ENFOQUES
TRANSDISCIPLINARIOS:
CIENCIA Y SOCIEDAD

CONAHCYT
CONSEJO NACIONAL DE HUMANIDADES
CIENCIAS Y TECNOLOGÍAS

CIATEJ

CIENCIA Y SOCIEDAD

ENFOQUES TRANSDISCIPLINARIOS: CIENCIA Y SOCIEDAD

Enfoques Transdisicplinarios: Ciencia y Sociedad, volumen 2, no. 1, enero – junio 2024 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: revistaenfoques@ciatej.mx. Editores responsables Dr. Luis Alfonso Mojica Contreras y Dr. Gustavo Adolfo Castillo Herrera. Reserva de derechos al Uso Exclusivo en trámite No.: 04-2024-053011485500-102, ISSN: 3061-709X; 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
EDITORAS
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. Élida 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
mpsdavids@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
dieluna@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. José Enrique Rentería Méndez
Lic. Jesús Fuentes González
Ilustración de portada y maquetación
Lic. Nayeli Citlalli Vallarta Díaz
Lic. José Enrique Rentería Méndez

CONTENIDO

7 **Carta editorial**

Desarrollo y procesos científicos y tecnológicos

13 **Origen florar de mieles de primavera del estado de Jalisco**
Diego M. Cortez-Valladolid, Ana Patricia del Castillo-Batista, José Octavio Macías-Macías, Francisca Contreras-Escareño y Claudia Alvarado

31 **Análisis *in silico* del agonismo de ácidos hidroxicinámicos al Receptor Gamma Activado por Proliferador de Peroxisomas**
Luis Francisco García-Manríquez, Juan Carlos Mateos-Díaz y Hugo Esquivel-Solis

Alimentación, salud y medioambiente

43 **Panorama del cáncer de colon en México**
Sarah Eliuth Ochoa-Hugo, Karla Valdivia-Aviña, Alfredo Pineda-Medina y Rodolfo Hernández-Gutiérrez

59 **GAS6 y FGFR4 como blancos terapéuticos novedosos en cáncer de páncreas**
Rubiette Azucena Hernández-Becerra, Alicia María Reveles-Espinoza, Laura Liliana José-Ochoa, Ernesto Prado-Montes de Oca, Isaac Chairez-Oria, Iván de Jesús Salgado-Ramos, Luis Joel Figueroa-Yáñez y Alba Adriana Vallejo-Cardona

75 **Insectos comestibles como alimento a futuro y sus retos**
María Teresa Medrano-Nava, Carlos GuillemoValdivia-Nájar y Lorena Moreno-Vilet

87 **Picudo pinto (insecto plaga): historia natural y perspectivas de la distribución potencial en regiones de México**
Gabriela I. Salazar-Rivera, René Bolom-Huet y Jhony Navat Enríquez-Vara

97 **Alimentación y género en pandemia: el caso de mujeres rurales en México**
Odet Lorena Alvarado-Rodríguez y Adriana Rodríguez-Barraza

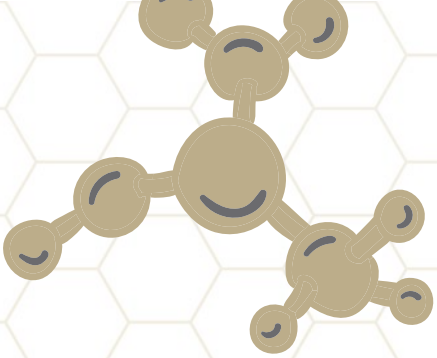
Sociedad y sistemas agroalimentarios

113 **Cacao criollo cultivado en México: características fisicoquímicas, aromáticas y bioactivas**
Lilia Acevez-Mares, Dulce Velásquez-Reyes, Montserrat Alcázar-Valle, Luis Mojica-Contreras y Eugenia Lugo-Cervantes

129 **Descripción de actividades y experiencias de la comunidad del CECyS "José de Tapia Bujalance" como sistema agroalimentario**
Jesús Salvador González-Ruano, Areli Cuevas Zacapa, Karla Torices Velázquez y Abraham Yair Guzmán Sotelo

147 **Experiencia de investigación-acción participativa para la transición agroecológica de mezcaleras con agaves raicilleros en la costa de Jalisco**
María Magdalena Padilla-del Muro, Jhony Navat Enríquez-Vara y Alan Heinze-Yothers

159 **Experiencias en investigación-acción y agroecología del nodo Jalisco-Nayarit de PIES AGILES**
Alan Heinze-Yothers



CARTA EDITORIAL

Enfoques Transdisciplinarios: Ciencia y Sociedad es la revista digital del Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco (CIATEJ). Esta revista se plantea como un instrumento de análisis y discusión inter y transdisciplinario sobre los sistemas agroalimentarios, salud, medio ambiente, tecnología y ciencias sociales. Las colaboraciones se sujetan a un estilo de divulgación, con un lenguaje accesible y ensayístico, con la intención de facilitar su lectura y sea accesible a todos los lectores de la revista.

La interacción de la sociedad con aspectos relacionados con ciencia y la tecnología es inevitable en la actualidad. Aspectos de la vida cotidiana como el cuidado de la salud, la producción de alimentos, la comunicación y actividades cotidianas dentro y fuera del hogar, por mencionar algunos, resultan impensables sin el conocimiento y desarrollo científico y tecnológico. A pesar de que las personas están relacionadas de alguna manera con la ciencia y tecnología, una gran parte de la población tiene acceso limitado al conocimiento científico y tecnológico. De manera reciente, con la nueva Ley General en Materia de Humanidades, Ciencias, Tecnologías e Innovación se garantiza el derecho humano a la ciencia conforme a los principios de universalidad, interdependencia, indivisibilidad y progresividad, con el fin de que toda persona goce de los beneficios del desarrollo de la ciencia y la innovación tecnológica.

Por lo anteriormente mencionado, Enfoques Transdisciplinarios da la importancia a la relación entre la ciencia y la tecnología con la sociedad, resaltando los aspectos inter y multidisciplinarios de estas interacciones y dando voz a aquellos actores de diferentes disciplinas con el fin de enriquecer este número.

Este segundo número de Enfoques Transdisciplinarios: Ciencia y Sociedad se compone de una serie de artículos diversos que se pretende lleguen a nuestros lectores interesados en los temas abordados en ellos.

La sección que abre este primer número, Desarrollo y procesos científicos y tecnológicos, está integrada por dos artículos. Los autores del artículo titulado "Origen florar de mieles de primavera del estado de Jalisco" dan a conocer el origen botánico de miel de seis localidades del estado de Jalisco en temporada de secas (primavera). En el análisis de las muestras de miel se pueden identificar tanto plantas nativas como de uso agrícola y ornamental. Por su parte, los autores del artículo "Análisis *in silico* del agonismo de ácidos hidroxicinámicos al Receptor Gamma Activado por Proliferador de Peroxisomas" analizan con métodos computacionales (*in silico*) el potencial agonismo del ácido cafeico, ferúlico y sinapínico de esta diana terapéutica.

La segunda sección, Alimentación, salud y medioambiente, la forman cinco artículos. El primer artículo, "Panorama del cáncer de colon en México", presentan los datos más recientes sobre impacto del cáncer de colon en México y su importancia como problema de salud pública. Siguiendo con el tema del cáncer, el segundo artículo de esta sección, titulado "GAS6 y FGFR4 como blancos terapéuticos novedosos en cáncer de páncreas", muestra los resultados de una búsqueda en bases de datos de proteínas involucradas en diferentes procesos relacionados con el cáncer de páncreas y analiza su papel en la respuesta inmune para comprender su comportamiento en el microambiente tumoral. Los siguientes dos artículos abordan el tema de los insectos. "Insectos comestibles como alimento a futuro y sus retos" es un estudio de los insectos comestibles como una interesante alternativa en la búsqueda de una alimentación sostenible y nutritiva en un mundo con una creciente demanda de proteína. Por otro lado, "Picudo pinto (insecto plaga): historia natural y perspectivas de la distribución potencial en regiones de México" muestra la historia natural, descripción taxonómica, ciclo de vida y distribución del picudo pinto (*Peltophorus polymitus* Boheman) como herramienta para la identificación certera de este insecto plaga. La contribución titulada "Alimentación y género en pandemia: el caso de mujeres rurales en México" describe la relación del binomio alimentación-género en mujeres residentes de zonas rurales de México durante la pandemia.

La sección Sociedad y sistemas agroalimentarios cuenta con una variedad de artículos. En ella encontraremos el tema de cacao en el artículo "Cacao criollo cultivado en México: características fisicoquímicas, aromáticas y bioactivas". Como el título lo indica, se muestran las características que hacen que hoy en día este tipo de cacao haya tomado especial relevancia debido a que puede llegar a ser una buena fuente de compuestos fenólicos y péptidos bioactivos que pueden proveer beneficios a la salud.

Los tres artículos que cierran este número comparten la experiencia de investigación desde diferentes latitudes de México. "Experiencias y aprendizajes en el CECyS "José de Tapia Bujalance", Sierra de Santa Catarina" se centra en compartirnos lo vivido en el Huerto escolar del CECyS "José de Tapia Bujalance" como una alternativa agroecológica en la recuperación de espacios contaminados por las personas. "Experiencia de investigación-acción participativa para la transición agroecológica de mezcaleras con agaves raicilleros en la costa de Jalisco" comparte la experiencia de investigación-acción participativa de una comunidad de aprendizaje constituida por familias de manejadores de agave y pequeños productores de raicilla de la costa en Cabo Corrientes, Jalisco. A manera de cierre, "Experiencias en investigación-acción y agroecología del nodo Jalisco-Nayarit de PIES AGILES" recupera la experiencia de un conjunto de procesos locales de investigación-acción

y agroecología en el occidente de México, en el marco del programa institucional educativo PIES AGILES.

Esperamos que los artículos que conforman este número le sean al lector atractivos y con ellos surjan nuevos diálogos alrededor de todos los temas abordados. Sean bienvenidos a este primer número del segundo volumen de Enfoques Transdisciplinarios: Ciencia y Sociedad.

Dr. Luis Alfonso Mojica Contreras
Dr. Gustavo Adolfo Castillo Herrera
Editores en jefe

CIENCIA Y SOCIEDAD

DESARROLLO Y PROCESOS CIENTÍFICOS Y TECNOLÓGICOS

ENFOQUES TRANSDISCIPLINARIOS: CIENCIA Y SOCIEDAD

Origen floral de mieles de abeja del estado de Jalisco producidas en primavera

Diego M. Cortez-Valladolid[1], Ana Patricia del Castillo-Batista[2], José Octavio Macías-Macías[3], Francisca Contreras-Escareño[4] y Claudia Alvarado[1*]

[1]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.
[2]Departamento de Ecología y Recursos Naturales-IMECBIO, Centro Universitario de la Costa Sur, Universidad de Guadalajara. Avenida Independencia Nacional 151, 48900, Autlán de Navarro, Jalisco, México.
[3]Departamento de Ciencias de la Naturaleza, Centro de Investigaciones en Abejas, Centro Universitario del Sur, Universidad de Guadalajara. Av. Enrique Arreola Silva 883, 49000 Zapotlán el Grande, Jalisco, México.
[4]Departamento de Producción Agrícola, Centro Universitario de la Costa Sur, Universidad de Guadalajara. Avenida Independencia Nacional 151, 48900, Autlán de Navarro, Jalisco, México.
[*]Autor de correspondencia: calvarado@ciatej.mx

Palabras clave:
Jalisco, melisopalinología, miel, origen botánico.

Enfoques Transdisciplinarios: Ciencia y Sociedad, 2(1), 13-29. ISSN. 3061-709X. https://doi.org/10.5281/zenodo.12784787

Recibido: 23 octubre 2023
Revisado: 1 de diciembre 2023
Aceptado: 15 de enero 2024
Publicado: 20 de enero 2024

Este artículo es un artículo de acceso abierto distribuido bajo los términos y condiciones de la licencia CC BY-NC-SA 4.0. Para ver una copia de esta licencia visite https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

Resumen

Jalisco es reconocido como productor de miel multifloral a nivel nacional, sin embargo, el origen floral de estas mieles ha sido poco estudiado. El conocimiento de la flor de procedencia de la miel reviste importancia en dos sentidos, por el impacto de la flor en las propiedades organolépticas y terapéuticas que son heredadas a la miel, y también para conocer aquellos recursos que sostienen la apicultura en la región. El objetivo del presente trabajo fue conocer el origen botánico de seis muestras de miel producida en seis apiarios del estado de Jalisco, durante la época de primavera. El análisis de las muestras de miel permitió identificar tanto a plantas nativas como de uso agrícola y ornamental, entre los que destacaron el mezquite (*Prosopis* sp.), palo dulce (*Coursetia* sp.), eucalipto (*Eucalyptus* sp.), sauce (*Salix* spp.), aguacate (*Persea americana*) y bayas (*Rubus* spp.). De acuerdo con las frecuencias del polen, sólo dos mieles se clasificaron como monoflorales por presentar un taxón dominante, ambas de mezquite. Las especies de la familia Fabaceae, como es el caso del mezquite y el palo dulce, se reafirman como recursos de importancia apícola para la entidad.

Introducción

Las abejas melíferas (*Apis mellifera* L.) representan uno de los grupos polinizadores más importantes. A través de una serie de adaptaciones biológicas y ecológicas especializadas, son atraídas a las flores por las recompensas ofrecidas (néctar-polen) y como resultado estas son polinizadas, contribuyendo con el equilibrio de los ecosistemas (Armbruster, 2012). La apicultura favorece la actividad y alimentación humana por medio de la polinización de cultivos agrícolas y la producción de miel, la cual es apreciada y utilizada por los humanos con fines alimenticios, terapéuticos y cosméticos, beneficios asociados a su origen botánico (Molan, 1996).

La amplia diversidad florística de Jalisco, es un reflejo de las variadas condiciones fisiográficas y climáticas (Rodríguez-Contreras, 2017), que posibilitan el desarrollo de la apicultura y la producción de mieles muy diferentes. Sin embargo, las características particulares de estas mieles no han sido descritas ni clasificadas. En recientes fechas la apicultura se ha visto comprometida debido al incremento en la producción de cultivos intensivos como el agave tequilero (*Agave tequilana* Weber), aguacate (*Persea americana* Mill.) y las bayas (*Fragaria* sp., *Rubus* spp. y *Vaccinium* sp.) (Lorente, 1992; Novoa, 1994; Quintero-Domínguez, 2019).

La melisopalinología es la identificación taxonómica y recuento de los pólenes contenidos en la miel después de un tratamiento de acetólisis y su análisis microscópico. Su estudio permite conocer la flora melífera aprovechada por las abejas para la producción de miel (Molan, 1996; Von Der Ohe *et al.*, 2004). Una vez que se conoce el origen botánico de la miel, es posible describir y tipificar sus características en función al tipo de vegetación, época del año y localidad, con el fin de procurar su conservación o realizar acciones de trashumancia o movimiento de colmenas (Louveaux, Maurizio & Vorwohl, 1976; Von der Ohe *et al.*, 2004; Abou-Shaara, 2014).

El estado de Jalisco se ha ubicado entre los cinco mayores productores de miel a nivel nacional (SIAP, 2019), pese a esto, los trabajos de flora melífera y melisopalinología reportados son escasos, desactualizados y basados principalmente en observaciones directas de las visitas de *A. mellifera* a las flores. Dichos estudios destacan la importancia de la vegetación nativa y de los cultivos agrícolas y ornamentales (De la Mora, 1988; Lorente, 1992; Novoa, 1994; Quintero-Domínguez, 2019). Es de vital importancia actualizar la información basada en el estudio del polen de la miel lo que permitiría clasificar las mieles, tomar ventaja de sus características organolépticas, así como de determinar los recursos florísticos que sostienen la apicultura en la región.

El objetivo del presente trabajo fue conocer el origen botánico de la miel y los recursos florísticos preferidos por *A. mellifera* en temporada de secas, en seis localidades del estado de Jalisco.

Metodología

Área de estudio y características

El estado de Jalisco se localiza en la región Centro-Occidente de México, cuenta con una superficie de 80,222 km^2 y está dividido por 125 municipios integrados en 12 regiones (IIEG, 2022). El presente estudio se llevó a cabo durante los meses de marzo y abril de 2021, correspondientes a la temporada de miel de primavera o época de secas. Para la selección de los sitios y apiarios fue requisito que contaran con alguna de las siguientes dos características: 1) apiarios fijos cercanos o dentro de áreas de producción de cultivos intensivos o 2) apiarios de productores que realizaran práctica de trashumancia en regiones con floración de temporada de secas. Finalmente se trabajó con seis apiarios ubicados en cinco municipios de interés apícola para esa época del año, cuyas características se muestran en la Tabla 1 y la Figura 1.

Los apiarios M44, M45, M48 y M49 correspondieron a la primera categoría, encontrándose dentro o colindantes de cultivos intensivos de limón, aguacate, frutillas y caña respectivamente. El M49 se encontró específicamente a un costado de cañaveral y al pie de una montaña con flora silvestre típica. Los apiarios M39 y M43 fueron de trashumancia, el primero ubicado en la región Lagunas y el segundo en colindancia con Zacatecas, ambas regiones con flora de primavera ampliamente conocida por los apicultores de la región.

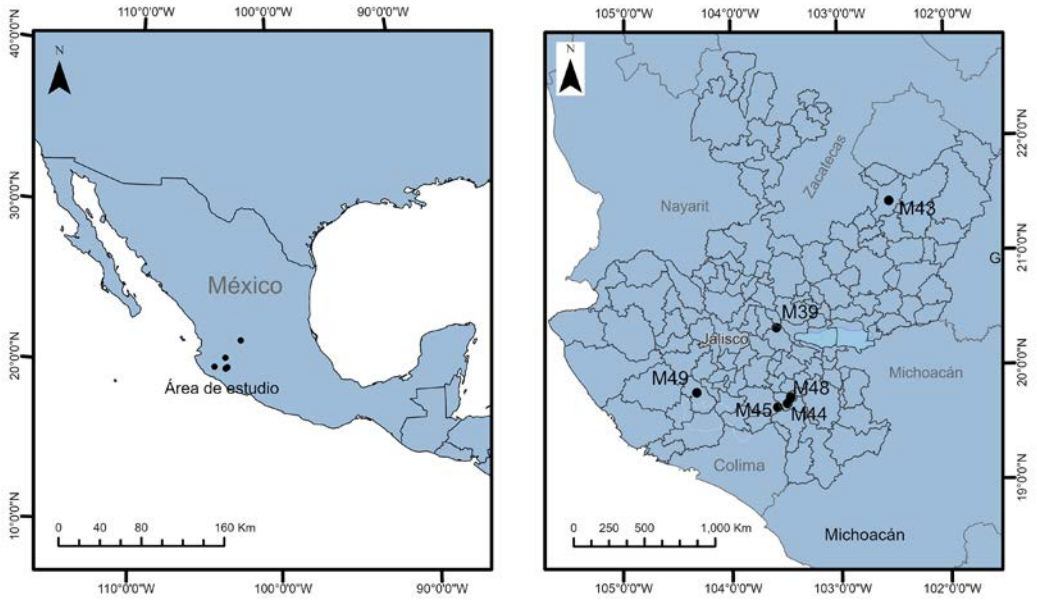


Figura 1. Ubicación geográfica del estado de Jalisco y sitios muestreados. M39, Acatlán de Juárez; M43, Teocaltiche; M44 y M48, Zapotlán el Grande; M45, San Gabriel; M49, Autlán de Navarro

Tabla 1. Datos geográficos de los apiarios muestreados

Muestra	Región	Municipio	Latitud	Longitud	Elevación (m)	Tipo de vegetación
M39	Lagunas	Acatlán de Juárez	20° 20' 13.164"	-103° 35' 12.404"	1,342	Pastizal, bosque espinoso, bosque tropical caducifolio
M43	Altos Norte	Teocaltiche	21° 26' 10.809"	-102° 31' 47.312"	1,663	Pastizal, bosque espinoso, matorral xerófilo
M44	Sur	Zapotlán el Grande	19° 43' 41.127"	-103° 27' 36.931"	1,521	Bosque de pino y encino, bosque tropical caducifolio
M48			19° 40' 29.265"	-103° 29' 20.824"		
M45	Sur	San Gabriel	19° 38' 31.120"	-103° 34' 48.237"	2,200	Bosque de pino y encino, bosque mesófilo de montaña, bosque de oyamel
M49	Sierra de Amula	Autlán de Navarro	19° 46' 21.946"	-104° 19' 30.287"	887	Bosque espinoso, bosque tropical caducifolio, bosque de pino y encino

Muestreo y extracción de miel

Por cada apiario se colectó un bastidor de alza melaria de una colmena seleccionada al azar, de colonias populosas, libres de enfermedades y con miel operculada. Los panales operculados fueron retirados de cada bastidor para extracción de 1 kilogramo de miel por medio de prensado con ayuda de un mortero. La miel obtenida se filtró con un colador de acero inoxidable y dejó reposar por 24 horas, posteriormente se retiraron las impurezas acumuladas en la superficie, se filtró nuevamente y se resguardó en contenedores de plástico a temperatura ambiente para su posterior análisis.

Melisopalinología

El análisis melisopalinológico se realizó de acuerdo con los métodos de la Comisión Internacional de Botánica de Abejas (ICBB) descritos por Louveaux *et al.* (1978) con modificaciones de acuerdo con la NOM-004-SAG/GAN-2018 (SAG/GAN, 2018). Se tomaron 30 g de miel por muestra, la cual fue sometida a tratamiento de acetólisis para elaboración de laminillas permanentes y posterior observación microscópica. Previo a la acetólisis, se tomó muestra para preparación de laminillas en fresco para observación de granos que pudieran ser destruidos por el tratamiento.

El análisis melisopalinológico consistió en la observación microscópica y descripción morfológica de los granos de polen contenidos en la miel. Los tipos polínicos fueron identificados a nivel de familia, género y/o especie por comparación con el catálogo polínico realizado en el presente estudio, la colección palinológica del herbario ZEA del CUCSUR, así como las bases de datos PalDat, The Global Pollen Project (Martin & Harvey, 2017) y literatura especializada en palinología y melisopalinología. Los tipos polínicos fueron observados y capturados con un microscopio Optika modelo B-383PLi (Bergamo, Italia).

Análisis estadísticos

Para la determinación y denominación del origen botánico de miel, así como los principales recursos florísticos aprovechados por las abejas, se contaron 500 granos de polen por muestra en un conteo por transectos al azar de 100 granos por transecto (Von der Ohe *et al.*, 2004), excluyendo los taxones de plantas anemófilas y/o carentes de nectarios. Los porcentajes de cada tipo polínico presente en las muestras fueron calculados y graficados mediante el programa Tilia Graph (Grimm, 2020).

Origen botánico y flora de importancia apícola

Para la determinación del origen botánico de la miel, los tipos polínicos contados se categorizaron en cinco clases de frecuencia siguiendo los criterios descritos por Louveaux *et al.* (1978) y la NOM-004-SAG/GAN-2018 (SAG/GAN, 2018): polen predominante (≥ 45%); polen secundario (16-44%); polen de importancia menor (3-16%); polen menor (1-3%) y polen presente (< 1%). De acuerdo con las frecuencias presentadas, se denominaron mieles monoflorales las muestras que presentaron un taxón dominante ≥ 45%, mientras que las mieles multiflorales a su vez fueron sub-clasificadas como biflorales, con dos taxones de diferentes familias presentes entre el 16 y 45%; oligoflorales, con dos o más taxones de la misma familia entre el 16 y 45% y estrictamente multiflorales, con cuatro o más taxones de diferentes familias entre el 10 y 16% (SAG/GAN, 2018).

Por otra parte, la flora de importancia apícola fue establecida con las frecuencias porcentuales presentadas por cada taxón del análisis melisopalinológico y su importancia en la alimentación de las abejas (recurso polínico, nectarífero o nectarífero-polinífero) mediante búsqueda de información con la identificación taxonómica obtenida. Los recursos florísticos fueron clasificados en tres tipos de representatividad para las abejas con base en los criterios propuestos por Ramalho *et al.*, (1985): "principales" aquellos con frecuencias ≥ 10%, "secundarios" taxones entre 5 y 10% y "alternativos" entre 2 y 5%, mientras que el conjunto de todos los taxones ≥ 2% se denominaron recursos "representativos".

Resultados y Discusión

Melisopalinología

Durante el análisis palinológico de las seis muestras de miel se observaron en total 99 tipos polínicos correspondientes a 47 familias botánicas y 93 géneros. La muestra M44 del municipio de Zapotlán el Grande presentó la mayor diversidad con 49 tipos polínicos, mientras que la muestra M43 de Teocaltiche presentó la menor con 19 tipos. *Salix* spp., *Eucalyptus* spp. y *Prosopis* spp. fueron los taxones más comunes al presentarse en cinco de las seis muestras de miel, mientras que *Persea americana* y *Prunus* sp. resultaron con la menor representación (Tabla 2).

Tabla 2. Taxones y porcentaje de frecuencia presentes en muestras de miel del Estado de Jalisco en temporada de secas 2021. Polen presente < 1.0% (+). Se incluye tipo de recurso floral: N= Nectarífera, P= Polinífera, R= Propóleo, A= Polen anemófilo, M= Mielato. Se incluye tipo de estrato H= Herbáceo, A = Arbóreo, B= Arbustivo.

Taxón	Primavera 2021						Recurso	Estrato
	M39	M43	M44	M45	M48	M49		
Acanthaceae								
Justicia sp.	--	--	--	--	--	0.2	--	H
Ruellia sp.	--	--	--	--	--	0.2	--	H
Amaranthaceae								
Alternanthera sp.	--	--	--	--	--	0.8	N	H
Amaranthus sp.	--	--	--	+	+	0.2	N, P	H
Amaranthus spinosus	--	--	--	--	0.2	--	N, P	H
Anacardiaceae								
Mangifera indica	--	--	--	--	--	+	N, P	A
Schinus molle	--	--	13.52	--	--	--	N, P, M	A
Spondias sp.	--	0.6	--	--	--	--	M	A
Apiaceae								
Apiaceae Tipo I	--	--	+	--	--	--	--	H
Araceae								
Araliaceae								
Dendropanax arboreus	--	--	--	2.6	0.2	--	M	A
Asteraceae								
Barkleyanthus salicifolius	--	--	--	44	--	--	N, P	B
Podachaenium eminens	1.17	--	2.66	--	--	--	--	B
Sonchus sp.	--	--	0.41	--	--	--	N, P, M	H
Tipo I	0.39	0.2	0.2	+	2.6	2.4	--	H
Tipo II	--	--	0.2	--	0.8	+	--	H
Tipo III	--	--	--	--	0.2	+	--	H
Basellace								
Basella sp.	--	--	--	--	+	--	--	H
Betulaceae								
Alnus Tipo I	--	--	+	+	--	--	P	A
Alnus Tipo II	--	--	--	+	--	--	P	A
Bignoniaceae								
Tabebuia spp.	--	--	--	--	--	0.2	N, P	A
Boraginaceae								
Tournefortia sp.	--	--	+	--	0.8	--	N, P	H
Brassicaceae								
Raphanus sp.	0.98	--	14.34	+	--	--	M	H
Burseraceae								
Bursera Tipo I	--	--	+	--	--	+	N, P, M	A
Bursera Tipo II	--	--	--	--	--	+	N, P, M	A
Cactaceae								
Epiphyllum anguliger	--	--	--	--	--	0.2	N	B

Opuntia sp.	--	--	--	+	--	--	P, N	B
Pachycereus pecten-aboriginum	--	--	--	--	--	+	N	B
Pereskiopsis sp.	0.59	--	--	--	--	--	--	B
Campanulaceae								
Lobelia laxiflora	--	--	--	+	--	--	N	H
Chloranthaceae								
Hedyosmum mexicanum	+	--	--	--	--	--	N	A
Clethraceae								
Clethra mexicana	--	--	--	10.2	--	--	N, P, M	H
Combretaceae								
Bucida buceras	--	--	1.02	+	--	--	M	A
Cucurbitaceae								
Cucumis sativus	--	--	--	--	--	1.4	N, P	H
Cucurbita sp.	--	--	--	--	--	0.2	--	H
Cyclanthera sp.	--	--	0.2	--	--	--	M	H
Sechium edule	0.2	--	0.2	--	--	+	N, P	H
Euphorbiaceae								
Euphorbia milii	--	--	+	--	--	--	--	A
Euphorbia Tipo I	0.39	0.4	+	0.2	+	0.2	N, P	A
Ricinus communis	4.88	--	3.28	--	0.6	1.8	N, P	B
Fabaceae								
Aeschynomene sp.	--	--	--	--	+	--	N	H
Apoplanesia paniculata	3.71	--	--	--	--	4.2	--	A
Coursetia sp.	--	--	--	--	--	42.7	--	A
Melilotus indica	--	6.2	0.2	--	--	--	--	H
Mimosa sp.	--	0.4	2.25	4	--	--	N, P, M	B
Pithecellobium dulce	0.2	--	--	--	--	0.6	N, P, R	A
Prosopis spp.	84.18	47.2	1.84	--	0.2	38.3	N, P, R	A
Senna sp.	+	--	--	--	--	+	N, P	A
Vachellia sp.	0.59	--	1.02	--	--	+	N, P, M, R	A
Lamiaceae								
Salvia sp.	0.2	0.2	--	--	--	--	M	H
Salvia iodantha	--	--	--	+	--	--	N	H
Salvia mexicana	--	--	--	0.8	--	--	N	H
Stachys sp.	--	--	--	--	0.4	--	--	H
Lauraceae								
Persea americana	0.2	--	0.2	7.4	--	--	N	A
Liliaceae								
Liliaceae Tipo I	--	--	0.41	--	0.2	--	--	H
Lythraceae								
Cuphea sp.	--	--	+	--	--	--	N	H
Punica granatum	--	--	3.48	0.6	--	--	--	A
Malvaceae								

Abutilon ellipticum	--	--	--	--	+	--	N, P	B
Anoda cristata	--	--	--	+	--	--	--	H
Heliocarpus sp.	0.75	--	+	--	+	--	N, P	A
Tilia sp.	--	--	--	+	--	--	N, P	A
Triumfetta sp.	--	--	--	--	--	1.6	N, P	A
Martyniaceae								
Martynia sp.	--	--	--	--	--	0.2	--	H
Meliaceae								
Azadirachta indica	--	--	+	--	--	--	N	A
Trichilia spp.	--	--	+	--	--	--	N	A
Moraceae								
Ficus sp.	+	--	--	--	--	--	P, A	A
Trophis sp.	--	--	+	--	--	--	P, A	A
Myrtaceae								
Eucalyptus sp.	0.2	0.4	39.55	--	42	0.2	N, P, M	A
Eugenia sp.	--	--	1.84	--	--	--	N, P, M	A
Nyctaginaceae								
Bougainvillea sp.	--	+	--	--	--	--	--	B
Pisonia sp.	--	--	+	--	--	--	N	B
Oleaceae								
Fraxinus uhdei	--	--	+	+	--	+	P	A
Onagraceae								
Lopezia racemosa	--	+	+	0.2	--	--	N, P	H
Fuchsia sp.	--	--	--	+	--	--	N, P	H
Oenothera sp.	--	--	--	--	+	--	N, P	H
Papaveraceae								
Argemone ochroleuca	1.37	2.6	0.61	--	0.2	0.2	N, P	B
Passifloraceae								
Passiflora foetida	--	0.2	--	--	--	--	--	H
Phytolaccaceae								
Phytolacca sp.	--	+	0.2	--	--	--	N, P	B
Pinaceae								
Pinus sp.	--	+	+	+	--	+	P, A	A
Poaceae								
Aegopogon sp.	--	--	--	+	--	--	P, A	H
Poaceae Tipo I	--	--	--	+	+	--	P, A	H
Poaceae Tipo II	--	--	--	--	--	--	P, A	H
Zea mays	--	--	+	--	--	+	P, A	H
Ranunculus sp.	--	--	--	1	--	--	N, P	H
Rhamnaceae								
Ziziphus mexicana	--	--	--	0.2	--	0.2	P	B
Rosaceae								
Fragaria sp.	--	--	+	--	2.6	--	N, P	H
Prunus serotina	--	--	+	8.6	2	--	N, P, M	B

Rosaceae Tipo I.	--	4	+	--	0.4	+	--	H
Rubus spp.	--	--	2.46	--	35	--	N, P	B
Rutaceae								
Citrus sp.	--	--	0.92	--	--	0.2	N	A
Salicaceae								
Salix sp.	--	28.2	7.58	20.2	11.6	0.6	N, P, R	A
Sapindaceae								
Paullinia sp.	--	--	--	+	--	--	N	B
Thouinia serrata	--	--	0.2	--	+	0.4	M	A
Scrophulariaceae								
Buddleja sp.	--	--	+	+	--	--	M	H
Solanaceae								
Capsicum annuum	--	--	--	--	--	2.6	N, P	H
Solanum sp.	--	9.4	+	--	--	--	N, P	H
Verbenaceae								
Glandularia bipinnatifida	--	--	--	+	--	--	N-P	H
Lippia graveolens	--	+	--	--	--	--	--	H
Vitaceae								
Vitis sp.	--	--	0.2	--	--	0.2	--	H
Zygophyllaceae								
Kallstroemia maxima	--	--	--	--	--	+	M	H
No identificados	--	--	+	+	--	--		
No identificado I	--	--	1.01	+	--	--	--	--
No identificado II	--	--	--	+	--	--	--	--
No identificado III	--	--	--	+	--	--	--	--

Las familias Fabaceae, Asteraceae, Brassicaceae, Clethraceae, Anacardiaceae, Myrtaceae, Rosaceae y Salicaceae fueron las más representativas entre las seis muestras de miel con un porcentaje de frecuencia entre 10.2 y 88.65 %. De forma consecutiva se encontraron las familias Euphorbiaceae, Lauraceae y Solanaceae con una aparición entre el 5.27 y 9.4% (Figura 2, Tabla 2). La familia Fabaceae registró el mayor número de tipos polínicos (11), seguido de las familias Asteraceae y Malvaceae (6), aunque esta última con frecuencias bajas en las muestras. Las familias Asteraceae, Fabaceae y Myrtaceae se encontraron en todas las mieles, seguido de las familias Salicaceae (4), Rosaceae (4) y Euphorbiaceae (3) (Anexo I).

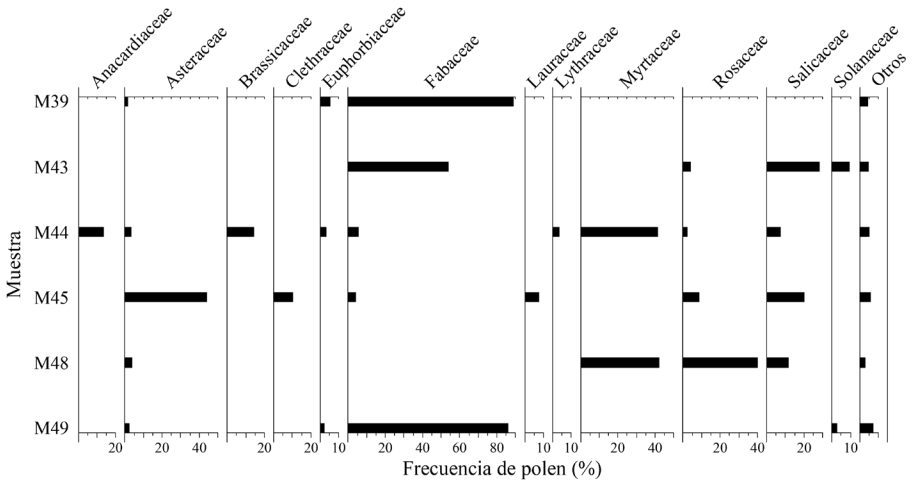


Figura 2. Frecuencias de polen de las principales familias botánicas presentes en seis muestras de miel de temporada de secas del estado de Jalisco

De acuerdo con los criterios normativos, 14 taxones destacaron como recursos principales para la producción de miel (Figuras 3 y 4, Tabla 2). Prosopis spp. como taxón dominante por presentar contenidos mayores a 45%; *Coursetia* sp., *Barkleyanthus salicifolius*, *Rubus* spp., *Eucalyptus* spp. y *Salix* sp.1 y sp.2, clasificados como taxones secundarios por presentar frecuencias entre 16 y 45%, mientras que *Clethra mexicana*, *Melilotus indicus*, *Persea americana*, *Prunus* sp., *Raphanus* sp., *Salix* sp.2, *Schinus molle* y *Solanum* sp. se clasificaron de importancia menor, presentes entre 3 y 16%.

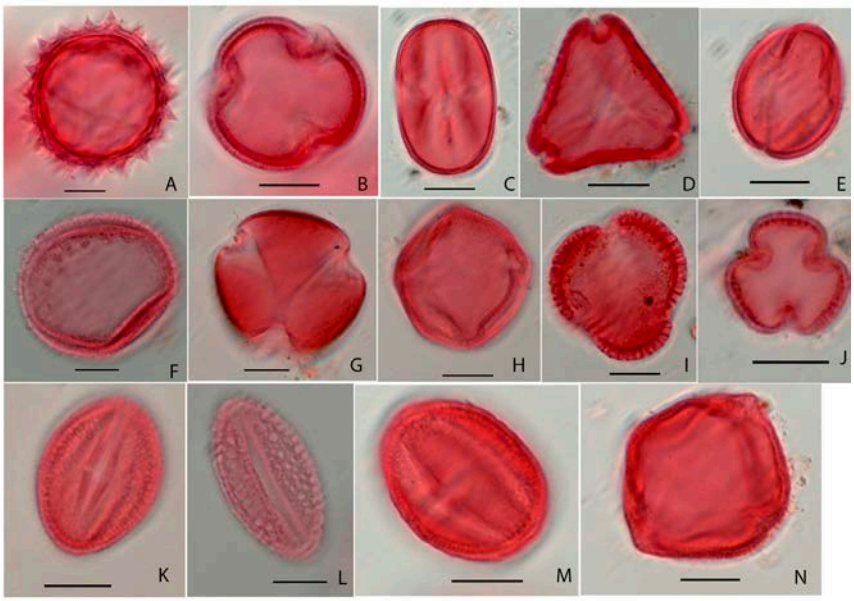


Figura 3. Morfología polínica de los taxones principales presentes en las muestras de miel de temporada de secas en el estado de Jalisco. **A.** *Barkleyanthus salicifolius*. **B.** *Clethra mexicana*. **C.** *Coursetia* sp. **D.** *Eucalyptus* spp. **E.** *Melilotus indicus*. **F.** *Persea americana*. **G.** *Prosopis* spp. **H.** *Prunus* sp. **I.** *Raphanus* sp. **J.** *Rubus* spp. **K.** *Salix* sp.1. **L.** *Salix* sp.1. **M.** *Schinus molle*. **N.** *Solanum* sp.

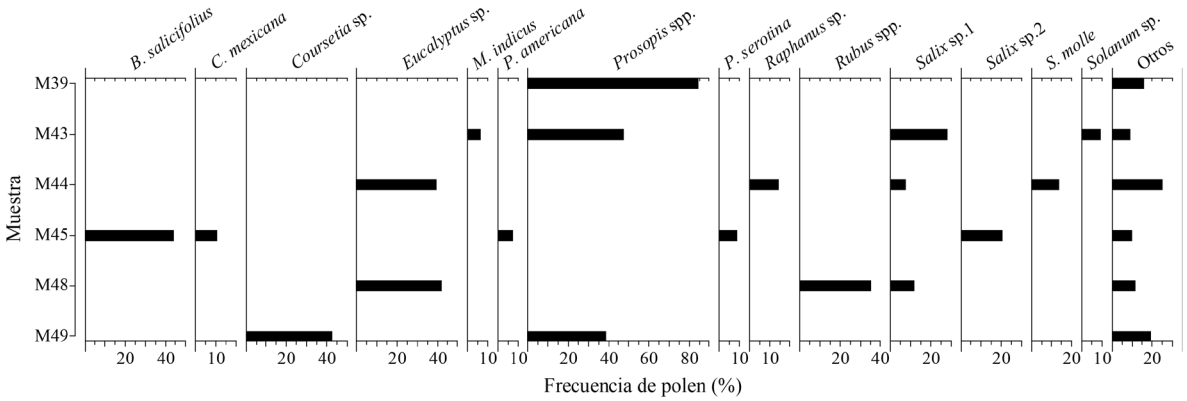


Figura 4. Representatividad de géneros botánicos en muestras de miel de temporada de secas 2021 del estado de Jalisco

La diversidad de tipos polínicos encontrada en las muestras de miel del presente estudio concuerda con el tipo de vegetación predominante y la vegetación observada en los sitios de producción, lo que refleja la riqueza florística del estado y la influencia de la actividad agrícola. Como parte de esta diversidad florística se encontraron plantas nativas del bosque espinoso (*Prosopis* sp.), bosque mesófilo de montaña y bosque de pino y encino (*B. salicifolius*, *C. mexicana*, *P. serotina* y *Salix* sp.), bosque tropical caducifolio (*Coursetia* sp.), elementos ruderales (*M. indicus*, *Solanum* sp. y *Raphanus* sp.) y plantas de ornato o cultivo introducidas (*Eucalyptus* spp., *P. americana*, *Rubus* spp. y *S. molle*) (CONABIO, 2012; Rodríguez-Contreras, 2017).

