pacífico sur y colecta de frijol criollo.

El muestreo en el estado de Chiapas se realizó en el mes de marzo del 2019, en los municipios productores de Tenejapa, Villaflores, Teopisca, Chenalho, Patelho y Chamula. En estas regiones los productores comentaron que el frijol que se siembra es para autoconsumo y que su cultivo es principalmente en mata, milpa y/o en vara.

En estas zonas productoras se observó una gran diversidad de especies de frijol con una amplia variedad de colores como el rojo, café, negro, rosa, amarillo. En este estado se colectaron 18 variedades de frijol (Figura 3).



Figura 3. Sitios de colecta de frijol criollo en la región Pacífico sur.

El recorrido por el estado de Oaxaca se dividió en dos periodos, el primero se realizó en el mes de julio del 2019; el segundo, en el mes de septiembre del 2019. En el primer periodo se visitaron las regiones productoras de la Mixteca, Valles Centrales y la Costa, se observó una mayor organización de los productores; por ejemplo, en la región de Valles Centrales los agricultores mencionaron que tenían rendimientos de dos toneladas por hectárea y en la región Costa es de una tonelada por hectárea. También se organizan en cooperativas para almacenar su frijol cosechado y de esta forma reducir la presencia de plagas como el gorgojo.

En el segundo periodo de colecta se visitó la región de la Sierra Norte y la región Cañada, en estas zonas se rigen por usos y costumbres y fue necesaria la ayuda de una persona de la región para poder desplazarnos. Al igual que en Chiapas, en el estado de Oaxaca el cultivo del frijol se puede dar en la milpa, en mata o en vara. De los dos recorridos por el estado se colectaron 20 variedades de frijol (Figura 3).

La colecta de frijol en el estado de Guerrero se realizó en el mes de agosto del 2019, en los municipios productores de Iguala, Xochistlahuaca, Tepecoacuilco, Mexcaltepec y Tecoanapan. De manera similar que en los estados de Chiapas y Oaxaca, en Guerrero el frijol se cultiva en mata, en milpa o en vara. En esta zona los productores comentaron que la producción en este ciclo agrícola fue baja debido a la sequía. Como en otros estados, el frijol se consume tanto en grano como en ejote; particularmente, en esta región se come el ejote de vaina morada. Se observaron variedades de frijol de colores moteados, claros, cafés, rojos, negro y se obtuvieron 18 accesiones de frijol (Figura 3).

Aspectos nutricionales del frijol

Una vez que se obtuvieron las diferentes variedades de frijol (Figura 4), se realizó su análisis nutricional en el laboratorio. Se determinó el color y el tamaño del frijol. Con la harina de frijol se hizo un análisis proximal (contenido de humedad, proteína, carbohidratos, fibra, grasas y cenizas); además, se obtuvo el contenido de los compuestos fenólicos y de compuestos antinutricionales (ácido fítico, oligosacáridos, lectina y actividad inhibitoria de tripsina); así como la actividad antioxidante (Alcázar-Valle *et al.*, 2020; 2021).



Figura 4. Algunas variedades de frijol criollo de la región Pacífico sur. A) frijol común (*Phaseolus vulgaris*); B) frijol ayocote (*Phaseolus coccineus*); C) frijol común; D) frijol gordo ibes (*Phaseolus polyanthus*); E) frijol comba o lima (*Phaseolus lunatus*).

A partir de los resultados obtenidos se observó que las variedades de frijol criollo muestreadas en los estados de Guerrero, Oaxaca y Chiapas presentan un alto potencial nutritivo (Figura 5). Por ejemplo, las variedades de frijol comba y frijol común presentaron altas concentraciones de ácido ferúlico, este compuesto tiene un alto potencial antioxidante, y puede mejorar la producción de colágeno y elastina, proteínas que ayudan a dar resistencia y flexibilidad en la piel. Por otro lado, en las especies de frijol ayocote, gordo o ibes y frijol común se encontró genisteína, este compuesto puede inhibir el crecimiento de las células carcinogénicas. El kampferol 3-glucosido se encontró principalmente en el frijol común; mientras que la quercetina 3-glucósido se encontró en el frijol ayocote, comba y en el frijol común, estos compuestos pueden ayudar a la prevención de enfermedades cardiovasculares. También se encontraron antocianinas como la cianidina 3-glucósido en variedades oscuras de frijol común, estos biocompuestos tienen un alto potencial antioxidante (Alcázar-Valle *et al.*, 2020).

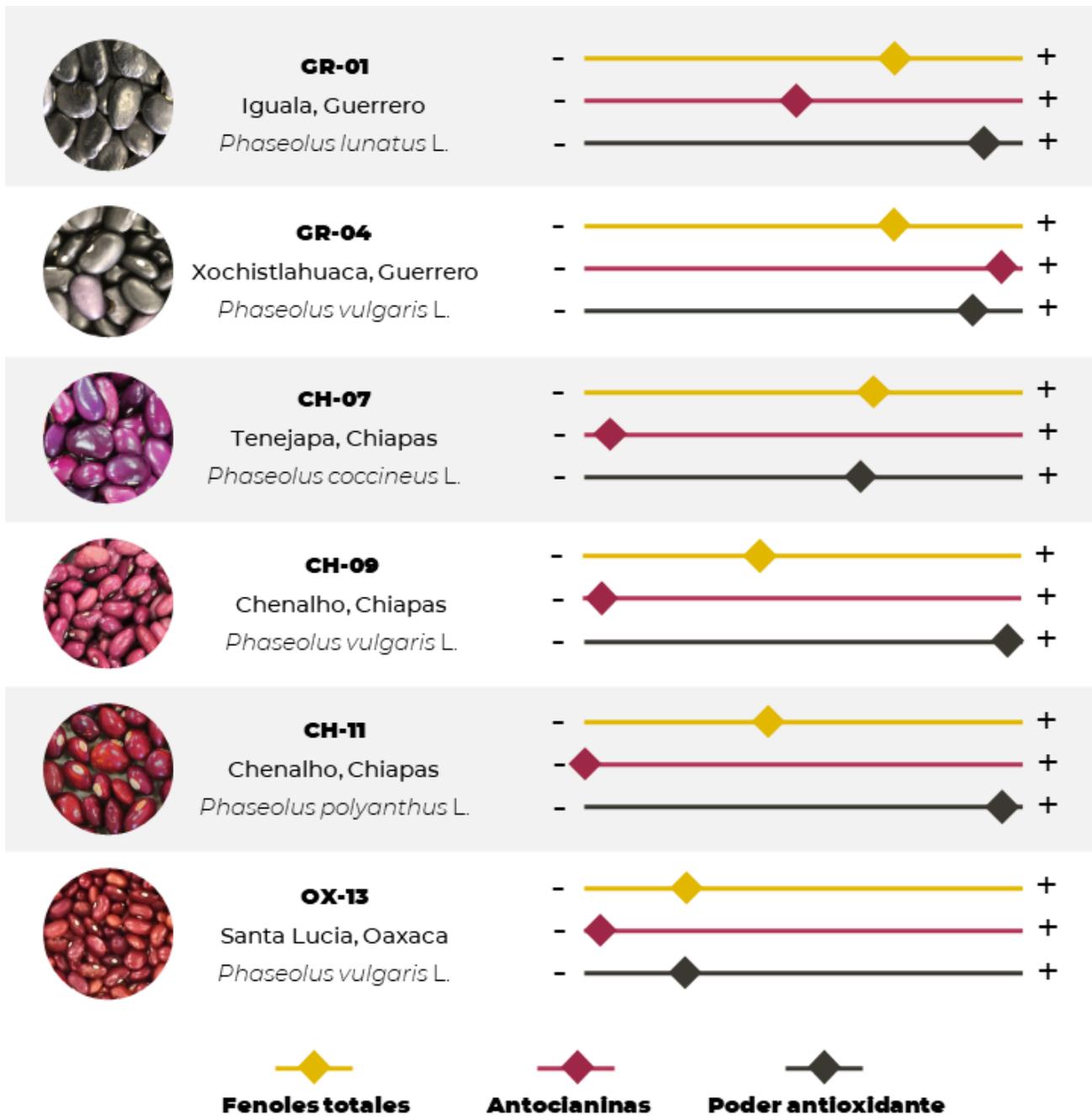


Figura 5. Algunas variedades de frijol criollo colectadas en la región Pacifico sur que se destacan por su contenido de compuestos fenólicos totales (21 a71 mg equivalentes de ácido gálico/ gramo de cascarilla de frijol), antocianinas (289 a no detectar mg equivalentes de cianidina 3-glucósido/ gramo de cascarilla de frijol) o poder antioxidante (21 a 71 % de actividad inhibidora del radical DPPH).

Además, se observa que existe una fuerte correlación entre la actividad antioxidante y los compuestos fenólicos presentes en el frijol (Alcázar-Valle *et al.*, 2020; 2021). Por lo tanto, las variedades colectadas de frijol criollo presentan un alto potencial para la prevención de enfermedades como el cáncer, cardiovasculares, la diabetes, obesidad, relacionadas al sistema inmune, entre otras.



Aspectos sociales

A partir de recorridos en campo, charlas y entrevistas con productores y actores locales (intersectoriales) se observó que en la región Pacífico sur los productores de frijol no están organizados en torno al proceso productivo de este cultivo. Es decir, es posible encontrar organización de productores, a través de sistemas de producción, como el maíz, mango, café o limón, pero no de frijol. De tal manera, como lo comentaron los productores -campesinos, no existe apoyo del gobierno para la producción. Quizá esto se deba a que en la colecta se buscó variedades criollas y que los campesinos o las mujeres que cosechan la semilla realizan esta actividad como labor de traspatio, no siembran en grandes extensiones y no cuentan con capacidades amplias de producción y comercialización.¹

Bajo ese contexto, se observó que la producción de frijol en manos de campesinos y campesinas se asocia al sistema de producción milpa: es decir, es posible encontrar en un mismo cultivo maíz, frijol, calabaza, chile, tomate y algunas plantas comestibles propias del campo. A veces esta producción resulta ser orgánica o con el menor uso de agroquímicos, y cultivados bajo el saber campesino, como la asociación de cultivos que se benefician mutuamente, el calendario lunar o semillas que se siembran sólo en ciertas temporadas del año (depende de la estación del año o de tiempo de lluvia).

Ya que las extensiones de siembra son pequeñas, no cuentan con infraestructura tecnológica para sembrar y cosechar. Comúnmente el trabajo de preparación de suelo, siembra, deshierbe, cosecha, limpieza de la semilla y su resguardo para volver a sembrar se hace de manera manual, con técnicas, procedimientos y saberes de la gente local. Quienes tienen la posibilidad de sembrar en extensiones de terrenos más amplios poseen trilladoras y cribadoras, pero comúnmente para esta forma de producción se usan semillas mejoradas.

La comercialización del frijol se da de manera informal a nivel local y regional. Campesinos o campesinas venden el frijol principalmente en los mercados, tianguis, en los parques de poblaciones principales, entre familiares, amigos o en tiendas de los pueblos. El kilo oscila entre los 15 y 25 pesos. También depende de la medida, ya que algunos los venden por litro (medida de envases de refresco de 2 litros), lata de sardina, taza u otra forma de medida local. De nueva cuenta, quienes producen un poco más venden a intermediarios, pero no suelen ser semillas criollas.

Como prospección se pudo observar el interés de algunos productores por la introducción del empaquetado industrial de algunas variedades de frijol criollo. Se debe buscar la consolidación del sistema producto frijol que permita acceder a apoyos para ampliar y fortalecer a los diversos actores involucrados, principalmente los campesinos y las campesinas. Es importante impulsar el resguardo y la producción de semillas nativas por poblaciones indígenas que reconocen su utilidad y valor nutricional. De hecho, en varias poblaciones que visitamos se observaron estrategias para el resguardo de semillas criollas.

A. Generalidades sobre la producción en el estado de Chiapas

Según los productores y campesinos, este sector productivo es el más desprotegido y olvidado. La producción es de subsistencia con una fuerte participación de mujeres, quienes realizan el cultivo como actividad de traspatio. La comercialización es local, principalmente en mercados y parques, el kilo se puede vender entre 10 y 20 pesos, dependiendo de la región o el lugar –del estado- donde se adquiera. En Chiapas, quienes siembran un poco más comercializan la semilla en centros de acopio o con intermediarios.

¹ En ocasiones las labores de traspatio, principalmente las actividades que realizan las mujeres, no se consideran como económicas. Sin embargo, es parte importante de la economía en el hogar ya que no solo es la siembra de semillas, también de frutas y cría de aves de corral.



- Organización. No hay datos de producción ni de extensión de cultivos. Los campesinos cuentan con poca extensión para la siembra, esto es un problema ya que sólo reciben apoyo del gobierno quienes cuentan con extensiones de terrenos considerables (a partir de cinco hectáreas). No existe estabilidad en la producción, hacen falta semillas, fertilizantes y mano de obra. Muchas veces las personas prefieren o tienen más acceso al frijol del supermercado.
- Comercialización. Se vende en mercados y tianguis locales. En caso de producir más: se preguntan ¿dónde lo venden o quién les puede comprar? En Villa Corzo, San Pedro Buena Vista existe un lugar de acopio. Existe mucha inestabilidad en los precios: va de los 10 a los 20 pesos.
- Tecnología. Los campos de cultivo no están tecnificados. Debido a la naturaleza del territorio estatal (caminos y carreteras) es difícil acceder a algunas poblaciones, no existe tecnología. Existen proyectos que provienen de la Universidad Tecnológica de la Selva y el INIFAP. Sin embargo, existe poca transferencia tecnológica y del conocimiento general. La información que se genera a través de investigaciones no llega a los campesinos, en su caso no está escrita en un lenguaje comprensible para todo público.

B. Generalidades sobre la producción en el estado de Oaxaca

La producción de frijol es una actividad común en el estado de Oaxaca, principalmente en la región Valles Centrales y Mixteca; en la Región Istmo y Sierra Norte es una actividad de subsistencia (autoconsumo). Todavía se conservan algunas variedades criollas, sin embargo, se cultivan también variedades de semillas mejoradas.

- Organización. No existe una organización exclusiva sobre el frijol. Campesinos y productores se reúnen para la producción de maíz, avena o forraje, principalmente. Los campesinos siembran bajo el sistema milpa en pocas extensiones de tierra, menos o al menos media hectárea. Hay productores que siembran en más de media hectárea, pero es una actividad de monocultivo, estos a veces cuentan con apoyo para la producción.
- Comercialización. La comercialización es a nivel local y en menor medida regional. No se cuenta con algún tipo especial de empaque, se encuentran en bolsas de kilo o medio kilo. Se comercializa entre familias o intermediarios.
- Tecnología. La infraestructura es mínima, algunos cuentan con tractor, aunque es más común el uso de yuntas. La cosecha se da de manera manual, pocos tienen acceso a trilladoras y cribadoras.

C. Generalidades sobre la producción en el estado de Guerrero

- Organización. No existe una organización, cada campesino o campesina siembra de manera rutinaria.
- Comercialización. Se comercializa en mercados, a nivel comunitario entre vecinos y familiares. El precio va de 20 a 25 pesos. Por lata o litro, el litro puede contener hasta cuatro kilos.
- Tecnología. No se aplica tecnología. Los caminos son de muy difícil acceso. Productores y campesinos no cuentan con equipos necesarios para fumigar. Requieren asesorías para el uso de agroquímicos.

Se debe de buscar la consolidación de la producción del frijol que permita acceder a diversos apoyos para ampliar y fortalecer a los diversos sectores involucrados.



Conclusiones

En los estados de Chiapas, Oaxaca y Guerrero, que comprenden la región del Pacífico sur, se encontró una gran diversidad de variedades de frijoles criollos, que se caracterizan por sus colores, tamaños y formas. Se encontraron dos grandes sistemas de cultivo de traspatio, la milpa y el monocultivo. El principal destino de la producción es el autoconsumo.

Con los resultados obtenidos se pretende incentivar la producción y el consumo de las especies de frijol criollo que han sido subestimadas y que están siendo desplazadas por otras variedades comerciales, además de promover su conservación. Se necesita llevar a cabo acciones para la revalorización del frijol donde se involucre a todos los actores que intervienen en la cadena de producción y de consumo.

Conflicto de intereses

Los autores declaran que la investigación se realizó en ausencia de cualquier relación comercial o financiera que pudiera interpretarse como un potencial conflicto de interés.

Financiamiento

El presente estudio fue financiado por el CONACYT a través del fondo FORDECYT 292474-2017 “Estrategias multidisciplinares 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”.

Agradecimientos

Los autores queremos agradecer y brindar nuestro sincero reconocimiento a los productores, a las personas que nos apoyaron en los recorridos, a las autoridades locales y municipales, al doctor Jhony Navat Enríquez y a la doctora Lourdes Flores por su apoyo en la colecta del frijol. Igualmente, agradecemos a CONACYT por el financiamiento recibido para poder realizar este proyecto (FORDECYT 292474-2017).

Referencias

- 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 (15), 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 beans species (*Phaseolus* spp.) of Mexican cultivars. *Agriculture*, 11, 1031. <https://doi.org/10.3390/agriculture11111031>
- 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>



- Hayat, I., Ahmad, A., Masud, T., Ahmed A., Bashir, S. (2014). Nutritional and health perspectives of beans (*Phaseolus vulgaris* L.): An overview. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 54 (5), 580-592. <https://doi.org/10.1080/10408398.2011.596639>.
- 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>.
- Suárez-Martínez, S. E., Ferriz-Martínez, R. A., Campos-Vega, R., Elton-Puente, J., de la Torre Carbot, K., García-Gasca, T. (2016). Bean seeds: leading nutraceutical source for human health. *CyTA-Journal of Food*, 14 (1), 131-137. <http://dx.doi.org/10.1080/19476337.2015.1063548>
- 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>

Experiencias y aprendizajes en la difusión de ciencia y tecnología sobre frijol y calabaza en el estado de Guerrero como parte de la apropiación social del conocimiento

Arturo Alfaro¹, Filiberto Ramírez¹, Ignacio Orozco-Avila¹, Luis Mojica¹ y María de Lourdes Flores^{1*}

¹Tecnología Alimentaria, Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco, A. C., CIATEJ, 44270, Guadalajara, México.

* Autor de correspondencia: Ma. De Lourdes Flores, lflores@ciatej.mx

Palabras clave:

frijol, calabaza, apropiación social, difusión del conocimiento, comunicación de la ciencia.

Resumen

El frijol y la calabaza son alimentos con un gran valor identitario y forman parte de la cultura en México. Los cambios en la dinámica social, aunado a modificaciones de acceso y disponibilidad de alimentos procesados y ultra procesados, han traído como consecuencia problemas metabólicos como diabetes tipo 2, entre otras comorbilidades, asociadas al consumo de alimentos altamente calóricos. Ante estas problemáticas se desarrollaron en el Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología del Estado de Jalisco (CIATEJ) procesos tecnológicos para el aprovechamiento integral de estos alimentos a través de proyectos financiados por el Consejo Nacional de Humanidades, Ciencia y Tecnología (CONAHCYT). Este artículo tiene como objetivo compartir los resultados de estos proyectos con las comunidades productoras de frijol y calabaza, con jóvenes estudiantes y personal académico de centros universitarios del estado de Guerrero como parte de un ejercicio de difusión, divulgación y apropiación social del conocimiento.

Introducción

Durante las últimas décadas, en México se vive una epidemia de sobrepeso y obesidad, esta condición propicia el desarrollo de enfermedades metabólicas como enfermedades cardiovasculares y la diabetes tipo-2. La vida en la ciudad, la falta de ejercicio, la disponibilidad de alimentos altamente industrializados, los cambios en la percepción social respecto a los alimentos derivados de la dieta tradicional mexicana (rica en alimentos como frijol, maíz, calabaza, nopales, quelites, huajes, tomate, amaranto, chía, entre otros) (Mariscal & montes, 2015) propician el desarrollo de estas enfermedades. Por otra parte, la dieta de la sociedad urbana que, entre otros factores, han llevado a la gente a consumir alimentos ultraprocesados,



poco saludables, ha propiciado que disminuya el consumo de alimentos de la dieta tradicional como los frijoles y la calabaza (Gaona-Pineda *et al.*, 2021).

En este sentido, se propuso por un grupo de investigadores del área de tecnología alimentaria del CIATEJ un proyecto denominado *Estrategias de difusión para la apropiación social del conocimiento en la recuperación de alimentos tradicionales de México* que fue financiado por el CONAHCYT¹, el cual tuvo como objetivo difundir resultados de investigaciones científicas orientados a la revalorización de la calabaza y el frijol, teniendo como antecedentes dos proyectos previos: *Impulso de la gastronomía mexicana a través de desarrollos tecnológicos y fortalecimiento de la cadena de valor para el sistema producto calabaza (Cucurbita argyrosperma)*² y *Desarrollo de una estrategia de revalorización del frijol como parte de la dieta del mexicano a través de su utilización como ingredientes con importancia biológica y tecnológica*³. Se hará referencia en este documento a estos proyectos como “proyecto frijol-calabaza”. En estos se desarrollaron metodologías para el procesamiento y aprovechamiento del frijol y la calabaza, incluyendo el proceso de obtención de concentrados de proteína de frijol y extractos de carbohidratos con potencial uso en la industria de alimentos. En el caso de la calabaza se desarrollaron manuales de buenas prácticas en campo, caracterización bromatológica de las semillas colectadas, así como metodologías para obtención de aceite de las semillas.

La propuesta de apropiación social a partir de la difusión se planteó implementarla en comunidades del estado de Guerrero, donde se llevó a cabo previamente el proyecto de calabaza y, aprovechando este acercamiento, se desarrolló la estrategia de difusión como una forma de aproximación a la apropiación social del conocimiento. Por tanto, se trabajó en las comunidades de cuatro municipios del estado: Tixtla, Chilpancingo de los Bravos, Ayutla de los Libres y Acapulco de Juárez, donde se desarrolló la difusión de los proyectos frijol-calabaza con actores comunitarios, población estudiantil y académica. En este artículo se presentan cuatro apartados, el primero aborda una reflexión sobre qué implica la apropiación social del conocimiento, aludiendo a los proyectos frijol-calabaza, un segundo apartado se describen los aspectos metodológicos y el desarrollo de la estrategia de difusión que se implementó con diversos actores sociales. En un tercer apartado se muestran las características de las comunidades donde desarrollamos la primera estrategia de difusión y, finalmente, se incorpora un apartado sobre las experiencias y aprendizajes de apropiación social a través de mecanismos de difusión para los proyectos de calabaza-frijol desde la perspectiva de los investigadores.

La apropiación social del conocimiento: una aproximación a través de la difusión

Es importante precisar el concepto de apropiación social del conocimiento con la finalidad de mostrar los alcances de esta experiencia. La apropiación alude un proceso definido como: “la disposición de los conocimientos científicos y tecnológicos en un escenario y lenguaje comunes para la sociedad” (Marín, 2012). A su vez, la disposición de conocimiento, remite a incorporar la noción de propiedad, es decir, no se puede disponer de algo que no se tiene. La apropiación implica tener en propiedad el conocimiento que esté disponible, por ello, la difusión y comunicación son parte fundamental de la apropiación.

La apropiación puede entenderse en términos de acción o de proceso, en algunos casos se utiliza como sinónimo de posesión, pueden distinguirse grados de apropiación: plenos, parciales, nulos o inexistentes (Barrio, 2008). En esta experiencia y dados los alcances del proyecto hacemos referencia a una apropiación parcial donde se partió de la disposición del conocimiento a través de estrategias de difusión.

¹ Proyecto financiado por la convocatoria del CONAHCYT para proyectos de apropiación social del conocimiento de las humanidades, ciencias y tecnologías 2019. No. 298681.

² Proyecto financiado por la convocatoria de la SAGARPA, ahora SADER para proyectos de Innovación y conocimiento de la gastronomía Nacional 2016. No. 1-277781.

³ Proyecto financiado por la convocatoria de CONAHCYT para Resolver Problemas Nacionales 2016. No 2081.



La estrategia de difusión tiene como finalidad brindar acceso a la información, es decir, poner a disposición el conocimiento generado de los procesos científicos y tecnológicos a través de la divulgación y la comunicación. Una vez socializados, inicia el proceso de apropiación. Los sectores de la sociedad pueden apropiarse de este conocimiento y hacerlo suyo para adecuarlo a sus necesidades, sin embargo, este no es un proceso sencillo que aluda de forma direccional a la apropiación, en este confluyen una serie de factores que pueden propiciar u obstaculizar este proceso. Se puede decir que existe apropiación plena del conocimiento cuando éste es utilizado para la generación de ideas, proyectos, tesis, emprendimientos, innovaciones que contribuyan de forma sustantiva a la resolución de problemáticas y mejoren la calidad de vida de los grupos sociales.