Flora de importancia apícola y estrato vegetal

De los taxones encontrados en la miel, 24 fueron considerados como recursos alimenticios representativos para las abejas durante la temporada de secas por presentar frecuencias mayores al 2%, correspondientes principalmente al estrato arbóreo, seguido del herbáceo y por último el arbustivo (Tabla 2). De estos, nueve fueron subclasificados como principales: *B. salicifolius*, *C. mexicana*, *Coursetia* sp., *Prosopis* spp., *Eucalyptus* spp., *Rubus* spp., *Salix* spp. y *S. molle*; cuatro secundarios: *M. indicus*, *P. americana*, *Prunus serotina* y *Solanum* sp. y diez alternativos: *Dendropanax arboreus*, *Podachaenium eminens*, *Ricinus communis*, *Apoplanesia paniculata*, *Punica granatum*, *Argemone ochroleuca*, Rosaceae Tipo I, *Fragaria* sp., *Capsicum annuum* y *Mimosa* sp. La presencia y frecuencia de estos taxones en la miel está relacionada con los patrones fenológicos y número de especies en floración encontrados en las localidades durante el tiempo de estudio y la relación existente entre A. mellifera y las flores de estos taxones como fuentes importantes de néctar y polen, donde la abeja destaca como uno de los principales polinizadores (Molan, 1996; Abou-Shaara, 2014), por tal motivo fueron considerados como flora de importancia apícola.

Origen botánico de miel

Con base en las frecuencias polínicas presentadas, las mieles M39 y M43 se denominaron monoflorales de mezquite por presentar un tipo polínico dominante (*Prosopis* sp.). Las mieles M45 y M48 resultaron ser biflorales por presentar dos tipos polínicos secundarios, la M48 de eucalipto y frutillas (*Eucalyptus* sp. y *Rubus* spp.) y la M45 de senecio y sauce (*B. salicifolius* y *Salix* sp2). La miel M49 se denominó oligofloral por presentar dos taxones de la misma familia mezquite y palo dulce (*Prosopis* sp. y *Coursetia* sp.) con frecuencias entre 16 y 45%. La miel M44 estrictamente multifloral por contener más de dos tipos polínicos de diferente familia entre 16 y 45% (Figura 3, Tabla 2).

Las mieles monoflorales M39 y M43, provenientes de apiarios de trashumancia ubicados en Acatlán de Juárez y Teocaltiche, mostraron abundancia de polen de *Prosopis* spp., recurso asociado a la preferencia de *A. mellifera* por dicha flora. Se trata de regiones áridas con plantas adaptadas a las condiciones existentes en las que el mezquite es el elemento más conspicuo, el cual presenta su máxima floración en temporada de primavera (Golubov Mandujano *et al.*, 2017). Estas regiones son muy conocidas por los apicultores, quienes movilizan sus colmenas hacia estas zonas debido a la alta floración en temporada de secas, cuando otras regiones carecen de recursos. *Prosopis* spp. se ha presentado como recurso predominante y secundario en mieles de primavera de Baja California, Durango y Sonora (Burboa, 2004; Alaniz *et al.*, 2017; Martínez-Jiménez, 2020), lo que concuerda con los resultados del presente trabajo. La miel M49 del municipio de Acatlán también presentó mezquite en frecuencias secundarias (38.3%), lo que evidencia su presencia generalizada como vegetación nativa y su importancia apícola previamente reportada por otros autores (Lorente, 1992; Novoa, 1994).

En referencia a las mieles M44, M45, M48 y M49, los porcentajes polínicos resultantes mostraron que, a pesar de que los apiarios se encontraban dentro o cerca de cultivos agrícolas intensivos, las abejas buscaron recursos adicionales. Las frecuencias de polen de los cultivos en cuestión fueron M44: 0.92% polen de cítricos, M45: 7.4% polen de aguacate, M48: 35% polen de frutillas y M49 no presentó polen de caña. Entre las razones que explican dicho comportamiento se encuentran que *B. salicifolius* (senecio), *Eucalyptus* sp. (eucalipto), *Salix* sp. (sauce), *Prosopis* spp. (mezquite) y *Coursetia* sp. (palo dulce), que aparecen en las muestras en altas proporciones, resultan ser recursos preferidos por *A. mellífera* (Bond & Brown, 1979; Willmer *et al.*,1994; Ish-Am & Eisikowitch, 1998; Dötterl *et al.*, 2014). Este comportamiento selectivo evidencia la influencia de la calidad y disponibilidad de los recursos florales en la composición botánica de la miel. Otro factor que puede intervenir en la preferencia de las abejas es que los cultivos intensivos son frecuentemente fumigados y los compuestos detectados por las abejas que procuran evitarlos.

En particular, para la muestra M49, proveniente de Autlán de Navarro, cuyo apiario se ubicó frente a cultivo de caña, no se observó polen de dicha planta ya que esta es cosechada antes de la floración. Además de este fenómeno fenológico, fue evidente la preferencia manifestada por las abejas hacia los recursos de mezquite y palo dulce, en detrimento de las flores asociadas a los cultivos presentes en la zona de estudio.

En términos generales, los taxones encontrados en las mieles de cultivos fijos han sido descritos previamente como flora de importancia apícola en el estado de Jalisco (De la Mora, 1988; Lorente, 1992; Novoa, 1994; Quintero-Domínguez, 2019). *A. Rubus* spp. se ha reportado en miel del municipio de Poncitlán en frecuencias de importancia menor (8.5%) y secundario (23.8%) para las temporadas de secas y lluvias respectivamente, coincidiendo con el incremento de cultivo de frambuesa y zarzamora en la zona (Quintero-Domínguez, 2019). Araujo y Redonda (2019) reportaron frecuencias tanto de menor importancia como secundario de *Salix* spp. en miel de temporada de lluvias en el estado de Michoacán. Por otra parte, *Eucalyptus* sp. ha sido reportado en concentraciones entre 1.5 y 41.83% en miel de los estados de Jalisco y Michoacán (Araujo & Redonda, 2019; Quintero-Domínguez, 2019), los cuales coinciden con el presente trabajo en que el apiario estaba situado cercano a asentamientos urbanos donde forma parte de la flora ornamental.

La miel M45 fue clasificada como bifloral de *B. salicifolius* y *Salix* sp.; sin embargo, presentó características organolépticas típicas de miel de aguacate, con una representación baja de polen (7.4%). Las pobres frecuencias de polen de aguacate en la miel han sido reportadas en estudios internacionales previos y son atribuidos a una baja producción de polen en las flores de *P. americana*, aunada al comportamiento de dicogamia sincronizada, protoginia y sincronía diurna de la floración (Ish-Am & Eisikowitch, 1998; Terrab *et al.*, 2004; Dag *et al.*, 2005). Diversos autores han propuesto reformar los criterios de clasificación para la miel de aguacate dadas las particularidades de la misma (Terrab *et al.*, 2004).

Los resultados de la palinología mostraron, por una parte, respaldo al conocimiento tradicional de los apicultores que mueven sus colmenas en búsqueda de floraciones durante temporadas de escasez de recurso, obteniéndose productos que así lo reflejan. Por otra parte, se documentó la importancia de la flora nativa en la producción de miel en la región, incluso a pesar de existir cultivos agrícolas próximos a los apiarios, mostrando preferencias diferenciadas en el comportamiento de *A. mellifera*.

Conclusiones

Basados en los resultados obtenidos, los recursos nectaríferos-poliníferos aprovechados por *A. mellifera* para la producción de miel en el estado de Jalisco en temporada de secas resultaron mayoritariamente basados en la vegetación nativa de la región,

aunque se observaron también plantas introducidas de uso agrícola y ornamental. Las especies de la familia Fabaceae se reafirman como grandes recursos de importancia apícola para el estado, particularmente el mezquite (*Prosopis* spp.) y palo dulce (*Coursetia* sp.). El origen botánico de las mieles en los sitios donde se practica trashumancia resultó ser monoflorales de mezquite; mientras que, en los sitios fijos con cultivos agrícolas cercanos, las mieles fueron principalmente biflorales. A partir de lo encontrado, se recomienda continuar con estudios integrales para abarcar mayor número de muestras, el período anual completo de producción de miel y también ampliar los trabajos para determinar asociaciones entre el origen floral y las características fisicoquímicas y organolépticas. En este contexto, la diferenciación de las mieles permitiría un acercamiento con el consumidor, ya que se facilita su vínculo con propiedades sensoriales y terapéuticas, redirigiendo a mercados selectos y de mayor valor agregado.

Conflicto de interés

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 trabajo contó con el financiamiento del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) a través del proyecto 297012.

Agradecimientos

Se agradece a CONACYT por la beca de maestría 1057804 de Diego M. Cortez-Valladolid. Los autores agradecen el apoyo de los apicultores Ivel Orozco, Rodolfo Flores, Raúl Bravo y Salvador Hernández por la donación de material para el presente trabajo.

Referencias

Abou-Shaara, H.F. (2014). The foraging behaviour of honeybees, *Apis mellifera*: A review. *Veterinarni Medicina, 59*(1), 1-10. doi.org/10.17221/7240-VETMED

Alaniz-Gutiérrez, L., Ail-Catzim, C.E., Villanueva-Gutiérrez, R., Delgadillo-Rodríguez, J., Ortiz-Acosta, M.E., García-Moya, E. & Cervantes, M. (2017). Caracterización palinológica de mieles del Valle de Mexicali, Baja California, México. *Polibotánica, 43*(22),1-29. doi.org/10.18387/polibotanica.43.12

Araujo-Mondragón, F., & Redonda-Martínez, R. (2019). Melliferous flora of the central-eastern region of the municipality of Pátzcuaro, Michoacán, Mexico. *Acta Botanica Mexicana*, 126,1–20. doi.org/10.21829/abm126.2019.1444

Armbruster, W.S. (2012). Evolution and ecological implications of "specialized" pollinator rewards. En S. Patiny (ed.), *Evolution of Plant–Pollinator Relationships*

(Systematics Association Special Volume Series, pp. 44-67). Cambridge University Press. doi.org/10.1017/CBO9781139014113

Bond, H.W., & Brown, W.L. (1979). The Exploitation of Floral Nectar in Eucalyptus incrassata by Honeyeaters and Honeybees. *Oecologia,* 44,105-111. doi.org/10.1007/BF00346407

Burboa-Zazueta, M.G. (2004). *Identificación y caracterización de compuestos fenólicos presentes en la miel de mezquite (Prosopis ssp.) y palo fierro (Olneya tesota): marcadores químicos del origen botánico* (Tesis de Doctorado, Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo A.C.). Repositorio institucional CIAD. https://ciad.repositorioinstitucional.mx/jspui/handle/1006/460

Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. (2012). *Malezas de México*. http://www.conabio.gob.mx/malezasdemexico/2inicio/home-malezas-mexico.htm (visitado el 8 de febrero de 2022).

Dag, A., Afik, O., Yeselson, Y., Schaffer, A., & Shafir, S. (2006). Physical, chemical and palynological characterization of avocado (*Persea americana* Mill.) honey in Israel. *International Journal of Food Science and Technology, 41*(4),387–394. doi.org/10.1111/j.1365-2621.2005.01081.x

De la Mora-González, C.H. (1988). *Flora de utilidad apícola en Jalisco* (Tesis de Licenciatura, Universidad de Guadalajara). Repositorio institucional UdeG. http://repositorio.cucba.udg.mx:8080/xmlui/handle/123456789/1325

Dötterl, S., Glück, U., Jürgens, A., Woodring, J., & Aas, G. (2014). Floral reward, advertisement and attractiveness to honeybees in dioecious *Salix caprea*. *PLoS ONE,* 9,1–11. doi.org/10.1371/journal.pone.0093421

Golubov, J., Mandujano, M.C., Martínez, A.J., & López-Portillo, J. (2010). Bee diversity on nectarful and nectarless honey mesquites. *Journal of Insect Conservation,* 14,217–226. doi.org/10.1007/s10841-009-9248-8

Grimm, E.C. (2020). *Tilia Software, version 3.0.1*. Illinois State Museum, Springfield IL.

Instituto de Información Estadística de Jalisco. (2022). *Geografía y Medio Ambiente*. https://iieg.gob.mx (visitado 6 de febrero, 2022).

Ish-Am, G., & Eisikowitch, D. (1998). Low attractiveness of avocado (Persea americana Mill.) flowers to honeybees (*Apis mellifera* L.) limits fruit set in Israel. *Journal of Horticultural Science and Biotechnology, 73*(2),195–204. doi.org/10.1080/14620316.1998.11510965

Lorente-Adame, M.P. (1992). *Plantas de importancia apícola en tres localidades de la Reserva de la Biosfera Sierra de Manantlán, Jalisco, México.* (Tesis de Licenciatura, Universidad de Guadalajara). Repositorio institucional UdeG. http://repositorio.cucba.udg.mx:8080/xmlui/handle/123456789/2528

Louveaux, J., Maurizio, A., & Vorwohl, G. (1978). Methods of Melissopalynology. *Bee World, 59*(4),139–157. doi.org/10.1080/0005772x.1978.11097714

Martin, A.C., & Harvey, W.J. (2017). The Global Pollen Project: a new tool for pollen identification and the dissemination of physical reference collections. *Methods Ecol Evol*, 8, 892–897. doi:10.1111/2041-210X.12752

Martínez-Jiménez, J.T. (2020). *Caracterización Palinológica de los recursos florales utilizados por Apis mellifera (Apidae) en la región de los Valles, Durango, México* (Tesis Maestría en Biociencias, Instituto Politécnico Nacional). Repositorio institucional IPN. https://tesis.ipn.mx/handle/123456789/28345?show=full

Molan, P.C. (1996). Authenticity of honey. En P.R. Ashurst, & M.J. Dennis (eds), *Food Authentication* (pp. 259-303). Springer, Boston MA. doi.org/10.1007/978-1-4613-1119-5_8

Novoa-Lara, C.P. (1994). *Flora de importancia apícola de Cofradía del Rosario, municipio de Amacueca, Jalisco, México* (Tesis de Licenciatura, Universidad de Guadalajara). Repositorio institucional UdeG. http://repositorio.cucba.udg.mx:8080/xmlui/handle/123456789/2709

Quintero-Domínguez, R. (2019). *Determinación del espectro polínico corbicular y de miel de abeja (Apis mellifera), de Huejotitán, Jalisco* (Tesis de Doctorado, Universidad de Guadalajara).

Ramalho, M., Imperatriz-Fonseca, V.L., Kleinert-Giovannini, A., & Cortopassi-Laurino, M. (1985). Exploitation of floral resources by *Plebeia remota* Holmberg (Apidae, Meliponinae). *Apidologie, 16*(3), 307-330. doi.org/10.1051/apido:19850306

Rodríguez, A. (2017). Ecorregiones terrestres. En Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (ed.), *La Biodiversidad en Jalisco. Estudio de Estado*. (Vol. 2, pp. 27-60). CONABIO.

Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. (2018). *Norma Oficial Mexicana NOM-004-SAG/GAN-2018, Producción de miel y especificaciones*. Diario Oficial de la Federación.

Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. (2019). *Panorama Agroalimentario 2019. Un cambio productivo, inclusivo y sustentable para alimentar a México*. Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural.

Terrab, A., Pontes, A., Heredia, F.J., & Díez, M.J. (2004). Palynological and geographical characterization of avocado honeys in Spain. *Grana, 43*(2), 116–121. doi.org/10.1080/00173130310017634

Von Der Ohe, W., Persano-Oddo, L., Piana, M.L., Morlot, M., & Martin, P. (2004). Harmonized methods of melissopalynology. *Apidologie, 35*(1),18-25. doi.org/10.1051/apido:2004050

Willmer, P.G., Bataw, A.A.M., & Hughes, J.P. (1994). The superiority of bumblebees to honeybees as pollinators: insect visits to raspberry flowers. *Ecological Entomology, 19*(3), 271–284. doi.org/10.1111/j.1365-2311.1994.tb00419.x

ENFOQUES TRANSDISCIPLINARIOS: CIENCIA Y SOCIEDAD

Análisis *in silico* del agonismo de ácidos hidroxicinámicos al Receptor Gamma Activado por Proliferador de Peroxisomas

Luis Francisco García-Manríquez[1], Juan Carlos Mateos-Díaz[2] y Hugo Esquivel-Solis[1*]

[1]*Laboratorio de Medicina Regenerativa e Ingeniería de Tejidos, Biotecnología Médica y Farmacéutica, Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco (CIATEJ), Guadalajara, México.*

[2]*Biotecnología industrial, Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco (CIATEJ), Zapopan, México.*

[*]*Autor de correspondencia: hesquivel@ciatej.mx*

Palabras clave:
ácido hidroxicinámico, agonistas parciales, farmacóforo, fibrosis, PPARγ.

Resumen

La activación dependiente de ligandos del Receptor Gamma Activado por Proliferador de Peroxisomas (PPARγ) puede revertir un tejido fibrótico a su estado sano. El objetivo del presente trabajo fue analizar con métodos computacionales (*in silico*) el potencial agonismo del ácido cafeico, ferúlico y sinapínico de esta diana terapéutica. Se realizó el acoplamiento molecular con el sitio de unión de ligandos (LBD, por sus siglas en inglés) de la proteína, en el que se revelaron los aminoácidos con los cuales interactúan los ácidos antes mencionados y sus energías de interacción. El análisis mostró que el ácido cafeico interactúa con la hélice alfa 12 (H12), dentro de unos rangos de energía de -5.3 a -6.3 kcal/mol, el ácido ferúlico con la hélice alfa 3 (H3) dentro de unos rangos de energía entre -5.5 y -6.3 kcal/mol, el ácido sinapínico con la hélice alfa 3 (H3) dentro de un rango de energía de -5.6 a -5.7 kcal/mol, que corresponden al sitio de unión de ligandos (LBD) de activación parcial de la proteína. Basado en estos resultados, el ácido sinapínico resultó ser el mejor candidato para ser evaluado como agonista selectivo para una activación parcial, algo que se busca en el diseño de fármacos, ya que una activación total de esta proteína conlleva efectos secundarios fisiológicos como osteoporosis, acumulación de lípidos en exceso, cáncer, entre otros.

Enfoques Transdisciplinarios: Ciencia y Sociedad, 2(1), 31-40. ISSN. 3061-709X. https://doi.org/10.5281/zenodo.12784978

Recibido: 09 octubre 2023
Revisado: 14 diciembre 2023
Aceptado: 15 enero 2024
Publicado: 20 de enero 2024

Este artículo es un artículo de acceso abierto distribuido bajo los términos y condiciones de la licencia CC BY-NC-SA 4.0. Para ver una copia de esta licencia visite https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

Introducción

La fibrosis es un proceso de cicatrización crónica del tejido que comprende la transdiferenciación de las células epiteliales a miofibroblastos (MFB), células contráctiles que realizan la producción excesiva de proteínas de matriz extracelular (MEC), principalmente colágena, cuya acumulación a largo plazo desemboca en la degeneración y falla del órgano involucrado. El Factor de Crecimiento Transformante beta (TGFβ) promueve el proceso de transdiferenciación a través de vías de señalización llamadas mothers against decantaplegic (SMADs), cinasas extracelulares reguladas por cinasas (ERK), proteincinasas activadas por mitógenos (MAPK) y p38-MAPK. La unión de TGFβ a su receptor estimula la formación del heterodímero SMAD2/3 y el complejo con SMAD4 que se traslada al núcleo e inicia la transcripción de los genes profibróticos fibronectina, colágeno tipo 1 (Col-1) y alfa actina de músculo liso (α-SMA), biomarcadores específicos de un tejido fibrótico (Pellicoro, Ramachandran, Iredale, & Fallowfield, 2014).

Las fibras de estrés de α-SMA son responsables de la actividad contráctil del MFB, la cual es al menos dos veces mayor que los fibroblastos que no las expresan (Stopa *et al.*, 2000). La transdiferenciación del MFB requiere de cambios coordinados en la actividad de varios factores de transcripción, entre ellos el receptor gamma activado por proliferador de peroxisomas (PPARγ), cuya presencia y actividad en el MFB disminuye hasta desaparecer casi por completo. PPARγ es un factor de transcripción inducible por ligandos, miembro de la superfamilia de receptores nucleares PPAR que, al activarse, se dimerizan con el receptor retinoide X (RXR) y se trasladan al núcleo. El complejo RXR-PPARγ se une a los elementos regulatorios responsivos a PPAR (PRRE) del ADN, secuencias potenciadoras de la transcripción presentes en genes relacionados a la inmunomodulación y el metabolismo de lípidos, entre otros (Ahmadian *et al.*, 2013; Barish, Narkar, & Evans, 2006; Evans, Barish, & Wang, 2004).

La activación de PPARγ suprime la síntesis de Col-1 y α-SMA y la activación, proliferación y migración de los MFBs al inhibir la unión del complejo SMAD2/3/4 a sus sitios de unión en el ADN (Wang *et al.*, 2011). SMAD2/3/4 se une a los Elementos de Unión a SMAD (SBEs) y Elementos de Inhibición por TGFβ (TIEs), presentes en el promotor del gen de PPARγ, bloqueando recíprocamente su expresión y actividad en el MFB (Lakshmi, Reddy, & Reddy, 2017). De tal forma que la activación de PPARγ resulta ser una estrategia prometedora para el diseño de terapias antifibróticas. Aunado a lo anterior, dentro de la estructura de PPARγ existen sitios alostéricos que se pretenden evitar para lograr cierto perfil de activación; la hélice alfa 12 (H12) es el principal de ellos (Capelli *et al.*, 2016a), ya que este sitio induce una activación total de esta proteína, cuyos efectos secundarios se discuten más adelante. Por esta razón, un análisis estructural de interacción por medio de acoplamiento molecular

resulta prominente para realizar un cribado y así guiar el posible trabajo posterior de evaluarlos en células.

Los ácidos hidroxicinámicos

Al ser PPARγ una proteína diana terapéutica, la búsqueda de moléculas agonistas de este factor ha suscitado gran interés. Las tiazolidinedionas (TZD) son fármacos que se comportan como agonistas totales de PPARγ, lo cual conlleva efectos secundarios como acumulación de lípidos, hipertensión y osteoporosis (Capelli *et al.*, 2016a). Por esta razón, la comercialización de las TZD se ha visto restringida. El enfoque actual pretende encontrar agonistas parciales de PPARγ, que realicen su activación, pero sin mostrar los efectos indeseados, mediante la interacción con sitios alostéricos del blanco terapéutico.

Los ácidos hidroxicinámicos (HACs) son una familia de compuestos fenólicos de origen vegetal, cuyos beneficios reportados principalmente para la salud son de naturaleza antioxidante (De Felipe., 2023). Dentro de esta familia el ácido ferúlico (AF), el ácido sinapínico (AS), así como el fenetil éster del ácido cafeico (CAPE) han despertado interés por haber mostrado activación de PPARγ y actividad antifibrótica (Balupillai *et al.*, 2015b; Kanagalakshmi *et al.*, 2014; Mu *et al.*, 2018; Özyurt *et al.*, 2004; Raish *et al.*, 2018; Senthil *et al.*, 2021; Shi *et al.*, 2023). Los HACs son compuestos polifenólicos presentes naturalmente en una gran variedad de especies vegetales y su estructura ha servido de base para el diseño de moléculas sintéticas. El objetivo del presente trabajo fue realizar el análisis computacional (in silico) del farmacóforo de PPARγ con estos compuestos, para determinar los residuos de aminoácidos con los que interaccionan y determinar la fuerza de activación de PPARγ (parcial o completa) y predecir su efecto agonista no tóxico.

Materiales y Métodos

El análisis de acoplamiento molecular se llevó a cabo usando el programa PyMol 1.3 y los complementos Autodock/Vina 2.1.1:0.9.2. Las moléculas usadas como ligandos fueron: ácido ferúlico (PubChem ID: 445858, Fig. 1A); ácido cafeico (PubChem ID: 689043, Fig. 1B) y ácido sinapínico (PubChem ID: 637775, Fig. 1C). El modelo de PPARγ empleado (resolución 2.00 Angstroms, Å) fue la estructura del cristal de la proteína del Protein Data Bank 5YCP (Fig.2). Las coordenadas del sitio de unión de ligandos de PPARγ para el acoplamiento fueron: X=22.96, Y=-22.91, Z=-0.94, mismas que se obtuvieron al identificar la ubicación espacial de la molécula rosiglitazona dentro del archivo PDB de PPARγ usado. Posteriormente se eliminó esta molécula y se delimitó una cuadrícula cúbica de 40 Å por lado como área para realizar el acoplamiento. El rango estándar de diferencia en la energía de activación

se consideró en 4 kcal/mol, mientras que el de exhaustividad de 8. Se decidió utilizar este último valor debido a que es el valor estándar por defecto y el incremento de la exhaustividad, si bien está relacionado con resultados más consistentes, no garantiza resultados más exactos, y el costo de recursos computacionales también incrementa proporcionalmente (Forli *et al.*, 2016). De igual manera se agregaron las cargas de Kollman e hidrógenos polares, mientras que se removieron las moléculas de agua presentes en el archivo de la proteína 3D.

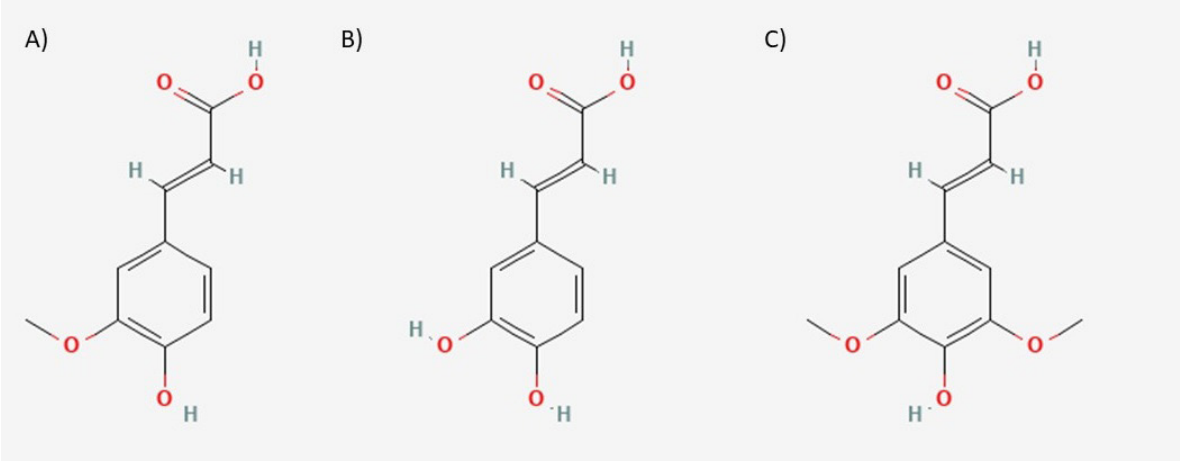


Figura 1. Moléculas empleadas en el análisis de acoplamiento molecular.
A) Ácido Ferúlico. B) Ácido Cafeico. C) Ácido Sinapínico

Figura 2. PPARγ co-cristalizado con rosiglitazona, entrada 5YCP del Protein Data Bank

Resultados y Discusión

En la Tabla 1 se muestra el resumen de los residuos de interacción en el sitio de unión de ligandos, la distancia de interacción entre el ligando y el residuo en Å y las energías (fuerza) de interacción (kcal/mol). Se consideraron uniones las distancias menores a 4 Å(cita). Se obtuvieron varios modelos de interacción proteína - ligando, denominadas poses (outputs), de las cuales se muestran solamente las primeras tres. Las interacciones de los tres compuestos se dan principalmente por puentes de hidrógeno, en específico a través de los grupos hidroxilo (OH) y metilo (CH3) en las partes externas de los compuestos.

En las figuras 3, 4 y 5 se muestran las imágenes de la mejor pose (output 1) de los acoplamientos para los tres compuestos. Para el caso del ácido ferúlico (AF) (Fig. 3) se resalta la interacción con los residuos Ser289, Cys285 y Arg288. Estos pertenecen a la región de la hélice 3 (H3), cuya estabilización mediante la interacción con los residuos Arg288 y Ser342 ha sido identificada como crucial para obtener un perfil de agonismo parcial de PPARγ (Capelli *et al.*, 2016b). Se observa también que el AF interacciona con Tyr327. Análisis estructurales han mencionado que para evitar una activación total se debe evitar la hélice 12 (H12) (Brust *et al.*, 2018; Capelli *et al.*, 2016b; Itoh *et al.*, 2008).

Maralikumar *et al.* (2017) mencionan a Ser289 en la H3 y Tyr327 en la H4 como importantes al momento de estabilizar la H12 y su intervención en un perfil de agonismo total. Sin embargo, Guasch *et al.* (2013) reportaron compuestos de agonismo parcial que incluyen estos dos aminoácidos, por lo que se sugiere que su papel no es determinante para inducir una activación total de PPARγ. Esta actividad del ácido ferúlico es consistente también con lo reportado por Senthil *et al.* (2021) y Ballav *et al.* (2022), donde se le reporta como agonista parcial de PPARγ.

En cuanto al ácido cafeico (AC) (Fig.4), se resalta su interacción con residuos, principalmente de la H3: Cys285 y Ser289; de la H4: Lys319 y Tyr327. No obstante, se observa una interacción con la Glu471 que corresponde a la H12 (Frkic, *et al.*, 2018), la cual, como ya se mencionó, se pretende evitar. Para el ácido sinapínico (AS) (Fig. 5) se resalta que interacciona, en su mayoría, con residuos de la H3, Ser289 y Arg288, así como Tyr327 de la H4. De igual manera, se observa que es la única molécula de las tres que arroja una posible interacción con estos tres aminoácidos de forma simultánea en el output 2 con la misma energía de interacción que con el output 1 (-5.7 kcal/mol), por lo cual resulta el más prometedor para una evaluación *in vitro* como un agonista parcial de PPARγ.

Tabla 1. Resultados de interacción de ácidos hidroxicinámicos con PPARγ

Ácido Ferúlico			
Output	**Residuo**	**Distancia (Angstroms)**	**Energía (kcal/mol)**
1	Cys285/Arg288	3.1/2.5/3.2	-6.3
2	Tyr327/Arg288	3.0/2.8/3.2	-5.7
3	Tyr327/Ser289	2.0/3.2	-5.5
Ácido Cafeico			
Output	**Residuo**	**Distancia (Angstroms)**	**Energía (kcal/mol)**
1	Ser289/Cys285	2.5-2.8/2.1	-6.0
2	Lys319/Glu471	1.9/2.0	-5.4
3	Tyr327	2.2/2.5	-5.3
Ácido Sinapínico			
Output	**Residuo**	**Distancia (Angstroms)**	**Energía (kcal/mol)**
1	Tyr327/Ser289	2.0/2.3	-5.7
2	Tyr327/Ser289/Arg288	2.2/2.3/2.1	-5.7
3	Tyr327/Ser289	2.2/2.2	-5.6

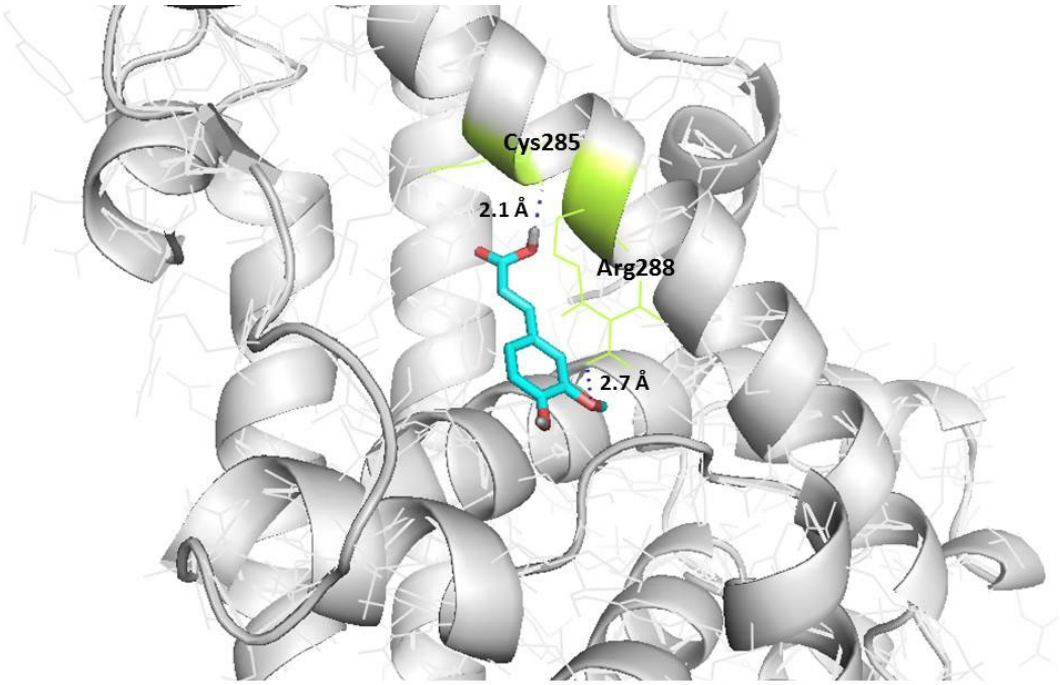


Figura 3. Output 1 del ácido ferúlico interactuando con el sitio de unión de ligandos (LBD) de PPARγ

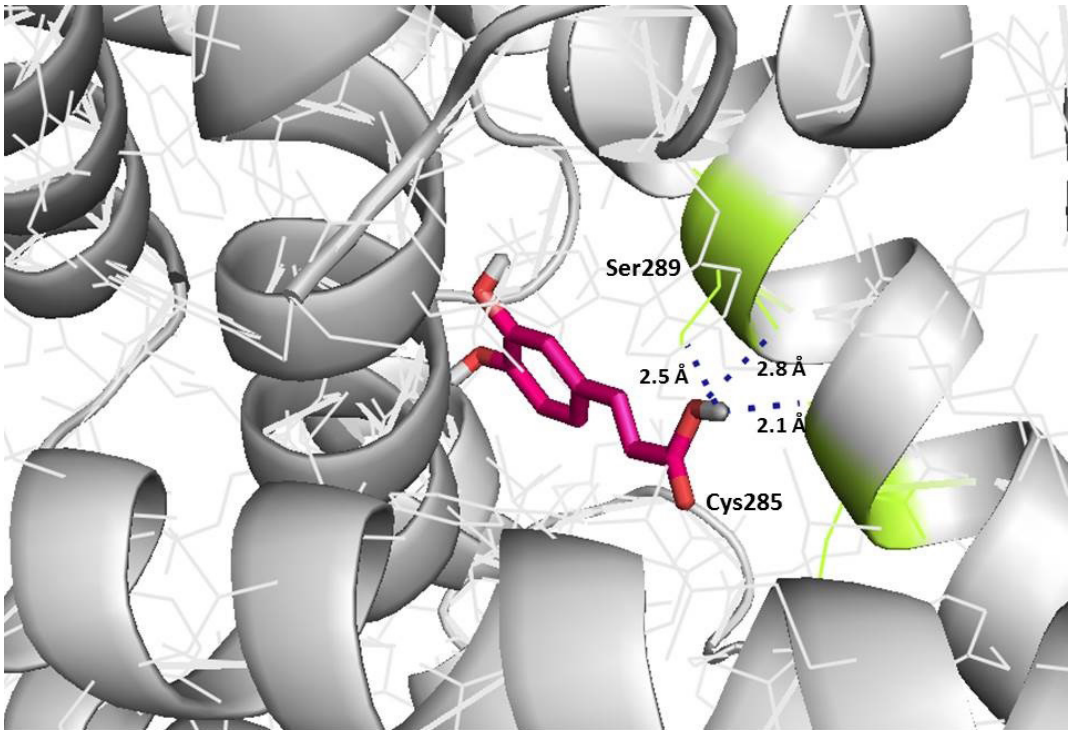


Figura 4. Output 1 del ácido caféico interactuando con el sitio de unión de ligandos (LBD) de PPARγ

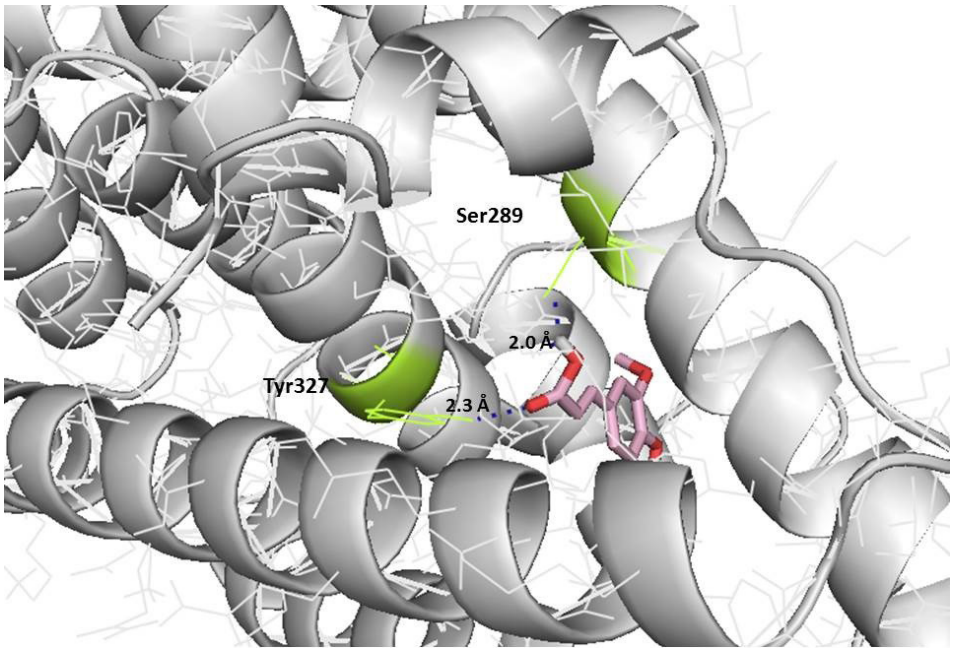


Figura 5. Output 1 del ácido sinapínico interactuando con el sitio de unión de ligandos (LBD) de PPARγ

Conclusiones

El ácido ferúlico es una molécula que ha sido reportada con potenciales antifibróticos y como una posible agonista parcial de PPARγ. En el presente trabajo se observó su interacción con la hélice 3 y no con la hélice 12, algo deseable en los agonistas parciales. Por otro lado, el ácido cafeico presentó interacciones con este último sitio que se pretende evitar y que está asociado al agonismo total. El ácido sinapínico resultó ser el mejor candidato para ser evaluado como agonista parcial, ya que no interactúa con la H12, sino simultáneamente con tres aminoácidos cruciales de la H3, a diferencia del ácido ferúlico que solo lo hace con dos.

La importancia de esto dentro de un contexto social es el potencial de contribuir a la reducción de enfermedades crónicas que tienen en el centro un aspecto como la desregulación de PPARγ: como la fibrosis hepática, renal, entre otras.

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.

Referencias

Ahmadian, M., Suh, J. M., Hah, N., Liddle, C., Atkins, A. R., Downes, M., & Evans, R. M. (2013). Pparγ signaling and metabolism: The good, the bad and the future. *Nature Medicine, 19*(5), 557–566. https://doi.org/10.1038/nm.3159

Ballav, S., Biswas, B., Sahu, V. K., Ranjan, A., & Basu, S. (2022). PPAR-γ partial agonists in disease-fate decision with special reference to cancer. *Cells (Basel, Switzerland), 11*(20), 3215. https://doi.org/10.3390/cells11203215

Balupillai, A., Prasad, R. N., Ramasamy, K., Muthusamy, G., Shanmugham, M., Govindasamy, K., & Gunaseelan, S. (2015a). Caffeic Acid Inhibits UVB-induced Inflammation and Photocarcinogenesis Through Activation of Peroxisome Proliferator-activated Receptor- c in Mouse Skin. *Photochemistry and Photobiology,91*(6), 1458–1468. https://doi.org/10.1111/php.12522

Barish, G. D., Narkar, V. A., & Evans, R. M. (2006). PPAR delta: a dagger in the heart of the metabolic syndrome. *The Journal of clinical investigation, 116*(3), 590–597. https://doi.org/10.1172/JCI27955

Brust, R., Shang, J., Fuhrmann, J., Mosure, S. A., Bass, J., Cano, A., Heidari, Z., Chrisman, I. M., Nemetchek, M. D., Blayo, A.-L., Griffin, P. R., Kamenecka, T. M., Hughes, T. S., & Kojetin, D. J. (2018). A structural mechanism for directing corepressor-selective inverse agonism of PPARγ. *Nature Communications, 9*(1). https://doi.org/10.1038/s41467-018-07133-w

Capelli, D., Cerchia, C., Montanari, R., Loiodice, F., Tortorella, P., Laghezza, A., Cervoni, L., Pochetti, G., & Lavecchia, A. (2016). Structural basis for PPAR partial or full activation revealed by a novel ligand binding mode. *Scientific Reports, 6*(1). https://doi.org/10.1038/srep34792

De Felipe, F. L. (2023). Revised aspects into the molecular bases of hydroxycinnamic acid metabolism in lactobacilli. *Antioxidants, 12*(6), 1294. https://doi.org/10.3390/antiox12061294

Evans, R. M., Barish, G. D., & Wang, Y. X. (2004). PPARs and the complex journey to obesity. *Nature Medicine, 10*(4), 355–361. https://doi.org/10.1038/nm1025

Itoh, T., Fairall, L., Amin, K., Inaba, Y., Szanto, A., Balint, B. L., Nagy, L., Yamamoto, K., & Schwabe, J. W. R. (2008). Structural basis for the activation of PPARγ by oxidized fatty acids. *Nature Structural & Molecular Biology, 15*(9), 924–931. https://doi.org/10.1038/nsmb.1474

Forli, S., Huey, R., Pique, M. E., Sanner, M. F., Goodsell, D. S., & Olson, A. J. (2016). Computational protein–Ligand docking and virtual drug screening with the AutoDock Suite. *Nature Protocols, 11*(5), 905-919. https://doi.org/10.1038/nprot.2016.051

Frkic, R. L., Marshall, A. C., Blayo, A.-L., Pukala, T. L., Kamenecka, T. M., Griffin, P. R., & Bruning, J. B. (2018). PPARγ in complex with an antagonist and inverse agonist: A tumble and trap mechanism of the activation helix. *iScience, 5*, 69–79. https://doi.org/10.1016/j.isci.2018.06.012

Guasch, L., Sala, E., Valls, C., Blay, M., Mulero, M., Arola, L., Pujadas, G., & Garcia-Vallvé, S. (2011). Structural insights for the design of new PPARgamma partial agonists with high binding affinity and low transactivation activity. *Journal of Computer-Aided Molecular Design, 25*(8), 717–728. https://doi.org/10.1007/s10822-011-9446-9

Kanagalakshmi A, Agilan B, Mohana S, Ananthakrishnan D, Velmurugan D, Karthikeyan R, Ganesan M, Srithar G and Rajendra Prasad N. Ferulic acid modulates ultraviolet-B radiation mediated inflammatory signaling in human dermal fibroblasts. *Journal of Research in Biology (2014) 4(*8):1505-1515.

Lakshmi, S. P., Reddy, A. T., & Reddy, R. C. (2017). Transforming growth factor β suppresses peroxisome proliferator-activated receptor γ expression via both SMAD binding and novel TGF-β inhibitory elements. *Biochemical Journal, 474*(9), 1531–1546. https://doi.org/10.1042/BCJ20160943

Mu, M., Zuo, S., Wu, R.-M., Deng, K.-S., Lu, S., Zhu, J.-J., Zou, G.-L., Yang, J., Cheng, M.-L., & Zhao, X.-K. (2018). Ferulic acid attenuates liver fibrosis and hepatic stellate cell activation via inhibition of TGF-β/Smad signaling pathway. *Drug Design, Development and Therapy, 12*, 4107–4115. https://doi.org/10.2147/dddt.s186726

Muralikumar, S., Vetrivel, U., Narayanasamy, A., & N. Das, U. (2017). Probing the intermolecular interactions of PPARγ-LBD with polyunsaturated fatty acids and their anti-inflammatory metabolites to infer most potential binding moieties. *Lipids in Health and Disease, 16*(1). https://doi.org/10.1186/s12944-016-0404-3

Özyurt, H., Söğüt, S., Yıldırım, Z., Kart, L., Iraz, M., Armutçu, F., Temel, İ., Özen, S., Uzun, A., & Akyol, Ö. (2004). Inhibitory effect of caffeic acid phenethyl ester on bleomycine-induced lung fibrosis in rats. *Clinica Chimica Acta; International Journal of Clinical Chemistry, 339*(1–2), 65–75. https://doi.org/10.1016/j.cccn.2003.09.015

Pellicoro, A., Ramachandran, P., Iredale, J. P., & Fallowfield, J. A. (2014). Liver fibrosis and repair: Immune regulation of wound healing in a solid organ. *Nature Reviews Immunology, 14*(3), 181–194. https://doi.org/10.1038/nri3623

Raish, M., Ahmad, A., Ahmad Ansari, M., Ahad, A., Al-Jenoobi, F. I., Al-Mohizea, A. M., Khan, A., & Ali, N. (2018). Sinapic acid ameliorates bleomycin-induced lung fibrosis in rats. *Biomedecine & Pharmacotherapie [Biomedicine & Pharmacotherapy], 108*, 224–231. https://doi.org/10.1016/j.biopha.2018.09.032

Senthil, R., Sakthivel, M., & Usha, S. (2021). Structure-based drug design of peroxisome proliferator-activated receptor gamma inhibitors: ferulic acid and derivatives. *Journal of Biomolecular Structure & Dynamics, 39*(4), 1295–1311. https://doi.org/10.1080/07391102.2020.1740790

Shi, Y., Shi, L., Liu, Q., Wang, W., & Liu, Y. (2023). Molecular mechanism and research progress on pharmacology of ferulic acid in liver diseases. *Frontiers in pharmacology, 14*. https://doi.org/10.3389/fphar.2023.1207999

Stopa, M., Anhuf, D., Terstegen, L., Gatsios, P., Gressner, A. M., & Dooley, S. (2000). Participation of Smad2, Smad3, and Smad4 in transforming growth factor β (TGF-β)-induced activation of Smad7: The TGF-β response element of the promoter requires functional Smad binding element and E-box sequences for transcriptional regulation. *Journal of Biological Chemistry, 275*(38), 29308–29317. https://doi.org/10.1074/jbc.M003282200

Wang, Z., Xu, J. P., Zheng, Y. C., Chen, W., Sun, Y. W., Wu, Z. Y., & Luo, M. (2011). Peroxisome proliferator-activated receptor gamma inhibits hepatic fibrosis in rats. *Hepatobiliary and Pancreatic Diseases International, 10*(1), 64–71. https://doi.org/10.1016/S1499-3872(11)60009-X

ALIMENTACIÓN, SALUD Y MEDIO AMBIENTE

ENFOQUES TRANSDISCIPLINARIOS: CIENCIA Y SOCIEDAD

Panorama del cáncer de colon en México

Sarah Eliuth Ochoa Hugo[1], Karla Valdivia Aviña[1], Alfredo Pineda Medina[1] y Rodolfo Hernández Gutiérrez[1*]

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

**Autor de correspondencia: rhgutierrez@ciatej.mx*

Resumen

El cáncer de colon ocupa la tercera posición entre las neoplasias más letales en el mundo con más de un millón de decesos anualmente. El objetivo de este trabajo fue presentar los datos más recientes sobre impacto del cáncer de colon en México, para lo cual se realizó una búsqueda bibliográfica en bases de datos como PubMed, EBSCO, GLOBOCAN, SEGOB e INEGI. En México este es el segundo tipo de cáncer más letal, afecta a más de 14,000 personas al año, la variación geográfica en el índice de mortalidad es mayor en la frontera norte, existen solo dos programas de detección temprana llevados a cabo por instituciones de salud y los datos epidemiológicos no se conocen con precisión ya que existe un subregistro de esta enfermedad. El cáncer de colon es un problema de salud nacional que requiere un seguimiento epidemiológico más cercano con datos estadísticos actualizados.

Palabras clave:
cáncer, incidencia, neoplasias del colon, mortalidad.

Enfoques Transdisciplinarios: Ciencia y Sociedad, 2(1), 43-57. ISSN. 3061-709X. https://doi.org/10.5281/zenodo.12785657

Recibido: 23 octubre 2023
Revisado: 14 diciembre 2023
Aceptado: 15 enero 2024
Publicado: 20 de enero 2024

Este artículo es un artículo de acceso abierto distribuido bajo los términos y condiciones de la licencia CC BY-NC-SA 4.0. Para ver una copia de esta licencia visite https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

Introducción

El cáncer de colon (CCR) es el tercer tipo de cáncer más común en el mundo. En el año 2020 existían 1.9 millones de personas con esta enfermedad y se estima que para el año 2030 incremente en un 60% a más de 2.2 millones de nuevos casos y 1.1 millones de muertes. El 10% de los diagnósticos y de las muertes relacionadas con el cáncer anualmente en el mundo se deben al CCR,

de los cuales aproximadamente el 51% son hombres y 49% son mujeres. Existe una variación geográfica en la incidencia y mortalidad de CCR ya que ha ido en aumento en los últimos 20 años, pasando de 1.02 y 0.529 millones en 2002 a 1.89 y 0.91 millones en 2020, respectivamente, siendo mayor en aquellos países con un índice mediano y alto de desarrollo humano, ya que estos suelen adoptar un estilo de vida "occidental" (Sung *et al.*, 2021).

En México, anualmente se reportan 14,000 casos y más de 7,000 decesos por CCR (Arnold *et al.*, 2017). Sin embargo, no se conocen con precisión los datos epidemiológicos ya que existe un subregistro de esta enfermedad. El objetivo de este trabajo fue presentar los datos más recientes sobre impacto de CCR en México, para lo cual se realizó una búsqueda bibliográfica durante los meses de octubre y noviembre de 2023 en bases de datos como PubMed, EBSCO, GLOBOCAN, SEGOB e INEGI. Debido al número limitado de reportes, se incluyeron los artículos publicados en los últimos 10 años (2013-2023) en idioma inglés y español.

Los resultados obtenidos muestran que el CCR es un problema de salud nacional del cual se han publicado guías de diagnóstico y tratamiento por instituciones tanto hospitalarias como académicas, sin embargo, se puede observar una comunión en la opinión de los profesionales de la salud dentro de sus reportes sobre el hecho de que los datos epidemiológicos nacionales suelen estar sub registrados. A pesar de que recientemente se han comenzado a realizar estudios locales en el Estado de México y en Jalisco para el diagnóstico temprano del CCR, aunado a estudios clínicos retrospectivos, es necesario un seguimiento más cercano a la epidemiología y situación real actual de este tipo de cáncer en México.

Desarrollo

Cáncer de colon

Función del colon en el sistema digestivo

El colon es la parte más distal del sistema gastrointestinal. Las regiones anatómicas que conforman el colon se extienden comenzando con el ciego, continuando con el colon ascendente, el colon transverso, el colon descendente, el colon sigmoide y finalizando con el recto, que es seguido del ano (Hedayat & Lapraz, 2019). Durante el metabolismo, el material que no logró ser digerido por el intestino delgado llega al colon, para que este pueda cumplir con su función: el colon ascendente y transverso absorben el agua y nutrientes restantes solidificándolos y formando las heces fecales, mientras que en el colon descendente se acumulan las heces que serán desechadas en el recto. El colon sigmoide se contrae, lo que incrementa la presión dentro del colon, moviendo las heces al recto, el cual almacena las heces que serán eliminadas mediante la defecación (Kahai *et al.*, 2023; Sulaiman & Marciani, 2019).

Factores de riesgo

Un estilo de vida positivo es parte fundamental para mantener el cuerpo saludable. Una dieta rica en carnes rojas y procesadas es un factor de riesgo para desarrollar CCR, pues éstas presentan aminas heterocíclicas (HAC), hidrocarburos aromáticos policíclicos (PAH) y compuestos N-nitroso (NOC), las cuales son sustancias nocivas que pueden producirse durante la cocción de la carne a altas temperaturas o a fuego abierto (Sawicki *et al.*, 2021). Por el contrario, el consumo de vegetales y frutas amplía la cantidad de sustancias potencialmente anticancerígenas, las cuales pueden funcionar a través de uno o varios mecanismos independientes o codependientes. También, la actividad física está asociada con una disminución del riesgo de CCR en un 40 a 50%, especialmente en el colon distal por la estimulación del tránsito intestinal y la reducción de los niveles de prostaglandina E2 (Galiano de Sánchez, n.d.). De acuerdo con reportes recientes, las personas que presentan antecedentes familiares de cáncer de colon tienen un riesgo 1.5 veces mayor de padecer la enfermedad en comparación con aquellos sin antecedentes (Jung *et al.*, 2022).

Además de los factores de riesgo ya mencionados, existen otros como la edad, donde se ha encontrado que existe un riesgo mayor del 80% de tener un pólipo con alto grado de displasia en personas de 60 años o más, en comparación con los más jóvenes (Galiano De Sánchez, 2005). También, los orígenes étnicos forman parte de los factores de riesgo. En Estados Unidos los indios americanos y los nativos de Alaska tienen las tasas más altas de cáncer, sólo un poco delante de las personas afroamericanas. Mientras que los judíos presentan el mayor riesgo de cáncer de colon que cualquier otro grupo (American Cancer Society, 2023).

Desarrollo del cáncer de colon

El CCR es un padecimiento que se puede desarrollar a partir de una pequeña lesión benigna denominada adenoma. Para que esto ocurra, es requerido una serie de mutaciones genéticas, éstas pueden ser somáticas o germinales, otorgando a las células ventajas de supervivencia e inmortalidad permitiendo que se sigan produciendo más mutaciones, las cuales proporcionan nuevas características a las células como proliferación, invasividad, resistencia multi-fármaco y capacidad de hacer metástasis (Brady & Yaeger, 2013). En la gran mayoría de los casos de CCR se observan duplicaciones, deleciones o translocaciones de cromosomas o segmentos como consecuencia de la inestabilidad cromosómica. Estos cambios pueden provocar una sobreexpresión de oncogenes, una expresión reducida de genes supresores de tumores o bien una expresión alterada de micro RNAs o RNAs que no codifican para algún tipo de proteína, pero pueden contribuir al avance de la enfermedad (Dekker *et al.*, 2019).

El desarrollo de CCR se clasifica en etapas que van de 0 a IV. La etapa 0 es la más temprana, el pólipo no se ha desarrollado más allá de la mucosa (la capa interna del colon o del recto); en la etapa I, el pólipo forma un adenocarcinoma que invade la mucosa propia; en la etapa II, el tumor crece a través de la pared del colon o del recto e invade aún más el tejido en la serosa; en la etapa III, penetra el peritoneo visceral; mientras que en la última etapa IV, se propaga a órganos distantes desarrollando metástasis (Hossain *et al.*, 2022).

Diagnóstico

Al surgir la sospecha de padecer de CCR, lo óptimo es llevar a cabo radiografías e histología del tumor, ya sea en estado primario o metastásico, antes de optar por administrar cualquier tipo de terapia. De acuerdo con la Sociedad Europea de Oncología Médica (ESMO), las pruebas moleculares y de biomarcadores son de suma importancia, puesto que asisten en la precisión de asignación de agentes quimioterapéuticos, así como en la realización de pruebas para establecer el estado de reparación de errores de coincidencia, KRAS, NRAS exón 2, 3 y 4, al igual que las mutaciones BRAF, en vista de su importancia en la selección de la terapia de primera línea (Cervantes *et al.*, 2023).

Actualmente, el uso de biomarcadores para un diagnóstico oportuno o temprano, no es de uso rutinario en la práctica mundial, a diferencia de la inmunohistoquímica fecal donde los pacientes proporcionan una muestra de sus heces fecales, las cuales se analizan para confirmar la presencia de sangre en ellas (Kamel *et al.*, 2022).

Tratamientos convencionales

El tratamiento adecuado e integral del CCR implica la intervención de varios médicos especialistas: gastroenterólogos, cirujanos de colon y recto, oncólogos, radio-oncólogos y patólogos, también algunos otros expertos como educadores sobre cáncer, personal de enfermería especialistas en cáncer y nutriólogos.

El enfoque terapéutico actual contra el CCR consiste en: (i) quimioterapia: que destruye las células cancerosas en todo el cuerpo usando 5-FLU (5-fluorouracilo), capecitabina (Xeloda), irinotecán (Camptosar), oxaliplatino (Eloxatin), trifluridina o tipiracilo (Lonsurf); (ii) terapia dirigida: con Bevacizumab (Avastin), Cetuximab (Erbitux) o Panitumumab (Vectibix); (iii) inmunoterapia: mediante Pembrolizumab (Keytruda), Nivolumab (Opdivo); (iv) radioterapia y (v) cirugía, o una combinación de estos. Sin embargo, su éxito depende en gran parte del estadio de la enfermedad, el metabolismo de ésta y de la variedad de respuestas que se presentan entre los individuos que la padecen (Xie *et al.*, 2020).

En general, la quimioterapia y la radiación son más severas que la terapia dirigida, la cual mejora la selectividad del tratamiento puesto que está dirigida a células (tumorales) específicas. La inmunoterapia ayuda al cuerpo a utilizar su propio sistema inmunológico para detectar y eliminar las células cancerosas; las personas con CCR avanzado son candidatos adecuados para esta terapia adyuvante. La radioterapia utiliza radiación de alta energía (rayos) para destruir las células cancerosas y prevenir que se multipliquen, pero puede generar efectos adversos a corto o mediano plazo. Los métodos de ablación, por su parte, implican el uso de luz, microondas, radiofrecuencia o criocirugía para destruir un tumor sin extirparlo (Takahashi & Berber, 2020).

Los tratamientos anteriormente mencionados son dependientes de la etapa de la enfermedad (ver Figura 1), las cuales se describen a continuación:

Etapa 0: En esta etapa la cirugía es el único tratamiento, sea extirpando el pólipo o parte del área a través de un colonoscopio o retirando parte del colon con una colectomía parcial. Etapa I: Si hay células cancerosas en los bordes del pólipo, es posible que se recomiende cirugía adicional a la de la etapa 0, usualmente no se requiere ningún otro tratamiento en esta etapa. Etapa II: Al igual que en la etapa 0 y I, la cirugía forma parte del tratamiento, y a criterio del médico, es posible que se le administre quimioterapia como tratamiento adyuvante después de la cirugía. Algunos de los agentes quimioterapéuticos y regímenes principales para tratar el cáncer de colon son: 5-FU y Leucovorina en combinación con irinotecan (FOLFIRI o FLIRI), oxaliplatino (FOLFOX) e Irinotecan y oxaliplatino (FOLFIRINOX). Etapa III: En esta etapa también se retiran con cirugía los ganglios linfáticos próximos al tumor y posteriormente se administra la quimioterapia. En algunos casos donde el cáncer es más avanzado y no puede ser extirpado por cirugía, el paciente es sometido a quimioterapia y radiación neoadyuvante para reducir el tamaño del tumor y entonces ser extirpado. En los pacientes que no son aptos para cirugía la quimioterapia y/o la radiación son el tratamiento principal. Etapa IV: Los cánceres de colon en etapa IV, son tratados según su diseminación en el cuerpo. Si son focalizados, pueden ser extraídos mediante cirugía y tratados con quimioterapia neo o adyuvante. Cuando el cáncer se ha extendido desmesuradamente, como para ser extraído por cirugía, la quimioterapia pasa a ser el tratamiento principal (American Cancer Society, 2020). Las terapias dirigidas son otro tipo de tratamiento utilizado en esta etapa para controlar el cáncer, mientras que la radioterapia es utilizada en cánceres bastante avanzados para disminuir los síntomas del cáncer de colon. En esta etapa el principal propósito es brindar una mayor calidad de vida a los pacientes, ya que a la fecha no se cuenta con una cura establecida (Yamai *et al.*, 2022).

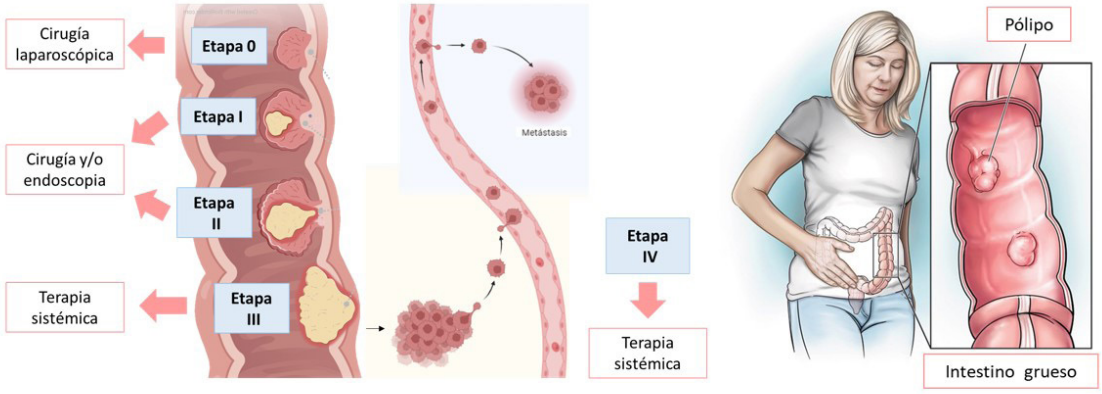


Figura 1. Etapas en la progresión del CCR. Representación gráfica del desarrollo de la enfermedad por etapas y su respectiva opción de tratamiento. Posterior a la detección del CCR, es requerido conocer que tanto se ha propagado dentro del cuerpo y definir la etapa en la que se encuentra. Esto ayuda a determinar la cantidad de cáncer en el paciente y su gravedad, para optar así por el tratamiento más adecuado. Modificado de ChemoExperts.

Tratamientos experimentales

El tratamiento quimioterapéutico de primera línea contra el CCR consiste en un régimen multi-fármaco, no obstante, la quimioterapia presenta limitaciones como la toxicidad sistémica, efectos secundarios no deseados y la resistencia multi-fármaco, por parte de las células tumorales, lo cual limita su selectividad, efecto y el éxito terapéutico. La nanotecnología se muestra como una terapia novedosa ya que disminuye la problemática relacionada a la resistencia multi-fármaco debido a la naturaleza de los materiales empleados (Sakthi Devi *et al.*, 2022).

La nanotecnología es un campo multifacético de la ciencia que trabaja con partículas nanométricas que van desde los 10 hasta los 100 nm, tamaño ideal para no ser percibidos por los mecanismos celulares de eflujo de fármacos relacionados con la multi-fármaco. El propósito del uso de nanopartículas en el campo de la medicina es el de incrementar la eficacia, especificidad y bioseguridad en terapia (Egloff-Juras *et al.*, 2019). La caracterización de las nanopartículas se basa en su morfología (rectangular, triangular, poliédrica, octagonal o esférica), entre las cuales aquellas basadas en metales han ganado atención en los últimos años debido a sus distintas propiedades (Sakthi Devi *et al.*, 2022).

La terapia fototérmica es una de las terapias más eficientes que puede inducir apoptosis de lesiones específicas malignas con un mínimo de invasión y efectos secundarios comparado con otras modalidades terapéuticas. La irradiación en el infrarrojo cercano (NIR, por sus siglas en inglés), es particularmente beneficiosa para la terapia fototérmica debido a que la luz NIR penetra tejidos con una citotoxicidad mínima debido a la baja absorción de fotones de biomoléculas endógenas en una

longitud de onda de 800 nm, produciendo un aumento de temperatura entre 39 °C - 45 °C. Entre los agentes fototérmicos se encuentran los nanomateriales basados en oro y carbón como lo más estudiados en terapias contra el cáncer debido a su alta eficacia de conversión fototérmica y la acumulación preferencial en tumores debido a efectos de permeabilidad y retención (Yoon *et al.*, 2017).

Por otra parte, la electroporación o electropermeabilización es una terapia que consiste en aplicar cortos pulsos de alto voltaje para causar permeabilización en la membrana de la célula para permitir el pasaje de iones, moléculas o nanopartículas no permeables a la membrana celular. Con el empleo de esta técnica en combinación con quimioterapéuticos, se logra incrementar la concentración intracelular del fármaco (Frandsen *et al.*, 2020).

Epidemiología del cáncer de colon

En el año 2020, el CCR representó un 10% en la incidencia mundial de cáncer (1.93 millones de casos de un total de 19.29 millones) y 9.4% en las muertes causadas por cáncer (0.94 millones de un total de 9.96 millones). De acuerdo con los reportes más recientes, el CCR es la tercera causa de muerte relacionada con cáncer en hombres y mujeres alrededor del mundo con una estimación de 515,637 decesos en hombres y 419,536 en mujeres (ver Figura 2). Hoy en día más de 5.25 millones de personas viven con CCR alrededor del mundo. Se prevé que para 2040 el CCR alcance 3.2 millones de casos a nivel mundial con base a la proyección tanto de envejecimiento como de crecimiento de la población y de desarrollo humano (Xi & Xu, 2021).

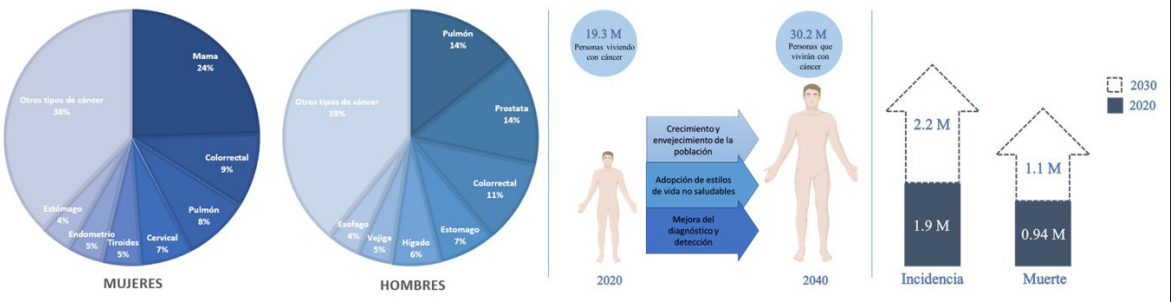


Figura 2. Estimación de nuevos casos de cáncer en mujeres y hombres a nivel mundial durante el año 2020. El cáncer de mama (24%), CCR (9%) y pulmón (8%) son los más comunes dentro de la población del género femenino. El cáncer de pulmón (15%) próstata (14%) y CCR (11%) son los más comunes dentro de la población del género masculino. Datos obtenidos de GLOBOCAN 2020.

Cáncer de colon en México

Se estima que para el año 2035 el número total de muertes relacionadas al CCR en el mundo incrementará un 60%, presentando variaciones entre países dependiendo del grado de desarrollo económico de los mismos (ver Tabla 1). Por lo tanto, esta enfermedad es reconocida como un marcador del desarrollo socioeconómico de los países, ya que el incremento de casos está relacionado con el estilo de vida y los hábitos alimenticios (Sawicki *et al.*, 2021).

En México, el cáncer de colon es la segunda causa de muerte y el tercero más frecuente dentro de las patologías oncológicas en la población general. Durante el año 2020 se registraron en el país un total de 14,631 nuevos casos de los cuales 7,936 se presentaron en hombres y 6,695 en mujeres (Sung *et al.*, 2021).

Tabla 1. Casos de CCR en países del mundo durante el año 2020

Población	Total	Mujeres	Hombres
México	14,631	6,695	7,936
China	555,477	235,991	319,486
Estados Unidos	155,008	73,354	81,654
Japón	148,505	67,209	81,296
Rusia	77,213	41,529	35,684
India	65,358	24,950	40,408
Alemania	57,528	26,654	30,874
Brasil	55,102	27,756	27,346
Reino Unido	52,128	23,234	28,894
Italia	48,586	22,998	25,588
Francia	48,061	22,280	25,781

Fuente. Datos obtenidos de GLOBOCAN 2020

Diagnóstico temprano

A pesar de los importantes avances en el estudio, la comprensión y el tratamiento del cáncer, el número de casos sigue aumentando, por lo que sigue siendo una de las principales causas de muerte en todo el mundo. El diagnóstico precoz y el tamizaje son aspectos clave en la batalla contra el cáncer, ya que permiten incrementar la eficacia de las terapias y la reducción de las tasas de mortalidad (Tinajero-Díaz *et al.*, 2021).

En nuestro país existen solo dos programas de detección de CCR llevados a cabo por instituciones de salud, las cuales han buscado realizar protocolos de tamizaje en la población mexicana para pacientes con riesgo, de acuerdo con las recomendaciones de asociaciones internacionales sobre cáncer como la Sociedad Americana de Cáncer (ACS, por sus siglas en inglés). A pesar de que estos programas han logrado detectar casos de CCR en pacientes, los programas de tamizaje en México son escasos, no

tienen resultados de largo alcance y no suelen llegar a la mayoría de la población, lo que reduce su impacto significativamente. Este fenómeno se puede observar también en la mayoría de los países de América Latina (González-Duarte *et al.*, 2019).

En el año 2017, el Instituto Nacional de Cancerología (INCAN) realizó un protocolo de tamizaje para neoplasias de colon y recto en población con riesgo promedio con base en la prueba inmunoquímica fecal (FIT), la cual utiliza anticuerpos contra la hemoglobina para detectar sangre oculta en heces (ver figura 3). En tal protocolo se obsequiaron alrededor de 892 pruebas FIT, de las cuales se procesaron 809 (90%) siendo 689 negativas y 120 positivas. De las pruebas positivas, sede realizaron colonoscopias a 96 pacientes, de los cuales 6 presentaron mucosa normal, 37 una patología benigna, 48 lesiones pre-malignas y 5 pacientes (4.8%) confirmaron malignidad (Secretaría de Salud, 2018).

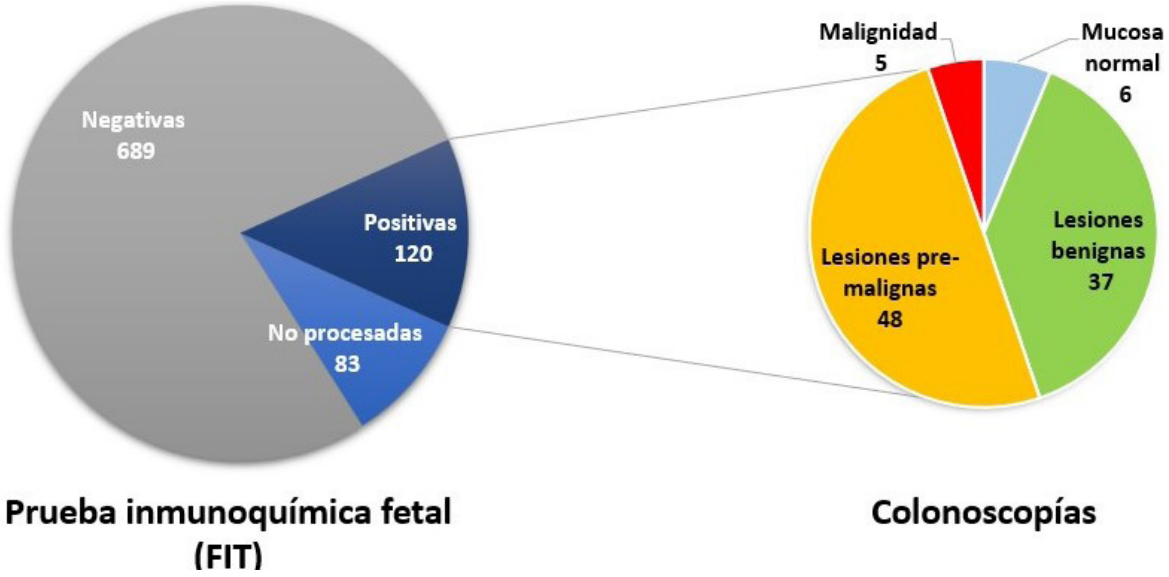


Figura 3. Protocolo de tamizaje del INCAN en 2017. Representación gráfica de los resultados obtenidos en el primer y a la fecha único protocolo de tamizaje con resultados preliminares de pacientes con riesgo de CCR en México. De un total de 892 pruebas FIT, 120 resultaron positivas, de las cuales cinco (4.8%) mostraron malignidad en el tejido con presencia de adenocarcinoma. Datos de la (Secretaría de Salud, 2018).

El segundo protocolo se inició en agosto de 2018 en el Antiguo Hospital Civil Fray Antonio Alcalde en la ciudad de Guadalajara, con una muestra inicial de 200 pacientes. Esta "Prueba inmunoquímica para detección de sangre oculta en heces como tamizaje para neoplasias colorrectales" toma en cuenta las recomendaciones de la ACS para el tamizaje de pacientes con riesgo promedio de desarrollar CCR y, además, a los pacientes con FIT negativa se les realiza un estudio de radiofrecuencia para sustentar con un estudio de imagen el resultado negativo. El estudio se encuentra a la espera de resultados preliminares (González-Duarte *et al.*, 2019).

Son necesarias nuevas estrategias de detección temprana mediante tamizajes en la población a través de campañas organizadas por el gobierno u hospitales locales,

como las previamente descritas, sin embargo, estas deben ser más ambiciosas, es decir, necesitan llegar a una extensión de población más grande que aquella que cubre un solo centro de salud.

Ensayos clínicos

En la literatura se pueden encontrar otros ensayos clínicos sobre la epidemiología del CCR en México, basados en estudios retrospectivos de casos reportados a nivel hospitalario durante un periodo de tiempo determinado; sin embargo, estos presentan limitaciones como lo son el tamaño de la muestra, expedientes clínicos incompletos, estudios no interinstitucionales, pocas publicaciones sobre la epidemiología del CCR en México y, por lo tanto, la no adopción de políticas para su prevención y tratamiento oportuno.

En el Hospital Juárez de la Ciudad de México se llevó a cabo un estudio retrospectivo de enero del 2008 a enero del 2015 sobre las características epidemiológicas e histopatológicas del CCR, en el que se realizaron 2,197 colonoscopias en 101 pacientes menores de 50 años y en 614 pacientes mayores de 50 años confirmados por histología de CCR. Los resultados del estudio sobre la población mexicana se asemejan a los reportados por otros países ya que estos arrojaron que esta enfermedad predomina en el género masculino sin diferencia significativa con el género femenino, el 39.5% presentó factores de riesgo, es más frecuente en el colon derecho, el adenocarcinoma es de tipo histológico y se clasifica en estadio clínico en Etapa IIA (Burbano Luna *et al.*, 2016).

Por otra parte, en el Hospital de Oncología del Centro Médico Nacional Siglo XX1 del Instituto Mexicano del Seguro Social (IMSS) se llevó a cabo un estudio retrospectivo y descriptivo del total de colonoscopias de pacientes con sospecha o diagnóstico ya conocido de CCR en los 5 años que comprenden del 2014 al 2019. Se revisaron 7,302 colonoscopías de las que 3,436 fueron positivas a CCR, siendo 1,871 hombres (54.45%) y 1,565 (45.55%) mujeres, con una edad promedio de 60 años (24-95), de las que 722 se detectaron en pacientes con edad menor a los 50 años (21%). El reporte hace hincapié en el hecho de que cerca de la mitad de los pacientes se presentaron en una etapa incurable y a un porcentaje considerable de la población por debajo de los 50 años se le detectó adenocarcinoma (Leal-Omar *et al.*, 2019).

Monitoreo de mortalidad

Uno de los retos para el óptimo registro de casos de CCR en México es el contar con instrumentos de monitoreo que permitan medir la evolución de la enfermedad en el país a través de los años. El Centro de Población y Salud en Mesoamérica

realizó un estudio sobre el monitoreo de la mortalidad de CCR en la frontera norte de México en un periodo de 17 años transcurrido entre 1998 y 2015. Sus resultados indican que se encuentran niveles mayores de mortalidad en la frontera norte, en comparación con aquellos estados ubicados en el sur del país, ya que se presentan tendencias de índole social y económica relacionados con patrones de consumo de carne roja y procesada (Manzanares Rivera, 2020).

Siguiendo con la línea de reportes sobre mortalidad en México, el Instituto de Seguridad y Servicios Sociales de los Trabajadores del Estado (ISSSTE), realizó un estudio en el que se analizaron los certificados oficiales de defunción a nivel nacional registrados por el INEGI en el año 2017. Del total de 85, 201 defunciones por CCR durante el 2017, el 10.7% correspondió a hombres y el 5.5% a mujeres. Con una tasa global estimada de 6,506 casos de CCR por cada 100,000 defunciones, los estados con mayor mortalidad fueron la Ciudad de México (7.24%), Nuevo León (6.71%), Baja California Sur (6.26%), Baja California (6.2%) y Chihuahua (6.2%). En las instituciones de salud se encontraron las siguientes tasas de defunciones: IMSS (5.19%), ISSSTE (5.03%), Seguro Popular (2.53%) y Petróleos Mexicanos (1.01%) (Aldaco-Sarvide *et al.*, 2019).

Los reportes anteriormente mencionados sobre el CCR en México exponen un desequilibrio entre las regiones con mayor tasa de mortalidad y la disponibilidad de los especialistas, lo cual impacta negativamente en la capacidad de atención al paciente y en la realización de estudios para la detección oportuna, lo que es sumamente importante para el tratamiento y eventual seguimiento de la evolución de la enfermedad.

Conclusiones

De los resultados mostrados, se puede concluir que la información estadística y epidemiológica reportada por instituciones de salud y gobierno, relacionada con el CCR en México es escasa y a pesar de que es uno de los tipos de cáncer más relevantes en nuestro país, el foco de atención se dirige principalmente al cáncer de mama y cáncer cervicouterino. Aunado a esto, consideramos relevante destacar el impacto de los hábitos alimenticios relacionados con patrones de consumo de alimentos procesados en la población de estrato social y económico medio y medio-alto, observados en la zona fronteriza norte, así como, en la ciudad de México, en los cuales la incidencia y mortalidad relacionada con CCR es mayor que en el resto del país. Finalmente, es necesario realizar un seguimiento más cercano a la epidemiología del CCR con estadísticas actualizadas de los reportes hospitalarios de casos y defunciones, ya que los casos reportados difieren en gran medida con los datos de los países con sistemas de salud más sofisticados.

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.

Agradecimientos

Sarah Eliuth Ochoa Hugo con CVU 891162 agradece a CONAHCYT por la beca otorgada para su formación del programa de Doctorado en Ciencias en Innovación Biotecnológica. Karla Valdivia Aviña con CVU 1169625 agradece a CONAHCYT por la beca otorgada para su formación en el programa de Maestría en Ciencias en Innovación Biotecnológica. Alfredo Pineda Medina agradece al Conacyt por la beca otorgada para tesis de licenciatura bajo el proyecto CONAHCYT-FORDECYT-PRONACES/568483/2020.