Aspectos metodológicos

En el caso de este proyecto, es importante precisar que la estrategia de difusión prevista como parte de la apropiación social del conocimiento, generado en los dos proyectos previos de calabaza-frijol, se acotó por dificultades administrativas⁴, pero no impidió el despliegue de la experiencia de difusión. Se planteó trabajar con el escenario y el lenguaje como elementos de apropiación social del conocimiento (Nieto-Bravo, J. A., Jairo Pérez-Vargas, J., & Santamaría-Rodríguez, J. E., 2019), de ahí la importancia de la vinculación con los productores, población general, estudiantes y académicos en sus ambientes cotidianos de vida: las comunidades y los espacios escolares con diferentes estrategias de comunicación e interacción.

El proyecto calabaza, realizado previamente, implicó un acercamiento en las comunidades de Atliaca y Chilpancingo, siendo el motivo que permitió regresar nuevamente. La difusión se planificó considerando la participación de diferentes actores. En el caso de las comunidades de Atliaca, Tepechicotlán y Atocutla se trabajó a nivel comunitario con productores de calabaza y frijol, amas de casa e integrantes del programa sembrando vida. Se elaboraron materiales de difusión que incluyeron información respecto a buenas prácticas de campo para el cultivo de calabaza, aspectos nutricionales y el desarrollo de valor agregado de la calabaza y el frijol. Además de sesiones informativas, también se propusieron talleres culinarios, donde se elaboraron e intercambiaron recetas que involucraban tener como ingrediente básico alguno de estos alimentos. El encuentro con las comunidades ayudó a realizar algunas entrevistas, hacer observación participante y recolectar información fotográfica. El material audiovisual se utilizó para generar la difusión en redes sociales que se describe como parte de la tercera estrategia.

Una segunda estrategia consistió en la difusión de los proyectos frijol-calabaza con actores estudiantiles y académicos. A través de la técnica de bola de nieve (Ruiz, 2012), se contactó a investigadores de la Universidad Autónoma de Guerrero (UAGRO) en la sede de la capital del estado y de la Universidad Hipócrates, en el municipio de Acapulco. En este caso, no se trabajó con talleres gastronómicos, sólo se enfocó en la difusión de los proyectos frijol-calabaza, se abordaron aspectos de buenas prácticas de campo en la producción de calabaza, los aspectos nutricionales, así como el potencial de valor agregado que puede ser derivado de estos alimentos: procesos de obtención de concentrados de proteína de frijol y extractos de carbohidratos de uso agroindustrial y extracción de aceite a partir de semillas de calabaza, entre otros.

Una tercera estrategia fue la difusión en redes sociales, se incorporaron las entrevistas realizadas en las comunidades a productores y habitantes de Atliaca, Tepechicotlán y Atocutla, quienes compartieron sus conocimientos, la importancia y la problemática que enfrentan como productores y consumidores del frijol y calabaza en sus comunidades. También, se incorporaron las actividades que se realizaron con los actores académicos y población estudiantil de la universidad Hipócrates y de la facultad de

⁴ Este proyecto se desarrolló en dos meses, aunque se había planificado desarrollar en nueve meses.



ciencias químicas de la UAGRO, así como la elaboración de recetario incorporando algunas recetas derivadas de los talleres gastronómicos. Para la difusión en redes se desarrolló una página en Facebook, se abrió una cuenta de Instagram, una revista electrónica y un canal de YouTube, donde se muestra la información derivada de las primeras dos estrategias de divulgación de los proyectos frijol- calabaza.

Las comunidades productoras de calabaza y frijol

El estado de Guerrero está ubicado en la región suroeste del país, limitando al norte con el Estado de México, Morelos y Puebla, al sureste con Oaxaca, al suroeste con el océano pacífico y al noroeste con el río Balsas, su capital es Chilpancingo de los Bravos y la ciudad más poblada es Acapulco de Juárez, cuenta con un total de 81 municipios con una población total de 3,540,685 (representa el 2.8% de la población nacional) y 40% se ubica en localidades rurales (Censo de Población y Vivienda 2020). Las comunidades donde realizamos actividades de difusión a partir de talleres gastronómicos y sesiones informativas se ubican cerca de la capital del estado. Atliaca es un municipio con mayor densidad poblacional. Tepechicotlán y Atocutla son comunidades más pequeñas con una dinámica rural más que Atliaca (Figura 1). No se incorpora información sociodemográfica de las zonas urbanas, Chilpancingo y Acapulco, sólo se hará referencia a las actividades realizadas en los centros universitarios.



Figura 1. Mapa de lugares intervenidos en el estado de Guerrero (obtenido de <http://mymaps.com>)

Atliaca

Atliaca es un municipio ubicado en el estado de Guerrero, México, con una población de aproximadamente 5,997 personas (Censo de Población y Vivienda 2020). La mayoría de la población se dedica a la actividad agrícola, siendo el frijol y la calabaza algunos de los alimentos principales de su dieta. La comunidad preserva las lenguas indígenas, principalmente el náhuatl, y cuenta con servicios públicos como agua, electricidad, gas e internet.



Figura 2. Cultivos de frijol y calabaza (del lado izquierdo una vaina de frijol, del lado derecho dos diferentes variedades de calabaza de la región)

En cuanto a la educación, Atliaca cuenta con jardín de niños, primaria bilingüe (español y náhuatl), secundaria, preparatoria y una universidad con fines agrícolas. Con respecto a su sistema de salud, se cuenta con una clínica y la comunidad también cuenta con curanderos como alternativa para enfermedades que no requieren de atención médica especializada. Además, el uso de plantas medicinales es común entre los habitantes. De acuerdo a lo recabado en entrevistas, la diversidad de platillos en su dieta es limitada, principalmente a frijoles y calabaza, pero existen algunas variaciones en la preparación de estos alimentos, como son el pozolillo, frijol con puerco o la calabaza en dulce con leche.

Tepechicotlán

Tepechicotlán es una pequeña comunidad ubicada en el municipio de Chilpancingo de los Bravo, en el estado de Guerrero, México. Según datos del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), la población de Tepechicotlán es de 1,480 habitantes, distribuidos equitativamente entre hombres y mujeres.

La comunidad de Tepechicotlán se dedica principalmente a la siembra de maíz, jícama, cacahuete, calabaza y frijol, siendo este último uno de los ingredientes principales de su dieta (Figura 2). Sin embargo, de acuerdo con los pobladores entrevistados, últimamente compran el frijol a los que producen, algunos han dejado de trabajar sus tierras por falta de apoyos gubernamentales y emigrado a otros estados. La comunidad cuenta con escuela primaria, secundaria, bachillerato y universidad, lo que indica una oferta educativa amplia, aunque la atención médica puede ser insuficiente.



Figura 3. Venta local de semillas de calabaza y diferentes variedades de frijol.



Atocutla

Ubicada en el municipio de Ayutla de los Libres, en el estado Guerrero. De acuerdo con autoridades locales, tiene una población de 342 habitantes, de los cuales 169 son hombres y 173 mujeres (Censo de Población y Vivienda 2020). En términos de salud, la comunidad no cuenta con un centro de salud y en caso de emergencias acuden a la localidad de Ayutla. La diabetes es una de las enfermedades más comunes y los habitantes la atribuyen al alto consumo de refrescos y a la comida chatarra que consumen.

En cuanto a la economía, la comunidad cuenta con una tienda de abarrotes, donde lo principal que se vende son bebidas gaseosas saborizadas y cerveza. La mayoría de las familias se dedican a la producción pecuaria, principalmente de chivos, gallinas y vacas. Además, siembran maíz, calabaza, frijol, jamaica y diferentes hierbas aromáticas. La distribución de la tierra para cultivo es por familias, y oscila entre 10 y 30 hectáreas aproximadamente.

En el ámbito cultural, la comunidad siembra dos tipos de calabaza, una en la que aprovechan la semilla (*Curcubita argyosperma*) y en la otra la pulpa (*Curcubita maxima*). Venden la calabaza entre 14 y 30 pesos el kilogramo (2019) y los compradores llegan a la comunidad para adquirirla (Figura 3). La flor de calabaza es utilizada en quesadillas con salsa y queso, a la mexicana o con atole.

La calabaza chilacayota es preparada a la mexicana cuando aún está tierna. Es de las únicas preparaciones saladas que realizan. El quelite y el epazote son utilizados muy frecuentemente en sus preparaciones alimentarias. En cuanto a la educación, solamente hay una primaria en la comunidad. En cuanto al frijol, este se produce para autoconsumo, los excedentes se comercializan en la comunidad.

Experiencias y Aprendizajes

Como se mencionó anteriormente, se incorporan las estrategias de difusión con productores, autoridades locales y actores clave que tienen una participación en la capacitación agrícola y pecuaria en comunidades de cuatro municipios de Guerrero: Tixtla, Chilpancingo de los Bravos, Ayutla de los Libres y Acapulco de Juárez; Se realizaron entrevistas, se organizaron talleres gastronómicos (Figura 4) y sesiones de diálogo e intercambio de conocimiento, particularmente del uso gastronómico, usos y costumbres que dan al frijol-calabaza. A su vez, el equipo del CIATEJ compartió información relevante sobre buenas prácticas para la producción de calabaza, la composición nutricional y beneficios en la salud por el consumo de la calabaza y el frijol, algunos ejemplos de valor agregado de estos alimentos.



Figura 4. Elaboración de tamales de frijol pinto y mermelada de frijol. Talleres gastronómicos.

Por otro lado, se realizaron conferencias en dos instituciones académicas, la Universidad Autónoma del Estado de Guerrero (UAGRO) y la Universidad Hipócrates (Figura 5 y 6). La temática que se abordó con el personal académico y los estudiantes fue acerca de los resultados de investigación científica obtenidos en los proyectos frijol-calabaza, relacionados el desarrollo de las metodologías para el procesamiento y aprovechamiento del frijol y la calabaza, el proceso de obtención de concentrados de proteína de frijol y extractos de carbohidratos con potencial uso en la industria de alimentos. En el caso de la calabaza, se presentaron metodologías para obtención de aceite de las semillas y caracterización bromatológica de las semillas colectadas. Generando interés de los alumnos por conocer y profundizar en estos procesos, particularmente los alumnos de ciencias químicas y tecnología alimentaria.



Figura 5. Foro organizado en la Universidad Hipócrates. Acapulco, Guerrero



Figura 6. Encuentro con alumnos de la UAGRO, Chilpancingo, Guerrero.

A su vez, se implementó una estrategia de difusión a través de redes sociales convencionales. La estrategia de difusión favoreció la interacción constante y continua con diferentes sectores de



la población. Es importante mencionar que esta estrategia nos permitió difundir los resultados de este proyecto de manera masiva. En resumen, se obtuvo al 28 de noviembre, cierre del proyecto: 37 publicaciones entre fotografías y videos (Facebook⁵, Instagram⁶, YouTube⁷), 36,380 vistas de publicaciones, 4,301 interacciones de publicaciones (likes, compartir, comentarios), 1,058 visitas a la página, 816 reproducciones de videos, 901 seguidores de Facebook de redes sociales (Figura 7).



Figura 7. Redes sociales. Página Facebook proyecto Frijol-Calabaza.

La estrategia de difusión incluía entrevistas cortas, se sostuvieron charlas y se conversó con algunos productores que externaron los problemas que enfrentan para la producción y comercialización de sus cultivos. En general, refieren la necesidad de apoyos para comercializar sus cosechas (maíz, frijol, calabaza, entre otros), implementar un manejo adecuado de prácticas postcosecha a través de la capacitación, aprender nuevas formas de procesamiento para agregarle valor a sus alimentos, por ejemplo: elaboración de aceite derivado de la semilla de calabaza o las opciones de botana de frijol. Hicieron referencia a los apoyos a través de los proyectos o iniciativas gubernamentales en los que son invitados, pero no tienen continuidad porque están asociados a tiempo elecciones municipales o estatales. Inician, pero después quedan en el olvido.

El encuentro de difusión con las comunidades provocó interés al reafirmar la importancia nutricional del frijol y la calabaza que, a pesar de ser alimentos que consumen cotidianamente, no se reconoce su valor nutricional. El desarrollo del taller gastronómico permitió la elaboración e intercambio de diferentes preparaciones con base en frijol y calabaza, la retroalimentación sobre la importancia social, cultural y nutricional de estos alimentos y, por tanto, la relevancia de su revalorización.

La asistencia y participación de los involucrados demostró la disposición y apertura de la comunidad a trabajar en conjunto en iniciativas que benefician a toda la comunidad. Al público en general le llamó la atención conocer que hay alternativas tecnológicas y culinarias, como el atole o mermelada de frijol, utilización de la semilla de calabaza para derivar en aceite o la elaboración de botanas de frijol. Además, en las redes sociales la gente mostró interés por alternativas culinarias del frijol y la calabaza, los beneficios a la salud que conlleva su consumo, la relevancia nutricional, así como la importancia cultural e histórica de estos alimentos.

⁵ Dirección electrónica de la página de Facebook. <https://www.facebook.com/calabazafrijolciatej/>

⁶ Dirección electrónica de Instagram <https://www.instagram.com/calabazafrijolciatej/>

⁷ Dirección electrónica de la página de YouTube. <https://www.youtube.com/@calabaza-frijolciatej2126>



Figura 8. Recetario Calabaza-Frijol

El impacto del proyecto considerando las limitaciones que conllevan los proyectos de corto aliento y el alcance limitado de la estrategia a partir de la difusión, se consideró satisfactoria. Se difundieron los resultados de los proyectos tecnológicos frijol-calabaza a través de talleres, cursos y conferencias en las comunidades de cuatro municipios de Guerrero. Además, se realizaron conferencias en dos foros académicos, donde participaron profesores, estudiantes, investigadores y actores del sector gubernamental. Se diseñaron trípticos y posters con información nutricional, además de recetas con la finalidad de incluir el frijol y la calabaza en otro tipo de preparaciones (Figura 8).

La incorporación de perspectivas de impacto y apropiación social del conocimiento a los proyectos científicos y tecnológicos que se realizan en la academia significa un reto para los investigadores que incursionan en estas actividades. Si bien la formación académica de los científicos y tecnólogos permite desarrollar proyectos de esta índole con éxito, el trabajo de campo en comunidades significa interactuar directamente con población abierta que puede utilizar o apropiarse de parte de la información que se genera en los laboratorios. Para lo cual los científicos y tecnólogos carecen de herramientas y formación que facilite estas interacciones. Una estrategia realizada en este proyecto fue incorporar sociólogos y antropólogos al equipo de trabajo, con el fin de entender desde una perspectiva social las mejores estrategias de acercamiento en las comunidades, mejorar la comunicación y conectar con las personas. Todo esto permitió una interacción relativamente eficiente a través del diálogo horizontal y el intercambio de saberes entre las personas de las comunidades y el equipo de trabajo.

Conclusiones

A pesar de que en nuestro país se genera gran cantidad de información científica relacionada con la importancia nutricional y cultural de alimentos tradicionales como el frijol y la calabaza, es necesario incorporar mecanismos efectivos para la difusión y divulgación de la ciencia que permitan el acceso universal de conocimiento.

En esta experiencia se abordaron dos elementos relacionados con la apropiación social del conocimiento: el escenario y el lenguaje como parte de la estrategia de difusión y comunicación de la ciencia. El escenario fue un elemento fundamental que contribuyó positivamente el despliegue en la disposición del conocimiento. El escenario fue el entorno regional, se realizaron visitas previas derivadas del proyecto calabaza, esta primera visita de trabajo de campo permitió definir los lugares



en donde se realizaría la estrategia de comunicación, concretamente se sostuvieron encuentros con productores y habitantes de las comunidades en Atliaca, municipio de Tixtla, Tepechicotlán municipio de Chilpancingo y Atocutla, municipio de Ayutla de los libres y Acapulco de Juárez con población universitaria. Estos encuentros propiciaron el reconocimiento de la región, de los actores y de algunos procesos relacionados con la organización comunitaria y problemáticas relacionadas a la producción, lo que contribuyó a la planificación, estructuración y despliegue exitoso de la estrategia de difusión en redes sociales.

El lenguaje fue uno de los mayores aciertos de las estrategias, si bien se utilizaron los mecanismos convencionales, la gran diferencia fue la intervención directa de los investigadores que desarrollaron estos dos proyectos que mencionamos con anterioridad y la cercanía con los actores locales en diversas situaciones. La comunicación implicó disminuir la brecha comunicativa que existe entre el lenguaje técnico propio de la investigación científica y tecnológica y el lenguaje común.

Esta experiencia resultó gratificante y dio pie a incorporar experiencias que lleven a la apropiación social y acceso universal del conocimiento. El desarrollo de la ciencia y la tecnología debe ayudar a la solución de problemáticas que enfrentan estas comunidades. Es imperativo que la población se involucre y haga suyo el conocimiento adaptándolo a sus necesidades articulando con diferentes actores relacionados con estos procesos. De esta manera podrán surgir ideas, proyectos, emprendimientos o innovaciones que mejoren su calidad de vida. Este proyecto fue una primera experiencia de apropiación social que tuvo la intención de difundir el conocimiento científico y tecnológico generado en CIATEJ sobre dos cultivos tradicionales de la dieta mexicana -frijol y la calabaza- de una forma distinta a la habitual. La estrategia de difusión y divulgación diferenciadas, considerando los actores, los escenarios y el lenguaje, debe ser considerada como un mecanismo para detonar el proceso de apropiación e incidencia social del conocimiento.

Referencias

- Barrio Alonso, Cipriano (2008). La apropiación social de la ciencia: nuevas formas. *Revista Iberoamericana de Ciencia, Tecnología y Sociedad - CTS*, 4(10),213-225. [fecha de Consulta 14 de marzo de 2023]. ISSN: 1668-0030. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=924/92441014>
- Ceclu, L., Mocanu, D. G., & Nistor, O. V. (2020). Pumpkin–health benefits. *diabetes*, 12, 23.
- Censo de Población y Vivienda (2020). *Panorama sociodemográfico de Guerrero: Censo de Población y Vivienda 2020: CPV / Instituto Nacional de Estadística y Geografía*. México: INEGI. c2021.
- Gaona-Pineda, E., Martínez-Tapia, B., Arango-Angarita, A., Valenzuela-Bravo, D., Gómez-Acosta, L., Shamah-Levy, T., & Rodríguez-Ramírez, S. (2018). Consumo de grupos de alimentos y factores sociodemográficos en población mexicana. *Salud Pública de México*, 60(3), 272-282. <https://doi.org/10.21149/8803>
- Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. (2022). *La importancia de la producción de frijol en México*. <https://www.gob.mx/agricultura/articulos/la-importancia-de-la-produccion-de-frijol-en-mexico>
- Marín Agudelo, S. (2012). Apropiación social del conocimiento: Una nueva dimensión de los archivos. *Revista Interamericana de Bibliotecología*, 35(1), 55-62. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-09762012000100005&lng=en&tlng=es.



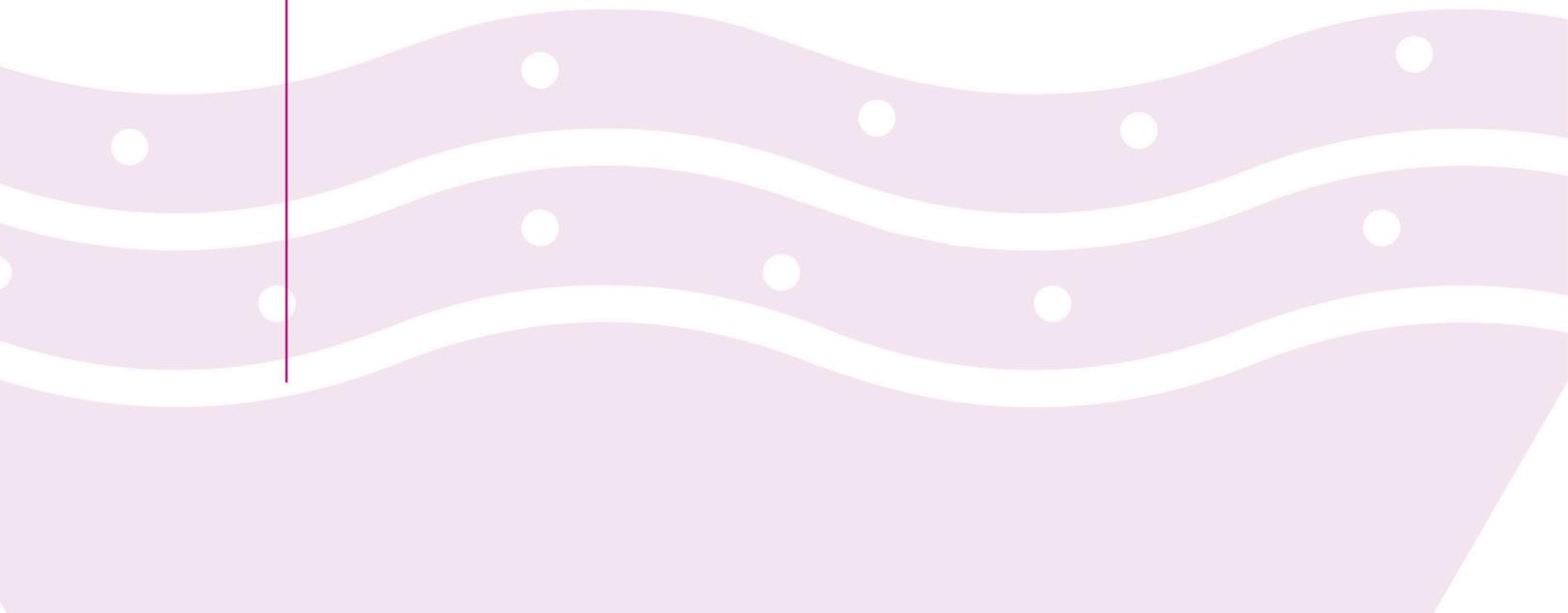
- Mariscal, A. & Montes, C. (2015). Revaloración de la dieta tradicional mexicana: una visión interdisciplinaria. *Revista Digital Universitaria*, 16 (5). <https://www.revista.unam.mx/vol.16/num5/art33/>
- Nieto-Bravo, J. A., Jairo Pérez-Vargas, J., & Santamaría-Rodríguez, J. E. (2019). Desafíos a la divulgación científica del conocimiento en la actualidad. *Civilizar Ciencias Sociales*, 21(40), 9–10. Retrieved from <https://bit.ly/3xlZgZA>
- Ruiz Olabuénaga, J.I. (2012). *Metodología de la investigación cualitativa*. Universidad de Deusto.

Conflicto de intereses

Los autores declaran que la investigación se realizó en ausencia de cualquier relación comercial o financiera que pudiera interpretarse como un potencial conflicto de interés.

Financiamiento

Convocatoria para proyectos de apropiación social del conocimiento de las humanidades, ciencias y tecnologías 2019. Titulado “Estrategias de difusión para la apropiación social del conocimiento en la recuperación de alimentos tradicionales de México (frijol y calabaza)” No. 298681.



Café: rompiendo el paradigma de su potencial en la salud, más allá de la bebida

Gustavo Castillo-Herrera¹, M. Ochoa-Becerra¹, Juan Carlos Mateos-Díaz² y Ever Sánchez³

¹Tecnología Alimentaria, Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco, A. C., CIATEJ, 44270, Guadalajara, México.

²Vinculación y Transferencia de Tecnología, Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco, A. C., CIATEJ, 44270, Guadalajara, México.

³ Investigador por México, Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología – Instituto de Investigaciones Sociológicas de la Universidad Autónoma “Benito Juárez” del estado de Oaxaca (IxM-CONACYT - IISUABJO).

* Autor de correspondencia: Ever Sánchez Osorio

Palabras Clave:

café, compuestos bioactivos, diabetes

Resumen

El café es una bebida preparada a partir de granos de café tostado de *Coffea arabica* y *Coffea canephora* var., robusta. Esta bebida es conocida a nivel mundial por su efecto estimulante asociado a la cafeína, pero también presenta propiedades bioactivas de interés, las cuales son atribuidas a la presencia de compuestos como el ácido clorogénico, principalmente. La cafeína puede pasar fácilmente a través de membranas y barreras biológicas y tener efectos en el sistema nervioso central, en el corazón, incluso en los sistemas gastrointestinal y respiratorio; mientras que el ácido clorogénico presenta un potencial antiinflamatorio y antioxidante importante. Ambas moléculas intervienen en el metabolismo de las grasas y azúcares, modulando marcadores relacionados con la diabetes mellitus tipo 2 (DM2), lo que le da al café un beneficio en salud -más allá de su consumo tradicional como bebida- con un impacto económico mayor y convirtiéndose en un aliado en la salud de los mexicanos. Este documento presenta una exploración alternativa e innovadora para el aprovechamiento de las semillas de café, más allá de uso común, considerando la cultura cafetícola en la Región Pacífico sur (Chiapas, Guerrero y Oaxaca). La reflexión de este trabajo surge a partir de recorridos de trabajo en Chiapas, Guerrero y Oaxaca, donde se colectaron semillas de café, así como el análisis o trabajo en laboratorio de las semillas colectadas.