Referencias

Aldaco-Sarvide, F., López-Cruz, L., Erazo-Valle-Solís, A. A., Cervantes-Sánchez, G., Cárdenas-Cárdenas, E., & Torrecillas-Torres, L. (2019). Mortalidad por cáncer colorrectal en México. *Revista de Especialidades Médico-Quirúrgicas, 24*(1). www.remq-issste.com

American Cancer Society. (2020). Colorectal Cancer Risk Factors. Recuperado el 12 de octubre de 2023, de https://www.cancer.org/cancer/types/colon-rectal-cancer/causes-risks-prevention/risk-factors.html

American Cancer Society. (2020). *Treatment of Colon Cancer, by Stage*. Recuperado el 15 de octubre de 2023, de https://www.cancer.org/cancer/types/colon-rectal-cancer/treating/by-stage-colon.html

Arnold, M., Sierra, M. S., Laversanne, M., Soerjomataram, I., Jemal, A., & Bray, F. (2017). Global patterns and trends in colorectal cancer incidence and mortality. *Gut, 66*(4), 683–691. https://doi.org/10.1136/GUTJNL-2015-310912/-/DC1

Brady, L. W., & Yaeger, T. E. (Eds.). (2013). *Encyclopedia of Radiation Oncology*. Springer Berlin Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-540-85516-3

Burbano Luna, D. F., Manrique, M. A., Chávez García, M. Á., Pérez Corona, T., Hernández Velázquez, N. N., Escandón Espinoza, Y. M., Gómez Urrutia, J. M., Rubalcaba Macías, E. J., Martínez Ramírez, G., Cisneros, A. A., García Romero, A., Martínez Galindo, M. G., & Cerna Cardona, J. (2016). Epidemiología del cáncer colorrectal en menores de 50 años en el Hospital Juárez de México. *Endoscopia, 28*(4), 160–165. https://doi.org/10.1016/J.ENDOMX.2016.10.008

Cervantes, A., Adam, R., Roselló, S., Arnold, D., Normanno, N., Taïeb, J., Seligmann, J., De Baere, T., Osterlund, P., Yoshino, T., & Martinelli, E. (2023). Metastatic

colorectal cancer: ESMO Clinical Practice Guideline for diagnosis, treatment and follow-up. *Annals of Oncology: Official Journal of the European Society for Medical Oncology, 34*(1), 10–32. https://doi.org/10.1016/J.ANNONC.2022.10.003

Dekker, E., Tanis, P. J., Vleugels, J. L. A., Kasi, P. M., & Wallace, M. B. (2019). Colorectal cancer. *The Lancet, 394*(10207), 1467–1480. https://doi.org/10.1016/S0140-6736(19)32319-0

Egloff-Juras, C., Bezdetnaya, L., Dolivet, G., & Lassalle, H. P. (2019). NIR fluorescence-guided tumor surgery: New strategies for the use of indocyanine green. *International Journal of Nanomedicine, 14*, 7823–7838. https://doi.org/10.2147/IJN.S207486

Frandsen, S. K., Vissing, M., & Gehl, J. (2020). A comprehensive review of calcium electroporation —A novel cancer treatment modality. *Cancers, 12*(2). MDPI AG. https://doi.org/10.3390/cancers12020290

Galiano de Sánchez, M. T. (n.d.). *Cáncer colorrectal (CCR)*. Recuperado el 12 de octubre de 2023, de http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-99572005000100006

González-Duarte, J. A., Barragán-Sánchez, A., Villa-Meda, F., Covarrubias-Leos, A. K., Betancourt-Vicencio, S., Carrillo-Valdéz, S., Jauregui, L. A. A.-, Magaña-Vaca, J. F., Hernández-Gómez, F., Zepeda-Solís, C., Navarro-Lara, E., & Enciso-Pérez, D. (2019). Opciones de tamizaje para cáncer colorrectal. *Revista Médica MD, 10.11*(4), 277–284.

Hedayat, K. M., & Lapraz, J. C. (2019). T*he Theory of Endobiogeny: Volume 2: Foundational Concepts for Treatment of Common Clinical Conditions*. Academic Press. https://doi.org/10.1016/C2018-0-00953-6

Hossain, Md. S., Karuniawati, H., Jairoun, A. A., Urbi, Z., Ooi, D. J., John, A., Lim, Y. C., Kibria, K. M. K., Mohiuddin, A. K. M., Ming, L. C., Goh, K. W., & Hadi, M. A. (2022). Colorectal Cancer: A Review of Carcinogenesis, Global Epidemiology, Current Challenges, Risk Factors, Preventive and Treatment Strategies. *Cancers, 14*(7), 1732. https://doi.org/10.3390/cancers14071732

Jung, Y. S., Song, H., Tran, M. T. X., Park, B., & Moon, C. M. (2022). Association between A Family History of Colorectal Cancer and the Risk of Colorectal Cancer: A Nationwide Population-Based Study. *Journal of Personalized Medicine, 12*(10), 1566. https://doi.org/10.3390/jpm12101566

Kahai, P., Mandiga, P., Wehrle, C. J., & Lobo, S. (2023). *Anatomy, Abdomen and Pelvis: Large Intestine*. StatPearls. https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK470577/

Kamel, F., Eltarhoni, K., Nisar, P., & Soloviev, M. (2022). Colorectal Cancer Diagnosis: The Obstacles We Face in Determining a Non-Invasive Test and Current Advances in Biomarker Detection. *Cancers, 14*(8), 1889. https://doi.org/10.3390/CANCERS14081889/S1

Leal-Omar, J., Zarate-Guzmán, J., Peniche-Moguel, P., Gil-Rojas, N., Briones-Fraga, S., Gómez-García, T., Morones-Navarrete, G., Mena-Contreras, A. A., Leal-Omar, J., Zarate-Guzmán, J., Peniche-Moguel, P., Gil-Rojas, N., Briones-Fraga, S., Gómez-García, T., Morones-Navarrete, G., & Mena-Contreras, A. A. (2019). Demografía del cáncer colorrectal en los últimos 5 años de un hospital oncológico. *Endoscopia, 31*(2), 363–369. https://doi.org/10.24875/END.M19000125

Manzanares Rivera, José Luis. (2020). Cáncer de colon en los estados fronterizos mexicanos. *Población y Salud en Mesoamérica, 18*(1), 122-148. https://dx.doi.org/10.15517/psm.v18i1.40061

Sakthi Devi, R., Girigoswami, A., Siddharth, M., & Girigoswami, K. (2022). Applications of Gold and Silver Nanoparticles in Theranostics. *Applied Biochemistry and Biotechnology, 194*(9), 4187–4219. Springer. https://doi.org/10.1007/s12010-022-03963-z

Sawicki, T., Ruszkowska, M., Danielewicz, A., Niedźwiedzka, E., Arłukowicz, T., & Przybyłowicz, K. E. (2021). A Review of Colorectal Cancer in Terms of Epidemiology, Risk Factors, Development, Symptoms and Diagnosis. *Cancers, 13*(9), 2025. https://doi.org/10.3390/cancers13092025

Secretaría de Salud. (2018). *El INCan lanza la primera campaña de detección temprana de cáncer colorrectal.* Recuperado el 15 de octubre de 2023, de https://www.gob.mx/salud/articulos/el-incan-lanza-la-primera-campana-de-deteccion-temprana-de-cancer-colorrectal?idiom=es

Sulaiman, S., & Marciani, L. (2019). MRI of the Colon in the Pharmaceutical Field: The Future before us. *Pharmaceutics, 11*(4), 146. https://doi.org/10.3390/pharmaceutics11040146

Sung, H., Ferlay, J., Siegel, R. L., Laversanne, M., Soerjomataram, I., Jemal, A., & Bray, F. (2021). Global Cancer Statistics 2020: GLOBOCAN Estimates of Incidence and Mortality Worldwide for 36 Cancers in 185 Countries. CA: A Cancer Journal for Clinicians, 71(3), 209–249. https://doi.org/10.3322/CAAC.21660

Takahashi, H., & Berber, E. (2020). Role of thermal ablation in the management of colorectal liver metastasis. *Hepatobiliary Surgery and Nutrition, 9*(1), 49–58. https://doi.org/10.21037/HBSN.2019.06.08

Tinajero-Díaz, E., Salado-Leza, D., Gonzalez, C., Velázquez, M. M., López, Z., Bravo-Madrigal, J., Knauth, P., Flores-Hernández, F. Y., Herrera-Rodríguez, S. E., Navarro, R. E., Cabrera-Wrooman, A., Krötzsch, E., Carvajal, Z. Y. G., & Hernández-Gutiérrez, R. (2021). Green Metallic Nanoparticles for Cancer Therapy: Evaluation Models and Cancer Applications. *Pharmaceutics 2021, 13*(10), 1719. https://doi.org/10.3390/PHARMACEUTICS13101719

Xi, Y., & Xu, P. (2021). Global colorectal cancer burden in 2020 and projections to 2040. *Translational Oncology, 14*(10). https://doi.org/10.1016/J.TRANON.2021.101174

Xie, Y. H., Chen, Y. X., & Fang, J. Y. (2020). Comprehensive review of targeted therapy for colorectal cancer. *Signal Transduction and Targeted Therapy, 5*(1). https://doi.org/10.1038/s41392-020-0116-z

World Health Organization. (2020). *Cancer Today*. Recuperado el 15 de octubre de 2023, de https://gco.iarc.fr/today/online-analysis-treemap?v=2020&mode=cancer&mode_population=continents&population=900&populations=900&key=asr&sex=0&cancer=39&type=0&statistic=5&prevalence=0&population_group=0&ages_group%5B%5D=0&ages_group%5B%5D=17&group_cancer=1&include_nmsc=0&include_nmsc_other=1&reloaded

Yamai, T., Ikezawa, K., Kawamoto, Y., Hirao, T., Higashi, S., Daiku, K., Maeda, S., Abe, Y., Urabe, M., Kai, Y., Takada, R., Nakabori, T., Uehara, H., & Ohkawa, K. (2022). 5-Fluorouracil/L-Leucovorin Plus Oxaliplatin (FOLFOX) Regimen as Salvage Chemotherapy for Patients with Unresectable Pancreatic Cancer Receiving Gemcitabine and Nab-Paclitaxel and 5-Fluorouracil/L-Leucovorin Plus Nanoliposomal Irinotecan: Preliminary Results from Clinical Practice. *Current Oncology 2022, 29*(4), 2644–2649. https://doi.org/10.3390/CURRONCOL29040216

Yoon, H. J., Lee, H. S., Lim, J. Y., & Park, J. H. (2017). Liposomal Indocyanine Green for Enhanced Photothermal Therapy. *ACS Applied Materials and Interfaces, 9*(7), 5683–5691. https://doi.org/10.1021/acsami.6b16801

ENFOQUES TRANSDISCIPLINARIOS: CIENCIA Y SOCIEDAD

GAS6 y FGFR4 como blancos terapéuticos novedosos en cáncer de páncreas

Alicia María Reveles-Espinoza[1], Rubiette Azucena Hernández Becerra[2], Laura Liliana José Ochoa[2], Ernesto Prado Montes de Oca[3], Isaac Chairez Oria[4], Iván de Jesús Salgado Ramos[1], Luis Joel Figueroa Yáñez[5], Eduardo Padilla Camberos[6], Alba Adriana Vallejo-Cardona[2*]

[1]Medical Robotics and Biosignals Laboratory, CIDETEC, IPN, Ciudad de México, México.
[2]Unidad de Biotecnología Médica y Farmacéutica, CONAHCYT-CIATEJ, Guadalajara, Jalisco, México.
[3]LAMPER, Unidad de Biotecnología Médica y Farmacéutica, CIATEJ, Guadalajara, Jalisco, México.
[4]Institute of Advanced Materials for Sustainable Manufacturing, Tecnológico de Monterrey, Guadalajara, Jalisco, México.
[5]Unidad de Biotecnología Industrial, CIATEJ, Zapopan, Jalisco, México.
[6]Unidad de Biotecnología Médica y Farmacéutica, CIATEJ, Guadalajara, Jalisco, México.
[*] Autor de correspondencia: avallejo@ciatej.mx

Palabras clave:
blancos terapéuticos, cáncer de páncreas, FGF19/FGFR4, GAS6/TAM, microambiente tumoral, regulación inmunológica.

Resumen

El cáncer de páncreas presenta una de las tasas de supervivencia más bajas, debido a su difícil diagnóstico y tratamiento. Con el objetivo de identificar blancos terapéuticos candidatos que ayuden en su tratamiento, se realizó una búsqueda en bases de datos de proteínas involucradas en diferentes procesos relacionados con el cáncer de páncreas; así mismo, se analizó su papel en la respuesta inmune para comprender su comportamiento en el microambiente tumoral. Dos de las proteínas identificadas mediante el análisis fueron la Proteína 6 Específica de Detención del Crecimiento (GAS6) y el Receptor 4 del Factor de Crecimiento de Fibroblastos (FGFR4), las cuales activan varias cascadas de señalización que influyen en los procesos del desarrollo y progresión del cáncer, así como en el microambiente tumoral. Además, en cáncer de páncreas se ha demostrado que su inhibición disminuye la proliferación celular, la invasión, el desarrollo tumoral y la metástasis. Debido a esto, GAS6 y FGFR4 resultan atractivas para el desarrollo de nuevas terapias contra el cáncer de páncreas.

Enfoques Transdisciplinarios: Ciencia y Sociedad, 2(1), 59-73. ISSN. 3061-709X. https://doi.org/10.5281/zenodo.12785785

Recibido: 23 octubre 2023
Revisado: 08 diciembre 2023
Aceptado: 15 enero 2024
Publicado: 20 de enero 2024

Este artículo es un artículo de acceso abierto distribuido bajo los términos y condiciones de la licencia CC BY-NC-SA 4.0. Para ver una copia de esta licencia visite https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

Introducción

El cáncer de páncreas es uno de los cánceres más letales, a nivel mundial ocupa el séptimo lugar en mortalidad y el décimo segundo en incidencia con tasas de 4.5 y 4.9 casos por cada 100,000 personas (IARC & WHO, 2020b). En México, este cáncer se posiciona en

el décimo lugar en mortalidad y el décimo quinto en incidencia, con tasas de 3.3 y 3.5 casos por cada 100,000 habitantes (IARC & WHO, 2020a). El diagnóstico oportuno y tratamiento de este cáncer es difícil debido a la falta de signos y síntomas en etapas tempranas, así como a la poca sensibilidad y especificidad de marcadores tumorales, además de la complejidad del microambiente tumoral y la diversidad de vías de señalización activadas en este (Kleeff *et al.*, 2016). Por lo que presenta una de las tasas de supervivencia más bajas en cinco años (12%) en Estados Unidos (Siegel *et al.*, 2023).

El microambiente tumoral del adenocarcinoma pancreático ductal (PDAC) consiste en un entorno heterogéneo en el que las células cancerosas interaccionan con células del sistema inmune, fibroblastos, células estrelladas pancreáticas, vasos sanguíneos, matriz extracelular, así como con citocinas y factores de crecimiento. Este ambiente es importante para el tumor debido a que favorece su crecimiento, promueve la metástasis y la resistencia a la terapia, así como la evasión del sistema de inmunovigilancia (Feig *et al.*, 2012).

Con el objetivo de identificar posibles blancos terapéuticos para el cáncer de páncreas, en el presente trabajo se realizó una búsqueda de proteínas involucradas en procesos como la inflamación y la respuesta inmune relacionadas con este cáncer. Dos proteínas candidatas identificadas fueron GAS6 y FGFR4, las cuales participan en vías de señalización involucradas en el desarrollo y la progresión tumoral, así como en la modulación de la respuesta inmune en el microambiente tumoral. Estudios señalan que la inhibición de la vía GAS6/TAM (TYRO3-AXL-MER) podría contrarrestar sus efectos inmunosupresores en el microambiente tumoral (Recarte-Pelz, 2014; Wu *et al.*, 2018). También se ha observado que la eliminación del receptor AXL inhibe el crecimiento tumoral, mientras que la eliminación del receptor MER induce apoptosis (Wu *et al.*, 2018). En modelos *in vitro* e *in vivo* de cáncer de páncreas se ha encontrado que la inhibición de GAS6 produce un decremento en la supervivencia y la proliferación celular, así como una disminución en el desarrollo de metástasis (Bellomo *et al.*, 2022; Ireland *et al.*, 2020; Pilli *et al.*, 2020). Por otro lado, en estudios de cáncer de páncreas la inhibición de FGFR4 o de su ligando FGF19 in vito o *in vivo* afectaron la proliferación, migración e invasión celular, y provocaron una disminución en el tamaño y la formación de estroma en los tumores (Chia *et al.*, 2023; Sasaki *et al.*, 2020). Por lo que GAS6 y FGFR4 han sido propuestos como blancos terapéuticos en este tipo de cáncer.

Criterios de Elegibilidad

Los datos para el análisis de las proteínas, así como las diferentes vías de señalización en las que participan y su papel en el cáncer de páncreas, se obtuvieron a partir de la búsqueda en artículos de revisión, ensayos clínicos, estudios de cohorte y meta-análisis de las palabras clave "cáncer de páncreas", "neoplasia pancreática", "GAS6", "receptor AXL", "FGFR4", "respuesta inmune" y "microambiente tumoral" en

bases de datos de artículos científicos y proteínas como PubMed, GeneCards, The Human Protein Atlas, The Cancer Genome Atlas Program (TCGA), Google Académico, Dimensions, OMIM, Ensembl y KEGG.

Resultados y Discusión

Proteína 6 Específica de Detención del Crecimiento (GAS6)

El gen GAS6 (Growth Arrest Specific 6) ha sido relacionado con la estimulación de la proliferación celular. Este gen se sobreexpresa en muchos tipos de cáncer y ha sido considerado un marcador de pronóstico adverso. Los niveles elevados de la proteína GAS6 se asocian con estados patológicos, como la enfermedad tromboembólica venosa, el lupus eritematoso sistémico, la insuficiencia renal crónica y la preeclampsia. Esta proteína se encuentra expresada en muchos tejidos, principalmente en corazón, endometrio, ovario, piel, pulmón, músculo y riñón; y en menor nivel, en páncreas, bazo, colon, hígado, cerebro, retina, entre otros (GeneCards, 2023a; THE_HUMAN_PROTEIN_ATLAS, 2023b).

La proteína GAS6 consta de 678 aminoácidos y es miembro de la familia de proteínas dependientes de la vitamina K. Esta proteína actúa como ligando de la subfamilia de receptores tirosina cinasa TYRO3-AXL-MER (TAM), teniendo mayor afinidad por el receptor AXL (Wu *et al.*, 2018). La vía GAS6/TAM activa varias cascadas de señalización que influyen de diferentes formas en el microambiente tumoral e inmunitario, dependiendo del receptor que participe (Figura 1).

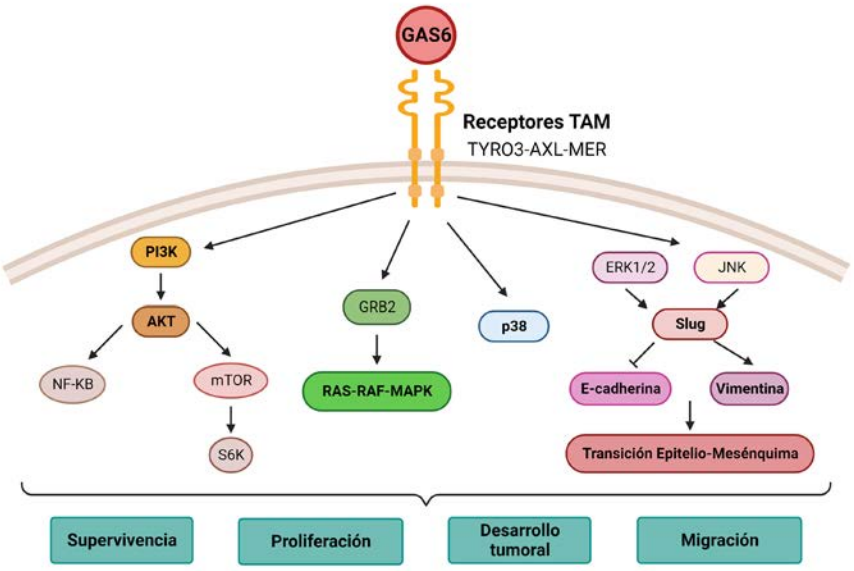


Figura 1. Vías de señalización activadas por GAS6/TAM. La interacción de GAS6 con los receptores de la superficie celular TYRO3, AXL y MER (TAM) induce cascadas de señalización como las de PI3K/AKT y de las MAPK (ERK1/2, p38 y JNK) que regulan procesos en la célula como la supervivencia, proliferación y migración, así como el desarrollo tumoral

La interacción de GAS6 con el receptor AXL favorece el crecimiento y la supervivencia de muchas células. Esta proteína induce la activación de vías como la de RAS/RAF/MEK/ERK, involucrada en la proliferación celular, y la de PI3K/AKT, que participa en la producción de citocinas y puede promover la supervivencia a través de la vía AKT/S6K (Antony & Huang, 2017) y la vía de PI3K/AKT fosforila al NF-κB. Además, se ha observado que la vía de PI3K/AKT/mTOR y la de RAF/MAPK conducen al desarrollo tumoral. También, se sabe que AXL puede unirse a ACK1, gracias a Grb2, lo que induce procesos metastásicos y migración celular, así como la activación del receptor factor de crecimiento epidérmico (EGFR) (Recarte-Pelz, 2014). Por otro lado, la unión de GAS6 con el receptor MER activa a Grb2 y río abajo a Ras y MEK1, aumentando la supervivencia y la expresión de ERK1/2. También puede activar al mitógeno p38, a través de MAPK1, y favorecer la supervivencia celular (Wu *et al.*, 2018).

GAS6 también participa en el proceso de metástasis. Esta proteína induce la disminución de E-cadherina y aumenta la expresión de vimentina, ambas características de la transición epitelio-mesénquima (EMT). Además, GAS6/AXL activa la señalización de cinasas JNK y ERK1/2, lo que induce a Slug, cuya función es reprimir la transcripción de E-cadherina (Lee, Lee, & Kim, 2013).

La vía GAS6/TAM puede favorecer el microambiente tumoral mediante la modulación de la respuesta inmune. Fisiológicamente los receptores TAM se expresan principalmente en células mieloides del sistema inmunitario y su señalización es importante para mantener el equilibrio de la respuesta inmune, por ejemplo, regulando negativamente la inflamación (Rothlin *et al.*, 2015). Los receptores TAM se encuentran en las células presentadoras de antígenos (APC) tanto de sangre periférica como de bazo, timo y ganglios linfáticos, pero no en linfocitos sanguíneos ni en granulocitos (Xiao *et al.* 2021). Es importante mencionar que la señalización de TLR/IFN-1 induce la inflamación, pero a su vez promueve una regulación positiva de los TAM, los cuales inhiben dicha inflamación mediante la inhibición de TLR/IFN-1, de esta forma se evidencia la homeostasis que existe en estos mecanismos. Los receptores TAM llevan a cabo su función reguladora tras la activación de las CD, las cuales expresan dichos receptores, pero GAS6 no está presente sino hasta después del inicio de la respuesta adaptativa, para que una vez iniciada, la vía GAS6/TAM se active e inhiba la presentación de antígeno y la producción de citocinas (Rothlin *et al.*, 2015). Los TAM también están implicados en la fagocitosis, específicamente en la eliminación fagocítica de células apoptóticas y desechos, lo que evita la inflamación crónica. En un contexto tumoral, la vía GAS6/TAM se descontrola e inhibe el efecto inmunológico antitumoral. Los macrófagos intratumorales secretan a GAS6, probablemente estimulados por IL-10 y factor estimulante de colonias de macrófagos (M-CSF) presentes en el

microambiente, y de esta forma GAS6 puede unirse a su receptor TAM en las células NK para evitar una respuesta inmunológica antitumoral, promoviendo la progresión del tumor (Rothlin *et al.*, 2015; Wu *et al.*, 2018).

Pilli y colaboradores (2020) demostraron que GAS6 incrementó la supervivencia y la proliferación de líneas celulares de cáncer de páncreas, mientras que la disminución de esta proteína inhibió dichos procesos. En estudios *in vitro* e *in vivo* de metástasis de cáncer de páncreas se observó que la activación del receptor AXL por GAS6 en las células tumorales remanentes indujo el crecimiento después del tratamiento quimioterapéutico con gemcitabina. Mientras que el bloqueo de la señalización GAS6/AXL con warfarina, un fármaco que bloquea la γ carboxilación dependiente de vitamina K necesaria para la función de GAS6, en combinación con gemcitabina inhibió el desarrollo de la metástasis (Bellomo *et al.*, 2022). Asimismo, en un modelo de cáncer de páncreas en ratones se observó que el bloqueo de GAS6, con un anticuerpo neutralizante anti-GAS6 o con warfarina, provocó una reversión parcial de la EMT en las células tumorales y un incremento de las células NK, induciendo una disminución en la metástasis del cáncer de páncreas (Ireland *et al.*, 2020).

La proteína GAS6 se relaciona con varias proteínas que participan en diferentes procesos involucrados en el desarrollo y la progresión tumoral, tales como PLCG1, C1-TEN, SOCS-1, ACK1, PINCH1, entre otras (Figura 2). En la Tabla 1 se describen las funciones de algunas de estas proteínas y su asociación con el cáncer.

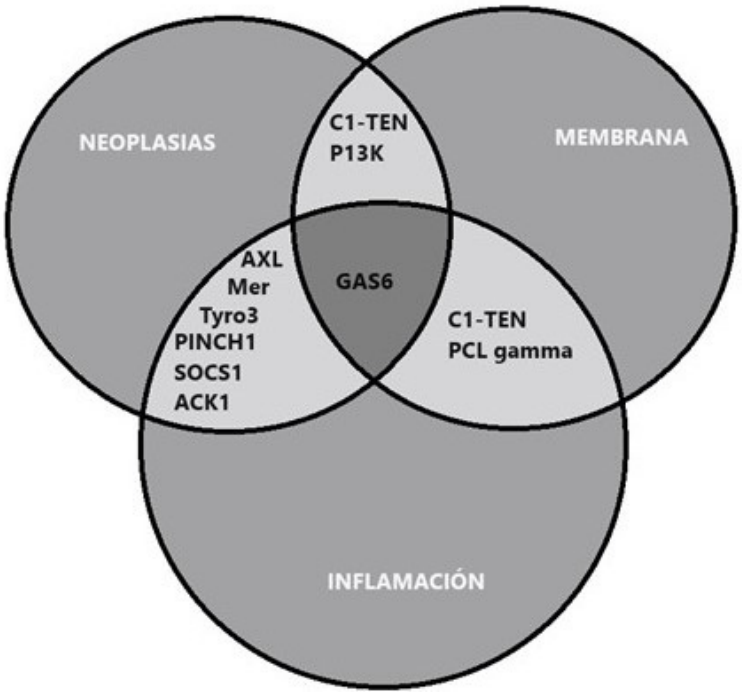


Figura 2. Interacción de GAS6 con proteínas involucradas participan en neoplasias, inflamación y metabolismo de lípidos

Tabla 1. Proteínas relacionadas con GAS6

Proteínas	Características	Asociación con cáncer	Fuentes
PLCG1 Gen: Fosfolipasa C gamma 1 Ubicación: Citoplasma	Cataliza la formación de inositol 1,4,5-trifosfato y diacilglicerol a partir de fosfatidilinositol 4,5-bisfosfato. Importante en la transducción intracelular de activadores de tirosina quinasa mediados por receptores.	Involucrada en el proceso de tumorigénesis, proliferación, migración e invasión.	(GeneCards, 2023b; Jang *et al.*, 2018)
C1-TEN **Tensina 2** Gen: TNS2 Ubicación: Citoplasma y membrana, principalmente en células endoteliales.	Molécula de adhesión focal, se une a los filamentos de actina y participa en las vías de señalización. Regula la motilidad celular y la proliferación.	Desempeña un papel en la progresión de afecciones patológicas como la diabetes y el cáncer.	(GeneCards, 2023c; THE_HUMAN_PROTEIN_ATLAS, 2023e)
SOCS-1 **Supresor de la señalización de citocinas 1** Gen: SOCS1 Ubicación: Nucleoplasma	La expresión de este gen puede ser inducida por un subconjunto de citocinas, incluidas IL2, IL3, eritropoyetina, CSF2/GM-CSF e IFN-gamma. Regula negativamente la señalización de citocinas.	Marcador pronóstico en cáncer renal (desfavorable) y cáncer de cabeza y cuello (favorable). Puede desempeñar un papel fundamental en la inflamación, así como en el desarrollo y la progresión del cáncer.	(Inagaki-Ohara, Kondo, Ito, & Yoshimura, 2013)
ACK1 **Cinasa 1 CDC42 activada** Gen: TNK2 Ubicación: Membrana plasmática y vesículas	Participa en la propagación, migración, supervivencia, crecimiento y proliferación celular. Involucrada en el tráfico y la endocitosis mediada por clatrina.	Confiere propiedades metastásicas a las células cancerosas y promueve el crecimiento tumoral.	(THE_HUMAN_PROTEIN_ATLAS, 2023d)
PINCH1 **Proteína 1 que contiene dominio LIM y tipo antígeno de células senescentes** Gen: LIMS1 Ubicación: Citoplasma	Participa en la regulación de supervivencia, proliferación, adhesión y diferenciación celular.	Su expresión se eleva en PDAC y se ha asociado a peor pronóstico. Contribuye a la resistencia a la apoptosis en las células cancerosas.	(Dessen, 2007; THE_HUMAN_PROTEIN_ATLAS, 2023c)

Receptor 4 del Factor de Crecimiento de Fibroblastos (FGFR4)

Los factores de crecimiento de fibroblastos (FGF) y sus receptores (FGFR) tienen un papel fundamental en múltiples vías de señalización y participan en procesos celulares, como la proliferación, diferenciación, supervivencia y migración; asimismo, tienen funciones endocrinas, en el metabolismo de algunas moléculas homeostáticas, en la reparación de heridas, la angiogénesis, incluyendo procesos patológicos como la invasión y la metástasis, ya que están relacionados con la tumorigénesis y

la progresión del cáncer (Babina & Turner, 2017; Rubio-Vargas, Alcázar, & Francis-Turner, 2019). Además, los fibroblastos asociados al cáncer (CAF) juegan un papel importante en el microambiente tumoral ya que presentan diversas funciones, entre ellas la inmunidad antitumoral y procesos inflamatorios (Babina & Turner, 2017).

La señalización FGF/FGFR ha sido de interés para la búsqueda de nuevas dianas terapéuticas dado que su desregulación induce procesos de oncogénesis y progresión tumoral (Kang *et al.*, 2019). Una de estas vías es la de FGF19/FGFR4, pues FGFR4 ha sido encontrado sobreexpresado en diferentes tumores sólidos, como el carcinoma hepatocelular, rabdomiosarcoma, cáncer de mama, carcinoma de células escamosas orofaríngeas, cáncer de pulmón, cáncer colorrectal, cáncer de ovario, así como en el cáncer de páncreas (Liu *et al.*, 2020). En este último, se ha encontrado que FGFR4, asociado a los CAF, puede promover la proliferación, migración y la supervivencia celular con la inhibición de la apoptosis, relacionándose con la infiltración inmune, por lo que puede ser considerado un oncogén. FGFR4 se ha encontrado sobreexpresado en la neoplasia intraepitelial pancreática (PanIN) avanzada y en el PDAC, en comparación con el páncreas normal o un PanIN de bajo grado (Lu *et al.*, 2022). Por otro lado, se ha observado que una disminución en la expresión de FGFR4 puede promover un comportamiento maligno en el PDAC, ya que en el subtipo basal/escamoso, que es el más agresivo, la transcripción de FGFR4 se encontró regulada a la baja por mecanismos epigenéticos siendo alrededor de un 15% menor que en el subtipo clásico (D'Agosto *et al.*, 2022). En tejidos de PDAC humano, FGFR4 se ha encontrado sobreexpresado en la mitad de los casos y su sobreexpresión correlacionó con un tamaño mayor del tumor primario y etapas más avanzadas del cáncer. FGFR4 también se ha observado incrementado en algunas líneas celulares de PDAC. En éstas la inhibición de la señalización FGF19/FGFR4 con BLU9931, un inhibidor selectivo de FGFR4, provocó una disminución en la proliferación y la invasión, así como la inducción de un estado de senescencia que permitió su eliminación con la droga senolítica quercetina (Sasaki *et al.*, 2020). Los niveles de FGF19 se han encontrado más elevados en líneas celulares metastásicas de PDAC en comparación con células derivadas de un tumor primario localizado. En estas líneas celulares la inhibición de FGF19 por silenciamiento génico o del receptor FGFR4 con el fármaco BLU9931 disminuyó su proliferación, migración e invasión. Además, en modelos de PDAC en ratones esta inhibición de FGF19 o de FGFR4 provocó un decremento en el tamaño, en la formación de estroma fibrótico y en los CAF en los tumores (Chia *et al.*, 2023).

FGFR4 es un receptor de la familia FGFR y tiene como ligando a FGF19, aunque su señalización puede ser independiente de unión de los FGF. FGFR4 tiene un papel importante en el desarrollo embrionario, la proliferación, diferenciación y migración

celular, el metabolismo de los lípidos y la biosíntesis de ácidos biliares; además, participa en la captación de glucosa, el metabolismo de la vitamina D, la homeostasis del fosfato, entre otras funciones. Su estructura consta de 3 dominios extracelulares similares a inmunoglobulinas, una región hidrofóbica que atraviesa la membrana y un dominio citoplasmático que es el dominio tirosina quinasa (Liu *et al.*, 2020; THE_HUMAN_PROTEIN_ATLAS, 2023a).

La familia de los factores de crecimiento de fibroblastos (FGF) está conformada por 22 miembros codificados por diversos genes. Los FGF presentan un dominio de unión al sulfato de heparina y dominios de unión al FGFR. Sin embargo, los miembros de la subfamilia de FGF19 (FGF19-2-23) no se unen al proteoglucano de sulfato de heparina, sino que tienen afinidad por el FGFR y su correceptor Klotho (KLB), una proteína transmembrana que estabiliza o media la señalización del complejo FGF19/FGFR4 (Liu *et al.*, 2020). El FGF19 tiene una señalización endocrina y el complejo FGFR4-KLB se ha encontrado en hepatocitos, páncreas y tejido adiposo (Liu *et al.*, 2020; Peláez-García, Barderas, & Casal, 2012). Además, la regulación negativa de KLB, inducida por hipermetilación del promotor, se ha observado frecuentemente en cáncer de páncreas (Liu *et al.*, 2020).

La señalización de FGF19/FGFR4 se ha visto en muchos cánceres, principalmente en el carcinoma hepatocelular; sin embargo, en el cáncer de páncreas apenas se presenta como un potencial blanco terapéutico cuyo bloqueo podría mejorar la respuesta a los tratamientos e impedir la quimioresistencia, por lo que es de interés dilucidar los mecanismos de las vías activadas, pues la activación aberrante del FGFR4 contribuye al microambiente tumoral y a la carcinogénesis. De manera fisiológica, la unión FGF19/FGFR4 activa múltiples vías de señalización río abajo como PI3K-AKT, RAS-RAF-MAPK, JAK/STAT y EMT, las cuales en un microambiente tumoral podrían contribuir a la tumorigénesis (Figuras 3 y 4) (Liu *et al.*, 2020).

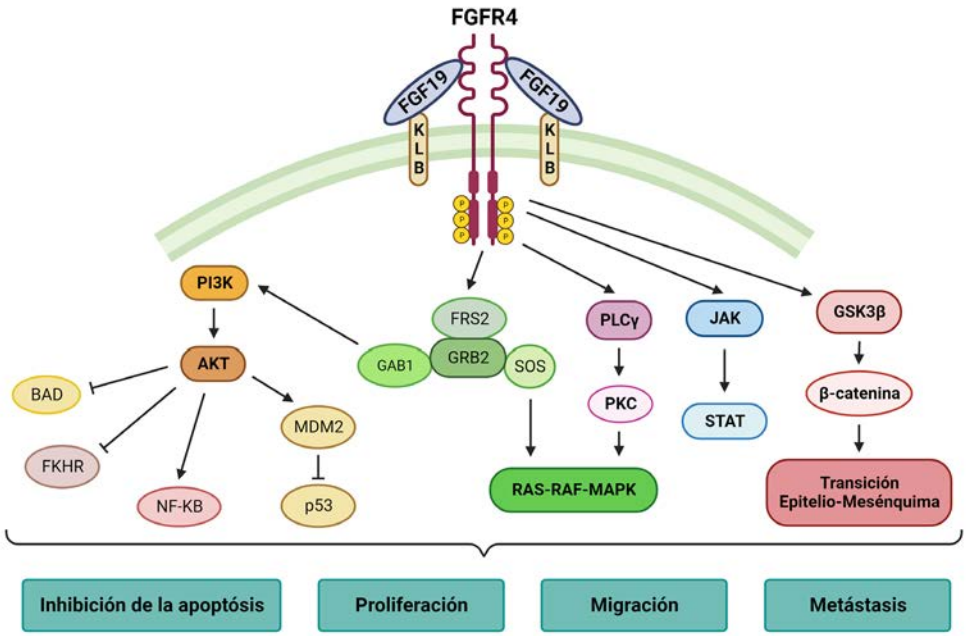


Figura 3. Vías de señalización activadas por FGF19/FGFR4. FGF19 interacciona con el receptor de superficie celular FGFR4 y el correceptor KLB activando cascadas de señalización río abajo como PI3K/AKT, MAPK, JAKs/STATs y la transición epitelio-mesénquima para regular la apoptosis, proliferación, migración y metástasis en las células

La desregulación de la vía PI3K-AKT está presente en muchos cánceres debido a una actividad incrementada de proteínas río arriba de PI3K o a mutaciones del gen que codifica su subunidad catalítica. PI3K participa en la regulación de una gran variedad de procesos fisiológicos en prácticamente todos los tejidos, lo que dificulta el desarrollo de inhibidores de PI3K específicos para el tratamiento del cáncer (Fruman *et al.*, 2017). Cuando se activa FGFR4 y la señal llega a su dominio tirosina quinasa (RTK) provoca la autofosforilación de residuos de tirosina en la región citoplasmática del receptor, lo que induce la activación de PI3K. El efector de PI3K es AKT, la cual induce la inactivación de varios factores proapoptóticos como BAD, procaspasa 9 y factores de transcripción como forkhead transcription factor FOXO1 (FKHR) (Rascio *et al.*, 2021). AKT también provoca la translocación de NF-ϰB al núcleo, en donde este inicia la transcripción de genes antiapoptóticos. Además, AKT también favorece la supervivencia de las células al regular negativamente al gen supresor de tumor p53 mediante la fosforilación directa de MDM2, lo que resulta en la incapacidad de transcripción de genes apoptóticos. La vía de PI3K/AKT se encuentra en estado activo de forma permanente y en condiciones desfavorables para la célula durante la carcinogénesis (Fruman *et al.*, 2017; Rascio *et al.*, 2021).

La vía RAS/RAF/MAPK frecuentemente se encuentra desregulada en el cáncer, alterando la proliferación, migración, supervivencia y apoptosis. FGFR4 activo re-

cluta y fosforila a la proteína específica intracelular FGFR-sustrato-2 (FRS2), la cual interacciona con las proteínas adaptadoras GRB2 y SOS, activando enseguida a la vía RAS/RAF/MAPK. Asimismo, GRB2 se une a GAB1 para activar la vía PI3K/AKT. Por otro lado, FGFR4 puede activar a la fosfolipasa C gamma (PLCγ), la cual a su vez activa a la proteína quinasa C (PKC), induciendo la señalización de RAS/RAF/MAPK río abajo, lo que resulta en proliferación y migración celular (Liu *et al.*, 2020).

La vía de señalización de las JAKs/STATs participa en la regulación de la expresión génica. FGF19 se une al complejo FGFR4/KLB provocando la dimerización y transfosforilación de FGFR4, esto conlleva a la fosforilación y activación de JAKs, que a su vez fosforilan a STATs. Las STATs activas se translocan al núcleo y funcionan como factores de transcripción. La variante FGFR4 Arg388, producida por un polimorfismo de un solo nucleótido que provoca un cambio de aminoácido, incrementa la señalización de STAT3, favoreciendo la progresión del tumor, y se ha asociado con un mal pronóstico en múltiples cánceres (Liu *et al.*, 2020).

La vía FGF19/FGFR4 induce y mejora la señalización de GSK3β/β-catenina. Esta vía de señalización favorece la EMT, un proceso que puede estar presente de forma fisiológica en el desarrollo embrionario y la regeneración de tejido adulto, pero que en el microambiente tumoral puede estimular la invasión, migración y metástasis de las células cancerígenas (Liu *et al.*, 2020).

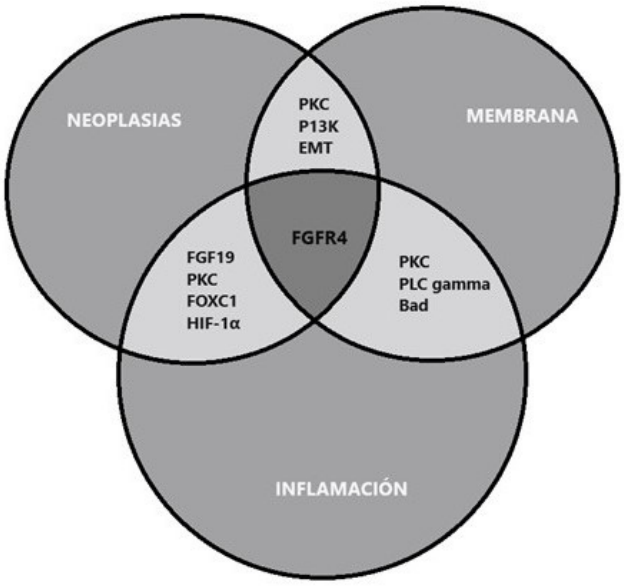


Figura 4. Relación del FGFR4 con proteínas que participan en neoplasias, inflamación y metabolismo de lípidos. EMT: Transición epitelio-mesénquima

Fibroblastos asociados al cáncer (CAF)

Los CAF son fundamentales para la invasión y progresión de las células cancerosas, pueden determinar el comportamiento del microambiente tumoral e inmunitario, lo que ayuda a comprender la evasión inmune y su influencia en la respuesta a la inmunoterapia. A través del FGFR4, los CAF pueden promover el comportamiento biológico maligno del cáncer de páncreas. Estos tienen gran influencia tanto en el ambiente inflamatorio como en el inmunitario, a través de quimiocinas y sus receptores pueden reclutar células inmunocompetentes como las NK y las T CD8+, además de otras citocinas como PDGRFA y TGFB3, las cuales ejercen resultados poco favorables dentro de la inflamación y la actividad inmunitaria. Se ha reportado que, a través de un modelo utilizando los CAF, se puede obtener con precisión el pronóstico del paciente, así como información de la abundancia de las células infiltrantes inmunitarias, su sensibilidad a la quimioterapia y la respuesta inmunoterapia (Lu *et al.*, 2022).

Conclusiones

La elevada mortalidad por cáncer de páncreas a nivel mundial plantea la necesidad de desarrollar nuevas terapias contra este cáncer. La presente investigación nos permite concluir que las vías de señalización de GAS6/TAM y FGF19/FGFR4 tienen un gran potencial como blancos terapéuticos en este cáncer, ya que activan rutas río abajo que participan en el desarrollo y la progresión tumoral; de igual manera, se encuentran involucradas en la modulación de la respuesta inmune en el microambiente tumoral. Además, en varios estudios de cáncer de páncreas se ha demostrado que la inhibición de GAS6 o de FGFR4 disminuye la proliferación, migración e invasión celular, así como el desarrollo tumoral y la metástasis, en algunos casos mejorando los efectos de tratamientos quimioterapéuticos contra estos procesos.

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

Se agradece la beca CONAHCYT de Alicia María Reveles-Espinoza (CVU 268289), Proyecto 320792 CB y/o CF: Paradigmas y controversias de la Ciencia 2022, Proyecto CF-2023-G-994 Ciencia de Frontera 2023.

Agradecimientos

Los autores agradecen al Verano de la Investigación Científica y Tecnológica del Pacífico del Programa Delfín por el apoyo brindado a las estudiantes para realizar la investigación.

Referencias

Antony, J., & Huang, R. Y. (2017). AXL-Driven EMT State as a Targetable Conduit in Cancer. *Cancer Res, 77*(14), 3725-3732. doi: 10.1158/0008-5472.CAN-17-0392

Babina, I. S., & Turner, N. C. (2017). Advances and challenges in targeting FGFR signalling in cancer. *Nat Rev Cancer, 17*(5), 318-332. doi:10.1038/nrc.2017.8

Bellomo, G., Rainer, C., Quaranta, V., Astuti, Y., Raymant, M., Boyd, E., . . . Schmid, M. C. (2022). Chemotherapy-induced infiltration of neutrophils promotes pancreatic cancer metastasis via Gas6/AXL signalling axis. *Gut, 71*(11), 2284-2299. doi:10.1136/gutjnl-2021-325272

Chia, L., Wang, B., Kim, J. H., Luo, L. Z., Shuai, S., Herrera, I., . . . Resar, L. (2023). HMGA1 induces FGF19 to drive pancreatic carcinogenesis and stroma formation. *J Clin Invest, 133*(6). doi:10.1172/JCI151601

D'Agosto, S., Pezzini, F., Veghini, L., Delfino, P., Fiorini, C., Temgue Tane, G. D., Del Curatolo, A., Vicentini, C., Ferrari, G., Pasini, D., Andreani, S., Lupo, F., Fiorini, E., Lorenzon, G., Lawlor, R. T., Rusev, B., Malinova, A., Luchini, C., Milella, M., Sereni, E., … Corbo, V. (2022). Loss of FGFR4 promotes the malignant phenotype of PDAC. *Oncogene, 41*(38), 4371–4384. https://doi.org/10.1038/s41388-022-02432-5

Dessen, P. (2007, 01 de febrero). *LIMS1 (LIM zinc finger domain containing 1). Atlas Genet Cytogenet Oncol Haematol.* Retrieved from https://atlasgeneticsoncology.org/gene/45926/lims1-(lim-zinc-finger-domain-containing-1)

Feig, C., Gopinathan, A., Neesse, A., Chan, D. S., Cook, N., & Tuveson, D. A. (2012). The pancreas cancer microenvironment. *Clin Cancer Res, 18*(16), 4266-4276. doi:10.1158/1078-0432.CCR-11-3114

Fruman, D. A., Chiu, H., Hopkins, B. D., Bagrodia, S., Cantley, L. C., & Abraham, R. T. (2017). The PI3K Pathway in Human Disease. *Cell, 170*(4), 605-635. doi:10.1016/j.cell.2017.07.029

GeneCards. (2023a, 04 de octubre). *GAS6 Gene - Growth Arrest Specific 6*. Retrieved from https://www.genecards.org/cgi-bin/carddisp.pl?gene=-GAS6&keywords=GAS6#expression

GeneCards. (2023b, 04 de octubre). *PLCG1 Gene - Phospholipase C Gamma 1*. Retrieved from https://www.genecards.org/cgi-bin/carddisp.pl?gene=PLCG1&keywords=PLC

GeneCards. (2023c, 04 de octubre). *TNS2 Gene - Tensin 2*. Retrieved from https://www.genecards.org/cgi-bin/carddisp.pl?gene=TNS2&keywords=TNS2

IARC, & WHO. (2020a). *Estimated age-standardized incidence and mortality rates (World) in 2020, Mexico, both sexes, all ages (excl. NMSC). Cancer Today*. Retrieved from https://gco.iarc.fr/today/online-analysis-multi-bars?v=2020&mode=cancer&-

mode_population=countries&population=900&populations=484&key=asr&sex=0&cancer=39&type=0&statistic=5&prevalence=0&population_group=0&ages_group%5B%5D=0&ages_group%5B%5D=17&nb_items=15&group_cancer=1&include_nmsc=0&include_nmsc_other=1&type_multiple=%257B%2522inc%2522%253Atrue%252C%2522mort%2522%253Atrue%252C%2522prev%2522%253Afalse%257D&orientation=horizontal&type_sort=0&type_nb_items=%257B%2522top%2522%253Atrue%252C%2522bottom%2522%253Afalse%257D#collapse-by_country

IARC, & WHO. (2020b, December). *Pancreas. The Global Cancer Observatory*. Retrieved from https://gco.iarc.fr/today/data/factsheets/cancers/13-Pancreas-fact-sheet.pdf

Inagaki-Ohara, K., Kondo, T., Ito, M., & Yoshimura, A. (2013). SOCS, inflammation, and cancer. *JAKSTAT, 2*(3), e24053. doi:10.4161/jkst.24053

Ireland, L., Luckett, T., Schmid, M. C., & Mielgo, A. (2020). Blockade of Stromal Gas6 Alters Cancer Cell Plasticity, Activates NK Cells, and Inhibits Pancreatic Cancer Metastasis. *Front Immunol, 11*, 297. doi:10.3389/fimmu.2020.00297

Jang, H. J., Suh, P. G., Lee, Y. J., Shin, K. J., Cocco, L., & Chae, Y. C. (2018). PLC-gamma1: Potential arbitrator of cancer progression. *Adv Biol Regul, 67*, 179-189. doi:10.1016/j.jbior.2017.11.003

Kang, X., Lin, Z., Xu, M., Pan, J., & Wang, Z. W. (2019). Deciphering role of FGFR signalling pathway in pancreatic cancer. *Cell Prolif, 52*(3), e12605. doi:10.1111/cpr.12605

Kleeff, J., Korc, M., Apte, M., La Vecchia, C., Johnson, C. D., Biankin, A. V., Neale, R. E., Tempero, M., Tuveson, D. A., Hruban, R. H., & Neoptolemos, J. P. (2016). Pancreatic cancer. *Nature reviews. Disease primers, 2*, 16022. https://doi.org/10.1038/nrdp.2016.22

Lee, Y., Lee, M., & Kim, S. (2013). Gas6 induces cancer cell migration and epithelial-mesenchymal transition through upregulation of MAPK and Slug. *Biochem Biophys Res Commun, 434*(1), 8-14. doi:10.1016/j.bbrc.2013.03.082

Liu, Y., Cao, M., Cai, Y., Li, X., Zhao, C., & Cui, R. (2020). Dissecting the Role of the FGF19-FGFR4 Signaling Pathway in Cancer Development and Progression. *Front Cell Dev Biol, 8*, 95. doi:10.3389/fcell.2020.00095

Lu, S., Hua, J., Xu, J., Wei, M., Liang, C., Meng, Q., . . . Shi, S. (2022). Turning towards nonimmunoreactive tumors: Evaluation of cancer-associated fibroblasts enables prediction of the immune microenvironment and treatment sensitivity in pancreatic cancer. *Comput Struct Biotechnol J, 20*, 3911-3923. doi:10.1016/j.csbj.2022.07.029

Peláez-García, A., Barderas, R., & Casal, J. I. (2012, 01 de mayo). *FGFR4 (fibroblast growth factor receptor 4). Atlas Genet Cytogenet Oncol Haematol.* Retrieved from https://atlasgeneticsoncology.org/gene/512/fgfr4-(fibroblast-growth-factor-receptor-4)

Pilli, V. S., Datta, A., Dorsey, A., Liu, B., & Majumder, R. (2020). Modulation of protein S and growth arrest specific 6 protein signaling inhibits pancreatic cancer cell survival and proliferation. *Oncol Rep, 44*(4), 1322-1332. doi:10.3892/or.2020.7689

Rascio, F., Spadaccino, F., Rocchetti, M. T., Castellano, G., Stallone, G., Netti, G. S., & Ranieri, E. (2021). The Pathogenic Role of PI3K/AKT Pathway in Cancer Onset and Drug Resistance: An Updated Review. *Cancers (Basel), 13*(16). doi:10.3390/cancers13163949

Recarte-Pelz, P. (2014). *Estudio de la proteína GAS6 y receptores TAM como marcadores diagnósticos en patologías humanas* (Tesis de Doctorado, Universidad de Barcelona). Retrieved from https://diposit.ub.edu/dspace/bitstream/2445/123039/1/PRP_TESIS.pdf

Rothlin, C. V., Carrera-Silva, E. A., Bosurgi, L., & Ghosh, S. (2015). TAM receptor signaling in immune homeostasis. *Annu Rev Immunol, 33*, 355-391. doi:10.1146/annurev-immunol-032414-112103

Rubio-Vargas, C., Alcázar, J., & Francis-Turner, L. (2019). Influencia del factor de crecimiento fibroblástico 2 en células madre*in vitro*. *Actual. Biol., 41*(111), 45-52. doi:10.17533/udea.acbi.v41n111a03

Sasaki, N., Gomi, F., Yoshimura, H., Yamamoto, M., Matsuda, Y., Michishita, M., . . . Ishiwata, T. (2020). FGFR4 Inhibitor BLU9931 Attenuates Pancreatic Cancer Cell Proliferation and Invasion While Inducing Senescence: Evidence for Senolytic Therapy Potential in Pancreatic Cancer. *Cancers (Basel), 12*(10). doi:10.3390/cancers12102976

Siegel, R. L., Miller, K. D., Wagle, N. S., & Jemal, A. (2023). Cancer statistics, 2023. *CA Cancer J Clin, 73*(1), 17-48. doi:10.3322/caac.21763

THE_HUMAN_PROTEIN_ATLAS. (2023a, 19 de junio). *FGFR4. Retrieved* from https://www.proteinatlas.org/ENSG00000160867-FGFR4.

THE_HUMAN_PROTEIN_ATLAS. (2023b, 19 de junio). *GAS6*. Retrieved from https://www.proteinatlas.org/ENSG00000183087-GAS6/tissue

THE_HUMAN_PROTEIN_ATLAS. (2023c, 19 de junio). *LIMS1*. Retrieved from https://www.proteinatlas.org/ENSG00000169756-LIMS1

THE_HUMAN_PROTEIN_ATLAS. (2023d, 19 de junio). *TNK2*. Retrieved from https://www.proteinatlas.org/ENSG00000061938-TNK2

THE_HUMAN_PROTEIN_ATLAS. (2023e, 19 de junio). *TNS2*. Retrieved from https://www.proteinatlas.org/ENSG00000111077-TNS2/interaction

Wu, G., Ma, Z., Cheng, Y., Hu, W., Deng, C., Jiang, S., Li, T., Chen, F., & Yang, Y. (2018). Targeting Gas6/TAM in cancer cells and tumor microenvironment. *Molecular cancer, 17*(1), 20. https://doi.org/10.1186/s12943-018-0769-1

Xiao, H., Chen, J., Duan, L., & Li, S. (2021). Role of emerging vitamin K-dependent proteins: Growth arrest-specific protein 6, Gla-rich protein and periostin (Review). *International journal of molecular medicine, 47*(3), 2. https://doi.org/10.3892/ijmm.2020.4835

Insectos comestibles como alimento a futuro y sus retos

Medrano-Nava María Teresa[1], Valdivia-Nájar Carlos Guillermo[2] y Moreno-Vilet Lorena[1]

[1]Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco (CIATEJ), A.C. Camino el Arenero 1227, El Bajío del Arenal, C.P. 45019, Zapopan, Jalisco, México.

[2]CONAHCYT - Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco (CIATEJ), A.C. Camino el Arenero 1227, El Bajío del Arenal, C.P. 45019, Zapopan, Jalisco, México.

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

Palabras clave:
calidad, chapulín, entomofagia, insectos, proteína.

Resumen

Los insectos son un grupo de organismos muy extenso que se encuentra presente en muchas partes del mundo. En México, el consumo de insectos es una práctica que se ha considerado una tradición y costumbre de distintos pueblos indígenas, convirtiéndose en parte importante de la gastronomía mexicana. Sumado a la relevancia cultural, los insectos se presentan como una potencial solución para la demanda actual de proteína, siendo una opción sostenible y económica en comparación con la proteína animal. Sin embargo, existen desafíos para su consumo seguro, como la falta de regulación en la recolección de insectos, la necesidad de garantizar la seguridad e inocuidad alimentaria y la aceptación como un alimento por parte del consumidor. A pesar de estos desafíos, los insectos comestibles representan una interesante alternativa en la búsqueda de una alimentación sostenible y nutritiva en un mundo con una creciente demanda de proteína.

Enfoques Transdisciplinarios: Ciencia y Sociedad, 2(1), 75-86. ISSN. 3061-709X. https://doi.org/10.5281/zenodo.12785881

Recibido: 31 octubre 2023
Revisado: 08 diciembre 2023
Aceptado: 15 enero 2024
Publicado: 20 de enero 2024

Este artículo es un artículo de acceso abierto distribuido bajo los términos y condiciones de la licencia CC BY-NC-SA 4.0. Para ver una copia de esta licencia visite https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

Introducción

Con más de 30 millones de especies existentes, los insectos representan uno de los grupos con más organismos sobre la tierra. La Organización de las Naciones Unidas (ONU) para la Alimentación y la Agricultura (FAO), estima que más de dos mil especies de insectos son comestibles (Dossey *et al.*, 2016). De hecho, la captura para comercialización o consumo de algunos

insectos que infestan los cultivos ha minimizado las pérdidas económicas para el sector agrícola y ha impulsado el consumo de insectos (Quijano-Carranza, 2011).

El consumo de insectos por los seres humanos es denominado: entomofagia, la cual es una práctica tradicional en países de Asia, África y América Latina (Oibiokpa *et al.*, 2017). Esta actividad es muy antigua y es considerada un rasgo característico de muchos países. En el México prehispánico la dieta de la gran mayoría de la población se basaba en los recursos que se encontraban disponibles, mediante la caza y recolección de los mismos. En distintos códices y documentos prehispánicos relatan como los insectos, al ser un recurso accesible, se convirtieron en parte de la dieta de muchos pueblos, formando parte importante de distintos platillos o como ofrendas en diferentes ceremonias (López, 2020; Choi *et al.*, 2017). Por lo tanto, la entomofagia es una actividad de un sistema alimentario tradicional de distintos grupos de indígenas, ya que es considerada como una de las muchas prácticas empíricas que han sido transmitida por generaciones a lo largo de los años.

Debido al crecimiento continuo de la población, el consumo de recursos para sustentar la alimentación ha incrementado y con ello, la demanda de proteína para alimentación. De este modo, el uso de insectos como una fuente alternativa de proteína ha surgido como una importante opción disponible, barata y sustentable para la mayoría de la población. Se ha reportado que la biotransformación de materia orgánica en masa corporal de insecto es más eficiente en una relación 2 a 1, comparado con el de ganado bovino que requiere consumir 8 g, para producir 1g de peso. Aunado a lo anterior, los insectos requieren menor cantidad de agua para su producción; ya que se requieren 2 L agua para producir 1g de proteína de insecto, mientras que el ganado bovino requiere 112 L /g proteína. Además, los insectos son más prolíferos y con ciclos de vida más cortos, ya que ponen alrededor de 1500 huevos en cuatro semanas, mientras que el ganado vacuno requiere de cuatro animales reproductores porcada animal comercializado. Por lo anterior, se prevé que los insectos se puedan producir de manera más sostenible y con una huella ecológica mucho menor que la mayoría del ganado vertebrado, como bovinos y porcinos (Dossey *et al.*, 2016).

Cultura y Tradición

Dentro de los insectos más consumidos a nivel mundial se encuentran los pertenecientes a los órdenes Coleoptera (escarabajos), Lepidoptera (mariposas, orugas), Hymenoptera (hormigas, abejas y avispas) y Orthoptera (langostas, grillos, chapulines) (Avendaño *et al.*, 2020). La distribución geográfica de los insectos esta influenciada por los recursos de flora y fauna disponibles en el medio ambiente en el que se desarrollen, principalmente se encuentran en zonas subtropicales y tropicales del

mundo (Pulido-Blanco *et al.*,2020). Los tiempos de reproducción y desarrollo de las distintas especies de insectos suelen ser cortos y dependientes de factores biológicos como la flora, fauna y condiciones climáticas. Por lo que, la disponibilidad de los insectos para su consumo depende del espacio geográfico en el que se desarrollen y la época del año (Melgar-Lalanne *et al.*, 2019).

De las evidencias más antiguas de la práctica de entomofagia se encuentran escritos bíblicos (Nitharwal *et al.*, 2022), donde se prueba que el consumo de insectos ha estado presente en distintas culturas del mundo a lo largo de la historia de la humanidad (Arcos-Estrada *et al.*, 2020; Ramos-Elorduy *et al.*, 2012). De hecho, los insectos formaron parte importante de la cultura azteca, siendo consumidos en sus distintas fases de desarrollo.

En muchos países, incluido México, los insectos se convirtieron en un recurso alimentario para la gente de áreas rurales cuando había períodos de escasez de alimentos (Sánchez-Flores, 2017). Además, los insectos no solo son consumidos con propósitos alimentarios, sino que también son empleados con propósitos medicinales o en rituales de distintos grupos (Giampieri *et al.*, 2022). Así, México se ha convertido en el país con mayor número de insectos que son consumidos como un recurso alimentario, con más de 535 insectos comestibles registrados en el Centro, Sur y Sureste del país (Ramos-Elorduy *et al.*, 2006).

Los grupos indígenas que destacan por el consumo de insectos en México se concentran en tres zonas geográficas. En el centro de México destacan los tlapanecas, náhuatl, tarascos, purépechas y mazahuas; en el estado de Oaxaca, los mixtecos, náhuatl, mazatecos, chochos, cuicatecasm chinantecas, chontales, huaves, zoques, triques, zapotecos y amuchcas y; en el estado de Puebla, los mazatecos, popolacas, náhuas, totonacas y otomíes (Viesca-González & Romero-Contreras, 2009). Hoy en día, el consumo de insectos ha evolucionado y en distintas regiones de México es una tradición, ya sea como parte de la dieta, botana o aperitivo, su consumo forma parte importante y representativa de la gastronomía mexicana.

En el 2013, la FAO reportó que los insectos comestibles serían un recurso viable para sustituir las fuentes de proteína convencionales como respuesta al ritmo acelerado de crecimiento de la población mundial y su consecuente demanda de alimentos nutritivos (Van Huis *et al.*, 2013). De hecho, el consumo de insectos en culturas donde tradicionalmente no los consumen ha incrementado en los últimos años, dando como resultado el surgimiento de nuevos productos que integran a los insectos comestibles como un ingrediente proteico (Sogari *et al.*, 2023).

Tradicionalmente, los insectos se consumen fritos en aceite o tostados en comal de barro, en algunos casos se les añade ajo, limón y sal, como se muestra en la Figura 1 (Oibiokpa *et al.*, 2017).

Figura 1. Chapulín procesado de forma tradicional usando una cazuela de barro

Composición Nutricional

Los insectos para consumo humano destacan por su alto contenido de proteína, lo cual los hace atractivos para convertirse en una alternativa a la ingesta de proteína animal. El contenido proteico general de los insectos comestibles oscila entre el 13 al 77% (Oibiokpa *et al.*, 2017). De acuerdo con la OMS, los insectos comestibles cumplen con los requerimientos de aminoácidos para el consumo humano, con altos valores de aminoácidos esenciales como la fenilalanina, tirosina, triptófano, lisina y treonina (Amarender *et al.*, 2020). Las proteínas son un componente esencial de la dieta humana cuya función principal es fabricar tejidos, regenerarlos y renovarlos continuamente, promoviendo el crecimiento y desarrollo de los individuos. De modo que es importante buscar y aplicar alternativas para cubrir la demanda de proteína, que además de ser de buena calidad nutricional, también sean sustentables, como lo son los insectos comestibles (Nitharwal *et al.*, 2022).

El contenido de grasas en los insectos comestibles es más elevado durante la etapa larval y pupal del insecto y menor en la etapa adulta. Se ha observado una baja concentración de grasas saturadas y un contenido elevado en ácidos grasos (omega-3) (Dossey *et al.*, 2016). Los principales ácidos grasos saturados que contienen los insectos son el palmítico y esteárico; de los ácidos grasos monoinsaturados, el oleico, se encuentra en la composición de todos los insectos, y de los poliinsaturados el linoléico, linolénico y araquidónico son los más representativos (Avendaño *et al.*, 2020).

Por otro lado, el contenido de carbohidratos es bajo, siendo la quitina el polisacárido principal que forma parte del exoesqueleto de los insectos, pero es indigerible para los seres humanos. Sin embargo, se han reportado aplicaciones médicas de la quitina para la cicatrización de heridas (Dossey *et al.*, 2016; Escamilla-Rosales, 2019). Dentro de la composición de los insectos también están distintas vitaminas y minerales, como niacina, riboflavina, tiamina, vitamina C, hierro, magnesio, fósforo,

potasio, sodio y calcio. El contenido de calcio en los insectos más elevado incluso que el de la leche (Dogan & Cekal, 2022; Giampieri *et al.*, 2022).

Es importante mencionar que la composición y calidad nutricional de los insectos comestibles pueden ser afectadas por factores que no pueden ser controlados con facilidad como son el sexo, factores ambientales (temperatura, intensidad de la luz, humedad, duración del día), etapa de la vida del insecto y la dieta (Ibarra-Herrera *et al.*, 2020).

Chapulines y su efecto en la agricultura

El orden Ortóptera es uno de los grupos de insectos que representa mayor relevancia dentro del sector agrícola en México. Las especies de este orden afectan distintos cultivos, por lo que son considerados como una plaga endémica de México (Mariño-Pérez *et al.*, 2011). En el 2017 el Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria (SENASICA) determinó que los principales cultivos afectados por grillos y chapulines son las gramíneas, leguminosas, cucurbitáceas y frutales. Los insectos en su forma de ninfas y adultos se alimentan de los tallos, hojas y frutos tiernos, no solo generando una pérdida estimada de un 20-30% de la producción agrícola, sino también generando pérdidas económicas (SENASICA, 2017; Huerta *et al.*, 2014). Los principales estados que se ven afectados por la presencia de estos insectos son Chihuahua, Guanajuato, Puebla, Querétaro, Tlaxcala, Hidalgo y Zacatecas.

Con la finalidad de reducir los daños en los distintos cultivos que infestan, los chapulines son recolectados para consumirlos desde inicios de la temporada de lluvias hasta inicios de invierno (Cohen *et al.*, 2009). El ciclo de los chapulines inicia en las últimas semanas de mayo donde nacen las primeras ninfas, después de aproximadamente dos meses de desarrollo las ninfas llegan a su etapa adulta (Figura 2). Una vez que los chapulines alcanzan la etapa adulta de su desarrollo, comienzan nuevamente su reproducción, considerando que octubre es el mes con un alto índice de reproducción de los insectos. A partir de este mes se comienza a observar un decremento en la presencia de insectos, esto debido a que las hembras mueren poco después de la oviposición y los machos se enfrentan a condiciones climáticas frías y poca disponibilidad de alimento (Aquino-Olmedo, 2015).

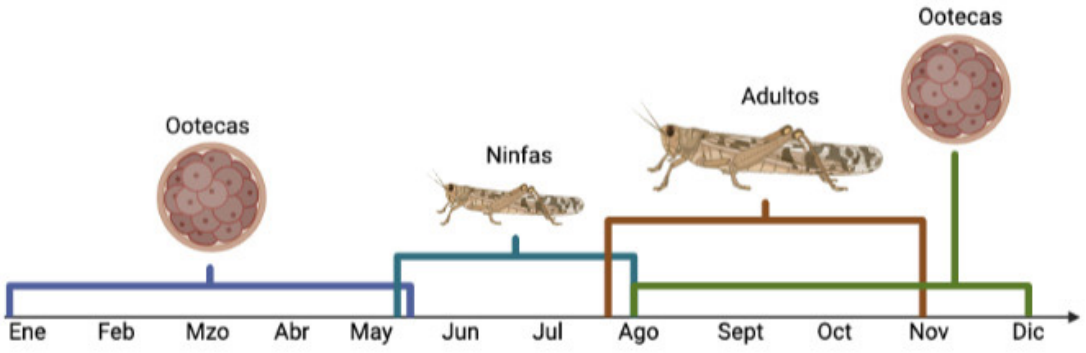


Figura 2. Ciclo biológico del chapulín (basado en datos de Aquino-Olmedo, 2015)

Regulación y Desafíos

La demanda en el consumo de insectos ha generado la necesidad de desarrollar una alternativa de producción que sea económicamente eficiente, segura y sustentable. Es importante considerar el balance ecológico dentro de la producción y consumo de insectos, donde el cultivo de insectos no provoque un efecto negativo al medio en el que se desarrollen. También es importante el estudio científico de los posibles riesgos microbiológicos, bioquímicos y alergénicos que su consumo pueda generar (Brogan *et al.*, 2021).

Dentro de las ventajas que representa la domesticación de los insectos está la facilidad de ser criados en espacios o contenedores pequeños, ya que debido a su tamaño no requieren de grandes espacios, el ciclo de vida es corto, una vez alcanzada la etapa de adulto, en su mayoría, los insectos no exceden los 45 días de vida. Al considerarse un cultivo versátil, los insectos pueden cultivarse tanto en zonas rurales como en zonas urbanas. Una ventaja de la cría y creación de granjas de insectos es que, a diferencia de la ganadería, la alimentación de los insectos no representa una inversión en recursos, ya que estos pueden alimentarse de desechos forestales o agrícolas, en lugar de granos, disminuyendo la alta demanda de granos para la alimentación del ganado. De hecho, la cantidad de alimento necesario para producir 1 kg de proteína de insectos es menor que en el ganado. Por ejemplo, una res necesita alrededor de 25 kg de alimento para producir 1 kg de proteína, mientras que los insectos necesitan 2 kg de alimento para producir 1 kg de proteína (Melgar-Lalanne *et al.*, 2019; Dogan & Cekal, 2022).

Para garantizar la seguridad alimentaria es necesario que se garantice el consumo y aceptación de los insectos comestibles (Wade & Hoelle, 2019). También, es importante considerar los distintos factores que durante el procesamiento puedan generar cambios en la calidad nutricional del alimento. Algunos ejemplos de estos

pueden ser el tiempo de cocción, la forma de preparación y las condiciones de almacenamiento (Aragón-García *et al.*, 2018). Es fundamental que durante y después del procesamiento se cumplan con parámetros que brinden seguridad y larga vida de anaquel al alimento en el almacenamiento, donde no sólo es importante reconocer las condiciones necesarias para cumplir esto, sino también dar garantía en la inocuidad de los productos procesados (Caparros-Megido *et al.*, 2017; Klunder *et al.*, 2012).

A pesar de los beneficios nutricionales, económicos y ambientales que puedan surgir al integrar a los insectos comestibles en la dieta, la industria de insectos comestibles se encuentra limitada por la ausencia de leyes o normas que regulen el comercio, producción o cosecha de los insectos para consumo humano (Piña-Domínguez *et al.*, 2022). Las autoridades regulatorias de distintos países están en la etapa inicial de la generación de estructuras legislativas que guíen y regulen el uso y consumo de insectos comestibles. Esto no sólo permitiría estandarizar los métodos de cosecha, manipulación y procesamiento de los insectos, de igual forma, garantizaría la seguridad e inocuidad alimentaria (Nitharwal *et al.*, 2022). En el 2012 más de 30 compañías de insectos comestibles se crearon en Estados Unidos; mientras que Tailandia se convirtió en el país líder en el cultivo de insectos, produciendo anualmente un aproximado de 7,500 toneladas de insectos en 20,000 granjas. Por otro lado, en la mayoría de los países del oeste las granjas de insectos están dedicadas a suministrar alimento para mascotas (Dogan & Cekal, 2022). En México, actualmente no existen guías, normativas o manuales relacionadas con la manufactura o comercialización específicamente de insectos comestibles. Por lo que las empresas dedicadas a la producción o cría de insectos comestibles optan por guiarse mediante normativas de países extranjeros o, en algunos casos, se guían de las normativas ya declaradas en el Diario Oficial de la Federación (DOF) que incluya a "otros productos cárnicos" en su descripción (Piña-Domínguez *et al.*, 2022; Carreño, 2020). Recientemente, se ha integrado a la Ley de Productos Orgánicos de SENASICA una categoría de alimentos orgánicos que incluyan insectos, donde dentro de los parámetros a cumplir está el demostrar que la recolección, cosecha, recolecta y procesamiento no alteren el ecosistema. Sin embargo, esta ley se enfoca más en cumplir con los elementos necesarios para que un producto sea considerado orgánico que en su calidad nutricional o de procesamiento (Lähteenmäki-Uutela *et al.*, 2021).

Es importante reconocer que, a pesar de representar una alternativa favorable de fuente de proteína, no todos los insectos son comestibles. Al ser un grupo extenso de organismos se vuelve necesario aplicar metodologías o técnicas que permitan identificar las características que definen a los insectos comestibles de los que no lo son (Nakajima & Ogura, 2022).

A pesar de los beneficios que representa el consumo de insectos o la integración de estos a la dieta, una de las principales y constantes problemáticas de estos al ser

presentados como alimentos es la percepción cultural que tienen, lo cual afecta la aceptación para su consumo en las culturas occidentales que no están acostumbrados a verlos como parte de su dieta (Sogari *et al.*, 2023).

Conclusiones

La entomofagia no es una práctica alimentaria nueva; tiene profundas raíces históricas en México y en muchas otras culturas alrededor del mundo, donde los insectos no sólo eran considerados un recurso alimentario, sino también eran empleados con propósitos medicinales y en rituales culturales. Incluso, a lo largo de la historia, el consumo de insectos también ha contribuido en la resolución de problemas de malnutrición de grupos sociales vulnerables que no puedan acceder con facilidad a las proteínas animales. También se ha visualizado que el consumo controlado y regulado de insectos podría mitigar los daños que estos provocan al sector agrícola.

Para poder abastecer un consumo de insectos global, es necesario desarrollar esquemas de producción eficiente, segura y sostenible, para lo cual, aun se requieren estudios que garanticen la inocuidad alimentaria del proceso y almacenamiento. Además de los requerimientos técnicos, el consumo de insectos enfrenta desafíos, como la falta de normativas que regulen su recolección, procesos de manipulación y consumo. Y el mayor desafío para la integración de los insectos en la dieta humana es la percepción cultural que influye en la aceptación del consumidor.

El aceptar y considerar a los insectos como una fuente alimentaria viable representa un papel fundamental en la transición de los sistemas alimentarios convencionales a un sistema más sustentable y amigable con el medio ambiente.

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.

Agradecimientos

La autora MTMN agradece el apoyo de la beca de maestría con número de apoyo 807027 de CONAHCYT y al Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco, A. C. (CIATEJ).

Referencias

Amarender, R. V., Bhargava, K., Dossey, A. T. & Gamagedara, S. (2020). Lipid and protein extraction from edible insects- Crickets (Gryllidae). *LWT- Food Science and Technology, 125*. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.109222

Aquino-Olmedo, S. T. (2015). *Efecto de la temperatura y humedad en el ciclo biológico del Chaphulín Sphenarium purpurascens Charpentier* [tesis de maestría Instituto Politécnico Nacional]. Repositorio Dspace. http://literatura.ciidiroaxaca.ipn.mx:8080/xmlui/handle/LITER_CIIDIROAX/231

Aragón-García, A., Rodríguez-Lima, D. R., Pino-Moreno, J. M., Aragón-Sánchez, M., Carlos-Ángeles, S. & García-Pérez, A (2018). Valor Nutritivo de la Harina del Chapulín Sphenarium purpurascens Charpentier, 1845 (Orthoptera:Pyrgomorphidae) tostado y natural. *Entomología mexicana, 5*, 106-112. ISSN: 2448-475X

Arcos-Estrada, E. G., Díaz-Ramírez, M., Jiménez-Guzmán, J., Fabela-Morón, M. F., Rayas-Amor, A. A., León-Espinosa, E. B., García-Garibay, M. & Cruz-Monterrosa, R. G. (2020). Análisis fisicoquímico y proteínico de la pasta de chapulín (Sphenarium purpurascens Charpentier). *Agro Productividad, 13*(6).https://doi.org/10.32854/agrop.vi.1729

Avendaño, C., Sánchez, M., & Valenzuela V., C. (2020). Insects: An alternative for animal and human feeding. *Revista Chilena de Nutricion, 47*(6), 1029–1037. https://doi.org/10.4067/S0717-75182020000601029

Brogan, E. N., Park, Y.-L., Matak, K. E., & Jaczynski, J. (2021). Characterization of protein in cricket (Acheta domesticus), locust (Locusta migratoria), and silk worm pupae (Bombyx mori) insect powders. *LWT, 152*, 112314. doi:10.1016/j.lwt.2021.112314

Caparros-Megido, R., Poelaert, C., Ernens, M., Liotta, M., Blecker, C., Danthine, S., Tyteca, E., Haubruge, E., Alabi, T., Bindelle, J. & Francis, F. (2017). Effect of household cooking techniques on the microbiological load and the nutritional quality of mealworms (*Tenebrio molitor* L. 1758). *Food Control, 26* (2), 628-631. https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.01.002

Carreño, D. (2020). Muy nutritivos, pero los insectos comestibles en México están al margen de la ley. *GOULA: Periodismo Especializado en la Industria Alimentaria*. Cosultado el 27 de octubre de 2023. https://goula.lat/muy-nutritivos-pero-los-insectos-comestibles-en-mexico-estan-al-margen-de-la-ley/

Choi, B. D., Wong, N. A. K. & Auh, J. (2017). Defatting and Sonication Enhances Protein Extraction from Edible Insects. *Korean Journal for Food Science of Animal Resources, 37*(6), 955-961. https://doi.org/10.5851/kosfa.2017.37.6.955

Cohen, J. H., Mata-Sánchez, N. D. & Montiel-Ishino, F. (2009). Chapulines and Food Choices in Rural Oaxaca. *Gastronomica, 9*(1), 61–65. https://doi.org/10.1525/gfc.2009.9.1.61

Dogan, E. & Cekal, N. (2022). Sustainable food alternative in gastronomy: edible insects (entomophagy). *International Journal of Agriculture, Environment and Food Sciences, 6*(2), 246-253. https://doi.org/10.31015/jaefs.2022.2.7

Dossey, A. T., Tatum, J. T., & McGill, W. L. (2016). Modern Insect-Based Food Industry: Current Status, Insect Processing Technology, and Recommendations Moving Forward. *Insects as Sustainable Food Ingredients*, 113–152. https://doi.org/10.1016/b978-0-12-802856-8.00005-3

Escamilla-Rosales, M. F. (2019). *Análisis de la composición de ácidos grasos de cuatro especies de insectos antes y después del proceso de freído* [tesis de licenciatura, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo]. UAEH Biblioteca Digital. http://dgsa.uaeh.edu.mx:8080/bibliotecadigital/handle/231104/2229

Giampieri, F., Álvarez-Suárez, J. M., Machì, M., Cianciosi, D., Navarro-Hortal, M. D. & Battino, M. (2022). Edible insects: A novel nutritious, functional, and safe food alternative. *Food Frontiers, 3,* (358-365). DOI: 10.1002/fft2.167

Huerta, A. J., Espinoza, F., Téllez-Jurado, A., Maqueda-Gálvez, A. & Arana-Cuenca, A. (2014). Control Biológico del Chapulín en México. *BioTecnología, 18* (1), 28-49.

Ibarra-Herrera, C. C., Acosta-Estrada, B., Chuck-Hernández, C., Serrano-Sandoval, S. N., Guardado-Félix, D. & Pérez-Carrillo, E. (2020) Nutritional content of edible grasshopper (*Sphenarium purpurascens*) fed on alfalfa (*Medicago sativa*) and ammaize (*Zea mays*). *CyTA - Journal of Food, 18*(1), 257-263, DOI: 10.1080/19476337.2020.1746833

Klunder, H. C., Wolkers-Rooijackers, J., Korpela, J.M. & Nout, M.J.R. (2012). Microbiological aspects of processing and storage of edible insects. *Food Control, 26* (2), 628-631. https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2012.02.013

Lähteenmäki-Uutela, A., Marimuthu S.B., & Meijer, N. (2021). Regulations on insects as food and feed: a global comparison. *Journal of Insects as Food and Feed, 7* (5), 849-856. https://doi.org/10.3920/JIFF2020.0066

López R. (2020). Insectos, ingrediente clave de la gastronomía mexicana.*Gaceta UNAM*. Consultado el 23 septiembre 2023. https://www.gaceta.unam.mx/insectos-ingrediente-clave-de-la-gastronomia-mexicana/

Mariño-Pérez, R., Fontana, P. & Buzzetti, F. M. (2011). *Identificación de plagas de chapulín en el norte-centro de México. Control biológico de plagas de chapulín en el norte-centro de México*. Universidad Autónoma de Zacatecas.