Introducción

El cafeto es un arbusto o árbol pequeño, perennifolio de alta importancia económica que pertenece a la familia Rubiaceae (Clifford & Ramírez-Martínez, 1991). Los miembros de la familia Rubiaceae son, en gran parte, tropicales o subtropicales, compuestos de casi 400 géneros y 4,800-5,000 especies (Bridson, 1994). El cafeto



es una planta resistente, por lo general, su tiempo de vida es alrededor de los 10 a 15 años. El cafeto consiste en un tronco vertical, con ramas primarias, secundarias y terciarias laterales. Estas ramas son denominadas retoños cuando se encuentran en la etapa de desarrollo y tallos cuando se encuentran completamente madurados. Su fruto es una drupa carnosa y ovoide de color rojo brillante que contiene dos semillas (Farah & Dos Santos, 2014).

De las diferentes especies de cafetos, dos de ellas son las más aprovechadas comercialmente: *Coffea arabica* (Arábica) y *Coffea canephora* var. robusta, representando el 75% y el 25%, respectivamente, de la producción mundial de café (Bondam *et al.*, 2022; ICO, 2022). Las características generales de estas dos especies se resumen en la Tabla 1. El proceso de la preparación del café comienza con la eliminación de los componentes externos del fruto, dejando únicamente granos de café verde. Los componentes externos del fruto son desechos de la producción de café, y estos incluyen a la pulpa, el mucílago y la cascarilla o pergamino (Oliveira & Franca, 2015).

Tabla 1. Información general y descripción de las dos principales especies de café cultivadas

Características	Especie	
	<i>Coffea arabica</i>	<i>Coffea canephora</i>
Temperatura óptima	15 – 24 °C	20 – 30 °C
Precipitación óptima	1500 – 2000 mm	2000 – 3000 mm
Elevación óptima	1000 – 2000 m	0 – 700 m
Tiempo de flor a cereza madura	9 meses	10 – 11 meses
Forma de grano	Plano	Ovalado
Cafeína en grano	0.8 – 1.4 %	1.7 – 4 %
Primera floración	4 – 5 años	2 – 3 años
Rendimiento (kg/ha)	1500 - 3000	2300 - 4000
Típica característica de la bebida	Acidez	Amargor

(Hečimović & Komes, 2011).

En la Región Pacífico sur, que incluye los estados de Chiapas, Guerrero y Oaxaca, la producción de café y la cultura cafetícola es muy significativa. De ella dependen principalmente campesinos y grupos indígenas que, pese a plagas y enfermedades que afectan a la planta, mantienen su esperanza en la producción del aromático. En el ámbito de la producción, comercialización y transformación de la semilla, los estados presentan, a veces, similitudes y diferencias. Una variable común es la pobreza, desigualdad social y vulnerabilidad que permea en las zonas productoras de café, contradictorio a la derrama económica que deja para los estados.

Este artículo busca, por una parte, presentar el contexto social en el que se desarrolla la producción de café en Chiapas, Guerrero y Oaxaca, donde los productores (campesinos e indígenas) y organizaciones locales tienen un papel central. Por otra, a partir del análisis en laboratorio del café recolectado en los estados de interés, se presenta una perspectiva que busca romper con los paradigmas más convencionales, es decir, se observa a las semillas de café como un potencial en el ámbito biomédico, para beneficio en la salud humana, contra algunas enfermedades específicas. Esta otra oportunidad traería más beneficios a los productores ya que tendrían un nuevo mercado para la comercialización.

Situación social de la producción de café en la región Pacífico sur (Chiapas, Guerrero y Oaxaca)

En México la producción de café es una actividad estratégica porque de ella dependen aproximadamente 30 grupos indígenas y pequeños productores:



...su producción emplea a más de 500 mil productores de 15 entidades federativas y 480 municipios. La producción mexicana de café cereza fue en promedio de 899 mil toneladas en el periodo 2017-2021; Chiapas es el principal estado productor, aporta el 41 por ciento del volumen nacional, seguido por Veracruz (24 por ciento) y Puebla (15.3 por ciento)". (SADER, 2022, párr., 3)¹

El grano es fundamental para pequeños productores y campesinos que tienen en las actividades de siembra, cosecha y venta su principal ingreso. La importancia social y económica de la cafecultura es que de ella viven cerca de 3 millones de mexicanos: entre productores, transformadores y comercializadores, principalmente (SADER, 2020). Además, su cultivo favorece al medio ambiente beneficiando la conservación de la biodiversidad y sus ecosistemas. El café mexicano es uno de los mejores del mundo (Ochoa, 2021), de excelencia y calidad debido a un conjunto de elementos en los que destacan las condiciones de la tierra, el clima y la altura donde se producen. En estados como Chiapas (Ocozocoautla, San Cristóbal de las Casas, Copainalá, Comitán, Ángel Albino Corzo, Pichucalco, Bochil, Palenque, Ocosingo, Yajalón, Motozintla y Tapachula), Oaxaca (Pluma Hidalgo) y Veracruz algunos granos están protegidos por la Denominación de Origen (DOM): este es un distintivo que garantiza la originalidad del producto a partir de un territorio o región, historia, identidad y cultura, así como las características geográficas del medio donde se produce, lo que identifica ciertas propiedades específicas del aromático (SADER, 2020; Olano, 2022).²

De la producción de café dependen más de medio millón de familias de los estados de Chiapas, Guerrero y Oaxaca. Los pequeños productores cuentan con pocas extensiones de tierra o parcelas donde mantienen sus plantas, comúnmente menos de cinco hectáreas. A pesar de que Chiapas, Guerrero y Oaxaca son entidades principales en la producción, aunado a la riqueza cultural, biodiversa en flora y fauna, así como rica en la producción agrícola, estos estados también se consideran como los más vulnerados y pobres del país. Los problemas comunes que enfrentan los cafecultores de estos estados son: afectaciones por plagas y enfermedades, manejo adecuado de cultivos, asistencia técnica, valor agregado, comercialización, precio, mercado, organización, coyotes, entre otros.

La crisis del café se ha visto potencializada por la presencia de situaciones ambientales: cambio climático, plagas y enfermedades. Otro elemento que encontramos, que merma la producción, es la renovación de plantaciones, aunque también identificamos el esfuerzo por replantar a través de las propias variedades que se identifican [localmente]³. (Sánchez & Flores, 2019, pp. 193-194)

Algunas situaciones particulares por entidad:

a) *Chiapas*

- En la entidad la cadena productiva se integra del pequeño productor, organización de productores locales, empresas comercializadoras y el mercado.

¹ Oaxaca es uno de los 15 estados productores, ocupando el cuarto puesto.

² Según el Diario Oficial de la Federación (2000) "La zona geográfica que abarcará la Declaración de Protección de la Denominación de Origen CAFE VERACRUZ será el Estado de Veracruz. [...] Para los efectos de la presente declaración de protección se establece como zona geográfica el Estado de Veracruz" (p. 1). Siguiendo a Cruz (2020), con referencia a DOF 2020: "En tal norma se hacen las especificaciones con que cumple esta denominación. Es decir, se aplica al café verde y café puro tostado, en grano o molido, logrado con los granos de Coffea Arábica, en sus diversas variedades, cultivado desde los 750 a los 1,400 msnm en 842 comunidades de 82 municipios veracruzanos que se ubican en la zona montañosa donde se unen la Sierra Madre Oriental y la Sierra Madre del Sur. Entre las regiones que cuentan con una mayor producción según datos de Agro 2000, Revista Industrial del Campo, se encuentran: Coatepec, Córdoba, Huatusco, Misantla y Atzalan, las cuales aportan un estimado que 84% mientras que las cinco regiones restantes Tezonapa, Zongolica, Papantla, Los Tuxtlas y Chicontepec, el 16%" (párr. 16-17).

³ Cursiva nuestra.



- Las principales variedades son Bourbon, Mundo Novo y Caturra. Se observa una baja organización de los pequeños productores, lo que incide en la producción, acopio, venta del café y precio, este último queda sujeto al entorno local-regional y su relación con el mercado.
- También se observa poca tecnología en las actividades de siembra, cosecha y procesamiento.
- Las principales problemáticas relacionadas con el cultivo son las plagas y enfermedades, así como los cambios bruscos de temperatura, esta última se asume que es consecuencia del cambio climático.

b) Guerrero

- Existen algunas organizaciones locales y regionales, las que promueven la renovación de plantas por afectaciones de roya. El Consejo Estatal del Café (CECAFÉ) y Luz de la Montaña son algunas de las organizaciones más visibles.
- Los productores que no están organizados dependen del coyote para la comercialización de la semilla y del gobierno para asistencia técnica (paquete tecnológico).
- En el tema de la comercialización se observó que los acaparadores (coyotes) compran el café entre 20 y 25 pesos por kilo, y bajo procesos de descascarillado, tostado y molido lo revenden en 130 pesos, aproximadamente.
- Existe poca tecnología para tostar y moler. El secado del café se hace en los patios.
- Los productores consideran necesario formar catadores sensoriales (para especializar el café y reconocer su calidad).
- Los productores consideran como opción trabajar con los subproductos de la semilla.

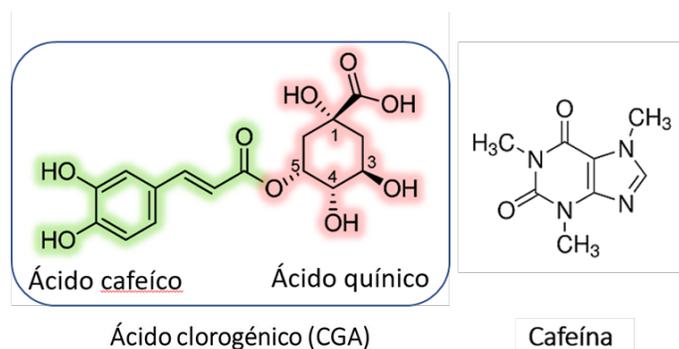
c) Oaxaca

- Oaxaca presenta una organización comunitaria de café sólida. Existen, por ejemplo, las siguientes organizaciones: Unión de Comunidades de la Región del Istmo (UCIRI), Unidad Ecológica para el Sector Café Oaxaqueño (UNECAFE), Coordinadora Estatal de Productores de Café de Oaxaca (CEPCO), Organización productora de café de grupos indígenas de la región (las siglas representan sus etnias: Mixe, Chinanteco, Chatino y Zapoteco - MICHIZA), entre otros.
- Los cafecultores son el sector productivo más organizado; sin embargo, el 80% de los productores no pertenecen a una organización.
- Un 40% son productoras mujeres, ellas son las cabezas de la producción ya sea porque están solas o porque sus maridos migraron.
- Se observa el interés de jóvenes por renovar la actividad productiva. No siempre es así, hay casos en los que los jóvenes buscan migrar en busca de un mejor futuro.
- Hay producción que tiene el distintivo de la Dominación de Origen y de Comercio Justo.
- Los productores libres venden a los coyotes.
- No hay capacitación tecnológica, los caminos a zonas productoras de café muchas veces impiden una buena comercialización y el apoyo tecnológico.

Compuestos bioactivos del café

El café posee compuestos bioactivos que poseen una alta concentración de antioxidantes como la familia de ácidos hidroxicinámicos (cafeico, clorogénico, cumárico, ferúlico y sinápico), además posee cafeína, ácido nicotínico, melanoidinas, cafestol y trigonelina (figura 1), que también poseen actividad antioxidante significativa (Draženka Komes, Arijana Bušić, 2014).

Figura 1. Principales compuestos bioactivos presentes en café verde.



El ácido clorogénico (CGA) es un éster formado entre el ácido caféico y el ácido quínico, y es el principal compuesto fenólico en el café, aislado de las hojas y frutos de estas plantas dicotiledóneas. Este compuesto, además de ser reconocido como un potente antioxidante, también tiene la capacidad de disminuir la liberación de glucosa en el torrente sanguíneo después de un alimento, incluso puede ayudar a prevenir enfermedades crónicas como la diabetes mellitus tipo 2, la enfermedad de Parkinson y la enfermedad hepática (Daraee, A., Ghoreishi, S. M., & Hedayati, A. 2019; Bonita, Mandarano & Shuta, 2007).

Pero lamentablemente este compuesto se ve afectado desde la cosecha, el secado, pero más aún, durante el tostado del mismo, como se observa en la tabla 2, ya que al ser un compuesto antioxidante, el aire y la temperatura que se utilizan en el proceso de tostado degradan al ácido clorogénico y, por ende, disminuye su potencial bioactivo. De ahí que dé pie a la controversia en torno al café, respecto a si es benéfico a la salud o no.

Tabla 2. Contenido de ácido clorogénico en granos de *Coffea arabica* y *Coffea canephora* de afectados por diferentes grados de tostado.

Grado de tostado	(mg ácido clorogénico / g de café)	
	<i>Coffea arabica</i>	<i>Coffea canephora</i>
Medio	31	41
Oscuro	24	29

*El contenido total del ácido clorogénico fue determinado por Hečimović et al., (2011) mediante la suma también de ácido quínico y caféico mediante HPLC.

Para entender un poco más sobre el ácido clorogénico y su función como un compuesto antioxidante, ayudando en la prevención de algunas enfermedades, es necesario entender un poco más el proceso de oxidación, lo que sugiere iniciar con entender que existen compuestos o moléculas en los organismos que reaccionan con el oxígeno, y que se conocen como especies reactivas de oxígeno (ROS). Estos compuestos se generan a manera de subproductos indeseables durante la respiración celular, y en mayor cantidad cuando la actividad metabólica se encuentra alterada o por encima de las condiciones fisiológicas incrementando la cantidad de ROS generados.

Por ejemplo, durante la diabetes mellitus el metabolismo del cuerpo se ve alterado, lo que conduce a una mayor producción de estos subproductos (ROS) y otros componentes, ocasionando una disfunción de la cadena respiratoria, aumentando entonces la producción de ROS y así sucesivamente estableciendo un “ciclo vicioso” que conduce a una disfunción progresiva y un daño en las células.



Esto puede llevar a complicaciones como enfermedades cardiovasculares, enfermedad renal crónica, enfermedad pulmonar obstructiva crónica, osteoartritis, cataratas, enfermedades neurodegenerativas y cáncer. Debido a esto, es importante incluir compuestos antioxidantes en la dieta, como el ácido clorogénico, los cuales pueden ser capaces de atrapar e inhibir a las ROS, reduciendo el estrés oxidativo y entonces disminuir la generación de estos subproductos indeseables (Belenguer-Varea *et al.*, 2019; Betteridge, 2000).

Es por ello que en este artículo se realizó la determinación del contenido de compuestos bioactivos presentes en granos de café verde de la región Pacífico sur de México, que permiten tener un panorama del potencial antidiabetes de los extractos de café.

Metodología

1.1. *Colecta de materia prima*

En el caso de Chiapas, se visitaron las fincas productoras de café en la Región del Soconusco. También se visitó la Región Frailesca, donde se trabajó con la población Nuevo Paraíso, municipio de la Concordia. Se contó con el apoyo de la organización Unión Ramal Santa Cruz. En el estado de Guerrero se trabajó con los municipios y regiones productores de Atoyac de Álvarez y Malinaltepec. La primera reunión de trabajo fue en Paraje de Montero, en Malinaltepec, Guerrero. En el mismo municipio, población de Tierra Colorada, donde se visitó a la organización Luz de la Montaña, la principal en la región. Finalmente se realizó un recorrido y se trabajó con productores de café en el municipio de Atoyac de Álvarez. En Oaxaca se recolectó del café Pluma Hidalgo –con Denominación de Origen-, perteneciente a la población Pluma Hidalgo, en la Costa del Pacífico oaxaqueño. En un recorrido de trabajo de campo se visitaron las poblaciones de Guadalupe y Ocotál – Buena Vista- en el municipio de Santiago Lachiguiri. Accedimos a las comunidades y sus productores con apoyo de la asociación Unión de Comunidades Indígenas de la Región del Istmo (UCIRI).

1.2. *Caracterización de materia prima*

Una vez obtenido el café de los estados (10 kg de cada región arriba mencionada) se procedió a caracterizarse bromatológicamente siguiendo las normas adecuadas para cada análisis como: NMX-F-083-1986 (humedad), NMX-F-607-NORMEX-2013 (cenizas), NOM-086-SSA1-1994 (grasas), NMX-F-608-NORMEX-2011 (proteínas) y por diferencia se cuantificó el contenido de carbohidratos totales, sumado a la determinación de fibra cruda mediante NMX-F-613-NORMEX-2008.

1.3 *Obtención de extractos*

Los extractos se obtuvieron por lixiviación, pesando 200 gramos de café, a los cuales se les agregaron 600 mL de agua caliente a 95°C y moliéndose completamente. Enseguida esta mezcla se mantuvo en agitación y a temperatura constante de 95° C por un tiempo de 20 minutos. Después se procedió a filtrar el extracto y al retenido se le agregaron 600 ml más de agua caliente y de manera similar se mantuvo en agitación durante 20 minutos. Se realizó el mismo proceso hasta obtener tres extractos, mismos que se mezclaron para formar uno solo extracto total y después centrifugarse a 12,000 rpm mediante una centrífuga de mesa serie SL 40R marca Thermo Scientific, lo que permitió conocer el contenido inicial de bioactivos.



1.4 Caracterización de los extractos

El análisis de cafeína y de ácido clorogénico en los extractos se realizó mediante cromatografía de líquidos utilizando un HPLC Waters ACQUITY con detección de matriz de fotodiodos (PDA) (Waters 2998) a 325 nm para CGA y CA a 275 nm. La separación cromatográfica se logró utilizando una columna Agilent Zorbax RX C-18 (4.9 mm x 250 mm) con un tamaño de poro de 5 μ m. Las muestras, junto con dos soluciones estándar (cafeína y ácido 5-clorogénico: 1 mg/mL), se analizaron utilizando las siguientes fases móviles: (A) ácido fórmico al 0.1 % en agua; (B) 0.1% de ácido fórmico en acetonitrilo con un gradiente de elución de tiempo 0 min (5 %B), 12.5 min (10 %B), 22.5 min (10 %B) y 60 min (30 %B) en un flujo velocidad de 1 ml / min. Todos los CGA tenían un espectro visible ultravioleta (UV) similar por detección de PDA.

1.5. Potencial Biológico: Inhibición de marcadores relacionados con DM2

1.5.1 Ensayo de inhibición de la α -amilasa

Para el ensayo de α -amilasa se agregaron 500 μ L de cada extracto o control positivo (acarbosea 1 mM) a 500 μ L de 13 U/mL-1 solución de α -amilasa (tipo VI-B del páncreas porcino en PBS 0.02 M pH 6.9) y se incubaron en tubos de ensayo a 25 °C durante 10 min. Luego, se agregaron 500 μ L de solución de almidón soluble al 1% (en PBS preparado y hervido durante 15 minutos) a cada tubo y se incubaron durante otros 10 minutos. Finalmente, se añadió 1 ml de reactivo de color de ácido dinitrosalicílico (DNS) y los tubos se colocaron en un baño de agua a 100 °C durante 5 minutos. La mezcla se diluyó con 10 ml de agua destilada y la absorbancia se midió a 520 nm usando un lector de placa de pocillos múltiples Infinite® F Plex (Tecan Trading AG). El porcentaje de inhibición se calculó a partir del blanco y el control enzimático para cada muestra. Los valores de IC50 se calcularon usando Graph Pad Prism 4.0.

1.5.2 Ensayo de inhibición de la α -glucosidasa

Para el ensayo de α -glucosidasa se añadieron 50 μ L de cada extracto o control positivo (acarbosea 1 mM) a 100 μ L de solución de 1-U-1- α -glucosidasa (en PBS 0.1 M pH 6.9) y se incubaron durante 10 min. Los 50 μ L de una solución 5 mM de p-nitrofenil- α -D-glucopiranosido se añadieron a cada pocillo y se incubaron a 25 °C durante 5 min. La absorbancia se midió a 405 nm utilizando un lector de placa de pocillos múltiples Infinite® F Plex (Tecan Trading AG). El porcentaje de inhibición se calculó a partir del blanco y el control enzimático para cada muestra. Los valores de IC50 se calcularon usando Graph Pad Prism 4.0.

1.5.3 Ensayo de inhibición de dipeptidil dipeptidasa IV (DPP-IV)

La inhibición de DPP-IV se midió usando el ensayo de proteasa DPP-IVGLO® (G8351, Promega, Madison, WI). Se agregaron 50 μ L de reactivo DPP-IVGLO® a una placa blanca y opaca de 96 pocillos que contenía 50 μ L de blanco, 40 μ L de control enzimático o 40 μ L de cada muestra. Los extractos de pulpa de café se prepararon en soluciones buffer a diferentes concentraciones (0.005 a 1 mg/mL). El blanco contenía sólo tampón y reactivo DPP-IVGLO®, mientras que el control enzimático y las muestras contenían tampón, reactivo DPP-IVGLO® y 10 μ L de enzima humana DPP-IV purificada (10 ng mL⁻¹). La luminiscencia se midió después de mezclar e incubar a 26 °C durante 30 minutos



usando un lector de placas multipocillo SpectraMax i3x (Molecular Devices LLC). El porcentaje de inhibición se calculó a partir del blanco y el control enzimático para cada muestra. Los valores de IC50 se calcularon usando Graph Pad Prism 4.0.

Resultados y discusión

Se logró obtener el análisis proximal de los diferentes granos de café de cada estado, además del contenido de cafeína y ácido clorogénico, como se muestra en las figuras 2, 3 y 4; en donde se pueden observar el efecto en composición de compuestos bioactivos tal vez por sus diferencias geográficas y de manejo de cultivo. Por ejemplo, se observa que una de las muestras de café del estado de Chiapas presenta, en promedio, un contenido mayor de ácido clorogénico (11 mg/g) que los de Oaxaca (6.5 mg/g) y Guerrero (7.2 mg/g), pero estos últimos muestran un mayor contenido de cafeína: Oaxaca (8 mg/g) y Guerrero (10 mg/g) mientras que Chiapas (7 mg/g), lo que permitiría diversificar e incluso combinar los materiales para enriquecer los tipos de bioactivos que se deseen. Esto evidencia también las diferentes prácticas agrícolas en cada región, como se mencionó arriba y donde, por ejemplo, Guerrero no despulpa para secar el grano, contrario a Oaxaca y Chiapas.

Figura 2. Caracterización de grano y extracto de café de Guerrero



Atoyac de Álvarez

Análisis bromatológico	
Determinación	Concentración (% seco)
Humedad	10.56 ± 0.02
Cenizas	4.43 ± 0.02
Grasas (extracto etéreo)	6.51 ± 0.02
Proteínas (N X 6.25)	10.07 ± 0.03
Carbohidratos totales	68.44 ± 0.05
Fibra cruda	36.01 ± 0.50
Cafeína	10.10 ± 0.29
Ácido clorogénico	7.19 ± 0.23



Malinaltepec

Análisis bromatológico	
Determinación	Concentración (% seco)
Humedad	9.14 ± 0.00
Cenizas	5.21 ± 0.02
Grasas (extracto etéreo)	6.48 ± 0.01
Proteínas (N X 6.25)	10.68 ± 0.02
Carbohidratos totales	68.49 ± 0.01
Fibra cruda	30.15 ± 0.05
Cafeína	10.43 ± 0.29
Ácido clorogénico	7.25 ± 0.28

Figura 3. Caracterización de grano y extracto de café de Oaxaca



Pluma Hidalgo



Santiago Nuyoo

Análisis bromatológico	
Determinación	Concentración (% seco)
Humedad	7.27 ± 0.01
Cenizas	3.16 ± 0.05
Grasas (extracto etéreo)	10.95 ± 0.02
Proteínas (N X 6.25)	11.03 ± 0.05
Carbohidratos totales	67.59 ± 0.13
Fibra cruda	30.43 ± 0.01
Cafeína	7.43 ± 0.72
Ácido clorogénico	6.81 ± 0.10

Análisis bromatológico	
Determinación	Concentración (% seco)
Humedad	8.86 ± 0.01
Cenizas	2.98 ± 0.02
Grasas (extracto etéreo)	6.95 ± 0.03
Proteínas (N X 6.25)	11.69 ± 0.03
Carbohidratos totales	69.53 ± 0.01
Fibra cruda	38.42 ± 0.01
Cafeína	9.32 ± 0.07
Ácido clorogénico	6.34 ± 0.11

Figura 4. Caracterización de grano y extracto de café de Chiapas



Región del Soconusco



Región Frailesca

Análisis bromatológico		
Determinación	Concentración (% húmedo)	Concentración (% seco) calculado
Humedad	62.99 ± 0.05	-
Cenizas	1.45 ± 0.04	5.37 ± 0.15
Grasas (extracto etéreo)	3.21 ± 0.00	11.86 ± 0.02
Proteínas (N X 6.25)	4.20 ± 0.04	15.53 ± 0.17
Carbohidratos totales	28.17 ± 0.04	64.23 ± 0.32
Fibra cruda	14.33 ± 0.04	30.97 ± 0.13
Cafeína	2.67 ± 0.12	7.21 ± 0.05
Ácido clorogénico	4.24 ± 0.09	11.46 ± 0.17

Análisis bromatológico		
Determinación	Concentración (% húmedo)	Concentración (% seco) calculado
Humedad	56.26 ± 0.02	-
Cenizas	1.93 ± 0.03	8.44 ± 0.13
Grasas (extracto etéreo)	2.44 ± 0.05	10.67 ± 0.22
Proteínas (N X 6.25)	6.90 ± 0.05	30.18 ± 0.33
Carbohidratos totales	32.47 ± 0.01	18.27 ± 0.01
Fibra cruda	12.43 ± 0.002	54.37 ± 0.09
Cafeína	5.10 ± 0.06	11.67 ± 0.13
Ácido clorogénico	3.17 ± 0.010	7.25 ± 0.18



2.1. Potencial Biológico: Inhibición de marcadores relacionados con DM2

En particular, la α -amilasa y la α -glucosidasa son enzimas clave vinculadas con DM2. Su inhibición tiene un impacto en la disponibilidad de azúcares para ser absorbidos en la digestión. La inhibición de estas enzimas puede usarse como una estrategia en el tratamiento temprano de DM2. Se ha informado que el ácido clorogénico posee fuertes actividades inhibitorias de la α -amilasa y la α -glucosidasa (Van Quan *et al.*, 2019).