Melgar-Lalanne, G., Hernández-Álvarez, A. J. & Salinas-Castro, A. (2019). Edible Insects Processing: Traditional and Innovative Technologies. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety, 18*(4), 1166-1191. DOI: 10.1111/1541-4337.12463

Nakajima, Y. & Ogura, A. (2022). Genomis and effective trait candidates of edible insects. *Food Bioscience, 48*. https://doi.org/10.1016/j.fbio.2022.101793

Nitharwal, M., Kumawat, S., Jatav, H.S., Khan, M.A., Chandra, K., Attar, S.K. & Dhaka, S.R. (2022). Edible Insects a Novel Food Processing Industry: An Overview. *Agricultural Reviews*. doi: 10.18805/ag.R-2357

Oibiokpa, F. I., Akanya, H. O., Jigam, A. A. & Saidu, A. N. (2017). Nutrient and Antinutrient Compositions of Some Edible Insect Species in Northern Nigeria. *Fountain Journal of Natural and Applied Sciences, 6*(1). https://doi.org/10.53704/fujnas.v6i1.159

Piña-Domínguez, I. A., Ruiz-May, E., Hernández-Rodríguez, D., Zepeda, R.C. & Melgar-Lalanne, G. (2022). Environmental e-ects of harvesting some Mexican wild edible insects: An overview. Front. Sustain. *Food Systems, 6*,1021861. doi: 10.3389/fsufs.2022.1021861

Pulido-Blanco, V. C., González-Chavarro, C. F., Tapia-Polanco, Y. M. & Celis-Ruiz X. M. (2020). Insectos: Recursos del pasado que podrían ser una solución nutricional para el futuro. *Avances en Investigación Agropecuaria, 24*(2), 81-100. ISSN 0188789-0

Quijano-Carranza (2011). *Ficha Técnica Chapulín: Brachystola spp. Melanoplus diferentialis y Sphenarium purpurascens*. Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria; Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural.

Ramos-Elorduy, B. J., Pino-Moreno, J. M. & Matínez-Camacho, V. H. (2012). Could Grasshoppers Be a Nutritive Meal? *Food and Nutrition Sciences, 03*(02), 164–175. https://doi.org/10.4236/fns.2012.32025

Ramos-Elorduy, J., Medeiros, E., Neto, C., Ferreira, J., Santos, D., Pino-Moreno, J. M., Landero-Torres, I., Ángeles-Campos, S. C. & García Pérez, Á. (2006). Estudio comparativo del valor nutritivo de varios coleoptera comestibles de México y Pachymerus nucleorum (Fabricius, 1792) (Bruchidae) de Brasil. *Interciencia, 31* (7), 512-516. ISSN: 0378-1844

Sánchez-Flores M. (2017). *Primer Informe Mensual: Campaña contra Chapulín (Informe No. 1 Enero)*. Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria.

Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria. (2017). *Pasión por el campo: Cómo hacer de una plaga, un proyecto productivo y exitoso*. https://www.gob.mx/senasica/articulos/pasion-por-el-campo-como-hacer-de-una-plaga-un-proyecto-productivo-exitoso?idiom=e

Sogari, G., Riccioli, F., Moruzzo, R., Menozzi, D., Tzompa-Sosa, D. A., Li, J., Liu, A. & Mancini, S. (2023). Engaging in entomophagy: The role of food neophobia and disgust between insect and non-insect eaters. *Food Quality and Preference, 104*. https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2022.104764

Van Huis, A., Van Itterbeeck, J., Klunder, H., Mertens, E., Halloran, A., Muir, G., & Vantomme, P. (2013). *Edible insects: future prospects for food and feed security (No. 171)*. Food and agriculture organization of the United Nations.

Viesca-González, F. C. & Romero-Contreras, A. T. (2009). La Entomofagia en México: Algunos aspectos culturales. *El Periplo Sustentable, 16* (57-83). ISSN:1870-9036

Wade, M., & Hoelle, J. (2019). A review of edible insect industrialization: Scales of production and implications for sustainability. *Environmental Research Letters, 15* (12). IOP Publishing Ltd. https://doi.org/10.1088/1748-9326/aba1c1

ENFOQUES TRANSDISCIPLINARIOS: CIENCIA Y SOCIEDAD

Picudo pinto (insecto plaga): historia natural y perspectivas de la distribución potencial en regiones de México

Gabriela I. Salazar-Rivera[1]*, René Bolom Huet[2] y Jhony Navat Enríquez Vara[1]

[1]Laboratorio de Entomología, CIATEJ, Biotecnología Vegetal, Zapopan, Jalisco, México.
[2]CICBA, Universidad Autónoma del Estado de México. Toluca, Estado de México, México.
Autor por correspondencia: gasalazar_al@ciatej.edu.mx

Palabras clave:
agave, insecto plaga, monitoreo, picudo pinto, polinizadores.

Resumen

El presente trabajo muestra la historia natural, descripción taxonómica, ciclo de vida y distribución potencial actual del picudo pinto *Peltophorus polymitus* Boheman. Enfatiza la importancia del estudio y monitoreo de este insecto plaga en agaves de México. Actualmente, se ha registrado en 16 estados de la República: Michoacán, Jalisco, Guerrero, Sonora y Chihuahua. Ocasiona daño a los quiotes y hojas de *Agave palmeri* Engelm, *Agave tequilana* Weber, *Agave cupreata* Trel. & *A. Berger*, *Agave angustifolia* Haw, *Agave duranguensis* Gentry y *Agave kerchovei* Lem. Además de los daños a cultivos, es posible que algunos de los daños colaterales en el futuro sean la pérdida de polinizadores nativos: aves, insectos y murciélagos que visitan a diario el quiote de los agaves. Por tal motivo es necesario establecer sinergias de colaboración para el estudio y monitoreo de este insecto plaga y de sus interacciones biológicas.

Enfoques Transdisciplinarios: Ciencia y Sociedad, 2(1), 87-96. ISSN. 3061-709X. https://doi.org/10.5281/zenodo.12785984

Recibido: 23 octubre 2023
Revisado: 20 diciembre 2023
Aceptado: 15 enero 2024
Publicado: 20 de enero 2024

Este artículo es un artículo de acceso abierto distribuido bajo los términos y condiciones de la licencia CC BY-NC-SA 4.0. Para ver una copia de esta licencia visite https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

Introducción

El picudo pinto es un escarabajo de la familia Coleoptera: Curculionidae también conocido como picudo manchado o gorgojo manchado del agave; su nombre científico es *Peltophorus polymitus* Boheman. Este insecto es considerado una plaga de los cultivos de agave, debido a los daños que ocasiona al quiote (escapo floral) y las hojas de plantas de más de cuatro años de edad. *Peltophorus polymitus* Boheman utiliza como hospederos a varias especies de la Familia Asparagaceae: como son el agave lechugilla (*Agave palmeri* Engelm), el agave azul usado en la fabricación del tequila (*Agave tequilana* Weber), el maguey mezcalero usado para la fabricación del mezcal (*Agave*

cupreata Trel. & A. Berger), el agave espadín (*Agave angustifolia* Haw), el maguey cenizo (*Agave duranguensis* Gentry) y el agave rabo de león (*Agave kerchovei* Lem) (Gonzalez-Castillo *et al*., 2011; Brena, 2013; Romo & Morrone, 2012; Rodriguez *et al*., 2019a).

A diferencia de otros insectos plaga, el picudo pinto ataca principalmente plantas que tienen escapo floral (González-Hernández *et al*., 2015). Se alimenta del tejido del quiote, provocando daños que se observan como pequeños orificios circulares que son causados por adultos y larvas (Figueroa-Castro *et al*., 2016). Sin embargo, en algunos agaves como el tequilero, el espadín y el mezcalero papalote se han observado daños causados en el haz y en el envés de las hojas por los adultos. Al usar el quiote como reservorio de sus huevos, este se seca y cae, provocando pérdida de la floración y con esto una implicación colateral hacia la pérdida de la biodiversidad asociada a los agaves como son algunas especies de aves, insectos y murciélagos (Trejo-Salazar *et al*., 2015).

Figura 1. Daño ocasionado a las hojas y quiote floral en *Agave cupreata* Trel. & *A.* Berge

Historia taxonómica

Peltophorus polymitus: Gr. Pelte= escudo, Gr. Phoreus= tener o presentar: Gr. Polymitos= hilo de varios colores o tonalidades distintos, L. Polymitus= tela de varios colores o tonalidades distintas.

El picudo pinto fue descrito por primera vez en 1845 por Boheman bajo el nombre de *Peltophorus polymitus* Boheman. Más tarde, en 1866, Lacordaire lo describe como *Peltophorus leucomelas* Lacordaire. Durante 1884 a 1892 tuvo varios cambios taxonómicos, reasignandolo al género Zygops; perteneciendo a las especies *Zygops polymitus seminiveus* LeConte (1884), *Zygops polymitus leopardinus* Desbrochers (1891), *Zygops polymitus suffusus* Casey, (1892). Todos los nombres anteriormente mencionados corresponden a las sinonimias de la descripción original de *Peltophorus polymitus* Boheman (Romo & Morrone, 2012).

Descripción morfológica

La caracteristica principal es la presencia de un canal prosternal donde se aloja el rostro, grandes ojos que ocupan la mayor parte de la cabeza y la ausencia de lóbulos postoculares (Figura 2). Este insecto plaga tiene una longitud de menos de 1 cm,

presenta el cuerpo de color negro con escamas blancas en todo el cuerpo (de ahí que se conozca como picudo pinto), tiene un canal prosternal; mandíbulas sin dientes, endodontas; ojos redondos muy grandes, contiguos dorsalmente; antena geniculada con clava compacta, insertada en la base del rostrum, funículo de siete antenómeros, donde los antenómeros 1-3 son más largos que los antenómeros 4-7; rostro levemente comprimido dorsoventralmente; pronoto subtrapezoidal, escutelo trapezoidal, élitros con base fuertemente emarginada; coxas anteriores separadas por un canal prosternal, tarsómero 3 fuertemente bilobulado, con sedas abundantes en toda la superficie ventral, sin lóbulos dermales, con un par de uñas unidas en la base. Tiene un pigidio expuesto por detrás de los élitros, presenta un canal posternal para recibir el rostrum en reposo, además la propleura y el pronoto son blancos con manchas negras irregulares, los márgenes laterales del protórax son convergentes, los élitros están fuertemente esclerozados, estriados y con pubescencia (Schoenherr, 1844; Sleeper, 1963; González-Hernández *et al.*, 2015; Figueroa-Castro *et al.*, 2016; Reyes-Muñoz *et al.*, 2020).

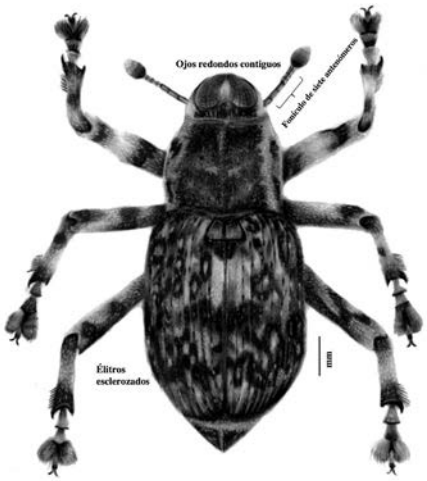


Figura 2. Ilustración del adulto de *Peltophorus polymitus* Boheman (picudo pinto) © cortesía de M. A. Jiménez-Vázquez

Ciclo de vida y depredadores naturales

El picudo pinto tiene un ciclo de vida con metamorfosis completa, es decir, es holometábolo (Figura 3). Los huevos se colocan en agujeros de aproximadamente 1-3 mm que se distribuyen a lo largo del quiote y la superficie de las hojas. Las larvas miden entre 8 y 11 mm de largo, de color blanquecino con una cápsula cefálica de color marrón, el cuerpo de la larva es de textura suave y rugoso. La pupa es del tipo exarata y mide entre 7 a 12 mm, es de color marrón amarillento, al final del abdomen presenta proyecciones carnosas, se observan los paquetes de alas, patas y pico (rostrum) se observan a los lados y bajo la superficie del cuerpo. El adulto mide 6-10 mm, es de color negro con escamas blancas prominentes, distribuidas por todo el cuerpo,

presenta élitros esclerozados, estriados y con pubescencia (Romo y Morrone, 2012; González-Hernández, 2015; Figueroa-Castro, 2016; Reyes-Muñoz *et al.*, 2020).

Uno de los enemigos naturales del picudo pinto es el escarabajo *Enoclerus zonatus* Klug (Coleoptera: Cleridae: Clerinae), asociado a las Asparagaceas en el norte de México y agavaceas en el centro y sur de nuestro país. Se ha reportado que se alimenta del gorgojo *Peltophorus polymitus* Boheman y de barrenadores dentro de flores, frutos, hojas, vainas, tallos y racimos de semillas de *Yucca* spp. y *Agave* spp. en México y Estados Unidos (Figuero-Castro, 2016).

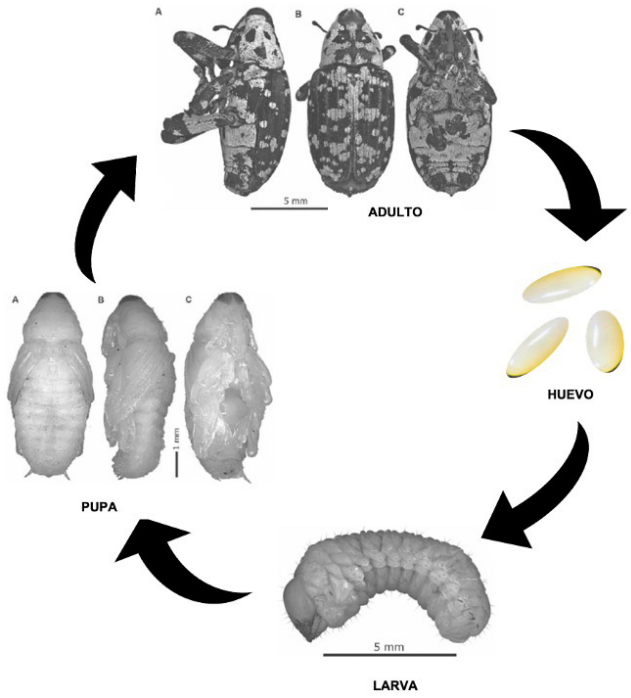


Figura 3. Adulto A) vista lateral B) vista dorsal C) vista ventral, pupa A) vista dorsal B) vista lateral C) vista ventral (© González Hernández *et al.*, 2015)

Materiales y métodos

Obtención de muestras

Los muestreos se realizaron en la región de Tzitzio, Michoacán (latitud 19.538600°, longitud -101.05985) en cultivos de *Agave cupreata* Trel. & A. Berger de más de ocho años de edad. Se identificaron plantas que presentaban daño en quiote y hojas maduras; además de registrar la presencia de individuos de la especie *Scyphophorus acupunctatus* Gyllenhal (picudo del agave). Las plantas con quiote presentaron daño y un aproximado de 10 picudos pintos por planta (Figura 6). Cabe destacar que los productores y jimadores que apoyaron en la colecta tenían una escasa información sobre quién era el responsable del daño que presentaban las plantas.

Identificación taxonómica de los especímenes

En el laboratorio de la unidad de Biotecnología Vegetal del Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco A. C. (CIATEJ), sede Zapopan, Jalisco, se revisaron los ejemplares colectados con ayuda de un estereoscopio y se montaron con alfiler enotmológico siguiendo el método descrito por Morón y Terrón (1988). Además, se realizó una ilustración científica con técnica de carboncillo para mostrar los caracteres distinitvos a gran escala.

Mapa de Distribución actual y potencial del picudo pinto

A través de los modelos de distribución de especies podemos anticipar las áreas que ofrecen condiciones óptimas para el establecimiento de una especie en particular. Para obtener la distribución potencial de *P. polymitus* se usó el algoritmo de máxima entropía mediante el programa MaxEnt 3.4.0 (Phillips & Dudík 2008). MaxEnt construye estos modelos combinando datos de presencia con capas bioclimáticas basadas en factores como la temperatura, humedad y precipitación. Usamos las capas bioclimáticas: bio2, bio8, bio9, bio13, bio14, bio15, bio18 y bio19 (Tabla 1). Con MaxEnt obtuvimos la evaluación del porcentaje de contribución de las variables climáticas (Phillips & Dudík 2008). Este enfoque es ampliamente reconocido y utilizado por considerarse uno de los más óptimos para estimar la distribución de especies (Elith *et al.*, 2006).

Resultados

Con la revisión de especímenes se confirmó la identidad de *Peltophorus polymitus* Boheman. Actualmente, existen bases de datos de acceso libre como la de la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO) y la base de datos del Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria (SENASICA) cuyos datos nos muestran los registros confirmados de la presencia de diferentes especies de insectos plaga. En el caso de picudo pinto, se encontraron registros de la presencia en México en 16 estados: Chiapas, Ciudad de México, Durango, Guerrero, Hidalgo, Jalisco, México, Michoacán, Nuevo León, Oaxaca, Puebla, Querétaro, San Luis Potosí, Sonora, Tamaulipas y Tlaxcala. Gracias a la revisión bibliográfica y el uso de programas útiles en modelo de distribución se obtuvo un mapa de registros para México, en donde los puntos indican la presencia confirmada de la especie (Figura 4).

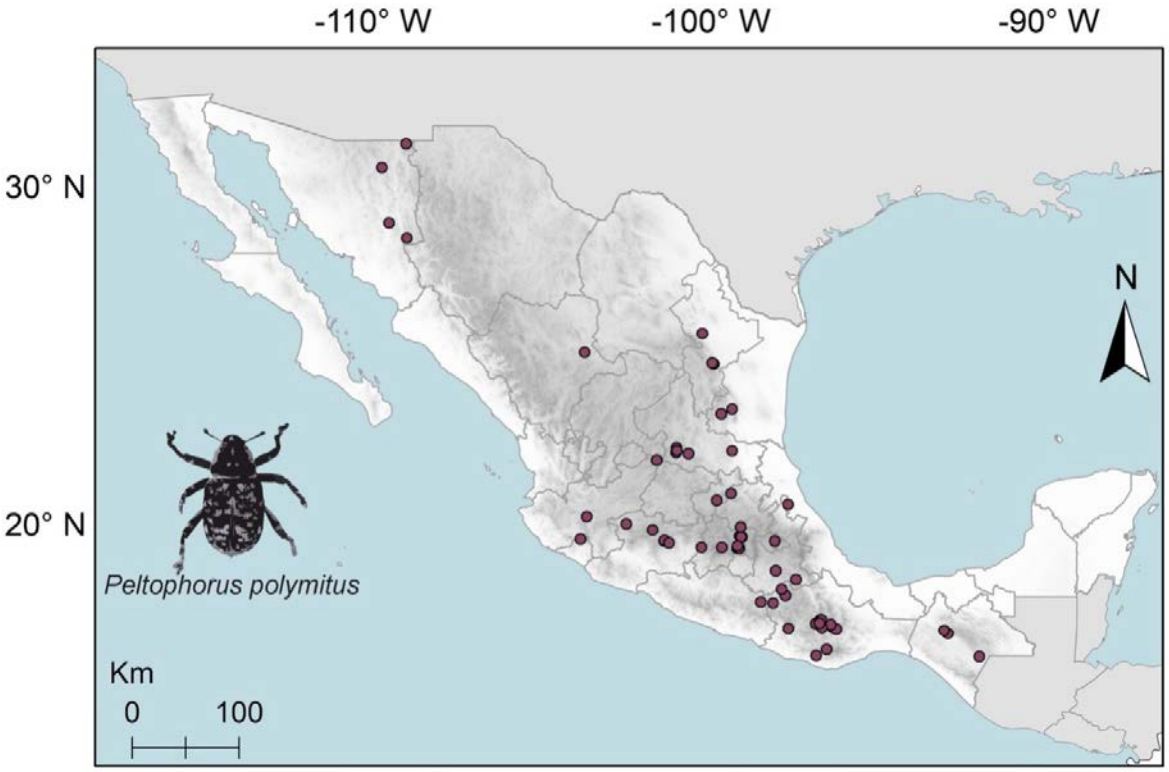


Figura 4. Mapa de registros de *Peltophorus polymitus* Boheman en México

En el análisis del modelo de distribución donde se identificaron las variables que aportan a la distribución del picudo pinto, se encontró que la temperatura media del trimestre más húmedo tiene la mayor importancia en la distribución con un 37.1%, considerada como variable bio 8; seguida por la estacionalidad de la precipitación con un 15.5% considerada como la variable bio 15. Esto quiere decir que las condiciones óptimas para la presencia de la plaga están dadas por la humedad y la precipitación.

Tabla 1. Variables empleadas en la elaboración del modelo de distribución potencial y su porcentaje de importancia

Variable	Interpretación	% de importancia
bio2	Rango de temperatura media anual	13.5
bio8	Temperatura media del trimestre más húmedo	37.1
bio9	Temperatura media del trimestre más seco	3.3
bio13	Precipitación del mes más húmedo	14.3
bio14	Precipitación del mes más seco	0.0
bio15	Estacionalidad de la precipitación	15.5
bio18	Precipitación del trimestre más cálido	1.6
bio19	Precipitación del trimestre más frío	14.5

Actualmente, la distribución del picudo pinto en México depende de las condiciones ambientales como la humedad y la precipitación. Esto quiere decir que posiblemente los meses con mayor humedad y lluvia aportan condiciones óptimas para la presencia de este insecto plaga. Considerando el modelo realizado, se estimó que *P. polymitus* Boheman, mejor conocido como picudo pinto, se encuentra en un 18.4% de nuestro territorio mexicano, es decir, en un área de 361,871.5 km^2 (Figura 5). También podemos observar que las condiciones climáticas determinantes para su distribución se concentran en regiones del centro y sureste de México, incluyendo a los estados de Michoacán, Jalisco, Guerrero, Chiapas y Oaxaca como áreas en las que se espera una mayor presencia de esta plaga.

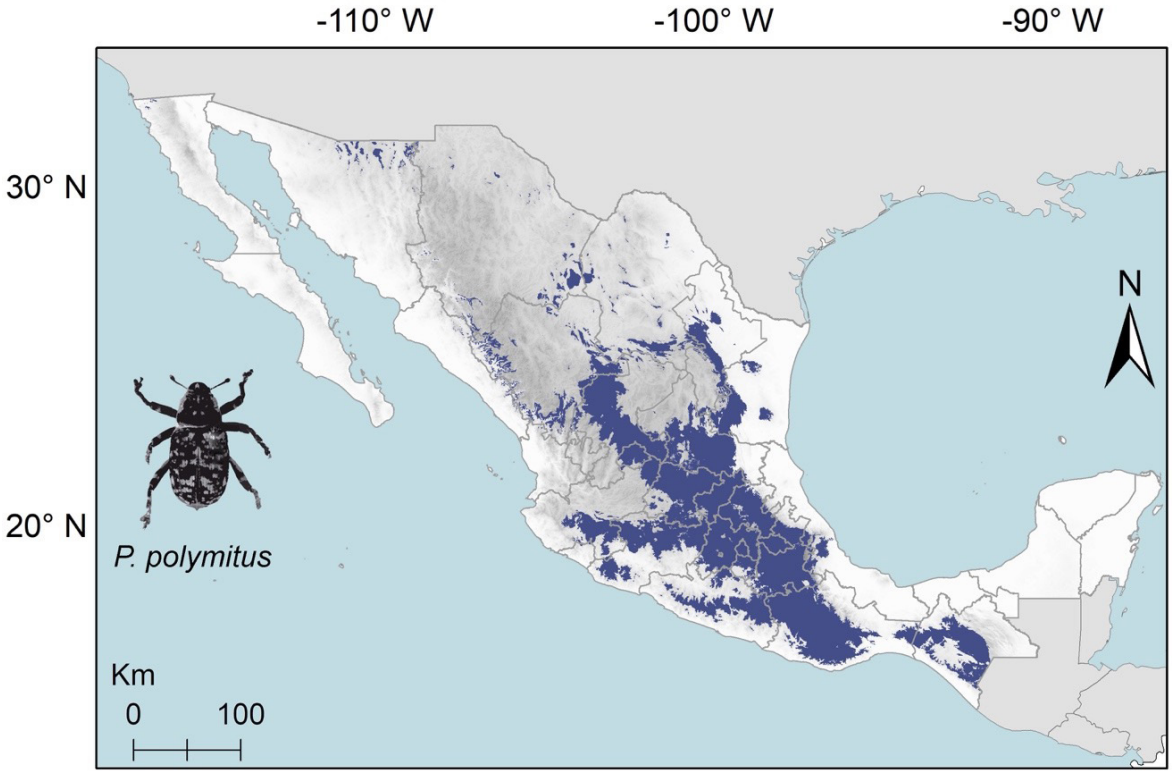


Figura 5. Distribución potencial del picudo pinto, *P. polymitus* Boheman en México

Discusión y conclusión

Actualmente en el Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco A. C. (CIATEJ), sede Zapopan, se realizan estudios moleculares (región COI) de los especímenes colectados para conocer más acerca de esta especie. Sin embargo, es importante establecer redes de colaboración con los productores de agave en los diferentes estados de México, en donde se ha reportado la presencia de este insecto y en regiones que cuentan con las condiciones climáticas ópti-

mas para su establecimiento. Es importante generar estrategias para un monitoreo preventivo y propuestas de control biológico antes de que las poblaciones de este insecto aumenten y la incidencia de daño sea mayor. Una propuesta favorable sería implementar a las capacitaciones ya existentes (con productores de tequila, mezcal, lechugilla y fibras provenientes de agave) la información sobre este insecto plaga, para una identificación oportuna.

Con los modelos de distribución generados en esta investigación, se presentan las áreas óptimas para la presencia de *P. polymitus*, picudo pinto, que posiblemente no han sido exploradas, pero que cuentan con las condiciones ambientales propicias para la expansión de la especie. Esto es de gran importancia para los productores de agave que se encuentran en esa región por los posibles impactos ecológicos y económicos que puedan tener en un futuro.

Los datos generados con esta investigación abren una oportunidad para explorar nuevas regiones en donde posiblemente se encuentren poblaciones de picudo pinto e iniciar estrategias de monitoreo preventivo, así como para la investigación científica orientada a la captura y control en áreas con presencia confirmada y distribución potencial. Otro aspecto importante en esta reflexión es el daño colateral que pueden tener los sistemas agroalimentarios al verse afectados los quiotes que son visitados cada día por aves, insectos y murciélagos endémicos que se alimentan y necesitan de estas estructuras florales para coexistir. Además, estos polinizadores que visitan los quiotes son de gran importancia para la cadena de interacciones biológicas no sólo de la polinización, mismos que ayudan a la conservación y equilibrio de los sistemas agroalimentarios de nuestro país. Por tanto, exhortamos al gremio de investigadores, productores y sector empresarial a unir esfuerzos en la investigación de plagas y control biológico en nuestro país.

Figura 6. Productores en campo, monitoreo de agaves con daño por picudo del agave y picudo pinto

Agradecimientos

A los proyectos FORDECYT 296369 y 292474, a CONACHYT por la beca posdoctoral 239732. A los productores anónimos del estado de Michoacán por el apoyo en campo. A César V. Rojas-Gómez por el apoyo bibliográfico y asesoría taxonómica.

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.

Referencias

Brena-Bustamante, P., Lira-Saade, R., García-Moya, E., Romero-Manzanares, A., Cervantes-Maya, H., López-Carrera, M., & Chávez-Herrera, S. (2013). Utilization of stalk and flower buds of Agave kerchovei in the Tehuacán-Cuicatlán Valley, Mexico. *Botanical Sciences, 91*(2), 181-186.

Elith, J. H., Graham, C. P., Anderson, R., Dudík, M., Ferrier, S., Guisan, A. J., Hijmans, R, Huettmann F, R. Leathwick J, Lehmann A, Li J, G. Lohmann L, A. Loiselle B., Manion, G., Moritz, C., Nakamura, M., Nakazawa, Y., McC, M., Overton, J., Townsend, Peterson, A. J., Phillips, S., Richardson, K., Scachetti-Pereira, R. E., Schapire, R., Soberón, J., Williams, S. S., Wisz, M. E., Zimmermann, N. (2006). Novel methods improve prediction of species' distributions from occurrence data. *Ecography, 29*,129–151.

Figueroa-Castro, P., López-Martínez, V., González-Hernández H., Jones R. W. & Zamora Gallegos, I. A. (2016). First report of Peltophorus adustus (Fall) (Coleoptera: Curculionidae: Baridinae) in Mexico, with two new host associations. *The Coleopterists Bulletin, 70*(3), 667–670.

González-Castillo, M. P., Escalante, M. Q. y Castaño-Meneses, G. (2011). Arthropods in natural communities in mescal agave (*Agave durangensis* Gentry) in an arid zone. *American Journal of Applied Sciences, 8*, 933-944.

González-Hernández, H., Figueroa-Castro, P., Rubio-Cortés, R., Jones, R. W. & Valdez-Carrasco, J. M. (2015). First report of Peltophorus polymitus Boheman (Coleoptera: Curculionidae) on three species of Agave (Asparagaceae) in Mexico. *Acta Zoológica Mexicana (n. s.), 31*(3), 473-476.

Morón Ríos, M. A. & Terrón, R. A. (1988). *Entomología práctica: una guía para el estudio de los insectos con importancia agropecuaria, médica, forestal y ecológica de México*. Instituto de Ecología.

Morrone, J. J. (2000). Mexican weevils (Coleoptera: Curculionoidea): A preliminary key to families and subfamilies. *Acta Zoológica Mexicana, 80*, 131-141.

Phillips, S. J., Dudík, M. (2008). Modeling of species distributions with Maxent: new extensions and a comprehensive evaluation. *Ecography, 31*(2), 161–175

Reyes-Muñoz, J. L., Correa-Ramírez, M. M., Zamora-Gutierrez, V., Sánchez-Alfaro, M. F., Uribe-Ordóñez, L. A., Niño-Maldonado, S. (2020). Distributional Extension of Peltophorus polymitus (Boheman 1845)1 at Durango, Mexico. *Southwestern Entomologist, 45*(1), 169-174.

Rodríguez, W. D., Navarrete-Heredia, J. L., Vásquez-Bolaños, M., Rodríguez-Macías, R., Briceño-Félix, G. A. Coronado Blanco, J. M. & Ruíz-Cancino, E. (2019a). Insects associated with the genus *Agave* spp. (Asparagaceae) in Mexico. *Zootaxa, 4612*(4), 451-493.

Rodríguez, W. D., Navarrete-Heredia, J. L., Vásquez-Bolaños, Rodríguez-Macias, M. & Briceño Félix, G. A. (2019b). *Escarabajos asociados a Agave tequilana Weber variedad Azul.* Universidad de Guadalajara.

Romo, A. & Morrone, J. J. (2012). Especies mexicanas de Curculionidae (Insecta: Coleoptera) asociadas con agaves (Asparagaceae: Agavoideae). *Revista Mexicana de Biodiversidad, 83*, 1025-1035.

Sleeper, E. L. (1963). A study of the Zygopinae (Coleoptera: Curculionidae) of America North of Mexico, I. *Bulletin So. Calif. Academy Sciences, 62*(4), 209-220.

Trejo-Salazar, R. E., Scheinvar, E., & Eguiarte, L. E. (2015). ¿Quién poliniza realmente los agaves? Diversidad de visitantes florales en 3 especies de Agave (Agavoideae: Asparagaceae). *Revista mexicana de biodiversidad, 86*(2), 358-369.

ENFOQUES TRANSDISCIPLINARIOS: CIENCIA Y SOCIEDAD

Alimentación y género en pandemia: el caso de mujeres rurales en México

Odet Lorena Alvarado Rodríguez[1*] y Adriana Rodríguez Barraza[2]

[1] Estudiante de Doctorado en Biología Integrativa. Universidad Veracruzana.

[2] Investigadora Tiempo Completo. Instituto Investigaciones Psicológicas. Universidad Veracruzana

[*]Autor de correspondencia: odetlorena_0612@hotmail.com

Palabras clave:
alimentación, México, mujeres rurales, pandemia, género.

Resumen

Se describe la relación del binomio alimentación-género en mujeres residentes de zonas rurales de México durante la pandemia para visibilizar la diferenciación en el acto alimentario de acuerdo al género y proporcionar datos sistematizados que sirvan en las estrategias y políticas públicas orientadas al bienestar integral de las mujeres. Esta investigación sugiere, con base en la revisión de trabajos publicados en 2020 al 2022, que la crisis sanitaria ha exacerbado la vulnerabilidad y la falta de certeza alimentaria en los hogares con jefatura de mujeres rurales al poner en evidencia las fallas del sistema patriarcal que multiplica las actividades a su cargo, aumenta los casos de violencia y pobreza multidimensional. Finalmente, se concluye que las mujeres se ven obligadas a sobrecargarse de actividades productivas (ya sean remuneradas o no) y encontrar alternativas económicas para solventar las situaciones adversas diversificando sus actividades productivas, sin descuidar las reproductivas.

Enfoques Transdisciplinarios: Ciencia y Sociedad, 2(1), 97-109. ISSN. 3061-709X. https://doi.org/10.5281/zenodo.12786226

Recibido: 09 octubre 2023
Revisado: 09 enero 2024
Aceptado: 15 enero 2024
Publicado: 20 de enero 2024

Este artículo es un artículo de acceso abierto distribuido bajo los términos y condiciones de la licencia CC BY-NC-SA 4.0. Para ver una copia de esta licencia visite https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

Introducción

En este apartado se abordará como primer punto la definición de alimentación y los hábitos alimentarios, siguiendo con la relación que existe entre alimentación, género, mujeres rurales en México, pandemia, economía femenina y, por último, la importancia de incluir perspectivas integrales en estos temas.

¿Qué es la alimentación?

De acuerdo con el glosario de términos de FAO (s.f.), la alimentación es un proceso consciente y voluntario que consiste en el

acto de ingerir alimentos para satisfacer la necesidad de comer. Además, al ser un acto permeado principalmente por constructos culturales, histórico-sociales y de espacio-tiempo, en ella confluyen una diversidad de factores que condicionan la forma en que los individuos llevan a cabo la acción alimentaria desde la adquisición, compra de productos, hasta la preparación y actividades posteriores que incluyen, además: el manejo de los residuos, la limpieza de la cocina, las preferencias alimentarias, el comportamiento alimentario, entre otros factores que conforman el ciclo de la alimentación; actividades que desde la antigüedad está a cargo de las mujeres.

El comportamiento alimentario humano presenta una ambivalencia, por un lado, lo simbólico y por el otro las prácticas. Se destaca todo el sistema de creencias, opiniones, percepciones, los enfoques de género, las relaciones de poder, festividades y todo el conocimiento sobre la alimentación (Moreno & López-Espinosa, 2016).

México, al igual que otros países mesoamericanos, ha transitado cuatro etapas históricas cruciales en la alimentación (Román, Ojeda & Panduro, 2013):

1-Alimentación prehispánica: un sistema que tiene como base principal los cultivos de maíz, frijol, chile, calabaza, aguacate y tomate.
2-Alimentación colonial: caracterizada por un mestizaje alimentario gracias a la introducción de nuevos ingredientes de origen europeo y asiático.
3-Alimentación independiente: creación de platillos típicos regionales, por ejemplo: el mole.
4-Alimentación moderna: cambio de la dieta tradicional a una basada en alto consumo de alimentos industrializados.

En este sentido, Gómez y Velásquez (2019) mencionan en su obra *Salud y cultura alimentaria en México* que estas tienen su origen en la época prehispánica y después de la Conquista se originó un mestizaje alimentario de constantes combinaciones, influencias e innovaciones que fusionan la cocina española e ingredientes asiáticos, pero siempre manteniendo como base: el maíz, frijol y chile. Asimismo, con la introducción de alimentos también se diversificaron las formas de cocción: mientras en España los alimentos se preparaban hervidos, asados, fritos en manteca o aceite de olivo; los nativos solamente asaban o hervían los alimentos, pues en su mayoría los consumían crudos.

Actualmente la alimentación se ha modificado y con la apertura comercial el país transitó hacia un ambiente alimentario "obsesogénico" debido al incremento en el consumo de jarabe de maíz, soya, azúcar, bocadillos y productos cárnicos (Clark *et al.*, 2012). La preferencia por los alimentos industrializados en lugar de los étnicos tradicionales y la migración del campo a la ciudad son efectos de la globalización que

han propiciado un cambio drástico en el estilo de vida de la población en general. Si bien ha disminuido la prevalencia de enfermedades infecciosas, se ha incrementado el índice de enfermedades crónico-degenerativas (Román *et al.*, 2013). En este sentido, son las mujeres, de acuerdo con Moreno (2020), las que sufren de enfermedades del corazón y diabetes mellitus; sin embargo, no hay campañas dirigidas a ellas para la prevención de estas patologías, en particular para la coronaria, misma que se considera todavía un padecimiento masculino. Por esta razón, la población femenina no se reconoce en riesgo de adquirirla y frecuentemente el personal médico tampoco lo considera así, motivo por el que muchas mueren prematuramente por dichas causas, además de que no atienden de forma oportuna sus problemas de salud por satisfacer primero las necesidades de los demás, porque son dependientes económicas y no disponen de recursos propios; muchas no tienen acceso a la seguridad social y algunas tienen condiciones de trabajo desfavorables.

Hábitos alimentarios

Los hábitos alimentarios comienzan a instaurarse desde la infancia, se van consolidando durante la adolescencia y generalmente se mantienen en la edad adulta (Álvarez, 2020), y son reforzados por el núcleo familiar, la escuela y los medios de comunicación (FAO, 2015). Sin embargo, se considera que no son constantes y son maleables en función de factores externos sociales, culturales, económicos y de tiempo a la par del contexto donde se desarrolla el individuo.

Lo anterior resulta importante dado que el género es un elemento clave para poder comprender cómo los hábitos alimentarios son costumbres diferenciadas y constituyen la forma en que los individuos seleccionan, preparan y consumen los alimentos influidos por la disponibilidad, educación alimentaria y el acceso (Albito, 2015). Forman un elemento identificador de un grupo social y es una característica cultural que difícilmente se pierde; sin embargo, se forman y transforman a partir de experiencias de aprendizaje a lo largo de la vida y están sujetos a cambios cuyo origen es multidimensional.

Relación de alimentación y género

El binomio alimentación-género no es reciente, se remonta a épocas muy antiguas donde ya existía una división sexual del trabajo; rememora la tradicional dualidad hombre-cazador versus mujer-recolectora. Según este modelo, la división sexual del trabajo se habría originado por diferencias biológicas típicamente asociadas al sexo, es decir, a características «naturales» propias de los machos o de las hembras (Martínez, 2016).

La alimentación distingue tareas diferentes para hombres y mujeres en el ámbito privado de la unidad familiar. Los hombres suelen ser quienes realizan el trabajo

productivo con el fin de proveer recursos económicos para alimentar el núcleo familiar. Por su parte, el trabajo alimentario propiamente dicho es predominantemente femenino. Con respecto al trabajo alimentario, las familias expresan la ideología de género basada en la división sexual del trabajo. La misma establece diferencias entre los responsables de las tareas, el reconocimiento o no de la misma y el acceso y decisión sobre los recursos alimentarios en la familia (López *et al.*, 2022).

Uno de los aspectos más importantes ofrecidos por las mujeres en la ejecución de estas tareas es el servicio: "las mujeres acostumbran a servir, y los hombres a ser servidos" (Gracia-Arnaiz, 2014). Es sobre las mujeres que recaen las actividades de cuidado que han sido ampliamente subvaloradas, entre otras razones, porque se han concebido como tareas reservadas a las categorías sociales subalternas y como parte constitutiva de lo que las define como tales. El trabajo de cuidados está estrechamente relacionado con el principio simbólico del género; todo lo relacionado a las ideas y creencias que definen qué es lo masculino y lo femenino (Palomar, 2005).

Mujeres rurales y pandemia

De acuerdo con el Instituto Colombiano Agropecuario (ICA) (2023), se considera mujer rural a toda aquella que sin distingo de ninguna naturaleza e independientemente del lugar donde viva, su actividad productiva está relacionada directamente con lo rural, incluso si dicha actividad no es reconocida por los sistemas de información y medición del Estado o no es remunerada.

En el año 2020 en México, existían 64.5 millones de mujeres, el 21%, es decir 13.6 millones, habitaban en localidades rurales. Además, de los 11.4 millones de hogares que son jefaturados o encabezados por una mujer en el país, el 16% se ubica en una zona rural. Por grupos de edad se encontró que el 30% son niñas y adolescentes de 0 a 14 años, el 24% jóvenes entre 15 y 29 años, el 19% adultas de 30 a 44 años, 18% de 45 a 64 años y el 9% son de 65 años y más (INEGI, 2020). Sin duda alguna, la pandemia ha agravado la situación; pues a pesar de que las mujeres cuenten con algún grado de estudios, el sistema de cuidados es un ejemplo de responsabilidad que recae sobre ellas y se suma y se asume como una tarea propia de género. Una de las consecuencias que la pandemia trajo consigo es la triple jornada laboral de las mujeres en el mundo (CNDH, 2021).

Economía femenina

De acuerdo con el Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT) (2022), en México 70% de hombres y 76% de mujeres vieron disminuidos sus ingresos (ingresos de un trabajo remunerado); 43% de hombres y 40% de mujeres experimentaron dificultad para acceder a productos alimenticios o víveres; y 44%

de hombres y 48% de mujeres vieron un aumento en el tiempo dedicado al trabajo doméstico y de cuidados no remunerado, entre lo que se incluyen: enseñanza a los niños, ayuda con las tareas escolares, ayudar a personas adultas mayores, enfermos o con discapacidad.

Las mujeres tienen un menor acceso a la educación, a la información, a los servicios públicos de protección social y a los mercados. Asimismo, se ha evidenciado la importancia que tiene el trabajo femenino en la economía familiar campesina y los retos que las mujeres han desafiado para lograr la soberanía alimentaria. Sin embargo, pese a que «el trabajo femenino se da en las diversas esferas productivas: en la milpa, cría de traspatio, producción de hortalizas y comercio» (Rosas & Rico, 2017), a las mujeres campesinas se les limita el acceso a los apoyos y subsidios para el campo, por lo cual prevalecen aún situaciones de desigualdad y de feminización de la pobreza.

Perspectivas integrales

La integración de la perspectiva de género (o *mainstreaming*) es una estrategia para hacer que las preocupaciones y experiencias de las mujeres, los hombres y las personas con diversas identidades de género sean una dimensión integral del diseño, la aplicación, el seguimiento y la evaluación de las políticas y los programas (ONU, 2023). Esto se hace para que todas las personas puedan beneficiarse por igual, para que no se perpetúe la desigualdad.

Los esfuerzos para mejorar la nutrición de las mujeres podrán ser más poderosos si se emprenden en conjunto con estrategias, políticas y programas públicos integrales que ataquen las desigualdades de género desde el conocimiento del territorio, de su población y de sus prácticas culturales y sociales. También se requiere de educación nutricional sensible al género para mantener buenas prácticas de alimentación, tal como lo manifiesta el Programa conjunto sobre enfoques de género transformadores para lograr la seguridad alimentaria y la nutrición en Ecuador y Malawi (FAO, 2023).

Asimismo, Pangestu (2022) propone cuatro prioridades para la comunidad internacional ante escenarios de crisis alimentaria que incluyen, en primer lugar, mantener el comercio de los alimentos; en segundo, apoyo a los consumidores y los hogares vulnerables a través de redes de protección social. Es imprescindible mantener o ampliar los programas sociales que ayudan a proteger a los consumidores. No solo la disponibilidad de alimentos, sino la asequibilidad una preocupación especialmente en los países de ingreso bajo y mediano. Como tercer punto, apoyar a los agricultores haciendo énfasis en la protección de cosechas de la próxima temporada y, por último, trabajar para transformar los sistemas alimentarios para convertirse en la piedra angular del desarrollo verde, resiliente e inclusivo, y promover la salud de las personas, las economías y el planeta.

No es imposible construir otros modelos del buen comer y de emancipación de género, etnia y clase a través de la vida privada, la reproducción, la cotidianidad y desde abajo, es decir, atendiendo su origen. Se debe reconocer que el género no debe ser un factor que condicione las actividades domésticas entre hombres y mujeres; mucho menos que sobrecargue de responsabilidades a las mujeres y cree escenarios donde se limite su capacidad productiva, laboral y social.

Abordar la pandemia desde cualquier perspectiva cobra relevancia y vigencia, pues desde su aparición los efectos e impactos generados dejan ver los distintos niveles de vulnerabilidad basados en el género, la etnicidad, nivel socioeconómico y el acceso a apoyos que marcan las trayectorias de vida de las mujeres. El objetivo de este artículo es describir la relación del binomio alimentación-género en mujeres residentes de zonas rurales de México durante la pandemia de SARS-COV2 para visibilizar la diferenciación en el acto alimentario de acuerdo al género y proporcionar datos sistematizados que sirvan en las estrategias de políticas públicas orientadas al bienestar integral de las mujeres.

Metodología

En este apartado se presenta la estructura de los elementos básicos que mediante la recopilación y análisis de datos pretende coadyuvar al cumplimiento del objetivo principal. En primer lugar, se realizó una búsqueda sistematizada y el análisis de investigaciones realizadas de diciembre 2020 a junio 2022 en las siguientes bases de datos: ResearchGate, Science Direct, SciELO, Google Académico y Dialnet en los idiomas inglés y español con los operadores booleanos: and, or, not y comillas y las palabras claves: alimentación, estilos de vida, COVID-19, confinamiento, mujeres mexicanas, rurales, *feeding*, *eating habits*, *mexican women*, rural. En total se encontraron 131 artículos en español correspondientes a las palabras claves; no obstante, no todos abordaban el tema específicamente.

Se procedió a hacer una depuración y conservar sólo los artículos con estrecha relación con las palabras claves ya mencionadas para poner en manifiesto los trabajos recientes publicados hasta el momento sobre estos tópicos. El análisis de la información consistió en la evaluación del título e introducción del artículo, originalidad del estudio, población estudiada, diseño metodológico, resultados, conclusiones y seguimiento del estudio.

Sin embargo, una de las limitantes es la continua emergencia de temas relacionados a la pandemia, por lo cual al cierre de este trabajo se encontrarán publicados cientos de artículos relacionados al tema desde entornos urbanos; no todos se relacionan directamente con la articulación de los ejes: alimentación, mujeres y pandemia.

Resultados

En este apartado se presentan los resultados más significativos para este trabajo. En primer lugar, se muestra en la Figura 1 el resultado total de la búsqueda de las palabras claves en inglés y en español donde se ilustra la cantidad de recursos académicos disponibles de diciembre 2020 a junio de 2022 en ambos idiomas de búsqueda. Donde se observa que, de acuerdo a las palabras claves, la mayoría de los resultados se encuentran en español representando el 59% y el resto, el 41% en inglés.

Figura 1. Resultados totales de la búsqueda por palabras claves en español e inglés

Asimismo, se muestran los resultados obtenidos de la búsqueda en las bases de datos ya citadas; por año: 2020, 2021 y 2022 y por tres temas principales relacionados a este estudio: Alimentación (Figura 2), confinamiento (Figura 3) y mujeres rurales (Figura 4) para así poder contrastar la producción de material académico generado en estos tres años y para ilustrar la cantidad de artículos, capítulos de libros y tesis relacionados a estos temas en los seis meses transcurridos del 2022.

Figura 2. Búsqueda de la palabra clave *alimentación* de marzo 2020 a junio 2022

Figura 3. Búsqueda de la palabra clave *confinamiento* de marzo 2020 a junio 2022

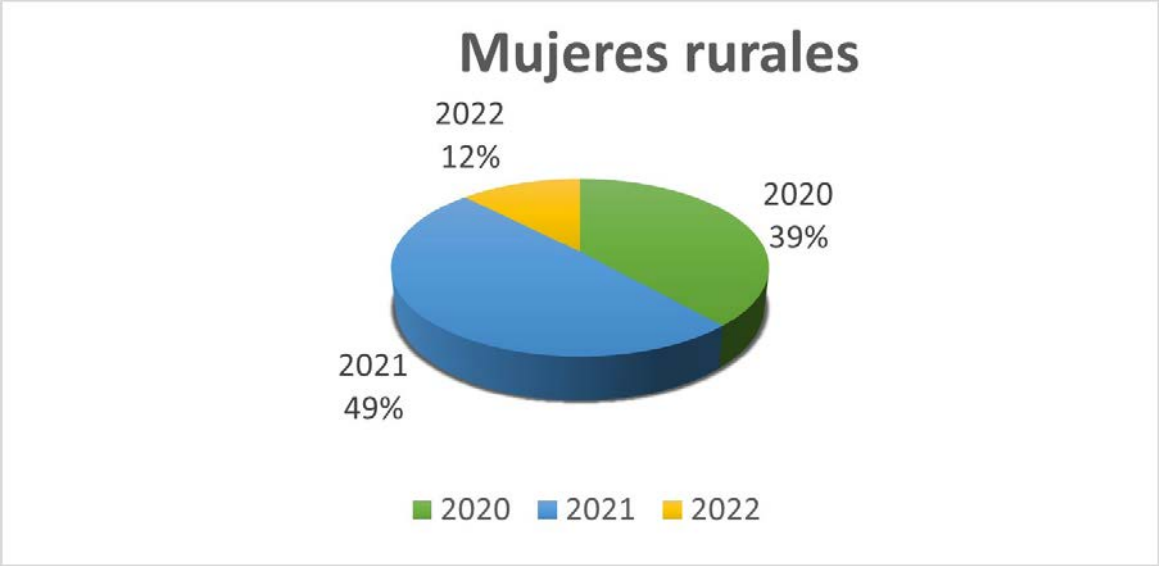


Figura 4. Búsqueda de las palabras claves mujeres rurales de marzo 2020 a junio 2022

Posteriormente a la depuración del material académico, se conservaron sólo los artículos y publicaciones especificas a la temática, quedando 12 artículos, en su mayoría cuantitativos, con estudios en el norte del país y en la ciudad de México y dos tesis de doctorado con metodología mixta. A continuación, se describe de manera general el contexto en México sobre la crisis por pandemia y sus efectos sobre la vida de las mujeres rurales. Después se mencionan dos trabajos más afines a la temática señalada y que muestran algunas de las medidas exitosas que se han adoptado para mitigar los efectos de la pandemia por parte de mujeres rurales en México.

A partir del estudio de casos en México se hace evidente cómo la pandemia de COVID-19 ha afectado a las localidades rurales e indígenas, específicamente a las mujeres. Sin embargo, es preciso resaltar que las mujeres han desplegado estrategias que muestran su capacidad de organización, liderazgo y resiliencia. Estas estrategias van desde la recuperación de los saberes ancestrales en el ámbito de la producción de alimentos y de la medicina tradicional, hasta la implementación de mecanismos como el trueque. De igual forma, se ha resaltado la importancia de las prácticas agroecológicas, que fortalecen los sistemas alimentarios locales y la soberanía alimentaria dentro de sus territorios.

Actualmente, se ha identificado que las dinámicas culturales de las mujeres no son tan estrictas. Las mujeres participan en diversas labores, se mueven en ámbitos que se suponía estaban asignados a los varones. Ellas trabajan e ingresan en labores más diversas que las aceptadas por los hombres. Las mujeres, entonces, están transformando su contexto. Ahora fomentan y promueven en sus hijas una participación diversificada en las esferas domésticas, económicas y escolares. Por otra parte, en la nueva ruralidad la contribución de las mujeres cobra relevancia dentro de las economías regionales y familiares; las mujeres se han visto en la necesidad de salir a buscar el sustento de sus familias. Es precisamente esta necesidad que orilla a las mujeres a buscar incursionar en más espacios y asumir más tareas pese a los altos costos para la salud, el bienestar y la vida de ellas mismas.

En este tenor, las mujeres a cargo de actividades productivas agropecuarias son trabajadoras que aceptan labores que no son remuneradas probablemente en las parcelas familiares, mientras los hombres trabajan fuera; sin embargo, ellas no son consideradas productoras por cuenta propia puesto que la titularidad de la tierra es de sus cónyuges. Las mujeres se han integrado masivamente al mercado laboral rural y de otros sectores, especialmente del terciario, empleándose en el comercio y restaurantes: "espacios que genéricamente han sido asignados a ellas, porque representan una continuidad de sus labores domésticas y de cuidado" (Ayala *et al.*, 2021).

De acuerdo con el Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo [CIMMYT] (2022), los aportes que las mujeres han realizado a la economía familiar en el medio rural cada vez son más visibles, no sólo por las multitareas en que se ocupan, sino por el tiempo que dedican a ellas. Las mujeres se han enfrentado a una serie de obstáculos adicionales asociados a las interrupciones de las cadenas de valor agroalimentarias. Las productoras que vendían sus excedentes en mercados locales para captar ingresos que les permitieran complementar la dieta fueron particularmente afectadas, sin embargo, se desarrollan proyectos que impulsan el empoderamiento económico de las mujeres mediante la incorporación de cultivos alternativos como el girasol vendiendo como flor de corte y como productos elaborados como: jabones, cremas, tinturas de propóleo, polen, jarabes para la tos y otros productos

Asimismo, en San Pedro Arriba, municipio de Temoaya, Estado de México, se ha conformado un grupo de mujeres dedicadas a la comercialización de cultivos y productos agroecológicos, quienes mediante la agricultura tradicional transmitida por generaciones anteriores cultivan para autoconsumo y para venta en un tianguis itinerante llamado "Bosque de agua", utilizando prácticas sustentables como el uso eficiente de agua, la siembra y rotación de policultivos, aplicación de compostas y manejo integral de plagas. En este ejemplo se puede apreciar el rol que desempeña la trasmisión de conocimiento tradicional (Garduño *et al.*, 2021).

Hasta el momento, la publicación de estudios que articulen el binomio alimentación-género de mujeres rurales en un contexto de pandemia es escasa y, por lo general, se ha orientado actualmente al análisis de poblaciones generales urbanas, visibilizando lo que sucede en este contexto, pero dejando de lado lo que acontece en escenarios sumergidos en la marginación, pobreza y abandono. Sin embargo, la crisis sanitaria ha mostrado dos vertientes, la primera, como ya se ha mencionado, es potenciar los impactos negativos que reciben las mujeres rurales que han sumado no sólo costos económicos, sino sociales y de salud. Por otro lado, representa un área de oportunidad que, mediante la resiliencia, permite explorar e incluso construir diversos escenarios para reformar el tejido económico y social que las mujeres necesitan desde el empoderamiento y la capacitación, objetivos que sin duda impactan en la calidad de vida de cada una de ellas.

Conclusiones

Se da cuenta, desde el contexto de pandemia, lo que sucede con el binomio alimentación-género desde la ruralidad en México. Asimismo, se muestra la diferenciación en el acto alimentario, como también en el reparto de actividades domésticas y de cuidado que se enmarca dentro de un régimen patriarcal. Resulta imprescindible resaltar que el acto alimentario ha estado y sigue a cargo de mujeres. Desde su concepción biológica, histórica, social y cultural se le ha asignado el rol de ser la responsable del cuidado y salvaguarda de los integrantes de su hogar y esto desde luego incluye velar por su alimentación. Sin embargo, pese a construir una de las redes principales que dan sustento a la vida, esta labor ha sido relegada y considerada menor y escasamente remunerada o ejecutada de manera gratuita y si se le suma la falta de certeza alimentaria ocasionada por la pandemia, es de esperarse que las mujeres modifiquen sus hábitos alimentarios.

Aunado a ello, se tiene que las mujeres que perdieron a sus esposos y buscaron la manera de mantener a sus familias se enfrentaron a los escasos o nulos apoyos que existen, sobre todo si se trata de la producción de cultivos en sus tierras. Lo anterior se debe a que actualmente no se considera a la mujer en el papel principal

de productora, por ende, los apoyos a los cuales podría acceder muchas veces son limitados o escasamente distribuidos en este sector.

Si bien es cierto que no se puede responsabilizar por completo a la crisis sanitaria que aún se enfrenta, con el surgimiento de ella se pusieron en evidencia, aún más, todas las desigualdades sociales que existen y, sobre todo, se hace visible la enorme brecha entre las localidades rurales y las urbanas. Es preciso focalizar la atención en el estudio de las localidades rurales desde adentro (desde el interior de los hogares, desde la dinámica familiar), para así poder comprender lo que viven las mujeres, las situaciones que la ponen en línea de fuego, los eventos que modifican su alimentación y estilos de vida, la falta de certeza alimentaria y las acciones que implementan para hacerle frente a estas condiciones adversas.

Existen evidencias de que las políticas públicas de seguridad alimentaria deben orientarse hacia enfoques integrales que atiendan el origen estructural de la pobreza extrema y el hambre, dejando de lado la visión asistencialista que ha imperado en los programas y que ha tenido escasos o nulos resultados. Si bien es cierto que las políticas públicas han abordado el problema de la alimentación primero desde un enfoque unidimensional y actualmente desde un enfoque multidimensional, es preciso subrayar que no es ni será posible "erradicar el hambre ni la pobreza" con la implementación de los mismos mecanismos para un territorio tan heterogéneo como lo es México, ya que en el aspecto de los alimentos es necesario tomar en consideración la cultura alimentaria de la población, el contexto en el que se desenvuelve y el apego a los productos locales.

Es necesario tener en consideración los elementos descritos para así proponer iniciativas y políticas públicas que puedan coadyuvar al bienestar de las mujeres. Se espera que la sociedad transite hacia modelos más igualitarios; donde la división de tareas domésticas y afines sea una actividad compartida por los géneros y que no sea resultado del uso de alimentos rápidos, enlatados, congelados y precocinados, ni tampoco de la utilización de tecnología y sus avances en electrodomésticos y utensilios, tampoco del resultado de la prestación de servicios domésticos. Es necesario fortalecer la participación y el liderazgo siguiendo el modelo de empoderamiento local de los ejemplos mostrados en este texto con un foco en las mujeres rurales jornaleras, para así contribuir a un verdadero desarrollo integral e incluyente que repercute en el bienestar de toda la población en su conjunto.

Referencias

Aguilar P, P. (2014). Cultura y alimentación. Aspectos fundamentales para una visión comprensiva de la alimentación humana. *Anales de Antropología, 48*(1), 11-31. http://www.revistas.unam.mx/index.php/antropologia/article/view/44185/pdf

Álvarez, C. F C. (2020). *Hábitos alimentarios y actividad física durante el confinamiento por Covid-19 en estudiantes de la Facultad de Ciencias - Pontificia Universidad Javeriana* [Trabajo de grado, Pontificia, Universidad Javeriana]. Recuperado de: https://repository.javeriana.edu.co/bitstream/handle/10554/51991/Trabajo%20de%20grado%20final%20correcciones%20sustentacion-2-2%20%281%29.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Ayala C, Maria del Rosario. Zapata M. E & Pérez F. M do M. (2021). Género y trabajo: mujeres rurales en México. *Conference: XVII Congreso de Historia Agraria. Despoblación rural, desequilibrio territorial y sostenibilidad At: Salamanca.*

Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo. (2022). *Mujeres, agricultura y pandemia*. https://www.cimmyt.org/es/noticias/mujeres-agricultura-y-pandemia/

García-Arnaiz, M. (2014). Alimentación, trabajo y género. De cocinas, cocineras y otras tareas domésticas. *Panorama Social, 19*, 25-36.

Garduño de Jesús, E.G. Moctezuma P, S. Espinoza O, A & Juan P, J.I. (2021). Comercialización de cultivos y productos agroecológicos como aporte al sostenimiento de las unidades domésticas. El caso del grupo "Mujeres Cosechando", México. Sociedad y ambiente (24).

Gómez D. Y& Velásquez R. E B. (2019). Salud y cultura alimentaria en México. Revista Digital Universitaria (RDU). 20(1) doi: http://doi.org/10.22201/codeic.16076079e.2019.v20n1.a6

Instituto Colombiano Agropecuario. (2023). *Mujer rural ICA*. https://www.ica.gov.co/mujer-rural

Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. (2020). *Censo de Población y Vivienda 2020. Presentación de resultados. Estados Unidos Mexicanos*. https://inegi.org.mx/contenidos/programas/ccpv/2020/doc/Censo2020_Principales_resultados_EUM.pdf

López, M. Acerbo, F. Y. & Lema, R. (2022). Roles de género en la distribución de tareas domésticas vinculadas a la alimentación. *Revista de Salud pública, 27*(1), 88-103. https://revistas.unc.edu.ar/index.php/RSD/article/download/36202/38576/140977

Martínez Moreno, A. G., & López-Espinoza, A. (2016). La transición del comportamiento alimentario: una explicación desde la teoría de la conducta. *Universitas Psychologica, 15*(4). http://dx.doi.org/10.11144/Javeriana.upsy15-4.tcae

Martínez, C. (2016). Un pasado que ilustra con perspectiva de género: el debate sobre la división sexual del trabajo. *Mujeres con ciencia*. https://mujeresconciencia.com/2016/10/17/pasado-ilustra-perspectiva-genero-debate-la-division-sexual-del-trabajo/

Organización de las Naciones Unidas. (2023). *Integración del género*. https://www.ohchr.org/es/women/gender-integration

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2023). *Programa conjunto sobre enfoques de género transformadores para lograr la seguridad alimentaria, la mejora de la nutrición y la agricultura sostenible*. https://www.fao.org/3/cb7065es/cb7065es.pdf

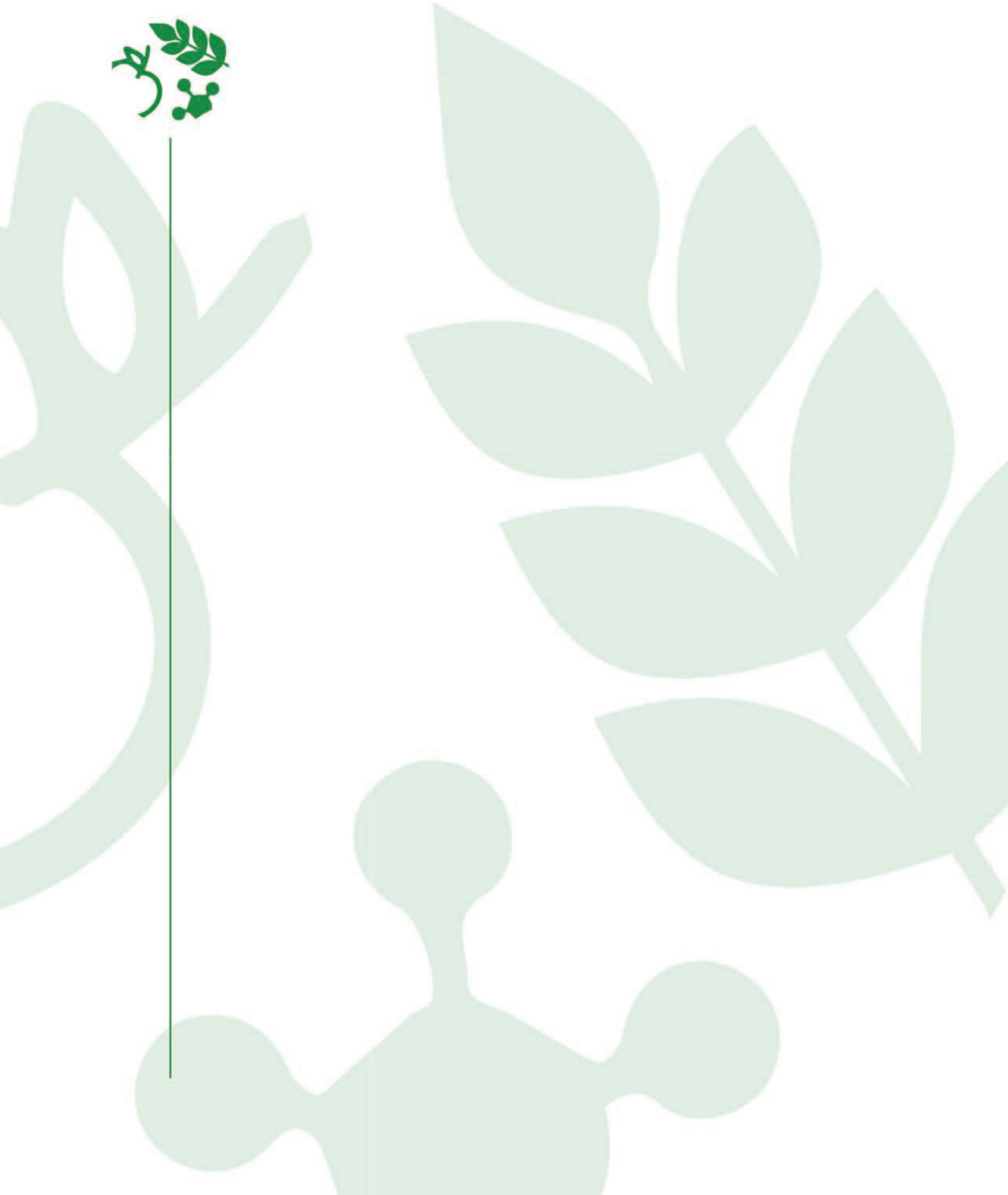
Palomar Verea, C. (2005). Maternidad: Historia y Cultura. *Revista de Estudios de Género. La ventana*, 22, 35-67. ISSN: 1405-9436. https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=88402204

Pangestu, M. E. (2022). *Cuatro vías para responder a la crisis del precio de los alimentos*. https://blogs.worldbank.org/es/voices/cuatro-vias-para-responder-la-crisis-del-precio-de-los-alimentos

Ramírez, E. (2020). Enfermedades crónicas no transmisibles en mujeres mexicanas. *Gaceta. Facultad de Medicina*. https://gaceta.facmed.unam.mx/index.php/2020/01/27/enfermedades-cronicas-no-transmisibles-en-mujeres-mexicanas/

Román, S., Ojeda, C. & Panduro, A. (2013). Genética y evolución de la alimentación de la población en México. *Revista de Endocrinología y Nutrición, 20*(1), 42-51.

Rosas & Rico. (2017). El papel de las mujeres en la construcción de la soberanía alimentaria. *Revista de Investigación y divulgación sobre estudios de género, 21*(21), 95-118.



SOCIEDAD Y SISTEMAS AGROALIMENTARIOS

ENFOQUES TRANSDISCIPLINARIOS: CIENCIA Y SOCIEDAD

Cacao criollo cultivado en México: características fisicoquímicas, aromáticas y bioactivas

Acévez-Mares, Lilia[1], Velásquez-Reyes, Dulce[1], Alcázar-Valle, Montserrat[1], Mojica, Luis[1] y Lugo-Cervantes, Eugenia[1*]

[1] Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco (CIATEJ), Unidad de Tecnología Alimentaria, Zapopan, Mexico.

[*]Autor de correspondencia: elugo@ciatej.mx

Palabras clave: características fisicoquímicas, compuestos fenólicos, compuestos volátiles, criollo, *Theobroma cacao* L.

Enfoques Transdisciplinarios: Ciencia y Sociedad, 2(1), 113-127.ISSN. 3061-709X. https://doi.org/10.5281/zenodo.12786271

Recibido: 19 octubre 2023
Revisado: 20 diciembre 2024
Aceptado: 15 enero 2024
Publicado: 20 de enero 2024

Este artículo es un artículo de acceso abierto distribuido bajo los términos y condiciones de la licencia CC BY-NC-SA 4.0. Para ver una copia de esta licencia visite https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

Resumen

En la producción mundial del cacao se han identificado tres tipos u orígenes genéticos (Forastero, Criollo y Trinitario). El cacao Criollo se ha clasificado como cacao fino de aroma debido a su perfil aromático y sensorial. Los granos presentan menor astringencia y amargor comparado con el cacao Forastero, por lo que su uso se ha delimitado a la chocolatería fina, alcanzando un mayor valor en el mercado. El cacao Criollo se produce principalmente en Centro América y Sudamérica. En México, el cacao Criollo es cultivado en los estados de Tabasco y Chiapas principalmente. Hoy en día este cacao ha tomado especial relevancia debido a que, además de presentar un perfil sensorial con notas florales, dulces, frutales y menos amargas, ha demostrado que puede llegar a ser una buena fuente de compuestos fenólicos y péptidos bioactivos que pueden proveer beneficios a la salud.

Introducción

El cacao ha tenido gran importancia desde tiempos prehispánicos, fue empleado como moneda de cambio y como elemento importante dentro de las ceremonias espirituales (Avendaño Arrazate *et al.*, 2011). Con el paso del tiempo, el cacao producido alrededor del mundo se ha clasificado en tres tipos: Forastero, Trinitario y Criollo, pertenecientes a la familia Malvaceae, del género Theobroma y de la especie cacao (Arvelo-Sánchez *et al.*, 2017). La clasificación

del cacao en estos tres tipos surge gracias a los términos que eran empleados por los productores de Centroamérica (Arvelo *et al.*, 2016). En un principio se había establecido que el origen de la domesticación del cacao Criollo se originó en Mesoamérica; sin embargo, Motamayor *et al.* (2002) demostraron que es originario de Sudamérica y posteriormente introducido a Mesoamérica, en donde la cultura Olmeca lo domesticó y lo incluyó en su dieta, posteriormente otras culturas mesoamericanas lo cultivaron. Con la evolución de la comercialización del cacao surgió una clasificación comercial basada en el perfil aromático de cada cultivar, esta se divide en dos: El cacao a granel u ordinario (Forastero) y cacao fino de aroma (Criollo y Trinitario). En general, el cacao fino de aroma presenta notas frutales, herbales, amaderadas, florales, notas de nueces y dulces y son menos amargos que el cacao ordinario. Estas notas características están asociadas al contenido de compuestos volátiles, y comprenden ésteres, aldehídos, pirazinas, alcoholes, algunos ácidos y furanos (Utrilla-Vázquez *et al.*, 2017; Vázquez-Ovando *et al.*, 2015). El cacao Criollo es considerado de alta calidad debido a que es más aromático, de bajo amargor, de pulpa dulce y con sabores que evocan al caramelo y nueces. Por otra parte, el cacao Trinitario se considera como calidad media debido a que es menos aromático al ser una hibridación espontánea entre el cacao Criollo y el Forastero (Arvelo-Sánchez *et al.*, 2017; Utrilla-Vázquez *et al.*, 2020). Debido a su perfil aromático, el cacao Criollo ha sido empleado en la elaboración de chocolatería fina (Arvelo *et al.*, 2016).

Actualmente, el cacao Forastero es el tipo de cacao mayormente producido a nivel mundial, representando un 95-97% de la producción mundial, mientras que el cacao Criollo y Trinitario representan sólo el 5-6% (Utrilla-Vázquez *et al.*, 2020). Sin embargo, el precio de venta del cacao fino de aroma puede llegar a ser entre 2 a 3 veces mayor que el cacao Forastero (López Ganem, 2022). Además, la importancia del cacao ha seguido en aumento debido a que se han realizado diversas investigaciones que han demostrado que el cacao contiene fitoquímicos con propiedades bioactivas específicamente con potencial antioxidante, por lo que podría proporcionar diversos beneficios a la salud (Allgrove & Davison, 2013; Kim *et al.*, 2014). La composición y características de los granos del cacao son influenciadas por diversos factores como el genotipo, origen, condiciones climáticas, condiciones de cultivo y las condiciones de los procesos de postcosecha (Vázquez-Ovando *et al.*, 2015). En este trabajo se realizó un análisis general de los estudios que se han llevado a cabo en los genotipos de cacao tipo Criollo que se producen en México, específicamente el perfil aromático y fitoquímico. A pesar de que el cacao es un cultivo muy importante a nivel mundial, en México existen pocos trabajos sobre el estudio de los genotipos que crecen en el país, específicamente del cacao Criollo. Además, se valoró el potencial bioactivo del cacao Criollo mexicano y sus beneficios para la salud.

Situación actual de la producción de cacao

El cultivo de cacao requiere condiciones climáticas específicas. Su cultivo se ve favorecido en climas cálidos y húmedos, con una precipitación promedio de 1150mm a 2500mm y temperaturas entre 18 y 32 °C en altitudes menores a 1300 metros sobre nivel del mar. Por tal motivo, la producción de cacao se ve distribuida en regiones tropicales localizadas en la línea ecuatorial como Centroamérica, Sudamérica, África, el Caribe, Asia y Oceanía (Arvelo Sánchez *et al.*, 2017). México contribuye con el 0.5% de la producción mundial de granos de cacao y 3.1% de la producción de Latinoamérica, posicionándolo en el decimocuarto lugar a nivel mundial y el quinto en Latinoamérica (SIAP, 2021). En 2022 se reportó una producción de 28,119 toneladas de cacao a nivel nacional, equivalentes a un valor de producción de $1,158,661.68 MXN (SIAP, 2022). Como se muestra en la Figura 1, la producción de cacao en México se distribuye principalmente en tres estados: Tabasco (61.59%), Chiapas (37.42%) y Guerrero (0.99%) (SIAP, 2022).

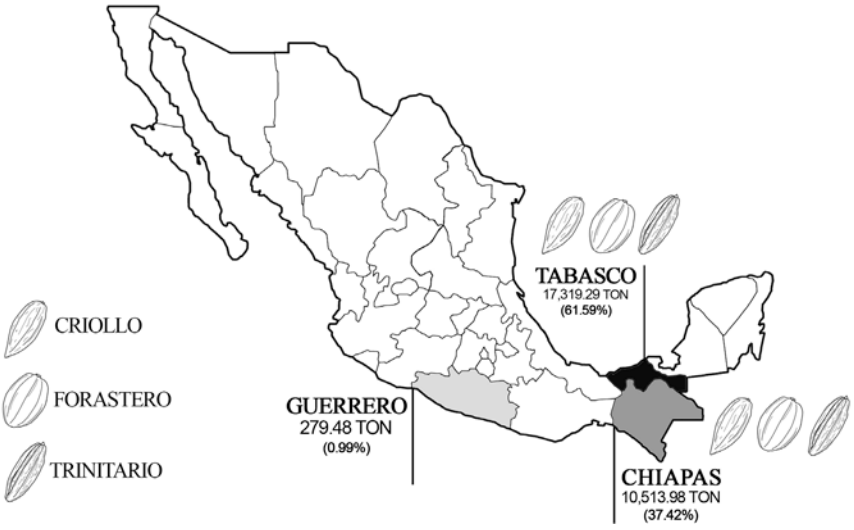


Figura 1. Regiones productoras de Cacao en México.

Fuente: Adaptado de Avendaño Arrazate *et al.*, 2011; Hernandez *et al.*, 2021; SIAP, 2022; Tadeo-Sánchez & Tolentino-Martínez, 2020

El cultivo de cacao ha reportado una disminución del 12.35% en los últimos cinco años (SIAP, 2022). Algunos autores han evaluado diferentes causas de este fenómeno, por ejemplo, Oporto-Peregrino *et al.* (2020) reportan que entre 2003 y 2016 la superficie de cultivo de cacao en la región Chontalpa, Tabasco, disminuyó 46.4% a causa del cambio de uso de suelo, principalmente a propiedad privada. Adicionalmente, entre 2006 y 2007 Avendaño Arrazate *et al.* (2011) reportan una disminución de la producción de cacao a causa de la infección por Moniliasis. Sin embargo, de acuerdo con estimaciones realizadas por la Coordinación de Asesores

de la Subsecretaría de Agricultura, calculadas en base a la población estimada por el CONAPO y preferencias de los consumidores de acuerdo a la elasticidad de ingreso en México reportada por el USDA, la producción de cacao puede incrementarse un 76.97% para el año 2030 (SAGARPA, 2017).

Genotipos de cacao criollo reportadas en Latinoamérica

La producción de cacao Criollo se distribuye en Centroamérica, Nueva Guinea y el Caribe. La reducción de su producción pudo haber sido influenciada por su alta susceptibilidad a enfermedades y bajos rendimientos (Albores-Flores *et al.*, 2018; Arvelo *et al.*, 2016). Dentro de Latinoamérica, la diversidad de grupos genéticos de cacao fue descrita por Motamayor *et al.* (2008); el cacao de tipo Criollo se encuentra principalmente distribuido en Centroamérica, desde México hasta Panamá. Sin embargo, el cultivo de cacao Criollo ha sido desplazado por otros genotipos más productivos, por ello se han desarrollado nuevas estrategias de mejoramiento y han surgido nuevos genotipos de cacao Criollo. Algunos estudios reportan los genotipos CAS5, CHA13, CHA18, CHA20, CHA5, LAN21, LAN22, LAN23, LAN26, LAN27, LAN28, LAN29, LAN30, RANCHITO1, SAUCITO1, STA MARIA2 y THCA que fueron clasificados como cacao Criollo antiguo, con orígenes en México (Avendaño-Arrazate & Cueto-Moreno, 2018; Lachenaud & Motamayor, 2017).

Como se muestra en la Figura 1, dentro del estado de Chiapas se ha reportado el cultivo de los tres tipos de cacao (Forastero, Criollo y Trinitario) (Avendaño Arrazate *et al.*, 2021). En el estado de Tabasco, Hernández *et al.* (2021) identificaron principalmente dos tipos de cacao producidos: el Forastero presente en el 62% de las plantaciones y el Criollo presente en el 38% (n=76). Tadeo-Sánchez y Tolentino-Martínez (2020) indicaron que la mayoría de las poblaciones de cacao en la región Grijalva dentro del estado de Tabasco pertenecen al tipo Trinitario. En el estado de Guerrero no se cuenta con una estadística establecida para conocer qué tipos de cacao se producen. En 2011 se reportó que el 5.3% de los productores del estado de Chiapas cultivan cacao Criollo como monocultivo y 13.33% de los productores cultivan cacao Criollo junto con otros genotipos (Avendaño Arrazate *et al.*, 2011). Se han identificado genotipos como los cultivares Lacandón, Carmelo, Rojo Samuel y Lagarto de tipo Criollo (Avendaño-Arrazate & Cueto-Moreno, 2018; López-Hernández *et al.*, 2018; Utrilla-Vázquez *et al.*, 2020). En el estado de Tabasco se ha identificado el cultivo del genotipo Carmelo en Comalcalco (Rangel-Fajardo *et al.*, 2012) y de otros genotipos de cacao tipo Criollo provenientes de la plantación de "La Joya" en Cunduacán (García-Alamilla *et al.*, 2012) y de los municipios de Teapa y Tacotalpa (Hernández, C., Ramírez-Guillermo, M., & Barrón-Freyre, S., 2021).

Características morfológicas, fisicoquímicas y aromáticas del cacao Criollo mexicano

Como se muestra en la Figura 2, las mazorcas del fruto del cacao Criollo, de origen mexicano, presentan tonalidades entre verdes y amarillas, o incluso pueden llegar a ser rojas, como los genotipos producidos en Colombia (Delgado-Ospina *et al.*, 2021). Las mazorcas pueden llegar a presentar formas de angoleta, pentagonal o amelonada y de ápice obtuso, atenuado o caudado (Ramírez-Guillermo *et al.*, 2018). De acuerdo con la bibliografía, las mazorcas de cacao Criollo cultivado en México llegan a presentar un peso entre 405.96 y 787.86 g (García-Alamilla *et al.*, 2012; Utrilla-Vázquez *et al.*, 2020) y llegan a medir entre 15 y 27 cm de largo (Avendaño-Arrazate & Cueto-Moreno, 2018; García-Alamilla *et al.*, 2012; López-Hernández *et al.*, 2018; Utrilla-Vázquez *et al.*, 2017). García-Alamilla *et al.* 2012 reportaron un número promedio de 37.17 granos por mazorca, en una muestra de 1,078 cacaos criollos provenientes de Tabasco, esta cifra concuerda con lo reportado por Avendaño-Arrazate y Cueto-Moreno (2018) para el genotipo Lacandón. Los reportes de Rangel-Fajardo *et al.* (2012) y Avendaño-Arrazate y Cueto-Moreno (2018) concuerdan con que los granos de los genotipos de cacao tipo Criollo presentan una forma ovoide, miden generalmente 2.25-2.4 cm de largo por 1.32-1.48 cm de ancho, dichas dimensiones son similares a las reportadas para granos de cacao Criollo provenientes de Venezuela (Rangel-Fajardo *et al.*, 2012). El cotiledón de la semilla es predominantemente beige con 10-15% de tonos violeta claro, como se reporta en el cacao criollo de Venezuela (Rangel-Fajardo *et al.*, 2012).