De manera similar a la α -amilasa y la α -glucosidasa, la enzima DPP-IV juega un papel esencial en el tratamiento temprano de la DM2. DPP-IV, ya que es una proteasa responsable de la degradación del péptido similar al glucagón tipo 1 (GLP-1). Con el uso de inhibidores farmacológicos de esta enzima se han logrado niveles reducidos de hiperglucemia y hemoglobina A1C, que tienen un importante potencial antidiabético (Bower *et al.*, 2014).

En este sentido, Nyambe y Williamson (2018) reportaron valores de inhibición de α -amilasa de 10.68 mg/mL IC50 con extractos de ácido clorogénico (CGA). Muy por encima del valor de uno de los extractos que se obtuvieron en este estudio, en donde concentración de 3 mg/mL presenta un porcentaje de inhibición del 52% α -amilasa y del 70% de α -glucosidasa; además, este mismo extracto mostró un porcentaje de inhibición por encima del 80% de dipeptidil dipeptidasa IV.

Además, los resultados del análisis DPP-IV indican que todos los extractos inhibieron DPP-IV de manera similar, lo que sugiere que el ácido clorogénico podría ser el principal componente responsable de la inhibición en el extracto.

Hoy en día la terapia de DM2 implica el uso de medicamentos como inhibidores de enzimas gástricas para disminuir la absorción de glucosa en el intestino (Johnson *et al.*, 2011). Sin embargo, los resultados obtenidos demuestran que el extracto de café contiene compuestos bioactivos con el potencial de inhibir estas enzimas, convirtiéndose en una fuente natural de inhibidores y que coadyuven en la atención del padecimiento, así que con esta caracterización inicial de los granos y con una evaluación simple *in vitro* se puede tener un panorama del potencial de café.

Conclusiones

La producción de café en Chiapas, Guerrero y Oaxaca beneficia a más de medio millón de familias, entre ellas poblaciones indígenas, mujeres y jóvenes, distribuidos en pequeños productores y campesinos que depositan en la siembra, cosecha, comercialización y transformación la esperanza de una mejor condición de vida. La importancia de la producción de café no sólo radica en los beneficios sociales y económicos de las unidades familiares de los estados productores, incide también en el medio ambiente y en los ecosistemas locales. Pese a su importancia económica y cultural, los estados de Chiapas, Guerrero y Chiapas se encuentran entre los estados más pobres del país, en ese sentido, es importante explorar nuevas innovaciones sociales tecnológicas que aporten otros valores agregados del aromático más allá de su consumo convencional. El campo biomédico ofrece esta posibilidad y quizá con la eventualidad de establecer relaciones directas con los productores, asegurando ganancias que pueden beneficiar a todos en diferentes ámbitos de la vida social.

Se identifica que, en particular, el café producido en los estados de la Región Pacífico sur (Chiapas, Guerrero y Oaxaca) presenta un potencial respecto al contenido de compuestos bioactivos, principalmente en antioxidantes, mismos que mostraron un posible potencial antidiabetes. Lo que pudiera despertar el interés de la industria farmacéutica hacia el cafeto como una fuente de bioactivos interesantes que amplíen el beneficio del café, más allá de la bebida, lo que pudiera verse reflejado en un comercio justo y beneficiando a los productores e impulsando el cultivo.



Conflicto de intereses

Los autores declaran que la investigación se realizó en ausencia de cualquier relación comercial o financiera que pudiera interpretarse como un potencial conflicto de interés.

Financiamiento

Esta investigación fue financiada con los fondos del CONACYT, México (FORDECYT 292474).

Referencias

- Belenguer-Varea, Á., Tarazona-Santabalbina, F. J., Avellana-Zaragoza, J. A., Martínez-Reig, M., Mas-Bargues, C., & Inglés, M. (2019). Oxidative stress and exceptional human longevity: Systematic review. *Free Radical Biology and Medicine*, 149, <https://doi.org/10.1016/j.freeradbiomed.2019.09.019>.
- Betteridge, D. J. (2000). What is oxidative stress? *Metabolism: Clinical and Experimental*, 49 (2), 3-8. [https://doi.org/10.1016/S0026-0495\(00\)80077-3](https://doi.org/10.1016/S0026-0495(00)80077-3)
- Bonita, J. S., Mandarano, M., & Shuta, D. (2007). Coffee and cardiovascular disease: In vitro, cellular, animal, and human studies. *Pharmacological Research*, 55(3), 187–198. <https://doi.org/10.1016/j.phrs.2007.01.006>.
- Bower, A. M., Real Hernandez, L. M., Berhow, M. A., & De Mejia, E. G. (2014). Bioactive compounds from culinary herbs inhibit a molecular target for type 2 diabetes management, dipeptidyl peptidase IV. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 62 (26), 6147-6158. <https://doi.org/10.1021/jf500639f>.
- Bridson, D. M. (1994). Additional Notes on Coffea (Rubiaceae) from Tropical East Africa. *Kew Bulletin*, 49(2), 331–342. <https://doi.org/10.2307/4110270>
- Clifford, M. N., & Ramirez-Martinez, J. R. (1991). Phenols and caffeine in wet-processed coffee beans and coffee pulp. *Food Chemistry*, 40 (1), 35-42. [https://doi.org/10.1016/0308-8146\(91\)90017-I](https://doi.org/10.1016/0308-8146(91)90017-I).
- Daraee, A., Ghoreishi, S. M., & Hedayati, A. (2019). Supercritical CO₂ extraction of chlorogenic acid from sunflower (*Helianthus annuus*) seed kernels: Modeling and optimization by response surface methodology. *The Journal of Supercritical Fluids*, 144, 19-27.
- Instituto Mexicano de la Propiedad Industrial. (2000). *DECLARATORIO general de protección a la denominación de origen Café Veracruz*. Diario Oficial de la Federación https://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=2063661&fecha=31/12/1969&print=true. Última consulta: 11 de junio de 2023.
- Draženka Komes, A. (2014) Chapter 3 - Antioxidants in Coffee. *En Processing and Impact on Antioxidants in Beverages* (pp. 25-32). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-404738-9.00003-9>.
- Farah, A., & Dos Santos, T. F. (2014). The Coffee Plant and Beans: An Introduction. *En Coffee in Health and Disease Prevention* (5-10). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-409517-5.00001-2>.



- Hečimović, I., Belščak-Cvitanović, A., Horžić, D., & Komes, D. (2011). Comparative study of polyphenols and caffeine in different coffee varieties affected by the degree of roasting. *Food Chemistry*, 129(3), 991–1000. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2011.05.059>.
- Johnson, M. H., Lucius, A., Meyer, T., & Gonzalez De Mejia, E. (2011). Cultivar evaluation and effect of fermentation on antioxidant capacity and in vitro inhibition of α -amylase and α -glucosidase by highbush blueberry (*vaccinium corombosum*). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 59 (16), 8923-8930 <https://doi.org/10.1021/jf201720z>.
- International Coffee Organization. (2022). *Statistics*. https://www.ico.org/new_historical.asp?section=Statistics
- Bondam, A. F., Diolinda da Silveira, D., Pozzada dos Santos, J., & Hoffmann, J. F. (2022). Phenolic compounds from coffee by-products: Extraction and application in the food and pharmaceutical industries. *Trends in Food Science and Technology* (Vol. 123, pp. 172–186). *Elsevier Ltd*. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2022.03.013>
- Nyambe-Silavwe, H., & Williamson, G. (2018). Chlorogenic and phenolic acids are only very weak inhibitors of human salivary α -amylase and rat intestinal maltase activities. *Food Research International*. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.07.038>.
- Ochoa, Andrea (2021). Los estados con mejor café en México, uno de los principales productores. *ADmagazine*. <https://www.admagazine.com/estilo-de-vida/estados-en-mexico-en-los-que-produce-mas-cafe-20200920-7456-articulos>. Última consulta: 11 de junio de 2023.
- Olano, Magdiel (2022). ¿Conoces los cafés mexicanos con Denominación de Origen? *La campaña sembramos realidad*. <https://revistalacampina.mx/2022/02/16/conoces-los-cafes-mexicanos-con-denominacion-de-origen/>.
- Oliveira, L. S., & Franca, A. S. (2015). Chapter 31 – An Overview of the Potential Uses for Coffee Husks. En *Coffee in Health and Disease Prevention* (283-291). <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-409517-5.00031-0>.
- Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. (2022). *El cultivo de café en México*. <https://www.gob.mx/agricultura/articulos/cultivo-de-cafe-en-mexico>.
- Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. (2020). *El café una producción en manos sabias*. <https://www.gob.mx/agricultura/articulos/el-cafe-una-produccion-en-manos-sabias?idiom=es>.
- Sánchez, E., & Flores, M.L (2019). Condiciones Sociales de la producción de café en Chiapas, Oaxaca y Guerrero. En *Producción y aprovechamiento del café: prospección sistémica de la cadena de valor en los estados de Chiapas, Oaxaca y Guerrero*. México: CIATEJ, Juan Pablos Editor. Pp. 173-197.
- Quan, N., Tran, H.-D., Xuan, T., Ahmad, A., Dat, T., Khanh, T., & Teschke, R. (2019). Momilactones A and B Are α -Amylase and α -Glucosidase Inhibitors. *Molecules*, 24(3), 482. MDPI AG. Retrieved from <http://dx.doi.org/10.3390/molecules24030482>

Caracterización y transformación de mangos de traspatio del sureste mexicano

Borrás-Enríquez Anahi Jobeth¹, González-Escobar Jorge Luis² y Moreno-Vilet Lorena^{3*}

¹Tecnológico Nacional de México/ IT de San Felipe del Progreso, Avenida Instituto Tecnológico S/N, Ejido, Tecnológico, 50640. San Felipe del Progreso, Estado de México, México.

² Tecnológico Nacional de México/IT de Ciudad Valles, carretera Al Ingenio Plan de Ayala Km. 2, Col. Vista Hermosa, 79010 Ciudad Valles, San Luis Potosí, México

³ Tecnología alimentaria. Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco A.C. Camino arenero 1227. El Bajío, C.P. 45019 Zapopan, Jalisco, México.

* Autor de correspondencia: LMV, lmoreno@ciatej.mx

Palabras clave:

mango, traspatio,
transformación,
subutilizada

Resumen

El estado de Chiapas, pese a que presenta desigualdades y asimetrías sociales, es un estado con tierra fértil para el cultivo de muchos productos primarios, entre ellos, el mango. Este trabajo se centra en la transformación de cuatro variedades de mango de traspatio, conocidos como Manililla, Payasito, Piña y Kamico en productos artesanales como mermelada, salsa, mango en almíbar, jalea, entre otros. Así también, el aprovechamiento de los residuos como la cáscara, hueso y almendra para la producción de extractos antioxidantes, con el fin de generar una posible fuente de ingresos a personas indígenas o de escasos recursos que cuentan con mangos dentro de sus patios y motivar a la generación de una cultura emprendedora a partir de la obtención del conocimiento y aplicación.

Introducción

Chiapas es un importante estado de la República Mexicana con grandes asimetrías y desigualdades sociales y económicas. La región del Soconusco, ubicada al sur del estado de Chiapas, se caracteriza por generar una producción importante de diversos cultivos agroalimentarios. Una estrategia para incrementar el valor comercial de sus cultivos y fomentar el desarrollo económico e industrialización del estado es valorizar la producción primaria de los cultivos. En este contexto, los productos de traspatio usualmente no son considerados, sin embargo, pueden ser una fuente de ingreso en las familias indígenas y/o de bajos recursos, conociendo la información y los procedimientos para llevar a cabo el desarrollo de productos artesanales de manera exitosa.

Un cultivo de traspatio de importancia en la región Soconusco es el mango (*Mangifera indica* L.). En tan sólo esta región se cuenta con aproximadamente 17 variedades diferentes a las de reconocimiento nacional e internacional (Ataulfo,



Haden, Manila, entre otros); sin embargo, estos sólo se consumen localmente en fresco, debido a que es una fruta de temporada (Gálvez *et al.*, 2007). Algunas variedades de mago de traspatio que presentan un interés por parte de los lugareños son los mangos Manililla, Piña, Payasito y Kamico (Figura 1 y Tabla 1), los mismos que por sus características y sabor los hacen muy atractivos. Su producción se da en los patios de las casas de los lugareños, con una producción anual de al menos 100 kilos de fruto por árbol, además de que estos árboles dan sombra; sin embargo, la venta de estos frutos sólo se realiza en estado fresco y sin alguna transformación a otro tipo de producto. De manera general, se estima que de la producción de mango de traspatio solo se consume el 40%, el resto se regala o en su defecto lo entierran para que sea utilizado como nutriente a la tierra, pero en la mayoría del caso dicho fruto se pudre y puede generar una plaga que afecte la salud de las personas cercanas.

Para incrementar el aprovechamiento del mango de traspatio, la transformación de dicho fruto en productos artesanales de valor agregado podría permitir una revalorización del cultivo. Sin embargo, en el procesamiento de la pulpa de mango en productos de valor agregado se generan residuos como la cáscara, el hueso y la almendra, mismos que cuentan con compuestos bioactivos con actividad antioxidante de importante valor comercial. Los compuestos bioactivos son sustancias que generan un efecto en la salud a partir de combatir síntomas de oxidación (como el envejecimiento), que hoy en día son de interés para diferentes áreas como las industrias alimentarias y farmacéuticas (Schieber *et al.*, 2004). La generación de extractos puede realizarse mediante técnicas de maceración (remojo) y el uso de solventes amigables con el medio ambiente y, a su vez, hacer uso de residuos del fruto, logrando así un aprovechamiento integral de este.

En el presente proyecto se caracterizaron cuatro variedades de mango de traspatio (Payasito, Manililla, Piña y Kamico), se definieron diferentes metodologías para desarrollar productos artesanales de mayor valor agregado como salsa, almíbar, néctar, salsa adobada, mermelada y jalea. Y, por otra parte, se estudió la producción de extractos con actividad antioxidante a partir de los residuos de mango. Lo anterior, en el marco del programa de Estancias Posdoctorales para Mujeres Mexicanas Indígenas en Ciencia, Tecnología, Ingenierías y Matemáticas, con el proyecto titulado “Evaluación de cultivos primarios de la región del Soconusco, Chiapas para la obtención de compuestos bioactivos de importancia biotecnológica”. En el presente documento se muestran algunos resultados de la caracterización, obtención de extractos de mangos y se hace referencia a los procesos propuestos para las cuatro variedades de mango de traspatio. El desarrollo y puesta en marcha de productos artesanales y extractos antioxidantes podría ser una fuente de ingresos a familias que lo necesitan, haciendo uso de los frutos de sus patios, y con ello fomentar una cultura emprendedora.

Metodología

La recolección de mango de las variedades de Manililla, Payasito, Piña y Kamico se realizó en los patios de diferentes familias en los municipios aledaños a Tapachula, Chiapas (Tuxtla Chico, Chiapas (Figura 1). Los mangos fueron cosechados verdes y se dejaron madurar por 5-8 días, para obtener las características de un mango maduro. Posteriormente, los frutos fueron lavados y desinfectados para realizar el despulpado de forma manual con ayuda de un cuchillo. La pulpa fue mezclada, homogenizada y colocada en bolsas de 3 kilos para ser congeladas y utilizadas posteriormente, sin embargo, si el proceso es continuo no es necesario congelar la pulpa.

Desarrollo de productos artesanales

A partir de la pulpa previamente separada para cada variedad de mango se desarrollaron las diferentes metodologías de preparación de productos artesanales como salsa, almíbar, néctar, salsa adobada,

mermelada y jalea. Dichos procedimientos se publicaron dentro de un manual titulado *Elaboración de productos tradicionales a base de Mango*. En dicho manual se muestra el procedimiento para cada producto, diagrama de flujo e información nutrimental para las cuatro variedades de mango estudiadas. Los productos fueron analizados en composición química de acuerdo a los métodos de las Normas Oficiales para la declaración nutrimental de cada uno de ellos.

Elaboración de extractos bioactivos a partir de residuos de mango (cáscara, hueso y almendra)

Los residuos del hueso, cáscara y almendra fueron lavados, con la finalidad que no quedaran rastros de pulpa y fueron secados al sol durante 10 horas por 7 días, hasta lograr que el producto quedará deshidratado (actividad de agua <6%). Después, los residuos fueron molidos usando un molino (MF 10, IKA, NC, USA) y tamizados hasta obtener un polvo fino. Cada uno de los residuos fue mezclado con 100 mL de estanol (alcohol etílico grado alimenticio) y se dejó en agitación durante 24 horas en oscuridad. Una vez pasado el tiempo, se retiraron los sólidos presentes, obteniendo un extracto alcohólico con compuestos bioactivos. Finalmente, los extractos bioactivos fueron analizados de acuerdo con la metodología reportada por Borrás-Enríquez *et al.* (2021), para la cuantificación de polifenoles (Método de Folin Ciocalteu), Flavonoides (Método de Cloruro de Aluminio) y actividad antioxidante por las técnicas de ABTS y DPPH.

Resultados

En la Figura 1 se observan los árboles de las diferentes variedades de mangos ubicados dentro de los patios de las casas; así mismo, se resalta que el tronco, tipo de hojas y fruto son distintos, por lo que los lugareños los identifican fácilmente.

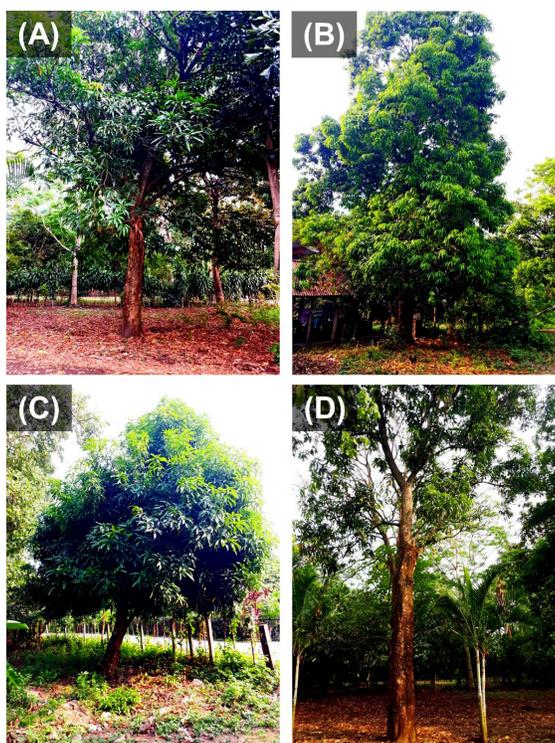


Figura 1. Presentación de árboles de traspatio del Soconusco, estado de Chiapas. A) Kamico, B) Manililla, C) Piña y D) Payasito.



Se identificó que cada variedad de mango presenta características morfológicas y físicas diferentes (ver Tabla 1); el mango Manililla es color amarillo, tiene forma ovoide, el mango Payasito generalmente es de tamaño grande, con forma oblonga, de color rojo con muy pequeñas manchas y pulpa de color naranja. El mango Piña es un fruto de forma ovoide, su cáscara es de color verde y su pulpa de tono amarillo claro y el mango Kamico es de forma oblonga a oval, conforme avanza el proceso de madurez la cáscara adquiere tonos verdes y rojizos en su mayoría y su pulpa de tono amarillo-naranja. Cabe mencionar que la pulpa de todos los mangos presentó un agradable sabor dulce, sobresaliendo el mango Payasito en dulzor y el mango Piña en acidez, en criterio de los autores del presente trabajo.

Tabla 1. Características morfológicas de las diferentes variedades de mangos de traspatio de la región del Soconusco, Chiapas.

Variedad	Longitud (cm)	Ancho (cm)	Relación Longitud/Ancho	Peso fruto (g)	Forma	Color de piel	Color de pulpa	Tipo de semilla	Fruto
Manililla	11.10	5.34	2.14	202.17	Ovoide	Amarillo	Amarillo	Poliembriónica	
Payasito	9.67	5.85	1.65	219.76	Oblongo Oval	Rojo	Naranja	Poliembriónica	
Piña	8.49	5.87	1.42	183.49	Ovoide Oblicuo	Verde	Amarillo	Poliembriónica	
Kamico	10.90	6.06	1.80	255.51	Oblongo Oval	Verde Rojo	Naranja	Poliembriónica	

En la Figura 2 se observan los residuos de mango (hueso, almendra y cáscara) deshidratados y las harinas obtenidas por molienda tanto en licuadora como en molino convencional. Dicha harina facilitó el proceso de obtención de extractos al aumentar el área de contacto durante la maceración con el solvente, en este caso etanol. Dicho proceso se puede hacer más eficiente al asistir la maceración con ultrasonido y en una proporción agua/etanol al 50% (Borrás-Enríquez *et al.* 2021). La Tabla 2 presenta los datos obtenidos de los compuestos bioactivos como polifenoles y flavonoides presentes en los diferentes residuos de mango; así mismo, se muestra la actividad antioxidante en porcentaje de inhibición, es decir, el porcentaje en el que inhibe la actividad de los compuestos dañinos (radicales libres) en nuestro cuerpo. De los tres residuos de mango separados, la cáscara y la almendra presentaron los mayores valores de polifenoles y flavonoides, así como mayor capacidad antioxidante (20-85%); la almendra representa la parte interna de la semilla conformada por el endospermo: cotiledón y testa. Por otro lado, en el hueso, aunque se cuantificaron polifenoles y flavonoides, la capacidad antioxidante fue muy baja (<11%), debido a que se trata de la fracción más fibrosa de la semilla, el endocarpio. Esta tendencia fue igual para las cuatro variedades de mango, sin embargo, las variedades Manililla y Payasito presentaron mayor cantidad de bioactivos y capacidad antioxidante en cáscara, mientras que la variedad Piña presentó mejores resultados en la almendra.



Figura 2. Producción de harina de residuos de mango de traspatio (cáscara, hueso y almendra).

En la Figura 3 se observa el diagrama general para la preparación de los productos artesanales como salsa, almíbar, néctar, salsa adobada, mermelada y jalea. El diagrama que se presenta es un ejemplo de los ingredientes y los pasos a seguir, sin embargo, en el manual se reportan datos más específicos sobre cada preparación y cómo manejar cada variedad de mango del presente estudio, incluyendo materiales, procedimientos, normas de apoyo, diagramas de bloques, información nutrimental y análisis microbiológico de cada producto. En la Figura 4 se muestra la portada del manual elaborado, el cual es una herramienta de apoyo de gran ayuda para divulgar las formas de procesamiento propuestas para cada variedad de mango de traspatio a los interesados de la región. Dicho manual es de lenguaje sencillo y se encuentra disponible para el público en general, solicitando directamente a los autores o contacto de CIATEJ. Los resultados de este proyecto también fueron difundidos mediante diversas pláticas a estudiantes de diferentes instituciones académicas como Instituto Tecnológico de Ciudad Valles, Universidad del Papaloapan y Tecnológico de Estudios Superiores de San Felipe del Progreso.

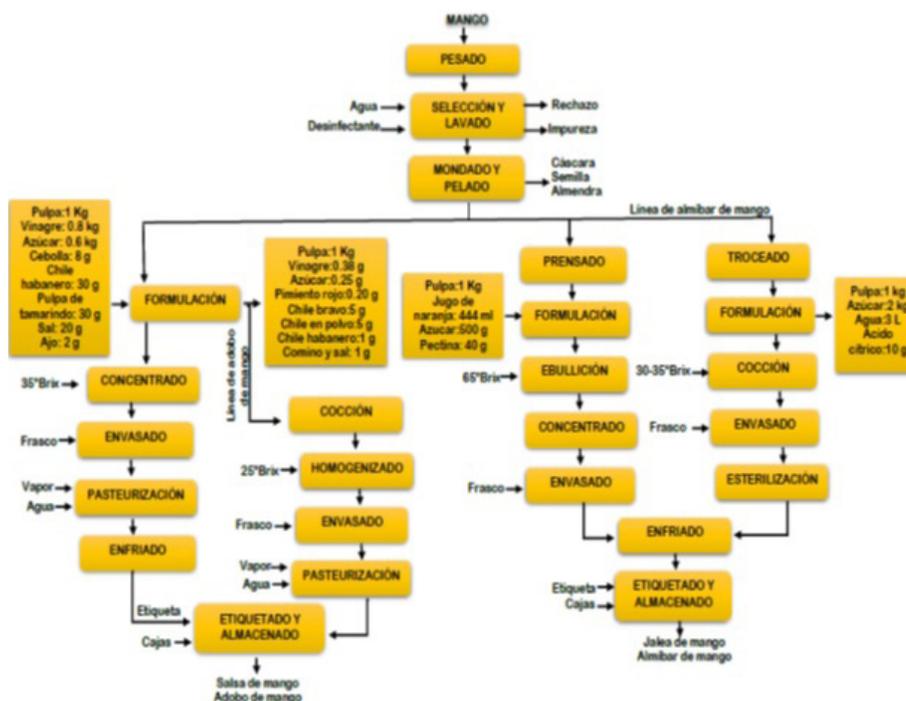


Figura 3. Diagrama de proceso para la preparación de productos artesanales a partir de mangos de traspatio. De izquierda a derecha: salsa, adobo, jalea y almíbar de mango.



Figura 4. Manual de Elaboración de productos tradicionales a base de mango

Los mangos de traspatio como las variedades de Manililla, Piña, Payasito y Kamico presentan unas excelentes características morfológicas y físicas, que las hacen ser aceptables por parte de los consumidores locales, quienes también coinciden que son de gran sabor, semejantes a un mango comercial de reconocimiento a nivel nacional e internacional. Esto coincide con los valores reportados de la caracterización nutrimental para las cuatro variedades de mango, las cuales son semejantes a las referencias de mangos comerciales (Borras-Enríquez *et al.*, 2021 b). Por lo mismo, es necesario buscar mejores estrategias para que los lugareños aprovechen dicho fruto que tienen en sus manos.



Conclusión

Los resultados del presente proyecto documentan los diferentes parámetros de caracterización y posibles aplicaciones para dar valor agregado a los mangos de traspatio del estado Chiapas. La transformación de los mangos de traspatio son una estrategia que puede permitir el generar una fuente de empleo a personas marginadas, así como de bajos recursos mediante la elaboración de productos artesanales y extractos antioxidantes.

Referencias

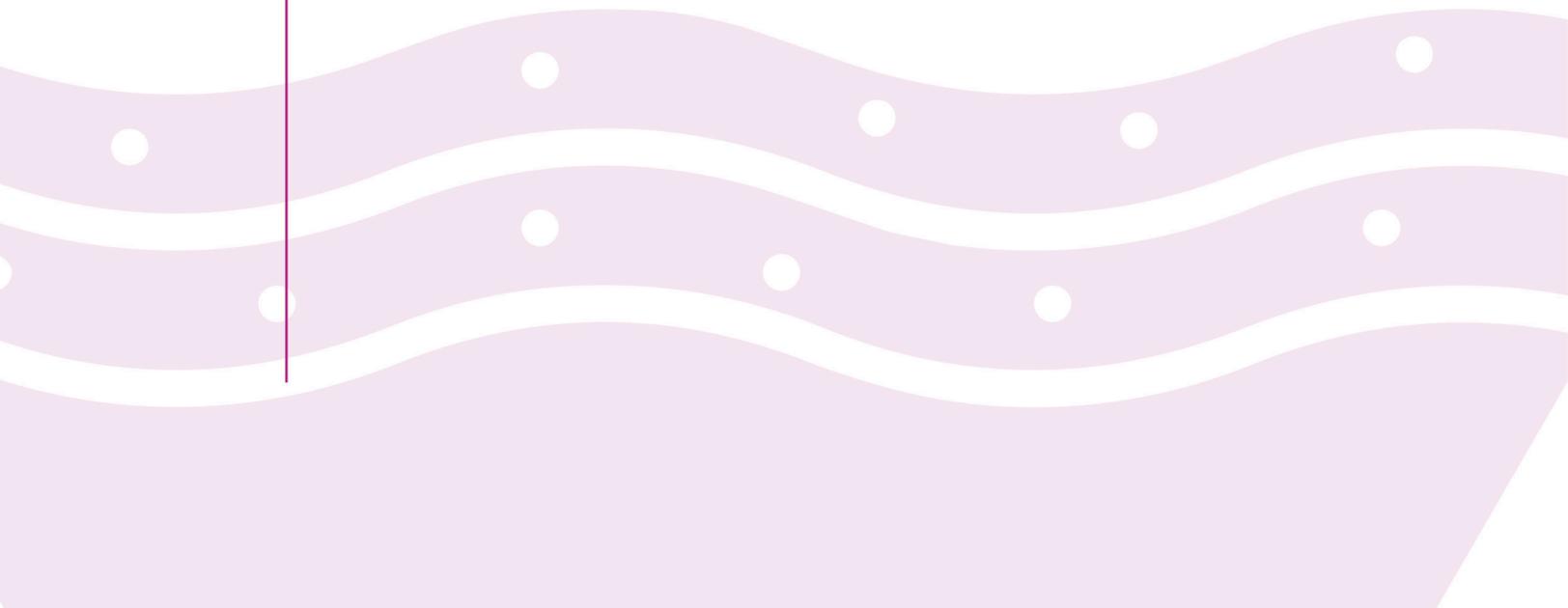
- Gálvez-López, D., Adriano-Anaya, M. L., Villarreal-Treviño, C., Mayek-Pérez, N., & Salvador-Figueroa, M. (2007). Diversidad isoenzimática de mangos criollos de Chiapas, México. *Revista Chapingo serie Horticultura*, 13(1), 71-76.
- Schieber, A., Hilt, P., Berardini, N., & Carle, R. (2004). Recovery of pectin and polyphenolics from apple pomace and mango peels. *Total food*, 2649-2655.
- Borrás-Enríquez, A. J., Reyes-Ventura, E., Villanueva-Rodríguez, S. J., & Moreno-Vilet, L. (2021). Effect of Ultrasound-Assisted Extraction Parameters on Total Polyphenols and Its Antioxidant Activity from Mango Residues (*Mangifera indica* L. var. *Manililla*). *Separations*, 8(7), 94. MDPI AG. Retrieved from <http://dx.doi.org/10.3390/separations8070094>
- Borrás-Enríquez, A. J., Reyes-Ventura, E. & Moreno-Vilet, L. (2021). *Elaboración de productos tradicionales a base de Mango. Primera edición*. Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco, A.C.

Conflicto de intereses

Los autores declaran que la investigación se realizó en ausencia de cualquier relación comercial o financiera que pudiera interpretarse como un potencial conflicto de interés.

Financiamiento

Dichos proyectos se realizaron con recurso de los proyectos CIESAS CEAR2018-06 y FORDECYT-CONACYT 292474.



Alianza estratégica para la producción y aprovechamiento del mango en la región Costa Grande de Guerrero

Martín Fierro Leyva^{1*}

Palabras clave:

productores de mango, Costa Grande de Guerrero, alianza estratégica, sistema agrícola regenerativo.

Resumen

El objetivo es visibilizar y discutir elementos de organización en comunidades de aprendizajes y de acción territorial de los productores de mango en la Costa Grande de Guerrero (CG-Gro). Derivado de ello, reflexionar las diversas propuestas prácticas agrícolas como agroecología, agricultura sustentable, agricultura climáticamente inteligente, agricultura de conservación, sistema agrícola regenerativo y economía social frente a las prácticas bioculturales que realizan los productores. Las fuentes directas se obtuvieron a través de recorridos de reconocimientos, observación sistemática, entrevistas semiestructuradas y diálogos igualitarios; las plataformas y los artículos científicos digitales integraron las fuentes indirectas. Los resultados principales fueron la falta de organización de los productores y continuar con métodos de la agricultura convencional. Se concluye que es importante la coordinación, colaboración y la posible cooperación entre los que intervienen en la producción de mango para iniciar las fases de COA, PAT y vislumbrar una posible alianza estratégica entre estos actores.

Introducción

El sector primario en México está en deterioro presentando diversas fallas. Escaso financiamiento, deforestación, erosión de suelos, cambio climático, pérdida de agrobiodiversidad, falta de mercados justos, migración de jóvenes y violencia son algunos de los principales problemas que amenazan al campo mexicano (Boletín UNAM-DGCS-597, 2020). Sin embargo, el problema más fuerte constituye la desarticulación de los actores que intervienen en los diferentes circuitos de producción y comercialización, como son los mismos productores, empresarios comercializadores, instituciones académicas y gubernamentales. El objetivo es visibilizar y discutir elementos de organización en comunidades de aprendizajes y de acción territorial de los productores de mango en la Costa Grande de Guerrero. Se espera que esta reflexión conduzca también a contrastar las propuestas de

^{1*} Profesor investigador del Instituto Internacional de Estudios Políticos Avanzados “Ignacio Manuel Altamirano”, Universidad Autónoma de Guerrero. Acapulco, Guerrero, México. Correo: martinfierroleyva@yahoo.com.mx.



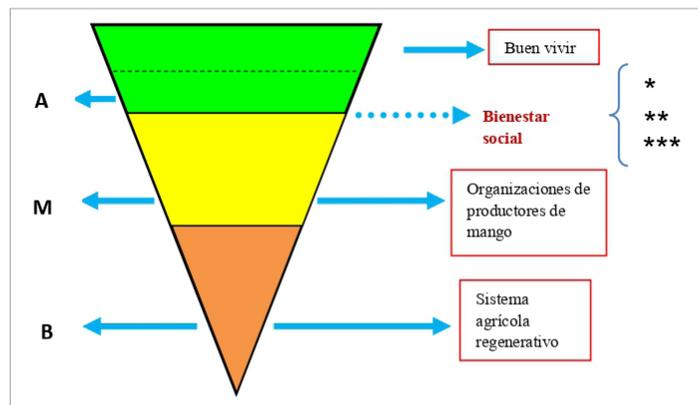
mejora de prácticas agrícolas: agroecología, agricultura sustentable, agricultura climáticamente inteligente, agricultura de conservación, sistema agrícola regenerativo y economía social con las prácticas socioculturales de los actores presentes en la producción y aprovechamiento de esta fruta tropical. El supuesto teórico es el siguiente: la organización e integración de una alianza estratégica entre los actores participantes en el cultivo del mango constituye la principal asignatura pendiente que debe construirse para enfrentar los retos del sector.

Las fuentes directas se obtuvieron a través de recorridos de reconocimientos, observación sistemática, entrevistas semiestructuradas y diálogos igualitarios; las plataformas y los artículos científicos digitales constituyeron las fuentes indirectas. Este primer acercamiento vislumbra el siguiente entramado de ideas que apoyaría a profundizar esta investigación: 1. La reconversión de cultivo fue de transitar del cultivo del coco y del café a las plantaciones de mango, sin considerar posibles consecuencias bioculturales; 2. Las instituciones académicas han tenido escasa incidencia en la producción y mejoramiento del mango. El diálogo con los productores es esporádico, escurridizo y, en general, la interacción efectiva está en construcción; 3. Las políticas de gobierno implementadas para la mejora de este cultivo no han rendido los frutos esperados; 4. La cultura del uso desmesurado de agroquímicos persiste y está muy arraigada entre la mayoría de los productores por sus inmediatos resultados económicos y 5. No existe una articulación ni alianza entre los sectores involucrados en la producción del mango.

Este trabajo se integra de un encuadre teórico metodológico y establece los múltiples métodos utilizados; se abre también un apartado sobre los nuevos desafíos de los productores de mango y se intenta generar una tipología de los productores en función de la superficie sembrada, ruta de salida del producto y actividades complementarias. Al final se vierten los resultados, la discusión y las conclusiones.

Posibilidades teóricas: sistema agrícola regenerativo para el buen vivir

El contenedor teórico se integra por cuatro dimensiones y tres niveles en la construcción de una escala de abstracción: al nivel alto (A) corresponden dos categorías complementarias *Buen vivir* y *Bienestar social*; en el medio (M) el concepto *Organizaciones de productores de mango* y en la escala menor (B) de mayores referentes empíricos se encuentra el *Sistema agrícola regenerativo* (Figura 1).



Fuente: Elaboración propia con base a Sartori (2012).

Simbología	Bienestar social y derivaciones conceptuales
*	Alianza estratégica entre actores
**	Diálogos igualitarios de sensibilización
***	Consejo horizontal de productores de mango CG-Gro

Figura 1. Escala de abstracción



El sistema agrícola regenerativo enfrenta dos grandes desafíos: 1. La producción de alimentos adecuados y nutritivos y 2. Restauración de ecosistemas deteriorados por la actividad humana [Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA), 2021]. Según Karina López Ivich, el punto: “clave para este nuevo esquema de gestión es la coordinación entre agricultores en la toma de decisiones” (2023, p. 2). Al respecto, María José Añón comenta que: “las desigualdades y las situaciones de insatisfacción de necesidades básicas interfieren claramente con la capacidad de deliberación o la afirmación de la solidaridad como vínculo social de cohesión” (2002: 1).

Por su parte, Marcos Freijeiro Varela (2008) sostiene que el bienestar se traduce en dignidad, integridad y, por ende, de autonomía y que debe rebasar la frontera de solo la provisión de bienes materiales. En ese mismo sentido, Adela Cortina señala que: “sin imaginación creadora, sin iniciativa, colaboración y cooperación, no es posible atender las necesidades de la comunidad, sobre todo de aquellos que son más vulnerables (1998).

La connotación de *bienestar social* implica la “satisfacción plena de necesidades básicas, culturales, económicas por parte de una comunidad determinada” (Economía, 2014, p. 1). Eugenio Actis Di Pasquale (2015) sostiene que este concepto es: “una especie de orden social, en el cual todas las personas alcanzan logros que favorecen tanto el desarrollo individual como social” (p. 24). La noción del buen vivir va más allá del concepto de bienestar social: “recupera la idea de una buena vida, del bienestar en un sentido más amplio, trascendiendo las limitaciones del consumo material, y recuperando los aspectos afectivos y espirituales (Gudynas & Acosta, 2011: 79).

La categoría *bienestar social* integra en la escala de abstracción cuatro derivaciones conceptuales: 1. Alianza estratégica de los actores imprescindibles en el cultivo y mejoramiento del mango: productores, académicos, gobierno e iniciativa privada; 2. Impulsar diálogos igualitarios en temas como sistema agrícola regenerativo, educación ambiental, derechos humanos, economía social y solidaria, entre otros contenidos en la Agenda 2030 del desarrollo sostenible; 3. Reconstrucción del consejo horizontal de productores de mango de Costa Grande de Guerrero.

Metodología participativa: múltiples métodos en la práctica

Las fuentes directas se integraron en tres ejes: observación sistemática, identificación de actores y uso de una variante de cartografía social. En los recorridos de reconocimiento fue importante el uso de la observación sistemática y la realización de entrevistas informales a informantes clave conformados por líderes productivos innovadores. La cartografía social² es una alternativa metodológica que: “permite que una comunidad pueda re-conocer, re-construir y re-significar su territorio para elegir y decidir sobre nuevas formas de vivirlo y gestionarlo. Implican procesos de construcción, validación y reconocimiento de los saberes locales, para así articular una contranarrativa ante las visiones externas sobre el territorio de las comunidades” (Hernández *et al.*, 2020: 11). Las reuniones con los diferentes actores se sustentan en una relación de Diálogos Igualitarios (DI). Las fuentes indirectas fueron resultados del estudio y análisis de plataformas y artículos científicos digitales.

Los productores de mango en la CG-Gro y sus nuevos desafíos

La exuberante riqueza en recursos naturales y la amplia biodiversidad contrastan con los problemas de pobreza, discriminación y marginación existentes en el estado de Guerrero. Las Unidades de Producción (UP) agropecuarias y pesqueras presentan un bajo nivel tecnológico, son altamente vulnerables a los riesgos fitozoosanitarios y climáticos, tienen un bajo nivel de activos, es limitada su capacidad para gestionar financiamiento y baja inclusión al mercado, traduciéndose en una baja productividad de

²Esta segunda fase está en proceso y sus resultados no se integran en este artículo.



las actividades del sector primario (Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA), 2020, p.1).

El mango se produce en 23 estados del país y se desarrolla en climas cálidos. Las principales entidades productoras son: Sinaloa con 397, 780 ton., Guerrero 390,751 ton., Nayarit 322, 155 ton., y Chiapas 268, 374 ton.; estos territorios aportan las dos terceras partes del volumen cosechado a nivel nacional (Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural, 2021). Las variedades que se producen son: Ataulfo, Criollo, Hadden, Keit, Tommy atkins, Manila, Kent [Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria (SENASICA), 2023].

El estado produce el 20.47% de mango a nivel nacional. La CG-Gro es la principal región que impulsó este cultivo; en el año 2000 se habían contabilizado 22 000 hectáreas cultivadas y administradas por 7,000 productores rurales aproximadamente, más los empleos directos e indirectos que esta actividad genera durante todo el año en las diversas etapas de la producción dan cuenta de la importancia socioeconómica para las familias de la región. Este territorio contribuye con el 66.4% del mango de todo el estado, mientras que el 42.64% de esta producción se obtiene de los cuatro municipios de la Costa Grande (Atoyac de Álvarez, Benito Juárez, Coyuca de Benítez y Tecpan de Galeana) [Alianza para el Desarrollo de la Región Pacífico sur (ADESUR), 2018].

Sin embargo, a pesar de un rápido proceso de reconversión de cultivo³, los productores enfrentan enormes desafíos: Las huertas de mango alcanzan un rendimiento de hasta 12 ton/ha, pero la falta de subsidio por parte del gobierno y la dificultad para acceder al mercado compromete su cultivo; el manejo de las huertas de mango basado en una excesiva dependencia de agroquímicos afecta la totalidad de los agroecosistemas: los polinizadores sufren una reducción importante y los suelos se contaminan [Alianza para el Desarrollo de la Región Pacífico sur (ADESUR), 2018].

Tipología de los productores de mango en la CG-Gro

Realizar un encuadre para ubicar la posición productiva y de ingreso familiar de los productores de mango nunca ha sido tarea fácil; sin embargo, se retoma la tipología elaborada por la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) para la clasificación de Unidades Económicas Rurales (UER), cuya taxonomía deriva en tres componentes: 1. Agricultura Familiar de Subsistencia (AFS); 2. Agricultura Familiar en Transición (AFT) y 3. Agricultura Familiar Consolidada (AFC). El cuadro 1 muestra la tipología de los productores de mango de la CG-Gro.

UNIDADES ECONÓMICAS RURALES (UER)	DESTINO DE LA PRODUCCIÓN	SUPERFICIE DE CULTIVO	OTRAS FUENTES DE INGRESO FAMILIAR	PORCENTAJE APROXIMADO
Agricultura Familiar de Subsistencia (AFS)	Autoconsumo	Promedio 5 ha	Actividades económicas complementarias y programas de gobierno	7 %
Agricultura Familiar en Transición (AFT)	Autoconsumo y mercado	Un poco mayor de 5 ha	Actividades económicas complementarias y programas de gobierno	90%
Agricultura Familiar Consolidada (AFC)	Mercado local y externo	Mayo de 5 ha	Sustento suficiente en la producción	3%

Fuente: FAO (2014), ADESUR (2018) y Diálogos Igualitarios (DI).

³ Algunos productores cambiaron las huertas de coco y café por plantaciones de mango.



La Alianza para el Desarrollo de la Región Pacífico sur (ADESUR) sostiene que casi todas las huertas de mango pueden clasificarse en agricultura en transición en función del promedio de hectáreas por productor que es menor de cinco y comercializan el 90% de la cosecha, interviniendo la familia en todo el proceso de producción y aprovechamiento del cultivo. En la clasificación como agricultura familiar consolidada se encuentran pocos productores debido a que las labores culturales dependen enteramente de los jornaleros y la producción está totalmente orientada al mercado (ADESUR, 2018).

Según Astudillo et al., la taxonomía que definen a los productores de mango en la CG-Gro en función del tamaño de la superficie cultivada es la siguiente: 5 398 productores con huertos pequeños (1-10 ha), medianos (11-20 ha) o grandes (mayores a 20 ha) con una superficie media de 7.5 ha sembradas por productor. Las huertas se manejan como una sola unidad y principalmente con un sistema de riego por goteo (2020, p. 118).

Resultados

El problema de organización entre los productores de mango en la región CG-Gro constituye el elemento prioritario de reflexión. La integración de los productores en comunidades de aprendizajes (COA), como una primera fase, es esencial para compartir experiencias con instituciones académicas en temas como: constitución y funcionamiento de las organizaciones, definición de los Organismos del Sector Social de la Economía (OSSE's), prácticas agrícolas de innovación (agroecología, agricultura regenerativa, entre otras) y temas que se propongan en las reuniones que se denominará Diálogos Igualitarios (DI) entre sectores.

La segunda fase de intercambio debe ser entre representantes de diferentes COA's e iniciar el Plan de Acción Territorial (PAT) para la CG-Gro, empezando con la conformación de una alianza estratégica entre los diferentes actores que intervienen en la promoción, cultivo y aprovechamiento del mango. La implementación y funcionamiento de estos dos procesos -el COA y el PAT- serán el soporte de la alianza horizontal entre actores que se propone para la mejora e innovación de este cultivo comercial.

Como propone Eduard Soler i Lecha [del Barcelona Centre for International Affairs (CIDOB)] hay que pensar no solo en el qué, sino sobre el cómo, el quién y el hasta cuándo (Soler, 2021). El diagnóstico (el *qué*) que se tiene de la situación del cultivo del mango en la CG-Gro se pretende ser fortalecido de forma permanente por los DI en las diferentes comunidades de productores de esta fruta tropical. Los liderazgos innovadores (el *quién*) surgirán, sin duda alguna, durante el desarrollo de estos procesos; la estrategia de mejora (el *cómo* y *cuándo*) se diseñará como resultados de las diferentes reuniones comunitarias a través de los denominados diálogos igualitarios.

Discusión: sistema convencional o regenerativo

La agricultura en la CG-Gro de los últimos cien años se caracteriza por el potente impulso de cultivos dirigidos principalmente para el mercado y con ello el fortalecimiento de los monocultivos en grandes extensiones del territorio. La estrategia agrícola ha girado en torno a las plantaciones de café, el coco y el mango y probablemente en poco tiempo se incorpore el aguacate, con la notable disminución del interés por la siembra de otros cultivos como el maíz, arroz, plátano, calabaza, entre otros. En este sentido, Elena Lazos Chavero del Instituto de Investigaciones Sociales (IIS) de la UNAM sostiene que: “ahora hay monocultivos, lo que implica una pérdida importante de productos alimentarios, y con ello un debilitamiento en el control de las semillas por parte de los pequeños y medianos agricultores (Boletín UNAM-DGCS-597, 2020).

La economía de esta región se ha sustentado en estos cultivos para el mercado, como el mango, por su capacidad de generación de empleos y su efecto multiplicador. Los esfuerzos de las familias, en su mayoría, no se refleja en cuanto a bienestar social y mucho menos la realización del buen vivir:



beneficio que se ha concentrado en pocas manos, sobre todo en quienes participan en el proceso de intermediación para el mercado local, nacional y de exportación. A nivel de escalabilidad regional, generalmente las alianzas establecidas con consumidores, gobierno e instituciones académicas son frágiles; cuando estas se fortalecen: “acaban favoreciendo el desarrollo de iniciativas más asentadas y encaminadas hacia la satisfacción sustentable de necesidades por parte de las personas que habitan un territorio” (Schwab *et al*, 2020, p.206). Los acuerdos entre actores que participan en la producción y mejoramiento del mango deben: “coordinar directrices ambientales, agroalimentarias (desde la producción hasta el consumo), de bienestar y salud, y que éstas sean el pilar de desarrollo para los pequeños y medianos productores” (Boletín UNAM-DGCS-597, 2020).

Se requiere impulsar: “economías solidarias bajo alternativas comunitarias, tener un mercado que remunere justamente y brinde prosperidad a los agricultores, e incitar a los consumidores para que adquieran productos de los campesinos” (Boletín UNAM-DGCS-597, 2020). Por su parte, José Luis Coraggio apunta que la economía social debe integrarse a la sociedad, constituida y regulada en la historia por la cultura y la política para resolver el sustento de todos (2021, p.4). El Foro Global de la Economía Social señala que la economía social “aspira a construir un sistema socioeconómico que coloque a las personas, sus comunidades y su entorno ambiental en el centro de todos sus procesos” (2018).

El principal objetivo, según Laie Vidiella Hernández (2020: párr.1): “es acercar movimientos sociales e iniciativas que comparten la voluntad de poner en el centro de la economía a las personas y el medio ambiente y acabar con la economía basada en la extracción”. Por su parte, José Luis Coraggio propone: “la construcción de un espacio donde se puedan hacer valer los intereses de la mayoría, de un espacio plural. Tampoco puede ser un espacio donde la voz de las mayorías se imponga por el peso de los números” (2002, pp. 8-9).

Otros investigadores, como Omar Giraldo y Peter Rosset se inclinan por construir “procesos agroecológicos realmente transformadores y revolucionarios” con la idea de “fortalecer la organicidad y pensar en procesos colectivos, no en proyectos individualizados”, así como la construcción de “procesos horizontales, no jerarquías” (2021, p.1). Greenpeace establece siete principios básicos de la agroecología, uno de ellos es el siguiente: productores y consumidores, no corporaciones, deben tener el control de la cadena alimenticia y determinar cómo se produce la comida (Greenpeace, 2023).

Existen otras propuestas para la mejora de las prácticas agrícolas que tienden a disminuir o eliminar en definitiva los daños ambientales y ecológicos: *agricultura sustentable, agricultura climáticamente inteligente, agricultura de conservación y la agroecología*. Karina López Ivich (2023) comenta que un elemento compartido en estos tipos de agricultura es su “enfoque individual en el manejo de cada campo agrícola”; este enfoque individual “genera mejoras ambientales limitadas o nulas, ya que las mejoras ambientales producidas por campos agrícolas pueden ser anuladas o afectadas debido a prácticas no sustentables o contradictorias implementadas en otros campos agrícolas (p. 2). *Los sistemas agrícolas regenerativos* como una opción de mejora integral del campo “buscan mejorar las condiciones de la naturaleza al tiempo que garantizan la demanda de agua y alimento para las personas” (The nature conservancy, 2023). Los productores de mango y los demás actores involucrados en los procesos productivos y de comercialización deben reflexionar a través de los DI estas propuestas de prácticas agrícolas innovadoras. Cambiar a estas prácticas no es tarea fácil, más no imposible.

Conclusiones

1. Los procesos de reconversión de cultivo fueron de transitar, en algunos casos, de los cultivos de coco y café a plantaciones de mango, sin la consideración de posibles consecuencias bioculturales; 2. Las instituciones académicas han tenido escasa incidencia en la producción y mejoramiento del mango. El diálogo con los productores es esporádico, escurridizo y, en general, la interacción efectiva está en



construcción; 3. Las políticas de gobierno implementadas para la mejora de este cultivo no han rendido los frutos esperados; 4. La cultura del uso de agroquímicos persiste y está muy arraigada entre la mayoría de los productores por sus inmediatos resultados económicos y; 5. Es importante la coordinación, colaboración y, de ser posible, la cooperación entre representantes de los actores que intervienen en la producción de mango para iniciar las fases de COA, PAT y vislumbrar una posible alianza estratégica entre actores para establecer una ruta solidaria hacia el *bienestar social* y llegar al *buen vivir*.

Referencias

- Actis, E. (2015). *Hacia una definición conceptual de bienestar social. El debate desde la economía del bienestar hasta enfoque de las capacidades*. <http://nulan.mdp.edu.ar/2342/1/actis.2015.pdf>
- Advierten sobre amenazas al campo mexicano. (2020). *Boletín UNAM-DGCS-597*. [https://www.dgcs.unam.mx/boletin/bdboletin/2020_597.html#:~:text=Deforestaci%C3%B3n%2C%20erosi%C3%B3n%20de%20suelos%2C%20cambio,\(IIS\)%20de%20la%20UNAM](https://www.dgcs.unam.mx/boletin/bdboletin/2020_597.html#:~:text=Deforestaci%C3%B3n%2C%20erosi%C3%B3n%20de%20suelos%2C%20cambio,(IIS)%20de%20la%20UNAM)
- Alianza para el Desarrollo de la Región Pacífico sur . (2018). *Planeación espacial participativa y diálogo estratégico. Hacia una agenda local compartida en Costa Grande, Guerrero*. <http://adesur.centrogeo.org.mx/ms/guerrero/narrative/264>
- Añón, M., (2002). Ciudadanía social: La lucha por los derechos sociales. *Cuadernos Electrónicos de Filosofía del Derecho*, 6, <https://www.uv.es/cefd/6/anyon.htm>
- Astudillo-Miller, M., Maldonado-Astudillo, R.; Segura-Pacheco, H., & Maldonado, Y.. (2020). Cadenas de comercialización de mango y potencial exportador en la Costa Grande, Guerrero. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 11, (1), <http://cienciasagricolas.inifap.gob.mx/index.php/agricolas/article/view/1769/2910>
- Coraggio, J. L. (2021). La Pandemia y después: Nueve líneas de investigación en Economía Social y Solidaria. *Otra Economía*, 14(26), 3-13. <https://www.revistaotraeconomia.org/index.php/otraeconomia/article/view/14962/9601>
- Coraggio, J. L., (2002). *Una transformación social posible desde el Trabajo Social: la necesidad de un enfoque socioeconómico para las políticas sociales* [ponencia]. Panel Políticas Sociales y Transformación Social, Escuela Superior de Trabajo Social de la Universidad Nacional de La Plata. <https://www.coraggioeconomia.org/jlc/archivos%20para%20descargar/unatransformacionsocialposible.pdf>
- Cortina, A., (1998). Ciudadanía social. *El País*. https://elpais.com/diario/1998/08/08/opinion/902527203_850215.html
- Definición de Bienestar Social. (2014). *Economía*. <https://economia.org/bienestar-social.php>
- Foro Global de la Economía Social. (2018). *Declaración por una Economía Social Solidaria transformadora* . Recuperado de http://www.socioeco.org/bdf_fiche-document-6293_fr.html
- Freijeiro, M. (2008). ¿Hacia dónde va la ciudadanía social? (de Marshall a Sen). *Andamios*, 5 (9), http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1870-00632008000200008
- Giraldo, O. y Rosset, P. (2021). Principios sociales de las agroecologías emancipadoras. *Desenvolvimiento e medio ambiente*, 58, pp. 708-732. https://www.researchgate.net/publication/356672870_Principios_sociales_de_las_agroecologias_emancipadoras
- Greenpeace. (2023). *7 principios básicos de la agroecología*. <https://www.greenpeace.org/argentina/estos-son-los-7-principios-basicos-de-la-agroecologia>



- Gudynas, E. y Acosta, A., (2011). La renovación de la crítica al desarrollo y el buen vivir como alternativa. *Utopía y praxis latinoamericana*, 16, (53), pp.71-83. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=27919220007>
- Hernández-Jiménez, C., Flores-Rangel, J., Rodríguez-Torres, A., Rojas-Carreto, H. y Vázquez-Techichil, M. (2020). *Mapeo comunitario y cartografía colaborativa para la defensa del territorio y los bienes comunes. Guía para promotores, activistas y facilitadores comunitarios*. https://controlatugobierno.com/wp-content/uploads/2018/07/Gu%C3%ADa-Mapeo_y_Cartograf%C3%ADa_CTG_SECUAM.pdf
- Hernández, L. (2020). Empieza el proceso de confluencias del FSM de Economías Transformadoras Barcelona 2020. *RIPES*. <http://www.ripess.org/empieza-el-proceso-de-confluencia-del-fsm-de-economias-transformadoras-barcelona-2020/?lang=es>
- Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura . (2021). *Agricultura regenerativa: es posible producir alimentos y contribuir a la salud del ambiente*. <https://ica.int/es/prensa/noticias/agricultura-regenerativa-es-posible-producir-alimentos-y-contribuir-la-salud-del>
- López Ivich, K. (2023). Agricultura Regenerativa: transición a una gestión ecosistémica de la agricultura. *Regeneration international*. <https://regenerationinternational.org/2023/01/27/agricultura-regenerativa-transicion-a-una-gestion-ecosistemica-de-la-agricultura/>
- Salcedo, S. & Guzmán, L. (2014). *Agricultura Familiar en América Latina y el Caribe: Recomendaciones de Política*. FAO. <https://www.fao.org/3/i3788s/i3788s.pdf>
- Sartori, G. (2012). Malformación de los conceptos en política comparada. En J. Islas (comp.) *Cómo hacer ciencia política. Lógica, método y lenguaje en las ciencias sociales*. Taurus.
- Schwab, F., Calle-Collado, A. & Muñoz, R. (2020). *Economía social y solidaria y agroecología en cooperativas de agricultura familiar en Brasil como forma de desarrollo de una agricultura sostenible*. https://www.researchgate.net/publication/340379116_Economia_social_y_solidaria_y_agroecologia_en_cooperativas_de_agricultura_familiar_en_Brasil_como_forma_de_desarrollo_de_una_agricultura_sostenible
- Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. (2021). *El mango, producto estrella en México Blog*. <https://www.gob.mx/agricultura/articulos/el-mango-producto-estrella-en-mexico#:~:text=El%20mango%20es%20de%20climas,volumen%20cosechado%20a%20nivel%20nacional>.
- Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. (2020). *Informe de evaluación 2015-2017*. <https://www.agricultura.gob.mx/sites/default/files/sagarpa/documento/2020/03/19/1896/19032020-guerrero-pcef-informe-eval-2015-2017-08112018.pdf>
- Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria. (2023). Huertos de Mango registrados de Guerrero para Exportación a los Estados Unidos de América con tratamiento de Irradiación. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/804439/MANGO__GUERRERO_17-02-2023.pdf
- Soler, E., (2021). *El mundo en 2022: diez temas que marcarán la agenda internacional*. CIDOB. Recuperado de https://www.cidob.org/es/publicaciones/serie_de_publicacion/notes_internacionales_cidob/265/el_mundo_en_2022_diez_temas_que_marcaran_la_agenda_internacional
- The nature conservancy. (2023). Proporcionar agua y alimentos de forma sostenible. *Ganadería y Agricultura Regenerativa*. <https://www.nature.org/es-us/que-hacemos/nuestras-prioridades-proporcionar-agua-y-alimentos-de-forma-sostenible/r2a/?vu=r2a>

Avances y retos en la producción de cultivos en México: caso del agave, café, mango y frijol

Julia Sánchez Gómez¹, Yair Romero Romero¹, Marisol Vázquez Alfaro² y Ever Sánchez Osorio³

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).

² Universidad Autónoma de Guerrero. Escuela Superior de Veterinaria y Zootecnia No. 2. Cuajinicuilapa, Guerrero.

³ Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías (CONAHCYT)- Instituto de Investigaciones Sociológicas de la Universidad Autónoma Benito Juárez de Oaxaca (IISUABJO). Autor de correspondencia. esanchezos@conacyt.mx

Palabras clave:

cultivos, superficie sembrada, rendimientos, tendencias.

Resumen

El objetivo del presente estudio es analizar los cambios en la producción y retos de los cultivos agave, café, mango y frijol en México. Se destaca el papel de los estados Chiapas, Guerrero y Oaxaca en su producción. Se realizó una revisión de literatura sobre las tendencias y problemáticas de los cultivos, también se obtuvieron datos del Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP) y del Sistema de Información Agroalimentaria de Consulta (SIACON) para el periodo 2000-2021 y, se calculó la Tasa de Crecimiento Media Anual (TCMA) para conocer los porcentajes de cambio de las variables productivas. La producción de los cultivos agave, mango y frijol mostró una tendencia positiva, sin embargo, su TCMA fue igual o menor al 5%, en el caso del cultivo café fue negativa con el 3.3%. A partir de conocer las dinámicas y retos de los cultivos en el entorno nacional e internacional, se visualiza la necesidad de seguir impulsando la productividad de los sistemas de producción, así como, la construcción y diseño de políticas públicas efectivas que promuevan e incentiven su mejora según las condiciones específicas de los distintos territorios.

Introducción

En México, la producción agrícola en los últimos 21 años ha presentado una tendencia creciente, pasando de 370.5 millones de toneladas en el año 2000 a 563.3 millones en 2021, con una Tasa de Crecimiento Media Anual (TCMA) del 2.1%. El 64.4% de la cantidad producida de los cultivos proviene de cinco entidades federativas del país: Nayarit (36.3%), Estado de México (10.5%), Jalisco (7.9%), Veracruz (5.6%) y Oaxaca (4.0%) (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera [SIAP], 2022).

Con relación a la superficie sembrada con cultivos en México, para el año 2021 fue de 21.6 millones de hectáreas, el 72.4% en la modalidad de temporal y el 27.6% bajo riego. Durante el periodo de 2000 a 2021 la superficie agrícola de



temporal presentó una tendencia ligeramente a reducirse con una tasa anual del -0.4%. Por el contrario, la superficie sembrada con riego presentó una TCMA del 1.2%. Esta tendencia podría indicar que el aumento logrado en la producción agrícola ha estado más en función de la mejora del rendimiento de los cultivos que de la extensión de la superficie agrícola.

Para el año 2021 alrededor de la mitad (50.7%) de la superficie agrícola de México se concentró en ocho entidades federativas: Jalisco (7.8%), Veracruz (7.2%), Tamaulipas (6.9%), Oaxaca (6.3%), Chiapas (6.3%), Zacatecas (5.8%), Michoacán (5.8%) y Sinaloa (5.8%) (SIAP, 2022). Los estados de Jalisco, Veracruz y Oaxaca destacan tanto por su volumen de producción como por la superficie dedicada a la siembra de cultivos.

De acuerdo con estadísticas del SIAP (2022), para el año 2021 se tuvo un registro de 294 cultivos de riego y 219 de temporal en los 32 estados del país. Los principales cultivos sembrados en ese año fueron: maíz grano, que ocupó el 33.7% de la superficie agrícola, pastos y praderas con el 12.7%, frijol con el 7.8%, sorgo grano con el 7.5%, caña de azúcar con el 3.9% y café cereza con el 3.3%. Estos seis cultivos ocuparon el 68.9% de la superficie sembrada en México (SIAP, 2022). Cabe mencionar que en México existe una gran cantidad de superficie destinada al cultivo de especies vegetales para fines de alimentación animal, principalmente en el norte del país.

En ese sentido, el cambio en el volumen de la producción como el de la superficie sembrada ha sido distinto en los cultivos y entidades del país; como es el caso del sorgo, que disminuyó su superficie sembrada en 266,760 hectáreas y en 2.6 millones de toneladas su volumen de producción para el 2021 respecto al año 2010, año en el que se produjeron 6.9 millones de toneladas del grano y se sembraron 1.9 millones de hectáreas (SIACON, 2022). El objetivo del presente estudio es analizar los cambios en la producción y retos de los cultivos agave, café, mango y frijol en México, y se destaca el papel de los estados Chiapas, Guerrero y Oaxaca en su producción. Estos cultivos y estados son de especial interés para el proyecto denominado “Estrategias multidisciplinares 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, cabe enfatizar que los cuatro cultivos tienen gran importancia social y económica para el país, y en particular para los estados de la región.

Metodología

Para llevar a cabo el presente estudio se realizó una revisión de literatura sobre las tendencias y problemáticas de los cultivos agave (*Agave L.*), café (*Coffea arabica*), mango (*Mangifera indica*) y frijol (*Phaseolus vulgaris*), también, se obtuvieron datos relacionados con los cultivos del Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP) y su Sistema de Información Agroalimentaria de Consulta (SIACON) para el periodo 2000-2021. Posteriormente, se creó una base de datos por cultivo en hojas de cálculo del programa Microsoft Excel®. Las variables analizadas fueron: superficie sembrada (hectáreas), superficie cosechada (hectáreas), volumen de producción (toneladas), rendimiento (toneladas por hectárea) y valor de la producción (miles de pesos).

La Tasa de crecimiento media anual (TCMA) se utilizó para conocer los cambios en las variables productivas durante el periodo de análisis. Esta tasa se expresa en porcentaje y ayuda a explicar cuánto ha crecido o decrecido una variable en promedio entre dos fechas.

$$TCMA = ((Periodo\ final) / (Periodo\ inicial))^{(1/n)} - 1 * 100$$

TCMA: Tasa de crecimiento media anual

Periodo final: Valor del periodo final (año 2021)



Periodo base: Valor del periodo inicial (año 2000 o 2010)
n= número total de años durante el periodo

Para un mejor entendimiento de las tendencias de las variables productivas en los cultivos en México y estados fue conveniente realizar gráficas de líneas durante el periodo 2000-2021 para observar su evolución en el tiempo.

Resultados

Agave

México tiene una superficie sembrada con agave de 139,314.2 hectáreas, que representa el 0.6% de la superficie agrícola nacional, esta ha presentado una tendencia positiva con un crecimiento anual del 3.1% (SIAP, 2022). La mayor expansión de la superficie sembrada con el cultivo en el país se dio durante los años 2004 y 2011. El crecimiento de la industria del tequila y mezcal (43% anual) ha generado una elevada demanda de la materia prima, lo que ha ocasionado la expansión del agave y el cambio de uso de suelo en ciertas regiones (Altieri, 2009). Sin embargo, se debe mencionar que el crecimiento de la superficie con el cultivo entre otros aspectos está agudizando las diversas crisis socioambientales y agravando la degradación de recursos naturales como lo señala López (2022) en el estudio que realiza.

A diferencia de la superficie, el rendimiento del agave en México ha tenido una disminución del -1.0%, y en el 2021 el rendimiento promedio del cultivo en el país fue de 73.5 toneladas por hectárea (Figura 1). El agave se siembra principalmente en 18 estados del país, Jalisco es el principal productor y concentra el 54.0% del volumen de producción, seguido de Guanajuato (18.3%), Oaxaca (11.3%), Michoacán (5.2%), Nayarit (3.7%) y Guerrero (2.3%). Estos seis estados producen el 94.7% del cultivo en el país.

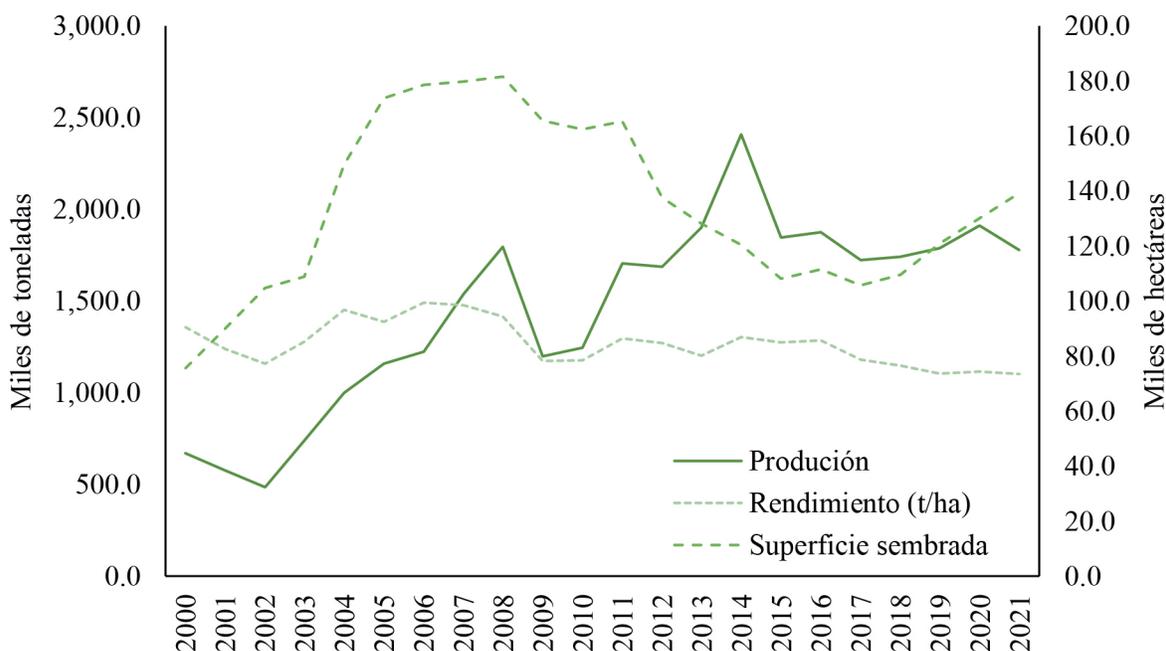


Figura 1. Producción, rendimiento y superficie sembrada con agave en México.

Fuente: Elaboración propia con datos de SIACON (2021).



La producción de agave en México para el año 2021 fue de 1.8 millones de toneladas y en los últimos 21 años ha presentado una tendencia positiva, con una tasa anual del 5.0% (Figura 1). En 2021, México exportó el 59.7% (315 millones de litros) de la producción obtenida de tequila (destilado del agave), esto permitió que las divisas obtenidas por su venta alcancen un nuevo récord de 3,216 millones de dólares americanos, y la bebida fue adquirida por más de 90 países, siendo Estados Unidos el principal mercado, sus compras representaron el 85.6% del volumen ofertado (SIAP, 2022b).

Al analizar el cambio en la producción de agave en México, en los últimos 21 años se observó un decremento de los rendimientos, por lo que el reto en los siguientes años sería incrementar la cantidad producida por hectárea, sobre todo en el estado de Oaxaca, uno de los principales estados productores y donde en el año 2021 se cosecharon 67.2 t/ha, 22 t/ha menos que en el estado de Jalisco. En los últimos 10 años, la producción de agave en Oaxaca ha disminuido un 5.6%, así como, la superficie sembrada y cosechada con el 3.1% y 6.5% anualmente, lo cual ha provocado una escasez de la materia prima para la elaboración del mezcal (Sánchez-Gómez *et al.*, 2022). En los estados de Jalisco y Guanajuato, primer y segundo productor de agave en el país, el cultivo ha crecido de forma positiva con el 3.2% y 13.3% anual respectivamente. Sin embargo, el cambio ha sido impulsado fundamentalmente por la superficie sembrada y no por los rendimientos.

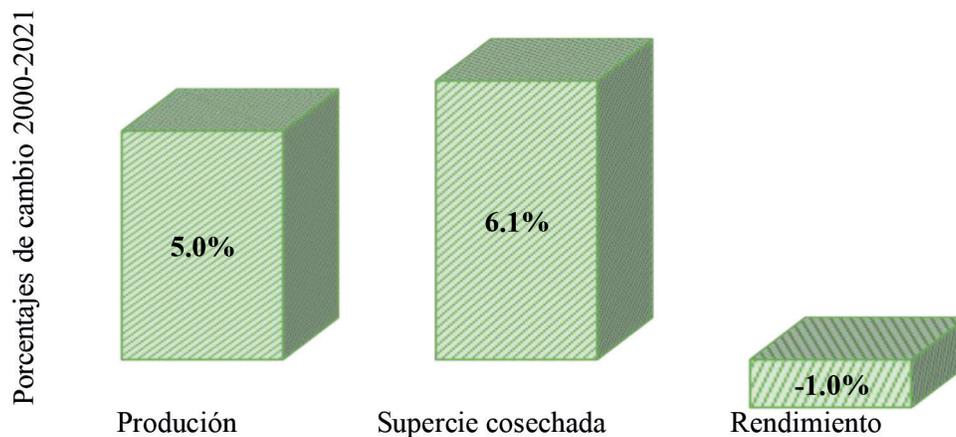


Figura 2. Porcentajes de cambio en las variables productivas del agave en México del 2000 al 2021. Fuente: Elaboración propia con datos de SIACON (2021).

El agave, igual que otros productos agroalimentarios como los berries o el aguacate, es un cultivo orientado principalmente al mercado exterior que reproduce cada vez más un modelo de producción bajo control corporativo transnacional (Luna Zamora, 2018; Tetreault *et al.*, 2021) y que trae pocos beneficios para los pequeños productores.

Café

A nivel mundial, México ocupó el lugar número doce en la producción de café con 947,092 toneladas en el año 2021, en ese año el país se situó en el octavo sitio de exportación del aromático con 109,379 toneladas exportadas (SIAP, 2022b). Durante el periodo 2000-2021 la producción de café en México mantuvo una tendencia negativa con una tasa del 3.3% anual, en el año 2000 se obtuvo una cantidad producida de 1.8 millones de toneladas, que significó el descenso de la producción en casi el 50% para el año 2021 (Figura



3). Esto debido a factores como las caídas en los precios internacionales de café, la vejez de los cafetales y el esparcimiento de la roya, que han repercutido en la producción y en su capacidad exportadora (CEDRSSA, 2018a). En los últimos cinco años la producción ha presentado una tendencia de recuperación, esto podría deberse en parte a las políticas públicas que se han generado para impulsar al sector. Por ejemplo, el Programa de Fomento Agrícola Componente PROCAFE e Impulso Productivo al Café, que busca el incremento de la productividad de las Unidades Económicas Rurales dedicadas al cultivo (Venegas Sandoval *et al.*, 2020).

A diferencia del cultivo de agave, la superficie sembrada con café ha disminuido en 62,553.3 hectáreas. A partir del año 2000 se observó una tendencia descendente en la superficie sembrada con una tasa del 0.4%, al igual que los rendimientos con una tasa del -2.8% anual, llegando a 1.48 t/ha para el año 2021. Sin embargo, el cultivo sigue representando la principal fuente de ingresos para un gran número de pequeños productores y ocupa 710,897.4 hectáreas, que significan el 3.3% de la superficie sembrada con cultivos en el país. La producción de café se concentra principalmente en los estados de la región centro – sur del país, tales como Chiapas (40.6 %), Veracruz (24.3 %), Puebla (15.8%), Oaxaca (9.1%), Guerrero (4.1%) e Hidalgo (3.1%). Estos seis estados concentran el 97% del volumen producido de café en el país.

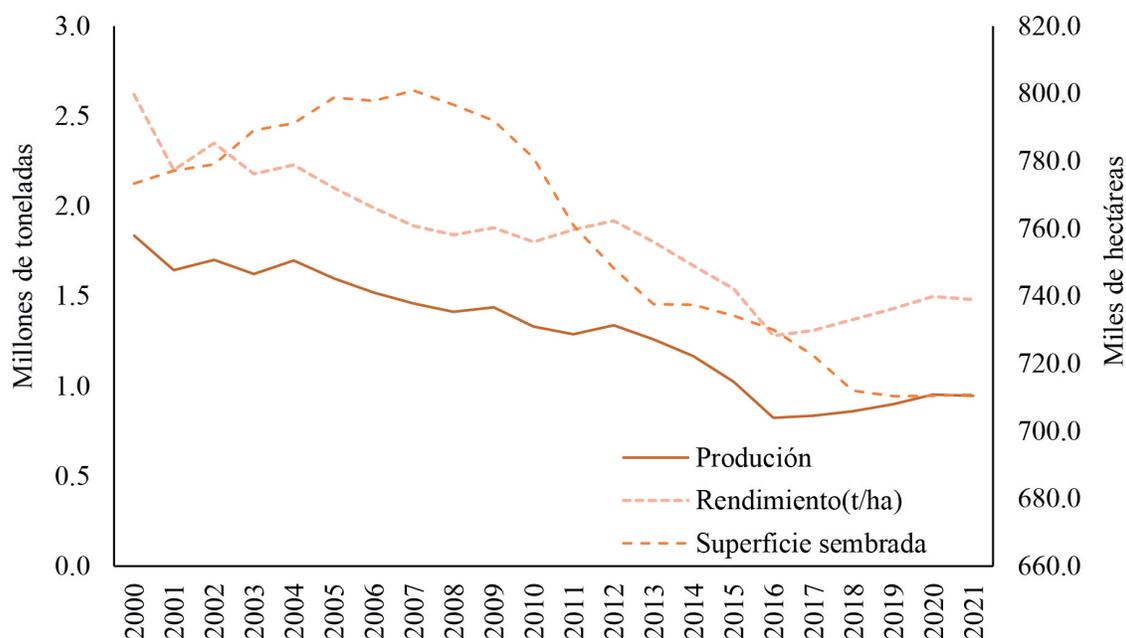


Figura 3. Producción, rendimiento y superficie sembrada con café en México.

Fuente: Elaboración propia con datos de SIACON (2021).

Con respecto al cultivo de café, se notó una reducción tanto en la superficie sembrada, cosechada, rendimiento y volumen de producción (Figura 4). El estado de Chiapas, principal productor de café del país, en los últimos 11 años ha disminuido su volumen de producción anualmente en 3.5% y su rendimiento en 2.9%, porcentajes similares a los nacionales. En el mismo periodo, Oaxaca y Veracruz también disminuyeron su producción de café con una tasa del 5.7% y 4.7% anual, debido a la disminución de la superficie sembrada y los rendimientos en el cultivo. Por lo que un desafío sería incrementar el área de cultivo y los rendimientos del café en los principales estados productores del país para aprovechar las tendencias de consumo a nivel internacional. Tan sólo en el 2020 se consumieron más de 9,537 millones de kilos de café en el planeta (un 94.6 % más que hace 35 años), y las previsiones apuntan a que el mercado consumidor se ampliará ante la urbanización y el aumento del nivel de vida en diversos países del mundo como en China e India (Rosas, 2020).

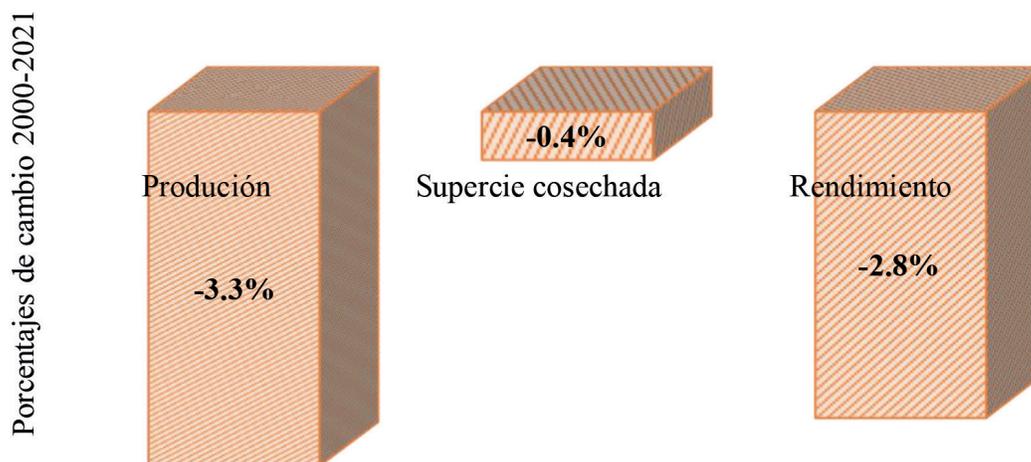


Figura 4. Porcentajes de cambio de las variables productivas del café en México del 2000 al 2021.

Fuente: Elaboración propia con datos de SIACON (2021).

Mango

En 2021 México se ubicó en la quinta posición como productor de mango a nivel mundial, con una producción de 2.2 millones de toneladas (Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural [SADER], 2022). El país es el principal exportador de mango, tan solo en el año 2020 exportó el 17.0% del volumen global (1.9 millones de toneladas), seguido por Tailandia. Por otro lado, entre los principales países importadores de mango se encuentran: Estados Unidos, Países Bajos y Alemania (FAOSTAT, 2022).

Durante el periodo de análisis, la producción de mango en el país presentó una tendencia positiva, con una tasa anual del 1.6% (Figura 5). El incremento de la producción del fruto se debe tanto al aumento de la superficie sembrada como de los rendimientos. Este crecimiento ha sido impulsado en parte por el mercado internacional que, de acuerdo a la FAO (2020), México se ha convertido en un importante proveedor de mangos en el mundo, y se prevé tenga un crecimiento del 4% anual durante el periodo 2020-2029, resultado de una mayor demanda de importaciones de este fruto por su principal mercado: los Estados Unidos de América. Sumado a esto, se pronostica un incremento entre el 2 y 3% anual en el consumo per cápita de mango y mangostanes en India y China, principales países consumidores de mango en el mundo (FAO, 2020; SADER, 2017).

México cuenta con 207,085.8 hectáreas sembradas con mango, que equivale al 1.0% de la superficie agrícola total, durante los años 2000- 2021 la superficie con el cultivo ha mantenido un incremento constante con una tasa del 1.4%. La producción de mango se localiza en 23 estados del país, pero siete aportan alrededor del 84.9% del volumen total: Sinaloa (19.6%), Guerrero (18.8%), Nayarit (15.5%), Chiapas (12.6%), Oaxaca (9.9%) y Michoacán (8.4%). En el 2021 los estados de Guerrero y Sonora presentaron el mayor rendimiento nacional promedio en el fruto con 16.0 y 17.3 ton/ha, respectivamente. El rendimiento promedio nacional ha mostrado un incremento de sólo 0.4% anual (Figura 5).

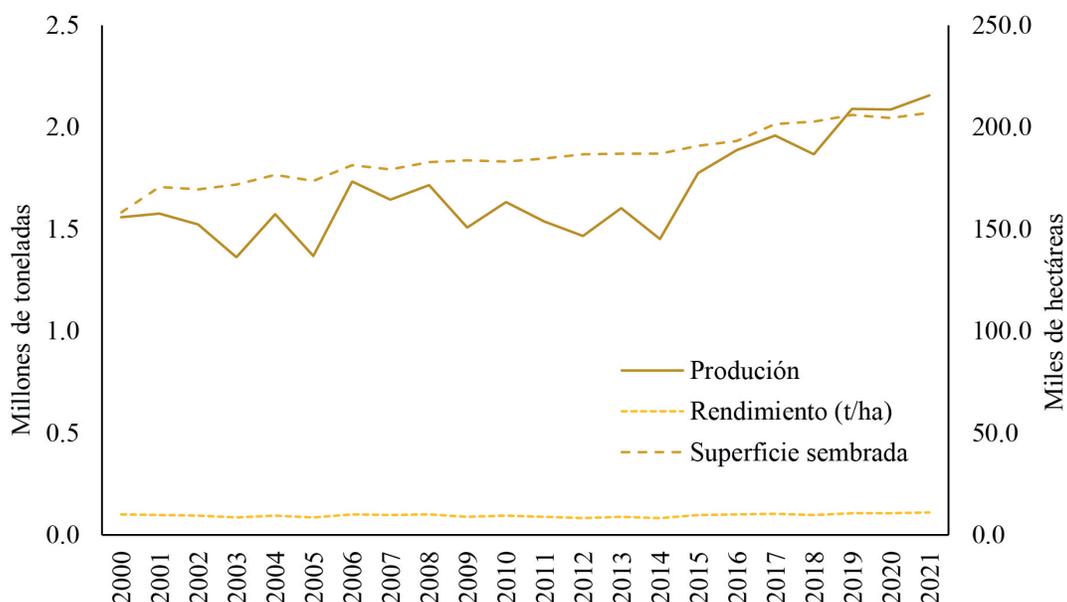


Figura 5. Producción, rendimiento y superficie sembrada con mango en México.
Fuente: Elaboración propia con datos de SIACON (2021).

En el periodo de estudio el cultivo de mango mostró un cambio positivo en la producción, superficie cosechada y rendimiento (Figura 6). La producción de mango en Sinaloa creció a una tasa de 7.3% anual, en Chiapas con el 4.0% anual, en Oaxaca con el 2.5%, seguidos de Nayarit y Guerrero con el 1.4% cada uno. Cabe precisar que en Sinaloa, Oaxaca y Guerrero el cambio ha sido impulsado por los rendimientos, a diferencia de Chiapas y Nayarit, donde este se ha dado principalmente por la expansión de la superficie sembrada con el cultivo.

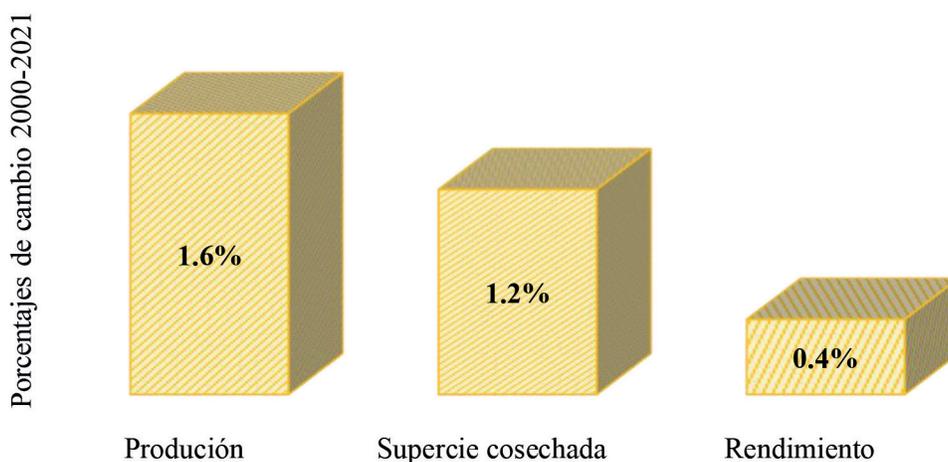


Figura 6. Porcentajes de cambio de las variables productivas del mango en México del 2000 al 2021. Fuente: Elaboración propia con datos de SIACON (2021).

México posee condiciones climáticas de tipo tropical y subtropical que le permiten cultivar el mango con éxito y calidad. Esto ha propiciado una balanza comercial positiva para el país, es decir, exporta más de lo que importa, y significa que tiene la capacidad de abastecer al mercado internacional.



Los índices de competitividad positivos del mango (balanza comercial relativa, índice de transabilidad, coeficiente de dependencia comercial, índice de grado de apertura exportadora y coeficiente de exportación) reflejan que el país es competitivo en el mercado internacional (Pat-Fernández *et al.*, 2017; Zavala, 2021).

Frijol

En el año 2021, México se posicionó como el sexto país productor de frijol a nivel mundial y aportó el 4.4% de la producción global, muy por debajo de India, que fue el principal productor en ese año, con un aporte del 21.1% (FAOSTAT, 2022). El cultivo de frijol en México ha mantenido una tendencia positiva con una tasa de crecimiento del 1.9% anual. En el año 2011 se obtuvo la menor cantidad producida con 567,779.2 toneladas, que significó alrededor de la mitad de lo que se obtuvo para el año 2021 que fue de 1.3 millones de toneladas (Figura 7). A nivel federal, con el propósito de incrementar la productividad del cultivo de frijol, se han implementado algunos programas gubernamentales como el Componente de apoyo a la cadena productiva de los productores de maíz y frijol (PROMAF), que es el antecedente del programa PIMAF. Este último está vigente hasta la fecha y se dirige principalmente a los estados Guerrero, Chiapas, Oaxaca, Veracruz y Puebla (CEDRSSA, 2018b).

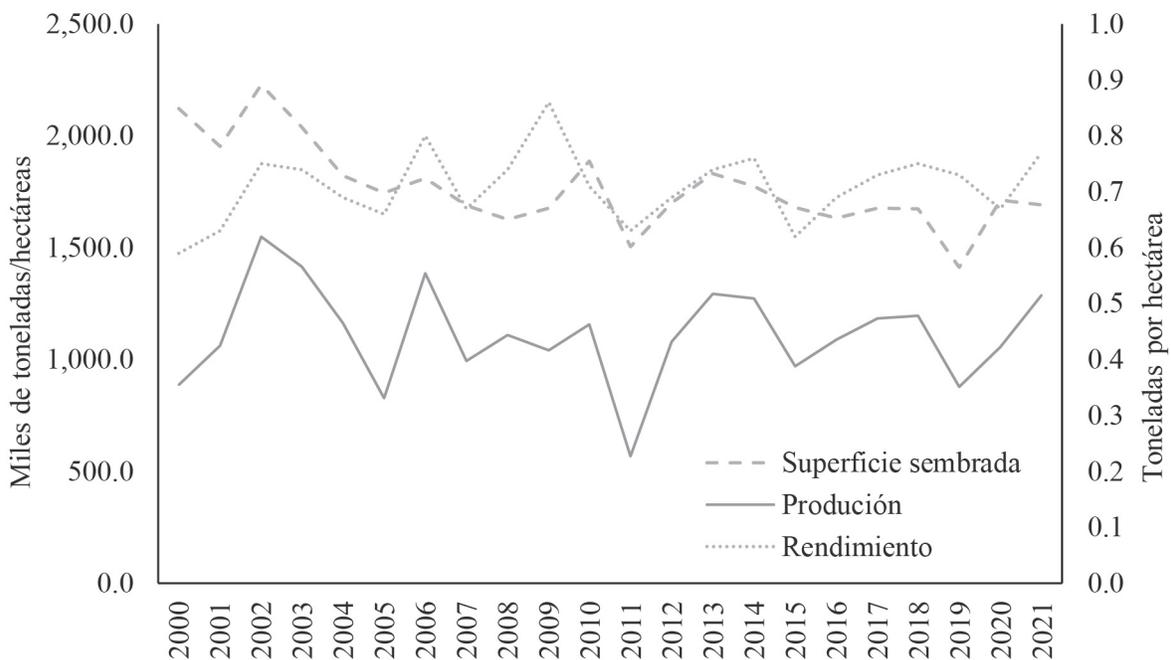


Figura 7. Producción, rendimiento y superficie sembrada con café en México.

Fuente: Elaboración propia con datos de SIACON (2021).

Al igual que en el cultivo de café, la superficie sembrada con frijol ha disminuido. En el año 2021 se contabilizaron 430,445.8 hectáreas menos que en el año 2000, cuando se tenían 2.1 millones de hectáreas. A pesar de que después del maíz es el cultivo con mayor superficie sembrada (7.8% del total) en el país, la superficie con frijol disminuyó a una tasa del 1.1% en el periodo 2000-2021, afortunadamente el crecimiento en el rendimiento del cultivo en el mismo período mostró una tendencia positiva, ya que creció a 1.3%, pasando de 0.59 t/ha en el año 2000 a 0.77 t/ha en 2021 (Figura 8). El cultivo frijol se siembra en todos los estados del país, pero seis aportan alrededor del 45.6%

del volumen producido en el país: Zacatecas (20.9%), Sinaloa (7.1%), Durango (5.7%), Chihuahua (4.8%), Nayarit (3.9%) y Chiapas (3.2%).

Por el contrario, de los anteriores cultivos, el cambio en la producción de frijol en el país ha sido impulsado por el incremento de los rendimientos más que la superficie sembrada. El estado de Zacatecas, principal productor de esta leguminosa, en los últimos 11 años presentó una tasa de crecimiento del 5.5% anual en su volumen de producción, debido al incremento tanto de la superficie como de los rendimientos. A pesar de que Guerrero no figura como uno de los principales estados productores de frijol, tuvo una tasa de crecimiento del 3.4% anual. En cuanto a la superficie cosechada con el cultivo, se observó un incremento a nivel nacional, pero estados como Sinaloa (con el -5.0% anual) y Oaxaca (con el -2.4% anual) han tenido una disminución en su superficie sembrada de frijol.

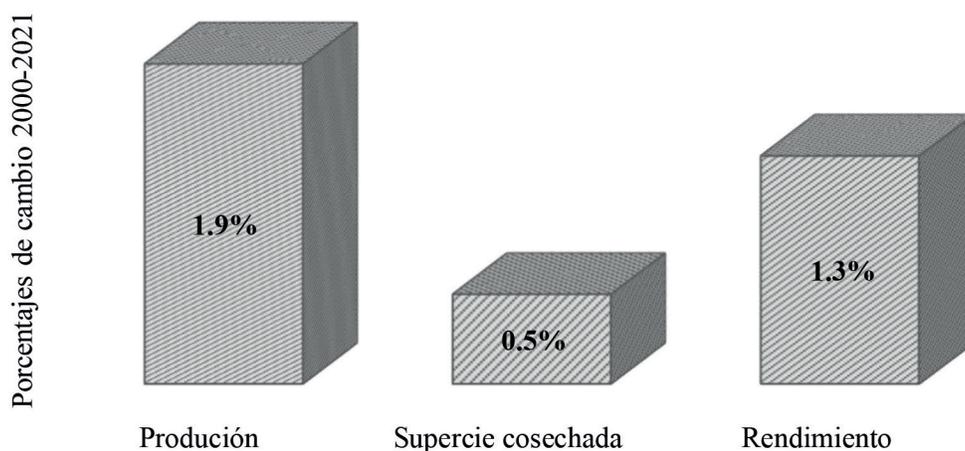


Figura 8. Porcentajes de cambio en las variables productivas del frijol en México del 2000 al 2021. Fuente: Elaboración propia con datos de SIACON (2021).

En los tres años anteriores al 2021, el volumen de cosecha de frijol en México se incrementó, pero este no fue suficiente para cubrir la demanda interna, lo que motivó en un 48.1% las importaciones de esta leguminosa. En los dos primeros trimestres del 2021 se incrementó la compra de frijol en el exterior, principalmente de Estados Unidos de América, cuyas compras fueron superiores a 34, 174 toneladas respecto al 2020, donde se destacó la variedad “pinto”. Esto significó para el periodo 2020-2021 un saldo comercial negativo, donde se importaron 181, 575 toneladas de frijol, y se exportaron 48, 691 toneladas (SIAP, 2022), lo cual señala la necesidad de incrementar la producción de frijol, con el fin de cubrir el déficit en el mercado interno y disminuir así las importaciones. De hecho, para el año 2030 se estima que la producción potencial de frijol en el país se incremente a 2.38 millones (SADER, 2017), lo que generaría un superávit en los próximos años.

Conclusiones

El presente estudio brinda un panorama general de las diferentes tendencias y retos en la producción de los cultivos agave, café, mango y frijol. Durante el periodo de análisis (2000-2021) el cultivo agave fue el que presentó el mayor cambio en cuanto a producción, superficie cosechada y rendimiento, mismo que fue positivo. Sin embargo, como se hizo notar en el caso particular del estado de Oaxaca, la superficie y producción tienen una tendencia a disminuir, lo que representa una amenaza para la industria del mezcal. A diferencia, el cultivo mango mostró tendencias positivas en sus variables



productivas en Chiapas, Oaxaca y Guerrero, en tres de los siete principales estados productores del fruto. En Chiapas se observó que el cultivo se encuentra en una fase expansiva debido al incremento de la superficie sembrada, así también, este fruto ha posicionado a México como el principal exportador en el mundo, lo que ha permitido la entrada de divisas y generado una derrama económica para el país.

Pese a que el cultivo frijol mostró una tendencia positiva en el país durante el periodo de estudio, el incremento tanto de los rendimientos como de la producción no ha sido suficiente para abastecer la demanda interna, por lo que se requiere impulsar la productividad, esencialmente en estados que muestran un alto dinamismo de crecimiento como Guerrero. Por su parte, el cultivo de café, presentó una tendencia negativa en sus variables productivas en el país y en los últimos cinco años una ligera recuperación, similar al estado de Chiapas -el principal productor de café-, por lo que es necesario prestar particular atención al estado y establecer políticas públicas encaminadas al fortalecimiento del cultivo.

A pesar de los avances que se han logrado en los cultivos analizados en los últimos años, es inminente la necesidad de seguir impulsando la productividad en los sistemas de producción. Esto a partir de conocer las dinámicas y retos de los cultivos en su entorno nacional e internacional, así como la construcción y diseño de políticas públicas efectivas que promuevan e incentiven la mejora de las variables productivas según las condiciones particulares de los distintos territorios.

En futuros estudios es conveniente analizar la dinámica de sustitución de los cultivos en los estados, debido a que esto podría ser una de las causas que expliquen la disminución de la superficie sembrada y producción de algunos de ellos, como lo es el caso del café en el estado de Chiapas. Por otro lado, también se requieren propuestas de estrategias y políticas públicas orientadas a una planeación de la producción agrícola en función de disminuir importaciones de los productos alimenticios o que contribuyan a la economía y alimentación local.

Agradecimiento

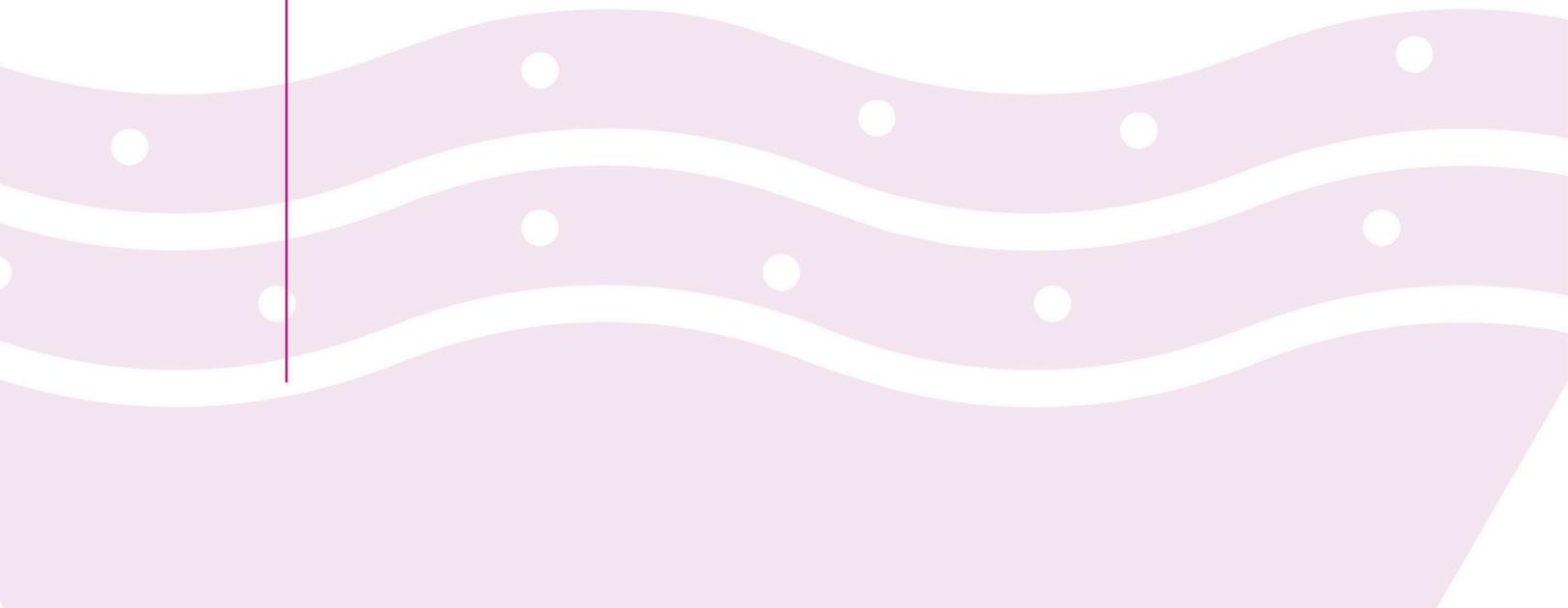
Al Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías (CONAHCYT) y al Fondo Institucional para el Desarrollo Científico, Tecnológico y de Innovación por el financiamiento otorgado al Proyecto “Estrategias multidisciplinarias para incrementar el valor agregado de las cadenas productivas del café, frijol, mango, agave mezcalero y productos acuícolas (tilapia) en la región Pacífico sur a través de la ciencia, la tecnología y la innovación”, proyecto marco en el que se realiza la presente investigación.

Referencias

- Altieri, M. (2009). Green deserts: Monocultures and their impacts on biodiversity. En M. S. Emanuelli, J. Jonsén y S. Monsalve Suárez (eds.). *Red Sugar, Green Deserts. Latin American report on monocultures and violations of the human rights to adequate food and housing, to water, to land and to territory* (pp. 67-76). Jodi Grahl.
- Centro de Estudios para el Desarrollo Rural Sustentable y la Soberanía Alimentaria. (2018a). *El café en México: diagnóstico y perspectiva*. <http://www.cedrssa.gob.mx/files/10/30El%20caf%C3%A9%20en%20M%C3%A9xico:%20diagn%C3%B3stico%20y%20perspectiva.pdf>
- Centro de Estudios para el Desarrollo Rural Sustentable y la Soberanía Alimentaria. (2018b). *Reporte: “Evolución del PIMAF”*. <http://www.cedrssa.gob.mx/files/10/32Evoluci%C3%B3n%20del%20PIMAF.pdf>



- FAOSTAT. (2022). *Comercio de cultivos y productos de ganadería, exportaciones*. <https://www.fao.org/faostat/es/#data/QCL>
- López, C. F. L. (2022). Los destilados de agave en México: una exploración desde la economía ecológica radical. *Revista Iberoamericana de Economía Ecológica*, 35(3), 21-38.
- Luna Zamora, R. (2018). *Tequilandia. Un acercamiento a la bioeconomía del tequila y del mezcal*. Universidad de Guadalajara. https://www.academia.edu/41256111/Tequilandia_Un_acercamiento_a_la_bioeconom%C3%ADa_del_tequila_y_del_mezcal
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2020). *Análisis del mercado de las principales frutas tropicales. Panorama general de febrero de 2020*. <https://www.fao.org/3/ca9213es/ca9213es.pdf>
- Pat-Fernández, V. G., Caamal-Cauich, I., & Caamal- Pat, Z. H. (2017). Comportamiento y competitividad del mango de México en el mercado mundial. En F. Pérez, E. Figueroa, L. Godínez, R. Salazar (eds). *Ciencias Sociales: Economía y humanidades* (pp. 77-92). ECORFAN.
- Rosas, M. C. (2020). *El café en el mundo del siglo XXI: los retos para México. Economía, Comercio y Finanzas*. GLOBALITIKA.
- Sánchez-Gómez, J., Pardo-Núñez, J., Cuevas-Reyes, V., & Romero-Romero, Y. (2022). Characteristics and socio-productive problems of women mezcal producers in Oaxaca, Mexico. *AgroProductividad*, 15(3), 83-90. <https://doi.org/10.32854/agrop.v15i3.213>
- Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. (2017). *Planeación Agrícola Nacional 2017-2030*. <https://www.gob.mx/agricultura/documentos/planeacion-agricola-nacional-2017-2030?state=published>
- Sistema de Información Agroalimentaria de Consulta. (2022). *Agrícola Estatal 2000-2021*. <https://www.gob.mx/siap/documentos/siacon-ng-161430>
- Sistema de Información Agroalimentaria y Pesquera. (2022). *Anuario Estadístico de la Producción Agrícola 2000-2021*. <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola>
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. (2022b). *Panorama agroalimentario 2022*. <https://drive.google.com/file/d/1jVWS4EFKK7HGwQOBpGeljUyaDT8X8Iyz/view>
- Tetreault, D., McCulligh, C., & Lucio, C. (2021). Distilling agro-extractivism: Agave and tequila production in Mexico. *Journal of Agrarian Change*, 21(2), 219-241. <https://doi.org/10.1111/joac.12402>
- Zavala, J. M. (2021). *Análisis de las variables y de los indicadores de competitividad del mango mexicano en el mercado mundial* [Tesis de maestría]. Universidad Autónoma Chapingo, Chapingo, Estado de México, México.
- Venegas Sandoval, A., Soto Pinto, L., Balente Herrera O., & Álvarez Gordillo, G. (2020). Transformaciones de la caficultura en Chiapas: un análisis de las crisis desde la perspectiva del ciclo de renovación adaptativa. *Sociedad y ambiente*, 23, 1-31. <https://doi.org/10.31840/sya.vi23.2188>





VOCES Y DIÁLOGOS DIVERGENTES





La lucha contra el glifosato y el intento de una transformación en el sistema alimentario mexicano nos costó un secretario. Entrevista con Cecilia Elizondo

María de Lourdes Flores López¹ y Gisela Valdés Padilla²

En meses pasados, nos contactamos con la Dra. Cecilia Elizondo para llevar a cabo una entrevista en el marco del proyecto CONAHCYT de Ciencia Básica y de Frontera “Prospección sobre la reconfiguración de los sistemas alimentarios a partir de soberanía, derecho humano y justicia alimentaria fortalecida por una política alimentaria fundamentada en justicia social³”. En el cual entrevistamos a diferentes actores sociales para dialogar y plantear posibilidades de un futuro alimentario justo, sano y sostenible, puntualizando las modificaciones sustantivas en la política alimentaria prospectando cambiar el paradigma del modelo de producción, transformación y consumo alimentario actual.

La doctora Elizondo ha ejercido diferentes cargos que tienen que ver con la agroecología, los recursos naturales y ha tenido un papel relevante en la conformación del primer Grupo Intersectorial que busca vincularse con organismo internacionales y organizaciones civiles para definir políticas públicas para establecer un sistema agroalimentario justo, sano y sustentable. La entrevista ha sido editada para facilitar la lectura.

Cecilia Elizondo es de nacionalidad argentina, pero hace más de veinte años que llegó a México para estudiar la maestría en El Colegio de la Frontera Sur (ECOSUR), en el 2000. En el año 2002 fue contratada por ECOSUR, en donde ha ejercido diversos cargos; en el 2019 fue convocada para ser secretaria técnica del Grupo Intersectorial de Salud, Agricultura, Medio Ambiente y Competitividad (GISAMAC).

Trabajo interinstitucionalmente para la implementación de política pública: La GISAMAC

En el 2019 tuve la oportunidad y la suerte de que Víctor Toledo me contratara para ser su coordinadora de asesores e iniciamos varias acciones al incorporarnos al Grupo Intersectorial de Salud, Alimentación, Medio Ambiente y Competitividad (GISAMAC), del que forman parte 11 dependencias, en este marco fue que

¹ Entrevista realizada por las Dra. María de Lourdes Flores López, Catedrática CONAHCYT-CIATEJ. Correo electrónico lflores@ciatej.mx

² Dra. Gisela Valdés Padilla, Investigadora asociada- CIATEJ.

³ Proyecto financiado por el programa de Ciencia básica y Frontera, paradigmas de la ciencia del CONAHCYT No. 319222.



contribuí a elaborar el programa interinstitucional que no lo logramos publicar por la renuncia de Toledo, lamentablemente por el tema del glifosato. La lucha contra el glifosato y la lucha de intentar una transformación en el sistema alimentario mexicano nos costó un secretario, eso es importante rescatarlo y no olvidarlo. La prohibición del glifosato utilizando el principio precautorio no es gratis.

A partir de la evidencia actual, el presidente de la República se convence de la necesidad de generar el Decreto que plantea la disminución gradual del uso del glifosato, así como su prohibición al 2024, junto con el uso del maíz transgénico, que son claves para esta transformación del sistema alimentario mexicano. Demostrar que realmente México tiene esta intención como prioritaria derivada desde el máximo nivel de autoridad política que se tiene en el país: la presidencia de la nación, para lograr la prohibición del uso del maíz transgénico al 2024. Pero la realidad es que en esa prohibición tenemos un desafío muy grande; porque quien venga en el 2024 puede tirar el Decreto. Es por ello que desde el Frente Parlamentario Contra el Hambre se está intentando hacer una propuesta de Ley, al menos ya quedó incluida en la modificación de la Ley General de Salud. Queremos hacer hincapié en que por Ley quede prohibido no sólo el uso del glifosato, sino otros pesticidas altamente tóxicos. Eso es una base importante.

La única forma de avanzar desde la política pública, y que muy poca gente conoce, es trabajar interinstitucionalmente, este gobierno lo ha hecho durante estos cuatro años. Sin embargo, como habrás escuchado, dentro del mismo gobierno existe gente que se opone y la agroindustria se enfrenta de una forma muy agresiva. Para que se den una idea, en el 2015, cuenta la leyenda, que cuando intentaron eliminar el glifosato en Europa y se planteó no renovarles el permiso en la Unión Europea, la agroindustria proporcionó mil millones de euros a los parlamentarios europeos para que les renovaran el permiso por 15 años. Se los renovaron por 7 años y crearon una comisión para que determinara si realmente el glifosato era dañino para la salud humana; y como decía Napoleón, que fue retomado por varios políticos: “si quieres que algo no se resuelva, arma una comisión”. Siete años después terminan concluyendo que el glifosato no es malo, siempre y cuando se utilice como dice la etiqueta, que es lo que dice Monsanto cuando se defiende ¿no? En Europa existe un revuelo, varios países -como Alemania- que al 2023 lo quieren eliminar, pero tampoco ha sido aceptado unánimemente, yo creo no le va a ser tan fácil a Monsanto y Bayer el poder sostenerlo mucho más en Europa.

Hugo López-Gatell, Ruy López-Ridaura y Víctor Suárez Carrera, entre otros, fueron los diseñadores de la GISAMAC. Teníamos un espacio en la vespertina para ir mostrando lo que era el grupo intersectorial, desde el CONAHCYT y la Secretaría de Agricultura, pero llegó la pandemia y todo fue distinto, no pudimos seguir con la fuerza que veníamos avanzando, pero yo sí creo que lo vamos a lograr. Estamos trabajando para poder presentarle al candidato futuro, del partido que sea, la necesidad de que este trabajo interinstitucional continúe para lograr el cambio. En ese momento podremos saber, en términos de las facilidades o no de trabajar con ellos, si están comprados por la agroindustria y los intereses internacionales.

Este grupo intersectorial, la GISAMAC, fue consciente en su participación a principios del 2019 en posicionar que la única forma de transformar el sistema alimentario y combatir esta epidemia de sobrepeso y obesidad que tenemos en México no era sólo desde la Secretaría de Salud con la estrategia de alimentación saludable. Si recordamos sus campañas en televisión el mensaje en realidad era: “tú eres el responsable de lo que comes, el gobierno no tiene ninguna responsabilidad”, pero el aumento de la obesidad está relacionado con el aumento del consumo de ultraprocesados y bebidas azucaradas. Entonces, el tema es que en el 2019 la GISAMAC decide trabajar en conjunto porque no puede la Secretaría de Salud trabajar sola e impulsar una transformación del sistema alimentario para que sea saludable cuando no existe una Secretaría de Agricultura decidida a impulsar lo mismo: a eliminar agroquímicos altamente tóxicos y dejar de entregar glifosato para la producción en el campo. Tampoco es lo mismo si SEMARNAT no es capaz de usar el principio precautorio, como lo hizo Toledo, como un acto de valentía enorme poniendo todo sobre la mesa



para prohibirlo, tirándose contra las grandes agroindustrias. De allí la necesidad de trabajar juntos en coordinación con todas las Secretarías.

El papel del Estado en el sistema alimentario mexicano

El tema referente al consumo se planteaba que tú como consumidor eres el responsable absoluto de lo que te llevas a tu boca, porque en algún momento Profeco sacó este eslogan y nosotros no estábamos de acuerdo con esto. Si eres responsable, pero el Estado es responsable de lo que pone a tu disposición. Si yo no te pongo alimentos sanos a un precio que los puedas consumir, obviamente que la persona va a terminar comiendo comida chatarra. Como gobierno somos responsables de lo que está a disposición de la gente y como gobierno somos responsables de que la gente que está produciendo alimentos y la población en general pueda comer mejor.

A pesar de no tener el programa especial de la GISAMAC oficialmente publicado, y de no tener un convenio de trabajo, las acciones se siguen desarrollando en conjunto. De esa forma se demuestra que algo puede funcionar sin que haya una institucionalidad, de la misma manera que cuando la institucionalidad existe a veces no funciona. Por ejemplo, la Ley de Desarrollo Rural Sustentable (LDRS) existe, por Ley está establecido que deben de tener el programa especial concurrente de desarrollo rural sustentable y que debe de ser intersecretarial, existe hace más de 20 años. Sin embargo, el programa especial concurrente no ha operado como se esperaría, no ha habido un verdadero trabajo interinstitucional, sólo acciones puntuales en municipios o por sistemas producto, es decir, ha funcionado a medias.

En 2020 se publicó un programa especial, casi al mismo tiempo que se diseñaba el programa especial de GISAMAC, pero para el diseño de este último, al no tener una ley que lo estableciera, se requirió, como solicita la Ley General de Planeación, una solicitud del presidente sobre la necesidad del programa. Se gestionó y gracias a la orden presidencial para diseñarlo se procedió a trabajarlo. Cuando sale un programa especial de una ley todo es mucho más fácil, hasta tienen presupuesto, pero el de la LDRS jamás funcionó durante los últimos 15 años y no han trabajaron en conjunto con las instituciones. Entonces podríamos inferir que las políticas públicas funcionan por las relaciones de las personas, porque hasta en el ámbito de las políticas internacionales las relaciones personales tienen mucho que ver para que las cosas funcionen.

En Producción para el Bienestar (programa gubernamental de orden federal) yo misma fui a parcelas, desde el norte hasta el sur en los estados de Campeche, Sinaloa, Quintana Roo, Yucatán, Chiapas y en el centro del país. Realmente las cosas están funcionando desde la perspectiva del productor y desde la perspectiva del mismo técnico agropecuario. Existe, como todo, los técnicos que no funcionan, los campesinos que no realizan las actividades como deberían, pero sí existe un sistema de seguimiento importante. El programa se está enfocando, tanto la Secretaría de Agricultura como la Secretaría de Bienestar con Sembrando Vida, a que los productores puedan estar organizados, siempre y cuando quieran organizarse, porque se respeta que los productores avancen a donde ellos quieran avanzar, no se les está obligando a algo en particular.

Desafíos en el uso de agroquímicos

Pero se quiere lograr que, aunque el programa termine en dos años y si el gobierno que viene les da todos los agroquímicos gratis, el productor esté consciente y le pueda decir no. Yo hice esta pregunta en mis entrevistas: si viene el próximo gobierno y te da todo gratis de nuevo teniendo en cuenta que es menos chamba para ti, ¿qué harías? y varios se han quedado pensando qué harían. Los que la tienen clarísimo son los productores del norte, los grandes productores de 500 hectáreas de maíz, de soya no

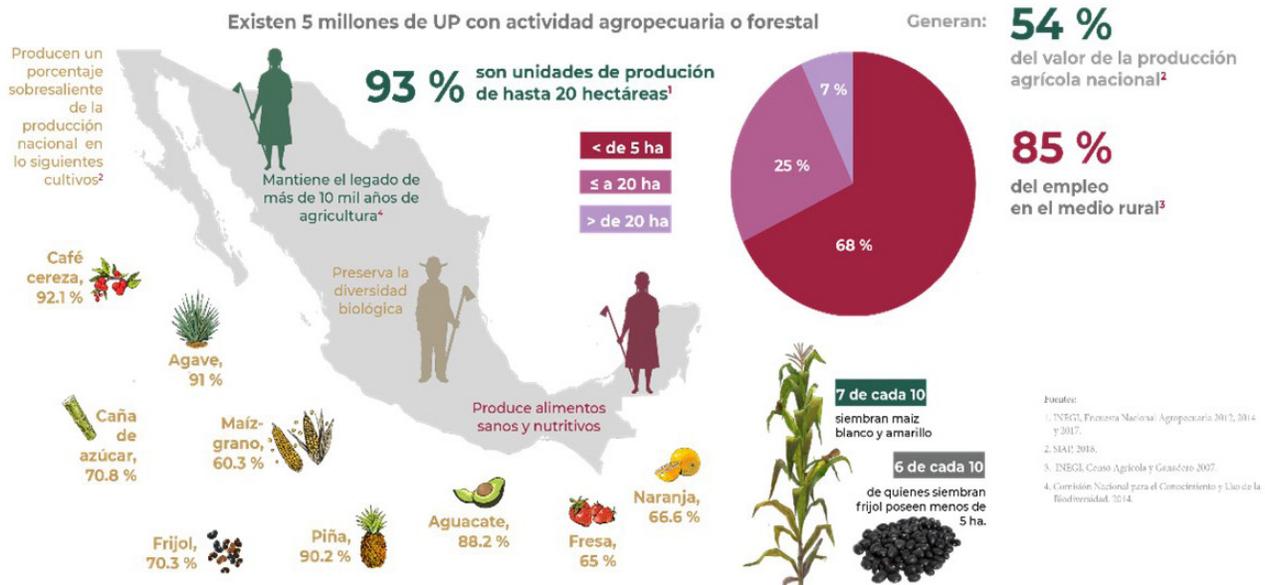


transgénica, que no están usando agroquímicos, ellos dicen: “No, jamás volvería usar agroquímicos porque a los siete días de aplicar químicos terminábamos en el hospital. Nosotros tenemos muy claro que no volveríamos a usar químicos”. Otros de Texcoco nos dicen que el mismo sabor del producto cosechado cambia, y la mejor frase fue de un productor: “Comer verdura producida con químicos es como comer en blanco y negro, y comer verdura producida sin químicos es como comer con los colores del arcoíris, por la explosión de sabores, comparado con la cantidad de colores que el arcoíris tiene”.

México es ya un ejemplo mundial de que las cosas sí se pueden hacer de manera diferente, obviamente lo ideal es que este esfuerzo pudiera continuar uno o dos sexenios más para que se fortaleciera de base, ese es el gran desafío porque no sabes qué va a pasar. Estamos tratando, desde las altas esferas, de resolver las compras públicas tanto desde los hospitales, desde el ejército y las escuelas para comprarle directamente a los productores de Producción para el Bienestar y Sembrando Vida. Existen muchos productos que generan los pequeños y medianos productores: la papaya, el café, el limón, el aguacate, el maíz. Pero hay muchas barreras burocráticas que romper.

Se desarrolló una lámina (figura 1) de lo que es producido por el pequeño y mediano productor con una cantidad pequeña de tierra, con muy pocos recursos de riego. Al contrario, la agroindustria produce prácticamente para consumo animal con 75 más de territorio que abarcan para producir eso, con mucho más consumo de agua y recursos como el suelo, sumando a la contaminación del agua y a la extinción de bosques. Realmente no existe otra salida, tenemos que transformar el sistema alimentario y no seguir en el pensamiento de la producción a gran escala. Es mentira que si no se produce a gran escala nos vamos a morir de hambre, entonces las guerras son muchas y muy difíciles porque la agroindustria quiere seguir teniendo grandes ganancias con un alto costo ambiental.

IMPORTANCIA DE LA PRODUCCIÓN CAMPESINA PARA LA SOBERANÍA ALIMENTARIA





Desafíos en la implementación de políticas alimentarias

No tengo respuestas para cuál es la mejor manera de que la implementación de la política pública puede funcionar. ¿Cómo lograr esto? Es el gran desafío, no depender de la buena voluntad de algunas personas, porque la idea es que las cosas se siguieran haciendo. En el tema de salud, si nos fuéramos a lo que se está haciendo en el Instituto de Salud Pública: la campaña de Vida Saludable en las escuelas y el etiquetado frontal; la política nacional impulsada por el presidente que se comprometió a eliminar los transgénicos; impulsar la Agroecología y a partir de ahí muchas Secretarías se alinearon a trabajar en ello, se está haciendo esta Estrategia de Alimentación Saludable, Justa y Sustentable. En esto se puede incluir que está la propuesta de modificación de la Ley de Salud, de las guías alimentarias, del plato del buen comer, todo esto forma parte de una misma estrategia que durante estos cuatro años se estuvo implementando, y se sigue haciendo. Pero ¿cómo lograr lo mismo a futuro, desde el diseño e implementación de políticas públicas? Esta es una gran pregunta. En la Secretaría de Hacienda nos dijeron algo muy importante, que éramos los únicos que habíamos entendido lo que realmente significaba hacer un programa intersectorial y que a futuro no deberían hacerse programas sectoriales, deberían ser todos los programas intersectoriales en función de un tema principal que debemos atender, eso es el sueño.

Aquí en ECOSUR tenemos un estudio de unas mujeres que hacen sus tortillas a mano con su maíz sin químicos y las venden en el mercado, esas mujeres con ese dinero se compran tortillas en la tortillería de Maseca, y al preguntarles se relaciona a una cuestión de estatus, de tener dinero y comprar en la tortillería ¿cómo cambiar eso? Yo insisto que a través de los niños y niñas. Por eso, en la campaña de Vida Saludable que se da en todos los niveles, los docentes son capacitados para que la campaña de Vida Saludable sea transversal. Entre las acciones está el revisar mochilas y eliminar comida chatarra que los niños llevan y explicarles el por qué. Y luego esos niños y niñas llegan a la casa y dicen: “no comas eso porque tiene mucha sal”. Ya lo dijo Rodolfo del municipio del Limón (Primer Municipio Agroecológico del País), los niños son los que les dicen a sus papás no uses ese químico que es veneno.

Se está logrando que en las escuelas se revisen las mochilas y esta parte de cómo educar al consumidor, no podemos sólo prohibir, yo misma como comida chatarra. A un niño cómo le explicas el significado y la importancia del etiquetado. El Instituto de Salud Pública tiene el objetivo de ver cómo debemos de dar este mensaje a los niños, cómo les explicamos desde la escuela, cómo implementamos en las asignaturas, cómo hacemos que el niño comprenda y que revise el etiquetado. Una de mis alumnas de maestría está realizando una investigación sobre ese tema.

La comercialización y regulación de precios

En cuanto a la regulación de precios, existen los precios de garantía de granos básicos (maíz, frijol, arroz, trigo) y leche, justamente porque se les paga un precio seguro, pero se ha logrado que, gracias a este precio de garantía, los productores no le vendan al gobierno federal, porque a los productores les están pagando arriba de este precio. Es el precio de garantía que “garantiza” que el productor pueda vender a buen precio su producto. Sin embargo, el tema de regulación de precio sería bien conflictivo porque estarías interviniendo en el libre mercado que nos sigue dominando, probablemente nos acusarían de impulsar una política comunista.

Los precios son algo de lo que deberíamos tener mayor control. Precios a tope, pero todo eso debería tener un mismo objetivo: transformar el sistema alimentario. No lo puedes transformar sólo desde la producción o desde regular los productos industrializados. Una de las cosas que se están trabajando a nivel internacional y que México ha llevado a la mesa dentro del Consejo de Seguridad Alimentaria Mundial es generar una norma internacional, como el Convenio Marco de Regulación del Tabaco tardó



más de 10 años en implementarse. Necesitamos regular los ultraprocesados y agroquímicos, eso tiene que venir desde el ámbito internacional. Así como fue con la lucha contra el tabaco, una lucha desde los años 50 cuando la comunidad médica empezó a reunir pruebas de que fumar causa enfermedades graves, en particular cáncer. México firmó el convenio en 2004, pero tardó 15 años en aplicar leyes para su regulación; hoy ya no se fuma en los aviones, ni en los lugares cerrados. Se logró gracias a la norma internacional, porque todos los países tienen que cumplir y generar sus propias normas. Por eso sabemos que no es fácil transformar, pero sí se puede lograr si regulas a las transnacionales.

Algunas propuestas a modo de conclusión

Lo ideal será tener esa norma internacional vinculante que regule a los productos industrializados, cosa que es muy difícil porque a mí me ha tocado estar en las mesas de negociación de agroecología y la agroindustria tiene su pata metida en los países que representan sus intereses, ahí está Estados Unidos, Argentina, Brasil y Australia oponiéndose a todo lo que tiene que ver con agroecología y oponiéndose a lo que tiene que ver con la prohibición de agroquímicos. El problema es que todas las decisiones del Consejo de Seguridad Alimentaria de las Naciones Unidas (CSANU) son en consenso. Si un país no está de acuerdo, y Estados Unidos nunca está de acuerdo, entonces no se logra nada, o se ponen palabras como en lo posible, preferentemente, de acuerdo a las posibilidades, pero bueno, seguimos poniendo nuestro granito de arena y seguimos luchando.

Hicimos una propuesta en febrero para que quede establecido que en el Plan Plurianual 2024-2027 del CSANU un Grupo de composición abierta trabaje esta propuesta para transformar los sistemas alimentarios, mínimo debe contener los siguientes puntos: disminución gradual hasta la eliminación del uso de agroquímicos altamente tóxicos; implementación de etiquetados frontales de advertencia en ultra procesados; cumplimiento del código de comercialización de sucedáneos de leche materna y el impulso a la producción agroecológica y otros enfoque afines. Si logramos que quede en el Plan, México habrá dado el puntapié inicial de un cambio radical en la forma en la que producimos y consumimos alimentos.