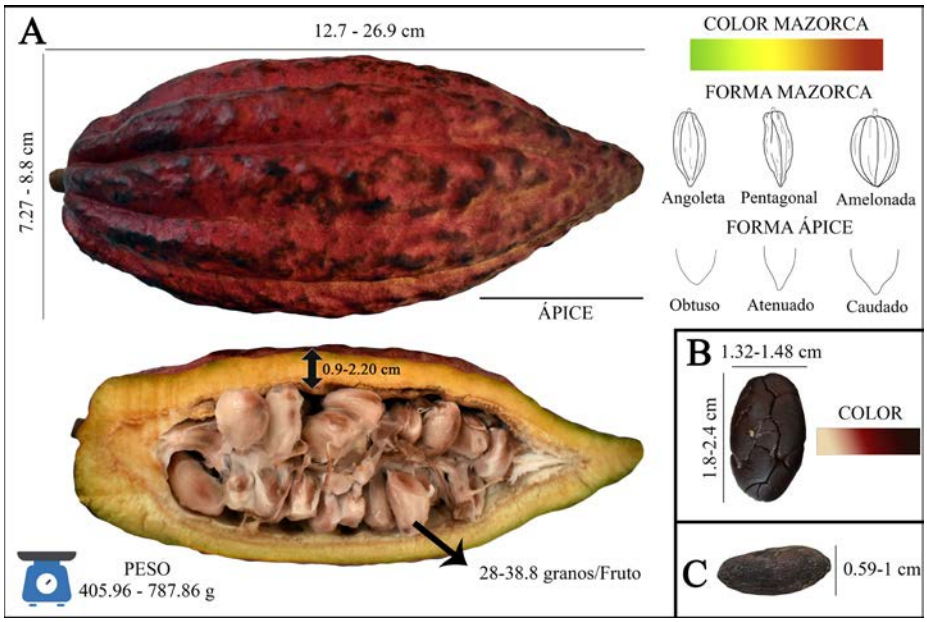


Figura 2. Características morfológicas del fruto y semillas del cacao Criollo producido en México. **A)** Características físicas de la mazorca del cacao. **B)** Vista frontal de grano de cacao Criollo. **C)** Vista lateral de grano de cacao Criollo. **Fuente:** Adaptado de Avendaño-Arrazate & Cueto-Moreno, 2018; García-Alamilla *et al.*, 2012; Lopez-Hernandez *et al.*, 2018; Ramírez-Guillermo *et al.*, 2018; Rangel-Fajardo *et al.*, 2012; Urtrilla-Vazquez *et al.*, 2017

En cuanto a sus características fisicoquímicas, Vázquez-Ovando *et al.* (2015) clasificaron al cacao Criollo proveniente de la región del Soconusco, Chiapas, en siete grupos basado en un análisis multivariado de parámetros químicos de los granos. Como se observa en la Tabla 1, en los granos de cacao Criollo (n=45variedades diferentes) se puede llegar a presentar una humedad entre 1.2 y 7.06%, un contenido de cenizas entre 2.94 y 7.48g/100g base seca (b.s.). Así como también se ha reportado que los granos de cacao Criollo pueden tener un contenido graso entre 35.53 y 59.02g/100g b.s. y un contenido proteico entre 10.27 y 18.54 g/100g b.s. (Vázquez-Ovando *et al.*, 2015). Además de presentar aproximadamente el 10.5% de carbohidratos (Vázquez-Ovando *et al.*, 2016), los azúcares que se encuentran en mayor proporción son la fructosa y la glucosa (Velásquez Reyes *et al.*, 2023).

Tabla 1. Composición de granos de cacao Criollo mexicano

Parámetro	Rango
Humedad (%)	1.24-7.06
Cenizas (g/100g b.s.)	2.94-7.48
Grasa (g/100g b.s.)	35.53 – 59.02
Proteína (g/100g b.s.)	10.27 – 18.54
Carbohidratos (g/100g b.h.)	10.5
Fructosa (g/ Kg)	7.7
Glucosa (g/Kg)	5.2

Fuente: Adaptado de Vázquez-Ovando *et al.*, 2015,2016; Velásquez Reyes *et al.*, 2023

Características aromáticas del cacao Criollo mexicano

La calidad de los granos de cacao está altamente relacionada con su composición química y perfil volátil que se relaciona con el olor y sabor. Se ha relacionado el amargor y astringencia con los compuestos fenólicos, alcaloides y taninos que están presentes en los granos de cacao y estos pueden variar dependiendo de factores tanto geográficos, edafoclimáticos y de genotipo u origen genético de cacao (Utrilla-Vázquez *et al.*, 2020; Vázquez-Ovando *et al.*, 2015; Velásquez Reyes *et al.*, 2023). El cacao Criollo proveniente de la región del Soconusco, Chiapas, ha sido descrito por tener un sabor amargo y ácido más que dulce. Esto podría estar relacionado con la composición de alcaloides, L-aminoácidos libres, taninos y polifenoles totales de los granos (Vázquez-Ovando *et al.*, 2015); se ha reportado que el contenido de catequinas totales del cacao Forastero puede ser alrededor de 1.3 veces más que el contenido del cacao Criollo (Quiroz-Reyes & Fogliano, 2018).

Por otro lado, el aroma y sabor del cacao se ha relacionado estrechamente con los compuestos volátiles. En los productos de cacao como los granos y el licor de cacao se han identificado alrededor de 600 componentes que pertenecen princi-

palmente a las familias de aldehídos, cetonas, alcoholes, esteres, ácidos y pirazinas (Castañeda-Sedano, J., Rodríguez-Campos, J., & Lugo-Cervantes, E. del C., 2016; Utrilla-Vázquez *et al.*, 2020; Velásquez Reyes *et al.*, 2023). Castañeda-Sedano *et al.* (2016) identificaron 63 compuestos volátiles presentes en cacao Criollo proveniente de Cunduacán, Tabasco. Estos compuestos presentan un incremento en número de forma gradual durante el proceso de fermentación y secado. Se reporta una participación mayor de aldehídos y cetonas durante el proceso de fermentación del cacao (75% en fermentación y 65% en secado), dichos componentes se reportan como los responsables de notas a almendra, mantequilla o florales. Al igual de que se reporta un mayor contenido de pirazinas en el cacao Criollo (3.8% de los compuestos totales) que en el cacao Forastero (0.6% del total de compuestos volátiles), estas confieren notas de chocolate, café y horneado. De igual forma, Velásquez Reyes *et al.* (2023) analizaron el cacao Criollo de genotipo Carmelo proveniente del estado de Tabasco. Dentro del perfil aromático del cacao fermentado se resalta la presencia de ácido isobutírico, 2-metyl-1-propanol, 2,3-butanediol, nonanal, 2-heptanona y 2-nonanona, que se asocian a notas como vino, mantequilla, florales y frutales. De la misma manera, se identificó el compuesto volátil 3-metil-butanal asociado al descriptor aromático de chocolate. Además, se reporta menor presencia de ácido acético en el cacao Criollo que el cacao Forastero. Por otra parte, el cacao Criollo de genotipo Porcelana blanca , proveniente de la región Soconusco, Chiapas, presentó compuestos como feniletil alcohol y fenilacetaldehído asociados a notas de miel, 3-metil-butanal asociado a notas de chocolate, y octanoato de etilo asociado a notas florales (Velásquez Reyes *et al.*, 2021). El olor de estos granos se describe como dulce y a nuez, este resultado podría estar asociado con moléculas como alcoholes, cetonas, aldehídos, ésteres y pirazinas que contribuyen a la creación de chocolates de alta calidad (Vázquez-Ovando *et al.*, 2015).

Componentes bioactivos identificados en cacao Criollo mexicano

Composición fitoquímica

Se ha demostrado que el cacao puede ser una buena fuente de fitoquímicos. El grupo mayoritario son los compuestos fenólicos que representan alrededor del 13.5% de los granos secos sin fermentar (Kim *et al.*, 2011). Estos compuestos pertenecen al grupo de flavanoles, flavonoles, antocianinas, flavonas, flavanonas y ácidos fenólicos. Incluyendo procianidinas como catequina, epicatequina y dímeros de procianidinas; algunas flavonas como quercetina, quercetina-glucósido, quercetina-rutinósido, dihidroquercetina, kampferol, naringenina, luteolina y apigenina, entre otros (Febrianto & Zhu, 2022; Martin & Ramos, 2021; Ortega *et al.*, 2008). Algunos estudios reportan que el cacao Criollo presenta menor contenido de compuestos fenólicos que los granos

de cacao Forastero, por lo cual, algunos autores sugieren que esto es el motivo por lo que presenta menor astringencia y amargor (Elwers, S., Zambrano, A., Rohsius, C., & Lieberei, R., 2009).

Vázquez-Ovando *et al.* (2015) analizaron 45 genotipos de cacao Criollo provenientes de siete municipios de la región del Soconusco en Chiapas (Suchiate, Frontera Hidalgo, Cacahoatán, Tapachula, Mazatán, Huehuetán, Tuzantán y Tuxtla Chico). Los valores reportados de fenoles totales oscilan en un rango de 670 a 6,850 mg equivalentes de ácido gálico (EAG)/100g b.s., encontrándose en menor concentración en un genotipo de tipo Criollo del municipio de Mazatán y en mayor concentración en un genotipo proveniente de Frontera Hidalgo. De igual manera, evaluaron la actividad antioxidante de todos los genotipos por medio de la prueba de ABTS, reportando una mayor actividad antioxidante en un genotipo de Huehuetán (15.38 mmol Equivalentes de Trolox (TE)/g b.s.) y en menor concentración en un genotipo de Tapachula (7.86 mmolTE/g b.s.).

Por otro lado, se ha evaluado el tejido del pericarpio de cacao Criollo del estado de Chiapas. Albores-Flores *et al.*, (2018) reportaron una concentración de fenoles totales de 1.13±0.05 mg EAG/g b.s. en frutos de 12 semanas de edad. Tello-Alonso, S. *et al* (2020) evaluaron diferentes genotipos de cacao provenientes de los municipios de Izapa, Tuzantán y Cacahoatán (región del Soconusco). Dentro de su material de estudio consideraron tres genotipos de tipo Criollo: Carmelo, Rojo Samuel y Lagarto. Se realizó la determinación de fenoles totales en granos frescos, secos y fermentados. En el caso de granos frescos, se reporta una concentración entre 11.29 y 24.84 mg EAG/g b.s. para el genotipo Carmelo, 35.13 a 8.56 mg EAG/g b.s. para el genotipo Rojo Samuel y 2.38 mg EAG/g b.s. en el genotipo Lagarto. En granos fermentados y secos se reporta una concentración entre 0.75 y 7.92 mg EAG/g b.s. en el genotipo Carmelo, entre 2.78 y 3.99 mg EAG/g b.s. en el genotipo Rojo Samuel y 0.80 mg EAG/g b.s. en el genotipo Lagarto. Dichos valores fueron inferiores a los reportados por Vázquez-Ovando *et al.* (2015), esto podría deberse a diversos factores como el proceso de fermentación, origen y condiciones de procesamiento.

Avendaño Arrazate *et al.* (2021) evaluaron un total de 53 genotipos de los tres tipos de cacao, entre Forastero (n=14), Criollo (n=22), Trinitario (n=14) y otras (3) provenientes del Campo Experimental Rosario Izapa-INIFAP de México. Los resultados fueron reportados por tipo de cacao. El cacao Criollo presenta un contenido promedio de 37.06 mg EAG/g b.s., que es estadísticamente mayor a lo reportado en cacao Forastero (33.18mg EAG/g b.s.) y estadísticamente similar a lo reportado en cacao Trinitario (38.78mg EAG/g b.s.); sin embargo, se reportan resultados que van desde los 7.5 a los 85.2 mg EAG/g b.s., esta variación es atribuida a las condiciones ambientales de los cultivos. De igual forma, dichos autores reportan una concentración

de flavonoides media de 33.20 mg EAG/g b.s. y una concentración de antocianinas media de 0.74 mg/g. Con relación a los flavonoides, no se reporta una tendencia entre muestras de cacao Forastero, Criollo y Trinitario. En el caso de las antocianinas, sí se obtuvo diferencia contra los otros tipos de cacao, siendo una concentración menor a los de tipo Forastero (1.11 mg/g), pero ligeramente mayor a los de tipo Trinitario (0.61 mg/g). Se evaluó la actividad antioxidante por medio de las pruebas de ABTS y DPPH. En la prueba de ABTS se obtuvo 68.98 mg equivalentes de ácido ascórbico (EAA)/100 g peso fresco, y no se reporta diferencia estadística entre los otros tipos de cacao. Para la inhibición del radical libre DPPH se obtuvo un resultado de 51.5 mg EAA/100 g, siendo mayor a los resultados del cacao Forastero (49.23 mg EAA/100g) y Trinitario (49.8 mg EAA/100g).

Quiroz-Reyes & Fogliano (2018) reportan que los granos de cacao Criollo contienen compuestos fenólicos como la catequina (0.2 ± 0.02 mg/g b.s.), epicatequina (1.3 ± 0.08 mg/g b.s.), procianidina B1 (0.3 ± 0.01 mg/g b.s.) y procianidina B2 (0.8 ± 0.04 mg/g b.s.), sin embargo, estas son mayores a las presentadas en cacao Forastero. De Taeye, C. *et al.* (2017) reportaron que el grano seco de cacao Criollo cultivado en México contiene cantidades similares de epicatequina, procianidina B2 y procianidina C1 a las reportadas en el grano seco de cacao Criollo de Cuba, y mayores a las reportadas en granos secos de cacao Criollo proveniente de Madagascar. De igual forma, los autores reportan una concentración mayor de procianidina B5 en los granos secos de cacao mexicano comparados con los granos de cacao provenientes de Cuba y Madagascar.

Fracciones proteicas

Se ha explorado el potencial bioactivo de fracciones proteicas de albúmina, globulina, prolamina y glutelina en granos de cacao Criollo cultivado en Chiapas. Se ha demostrado tener un efecto antiobesidad y de reducción de la presión arterial (Coronado-Cáceres *et al.*, 2019, 2020, 2021). En modelo animal de ratas Wistar se observó una disminución del peso corporal a lo largo de la experimentación y una disminución de la ganancia de peso corporal al final de la experimentación, así como también se reportó una disminución de la expresión genética en algunos biomarcadores de inflamación asociados a la obesidad, tales como la IL-4, TNF-α y MCP-1. De igual forma, se reporta que revierte el incremento de triglicéridos causado por una dieta rica en grasa. Sin embargo, no se reportó una disminución significativa en los niveles de colesterol total y lipoproteínas de baja densidad (LDL o colesterol malo) en suero (Coronado-Cáceres *et al.*, 2019). Coronado-Cáceres *et al.* (2020) exploraron el potencial antiobesidad a través de la inhibición de la lipasa pancreática aplicando diferentes modelos in vitro e in vivo. En los análisis in vitro se obtuvo una actividad de inhibición de lipasa pancreática (IC50) de 1.4 mg proteína/mL. En cuanto a los modelos animales, se observó un incremento

significativo en el contenido de lípidos totales (15%) y triglicéridos (11%) en heces de ratas Wistar. Al igual que se observó una disminución del 0.19% en la tasa de absorción de grasa (en comparación con los animales de dieta alta en grasa). De la misma manera, Coronado-Cáceres *et al.* (2021) evaluaron el posible efecto reductor de presión sanguínea por medio de análisis in vitro e in vivo empleando extractos proteicos de cacao Criollo proveniente del estado de Chiapas. Se reporta una actividad inhibitoria de la enzima convertidora de angiotensina (IC50) de 0.49 mg/mL y una reducción significativa en la presión sistólica (5%) y diastólica (7%) en modelos animales de ratas Wistar con obesidad inducida después de ocho semanas de tratamiento.

Como se reportó por Coronado Cáceres *et al.* (2021), las fracciones con el mayor contenido de proteínas en el cacao Criollo de la región del Soconusco fueron glutelinas>albúminas>globulinas. Estos resultados son similares a los reportados por Preza *et al.* (2010) en granos de cacao Forastero de la misma región. Preza *et al.* (2010) reporta actividad antitumoral en modelos murinos linfoma L5178Y, especialmente en las fracciones proteicas de albúmina; reporta una disminución significativa de la masa tumoral, acumulación peritoneal de líquido y recuento de células tumorales viables.

Conclusión

Dentro de la producción de cacao en México se pueden encontrar diferentes genotipos de cacao Criollo que se consideran como cacao de alta calidad debido a su perfil aromático y sensorial, por lo que son principalmente empleadas para la elaboración de productos de mayor calidad. Este tipo de cacao ha demostrado tener ventajas competitivas contra otros tipos de cacao, por lo que diversos autores han resaltado que se requieren diversas acciones para fomentar su cultivo e incrementar su producción a nivel nacional. Aunque aún existen algunos obstáculos como la susceptibilidad a plagas y producción limitada que se ha reportado. Los genotipos de cacao Criollo cultivadas en el estado de Tabasco y Chiapas presentan una composición aromática que incluye notas frutales, herbales y de chocolate que son más deseables para los consumidores, además de menor amargor y astringencia comparado con el cacao Forastero. En cuanto a la composición fitoquímica, aunque existen pocos reportes sobre la composición de estos genotipos de cacao, se ha demostrado que pueden ser buena fuente de compuestos antioxidantes. Sin embargo, es necesario seguir explorando su composición fitoquímica para lograr una caracterización más detallada de los componentes con potencial bioactivo. Los efectos a la salud como antiobesidad, antiinflamatorios y de reducción de presión sanguínea probados han sido relacionados con fracciones proteicas del cacao Criollo proveniente de la región de Chiapas; sin embargo, estudios con la fracción de compuestos fenólicos son necesarios para validar su potencial benéfico a la salud.

Declaración de conflictos de intereses

Los autores declaran no tener conflictos de intereses.

Referencias

Albores-Flores, V. J., García-Guzmán, G., Espinosa-García, F. J., & Salvador-Figueroa, M. (2018). Degree of domestication influences susceptibility of Theobroma cacao to frosty pod rot: A severe disease devastating Mexican cacao. *Botanical Sciences, 96*(1), 84-94. https://doi.org/10.17129/botsci.1793

Allgrove, J., & Davison, G. (2013). Dark Chocolate/Cocoa Polyphenols and Oxidative Stress. En R. Ross Watson, V. R. Preedy & S. Zibadi (eds.), *Polyphenols in Human Health and Disease* (Vol. 1, pp. 241-251). Elsevier Inc. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-398456-2.00019-0

Arvelo, M. A., Delgado, T., Maroto, S., Rivera, J., Higuera, I., & Navarro, A. (2016). *Estado actual sobre la producción, el comercio y cultivo del cacao en América*. IICA: CIATEJ. https://repositorio.iica.int/handle/11324/2793

Arvelo Sánchez, M. Á., González León, D., Maroto Arce, S., Delgado López, T., & Montoya Rodríguez, P. (2017). *Manual Técnico del Cultivo de Cacao Prácticas Latinoamericanas*. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA). www.iica.int.

Avendaño Arrazate, C. H. A., Campos Rojas, E., López Palestina, C. U., Martínez Bolaños, M., Caballero Pérez, J. F., Báez Alonso, M., Ariza Flores, R., & Cadena Iñiguez, J. (2021). Antioxidant activity in genotypes of Theobroma spp. (Malvaceae) in México. *Revista de Biologia Tropical, 69*(2), 507-523. https://doi.org/10.15517/rbt.v69i2.41626

Avendaño Arrazate, C. H., Villarreal Fuentes, J. M., Campos Rojas, E., Gallardo Méndez, R. A., Mendoza López, A., Aguirre Medina, J. F., Sandoval Esquivez, A., & Espinosa Zaragoza, S. (2011). *Diagnóstico del cacao en México*. Universidad Autónoma de Chapingo.

Avendaño-Arrazate, C. H., & Cueto-Moreno, J. (2018). Lacandón: New clone of Mexican Creole cacao. *Agroproductividad, 11*, 169-171.

Castañeda-Sedano, J., Rodríguez-Campos, J., & Lugo-Cervantes, E. del C. (2016, mayo). Análisis del perfil de compuestos volátiles de cacao Criollo (*Theobroma cacao* L.) durante el proceso de fermentación y secado por componentes principales. *Memorias del XXXXVII Encuentro Nacional de la AMIDIQ*.

Coronado-Cáceres, L. J., Hernández-Ledesma, B., Mojica, L., Quevedo-Corona, L., Rabadán-Chávez, G., Castillo-Herrera, G. A., & Cervantes, E. L. (2021). Cocoa (*Theobroma cacao* L.) seed-derived peptides reduce blood pressure by interacting with the catalytic site of the angiotensin-converting enzyme. *Foods, 10*(10). https://doi.org/10.3390/foods10102340

Coronado-Cáceres, L. J., Rabadán-Chávez, G., Mojica, L., Hernández-Ledesma, B., Quevedo-Corona, L., & Cervantes, E. L. (2020). Cocoa seed proteins' (*Theobroma cacao* L.) anti-obesity potential through lipase inhibition using *in silico*, *in vitro* and *in vivo* models. *Foods, 9*(10). https://doi.org/10.3390/foods9101359

Coronado-Cáceres, L. J., Rabadán-Chávez, G., Quevedo-Corona, L., Hernández-Ledesma, B., Garcia, A. M., Mojica, L., & Lugo-Cervantes, E. (2019). Anti-obesity effect of cocoa proteins (*Theobroma cacao* L.) variety "Criollo" and the expression of genes related to the dysfunction of white adipose tissue in high-fat diet-induced obese rats. *Journal of Functional Foods, 62*. https://doi.org/10.1016/j.jff.2019.103519

De Taeye, C., Bodart, M., Caullet, G., & Collin, S. (2017). Roasting conditions for preserving cocoa flavan-3-ol monomers and oligomers: Interesting behaviour of Criollo clones. *Journal of the Science of Food and Agriculture, 97*(12), 4001-4008. https://doi.org/10.1002/jsfa.8265

Delgado-Ospina, J., Lucas-González, R., Viuda-Martos, M., Fernández-López, J., Pérez-Álvarez, J. Á., Martuscelli, M., & Chaves-López, C. (2021). Bioactive compounds and techno-functional properties of high-fiber co-products of the cacao agro-industrial chain. *Heliyon, 7*(4). https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e06799

Elwers, S., Zambrano, A., Rohsius, C., & Lieberei, R. (2009). Differences between the content of phenolic compounds in Criollo, Forastero and Trinitario cocoa seed (*Theobroma cacao* L.). *European Food Research and Technology, 229*(6), 937-948. https://doi.org/10.1007/s00217-009-1132-y

García-Alamilla, P., González-Lauck, V. W., De la Cruz-Lázaro, E., Lagunes-Gálvez, L. M., & García-Alamilla, R. (2012). Description and physical properties of mexican criollo cacao during post-harvest processing. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha, 13*(1), 58-65.

Hernández, C., Ramírez-Guillermo, M., & Barrón-Freyre, S. (2021). Diagnosis of the Family Production Units of the Cacao Agri-Food Chain in Two Municipalities of La Region de la Sierra, in Tabasco, Mexico. *Modern Environmental Science and Engineering, 7*(6), 629-631. http://dx.doi.org/10.15341/mese(2333-2581)/02.07.2021/014

Kim, J., Kim, J., Shim, J., Lee, C. Y., Lee, K. W., & Lee, H. J. (2014). Cocoa Phytochemicals: Recent Advances in Molecular Mechanisms on Health. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 54*(11), 1458-1472. https://doi.org/10.1080/10408398.2011.641041

Lachenaud, P., & Motamayor, J. C. (2017). The Criollo cacao tree (Theobroma cacao L.): A review. *Genetic Resources and Crop Evolution, 64*(8), 1807-1820. https://doi.org/10.1007/s10722-017-0563-8

López Ganem, J. (2022). *Diagnóstico del Mercado del Cacao en México 2022*. Fine Cacao and Chocolate Institute (FCCI).

López-Hernández, J. G., López-Hernández, L. E., Avendaño-Arrazate, C. H., Aguirre-Medina, J. F., Espinosa-Zaragoza, S., Moreno-Martínez, J. L., Mendoza-López, A., & Suárez-Venero, G. M. (2018). Floral biology of creole, trinitario and forastero cacao (*Theobroma cacao* L.) in Mexico. *Agroproductividad, 11*(9), 129-135.

Motamayor, J. C., Lachenaud, P., da Silva e Mota, J. W., Loor, R., Kuhn, D. N., Brown, J. S., & Schnell, R. J. (2008). Geographic and genetic population differentiation of the Amazonian chocolate tree (*Theobroma cacao* L). *PLoS ONE, 3*(10). https://doi.org/10.1371/journal.pone.0003311

Motamayor, J. C., Risterucci, A. M., López, P. A., Ortiz, C. F., Moreno, A., & Lanaud, C. (2002). Cacao domestication I: The origin of the cacao cultivated by the Mayas. *Heredity, 89*(5), 380-386. https://doi.org/10.1038/sj.hdy.6800156

Oporto-Peregrino, S., Hidalgo-Mihart, M. G., Collado-Torres, R. A., Castro-Luna, A. A., Gama-Campillo, L. M., & Arriaga-Weiss, S. L. (2020). Effects of land tenure and urbanization on the change of land use of cacao (*Theobroma cacao*) agroforestry systems in southeast Mexico. *Agroforestry Systems, 94*(3), 881-891. https://doi.org/10.1007/s10457-019-00453-w

Ortega, N., Romero, M. P., MacIà, A., Reguant, J., Anglès, N., Morelló, J. R., & Motilva, M. J. (2008). Obtention and characterization of phenolic extracts from different cocoa sources. *Journal of Agricultural and Food Chemistry, 56*(20), 9621-9627. https://doi.org/10.1021/jf8014415

Preza, A. M., Jaramillo, M. E., Puebla, A. M., Mateos, J. C., Hernández, R., & Lugo, E. (2010). Antitumor activity against murine lymphoma L5178Y model of proteins from cacao (*Theobroma cacao* L.) seeds in relation with *in vitro* antioxidant activity. *BMC Complementary and Alternative Medicine, 10*. https://doi.org/10.1186/1472-6882-10-61

Quiroz-Reyes, C. N., & Fogliano, V. (2018). Design cocoa processing towards healthy cocoa products: The role of phenolics and melanoidins. *Journal of Functional Foods, 45*, 480-490. https://doi.org/10.1016/j.jff.2018.04.031

Ramírez-Guillermo, M., Lagunes-Espinoza, L. C., Ortiz-García, C. F., Gutiérrez, O. A., & de la Rosa-Santamaría, R. (2018). Morphological variation of cacao (*Theobroma cacao* L.) fruits and seeds from plantations in Tabasco, Mexico. *Revista Fitotecnia Mexicana, 41*(2), 117-125. https://doi.org/10.35196/rfm.2018.2.117-125

Rangel-Fajardo, M. A., Zavaleta-Mancera, H. A., Córdova-Téllez, L., López-Andrade, A. P., Delgado-Alvarado, A., Vidales-Fernández, I., & Villegas-Monter, Á. (2012). CRIOLLO MEXICANO ANATOMY AND HISTOCHEMISTRY

OF THE MEXICAN CACAO (*Theobroma cacao* L.) SEED. *Revista Fitotecnia Mexicana, 35*(3), 189-197.

Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. (2017). *CACAO mexicano planeación agrícola nacional.*

Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. (2021). *Sistema de Información Agroalimentaria de Consulta*. https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/

Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (2022). Sistema de Información Agroalimentaria de consulta [dataset]. *Sistema de Información Agroalimentaria de Consulta (SIACON)*. http://www.gob.mx/siap/acciones-y-programas/produccion-agricola-33119

Tadeo-Sánchez, J. M., & Tolentino-Martínez, J. M. (2020). El cacao Grijalva de Tabasco: Dinámicas socio territoriales en torno a su producción Tabasco. Estudios Sociales. *Revista de Alimentación Contemporánea y Desarrollo Regional, 30*(56). https://doi.org/10.24836/es.v30i56.1002

Tello-Alonso, S., Avendaño-Arrazate, C. H., Vásquez-Murrieta, M. S., & López-Cortéz, M. S. (2020). Contenido de compuestos bioactivos en Theobroma cacao L. (Seco y fermentado) de la región del Soconusco, Chiapas. *Investigación y Desarrollo en Ciencia y Tecnología de Alimentos, 5*, 584-589.

Urtilla-Vázquez, M., Kirchmayr, M., Lugo-Cervantes, E. C., Rodriguez-Campos, J., Avendaño-Arrazate, C., & Gschaedler-Mathis, A. (2017). Identificación de microorganismos presentes en la fermentación de cacao criollo y trinitario de Chiapas, México. *Poster presentado al XI Simposio Internacional de Recursos Genéticos para las Américas y el Caribe, Guadalajara, México*.

Utrilla-Vázquez, M., Rodríguez-Campos, J., Avendaño-Arazate, C. H., Gschaedler, A., & Lugo-Cervantes, E. (2020). Analysis of volatile compounds of five varieties of Maya cocoa during fermentation and drying processes by Venn diagram and PCA. *Food Research International, 129*. https://doi.org/10.1016/j.foodres.2019.108834

Vázquez-Ovando, A., Molina-Freaner, F., Nuñez-Farfán, J., Betancur-Ancona, D., & Salvador-Figueroa, M. (2015). Classification of cacao beans (Theobroma cacao L.) of southern Mexico based on chemometric analysis with multivariate approach. *European Food Research and Technology, 240*(6), 1117-1128. https://doi.org/10.1007/s00217-015-2415-0

Vázquez-Ovando, A., Ovando-Medina, I., Adriano-Anaya, L., Betancur-Ancona, D., & Salvador-Figueroa, M. (2016). Alcaloides y polifenoles del cacao, mecanismos que regulan su biosíntesis y sus implicaciones en el sabor y aroma. *Archivos Latinoamericanos de nutrición, 66*(3), 239-254.

Velásquez Reyes, D., Gschaedler, A., Kirchmayr, M., Avendaño Arrazate, C., Rodríguez Campos, J., Calva Estrada, S. de J. & Lugo Cervantes, E. (2021). Cocoa bean turning as a method for redirecting the aroma compound profile in artisanal cocoa fermentation. *Heliyon, 7*(8). https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e07694

Velásquez Reyes, D., Rodríguez-Campos, J., Avendaño-Arrazate, C. H., Gschaedler, A., Alcazar, M., & Lugo, E. (2023). Forastero and Criollo cocoa beans, differences on the profile of volatile and non-volatile compounds in the process from fermentation to liquor. *Heliyon, 9*, e15129. https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e15129

ENFOQUES TRANSDISCIPLINARIOS: CIENCIA Y SOCIEDAD

Descripción de actividades y experiencias de la comunidad del CECyS "José de Tapia Bujalance" como sistema agroalimentario

Jesús Salvador González-Ruano[1*], Areli Cuevas Zacapa[2], Karla Torices Velázquez[2] y Abraham Yair Guzmán Sotelo[2]

[1]Biólogo - Facultad de Ciencias Universidad Nacional Autónoma de México, Profesor asignatura de la Universidad Rosario Castellanos y coordinador del proyecto.

[2]Estudiante de licenciatura en Ciencias de la Comunicación Universidad Rosario Castellanos

**Autor de correspondencia: jgonzalezruano@ciencias.unam.mx*

Palabras clave:
huerto escolar, Santa Catarina, sistema agroalimentario, soberanía alimentaria

Enfoques Transdisciplinarios: Ciencia y Sociedad, 2(1), 129-146.ISSN. 3061-709X. https://doi.org/10.5281/zenodo.12795757

Recibido: 09 octubre 2023
Revisado: 09 enero 2024
Aceptado: 15 enero 2024
Publicado: 20 de enero 2024

Este artículo es un artículo de acceso abierto distribuido bajo los términos y condiciones de la licencia CC BY-NC-SA 4.0. Para ver una copia de esta licencia visite https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

Resumen

En la alcaldía Iztapalapa, principalmente en la Sierra de Santa Catarina, existen diferentes asentamientos irregulares, basureros clandestinos y cambio de uso de suelo por la agricultura industrial; estas actividades tienen un impacto ambiental. La comunidad busca recuperar esta área natural protegida a través de alternativas agroecológicas. Por ejemplo, en el Centro Educativo Cultural y de Servicios "José de Tapia Bujalance" tienen un huerto escolar. A raíz de esto surge la pregunta ¿las actividades, experiencias, aprendizajes y resultados cumplen las características de un sistema agroalimentario? Se investigó en campo, mediante la observación participante y entrevistas, para describir las experiencias, actividades y aprendizajes del huerto escolar. Se describe que el huerto presenta comunicación, trabajo colaborativo, generación de conciencia ambiental en los participantes. Además de recuperación del área y obtención de alimentos. Por último, este espacio cumple con las características para ser un sistema agroalimentario.

Introducción

Santa Catarina es una Área Natural Protegida (ANP) hay alto índice de pobreza y con problemas socioambientales. En esta zona, se encuentra ubicado el Centro educativo cultural y de servicios (CECyS) José de Tapia Bujalance, esta institución busca generar sus

propios alimentos a partir de un huerto escolar. Los huertos urbanos y escolares son una opción para la búsqueda de la soberanía alimentaria, en áreas con un alto impacto ambiental. Es importante mostrar estos proyectos como sistemas agroalimentarios que pueden atender a la sociedad para atender la crisis alimentaria y ambiental.

En dicho huerto se emplean alternativas agroecológicas como la composta y la creación de fertilizante (biol) con residuos orgánicos para el aprovechamiento y generación de agroecosistemas saludables; sin embargo, implica la participación social. El objetivo del presente proyecto es describir las actividades, las experiencias y los aprendizajes, que han resultado del huerto escolar en esta institución, como sistema agroalimentario, desde la perspectiva de periodismo científico. A lo largo del documento se verán las problemáticas que atraviesa la Sierra de Santa Catarina y la importancia de atender las mismas con proyectos como el presentado, del cual se hace una descripción.

Contexto socio-ambiental

Problemas Socio Ambientales en la Ciudad de México

Al menos el 59% del territorio de la Ciudad de México (CDMX) está compuesto por diferentes ecosistemas como bosques, pastizales de alta montaña, pedregales, humedales y zonas de producción agrícola, mismos que conforman el suelo de conservación, la gran mayoría de éste, se localiza en la periferia. Sin embargo, el desarrollo de la infraestructura comercial, la urbanización departamental y la gentrificación en el centro de la ciudad excluyeron hacia la periferia a las clases sociales bajas, esto fomentó el establecimiento de asentamientos irregulares principalmente en alcaldías con suelo de conservación tal como Iztapalapa, Xochimilco, Tláhuac, Tlalpan y Milpa Alta (Bayón, 2014; SEDEMA, 2020).

Roberto Arteaga (2015) en revista *Forbes* describió seis problemas socioambientales en la periferia (de la capital) que a largo plazo tendrían consecuencias en la salud física de sus habitantes y un gran impacto ambiental sobre el suelo de conservación, por ejemplo: la falta de agua, el problema de movilidad, la alta demanda energética, el exceso de basura, incremento en la contaminación y reordenamiento urbano.

Tal como lo describió Arteaga (2015), en la actualidad, en Iztapalapa aumentó la urbanización y la construcción de asentamientos irregulares, además cambió el uso de suelo al establecimiento de áreas de producción, actividades agrícolas, ganaderas, forestales y/o mineras, éstas son de gran impacto ambiental, debido a que provocan la pérdida de km² de suelo de conservación y contaminan la zona (Hernández *et al.*, 2022), por lo que el panorama en esta alcaldía y particularmente en la periferia, no es alentador.

Problemas Socio Ambientales en Iztapalapa

La alcaldía Iztapalapa está compuesta por suelo de conservación y urbano, en una extensión aproximada de 117 km² (Aguilar, 2017). Referente a las condiciones urbanas, para 2020, según el INEGI, su población era de 1,835,486 personas. Hernández et al (2022) mencionan que la densidad poblacional incrementó a 15,809 habitantes por km² y por ende la pobreza. De acuerdo con el CONEVAL (citado en Centro de Excelencia para Información Estadística de Gobierno, Seguridad Pública, Victimización y Justicia de la Oficina de las Naciones Unidas contra la Droga y el Delito, 2021), en Iztapalapa existe un 35% de pobladores en pobreza.

El incremento de la densidad poblacional (Hernández et al, 2022) elevó el coste en las viviendas y por ende la pobreza. A consecuencia de esto, se establecieron asentamientos irregulares como viviendas en zonas de riesgo (faldas de los cerros), donde se han detectado problemas como carencias sociales, rezago educativo, inaccesibilidad a servicios de salud pública, transporte público deficiente y falta de vivienda digna con sus respectivos servicios básicos (Bayón, 2014; Centro de Excelencia para Información Estadística de Gobierno, Seguridad Pública, Victimización y Justicia de la Oficina de las Naciones Unidas contra la Droga y el Delito, 2021) como la falta de agua (Arteaga, 2015). Esta carencia de agua se debe principalmente a una presión baja, para atender esto se extrajo agua de los acuíferos subterráneos alrededor de la Sierra de Santa Catarina, sin embargo, el agua de esos sitios no se pudo utilizar. A consecuencia de la sobrepoblación, se generaron basureros ilegales que sus lixiviados se infiltran hacia los mantos freáticos, inhabilitando su uso (Hernández et al, 2022).

Por otro lado, en la periferia se generaron áreas de producción agrícola que, desafortunadamente, utilizan agroquímicos que contaminan al ecosistema y los alimentos producidos los bioacumulan. Dichos agroquímicos tienen un coste elevado e incrementan los precios de los productos agrícolas generando una crisis alimentaria en la zona (Moreno, 2022).

Crisis alimentaria

Rubio (2014) define que la crisis alimentaria proviene de procesos históricos, en la cual derivado a ciertos procesos y crisis existe incremento en los costos de producción y venta de los alimentos al grado que se vuelve insostenible económicamente su adquisición. Cortés (2016) describe que la crisis alimentaria comenzó desde el ámbito financiero y energético, en el año 2007, debido a que hubo un aumento en los precios del petróleo y que tuvo implicaciones en la producción agrícola ya que se empleaban derivados del petróleo para cultivar y transportar (Gómez, 2008). A este sistema de producción se le conoce como agricultura industrial y es de los principales sistemas alimentarios (Figueres, 2021). La agricultura industrial emplea agroquímicos que su

producción y aplicación genera gases de efecto invernadero, dichos agroquímicos incrementan la producción pero se lixivian y filtran sobre los mantos freáticos y en los cuerpos de agua, estos, al igual que el suelo, se contaminan (Wen-yuan & Rhona, 1993), además tienen efectos perjudiciales en la salud.

La crisis alimentaria también impactó severamente a los pequeños productores rurales, causando el agravamiento de los procesos en la pobreza, malnutrición y deterioro ambiental (Según Vázquez Zentella, 2016). Por ello, la crisis energética generó una crisis alimentaria que tuvo consecuencias principalmente en la población en situación de pobreza y vulnerabilidad, ya que no podían comprar alimentos debido al alto precio. Para contrarrestar esta crisis se presentaron las alternativas agroecológicas, como los huertos, donde se producen vegetales y hortalizas a bajo costo y están disponibles para la comunidad siendo adoptadas por la misma (Sawers, 2011).

Agroecología en la soberanía alimentaria

Bringel (2015) describe que la soberanía alimentaria es el derecho de los pueblos a establecer sus políticas para regular y proteger la producción agrícola, así como su comercio, estableciendo como meta el desarrollo sustentable, es decir, ser autosuficiente fomentando prácticas de comercio al servicio de los pueblos, que sean alimentos saludables y ecológicamente sustentables.

Por otro lado, Gliessman (2002) definió a la agroecología como la aplicación de conceptos, conocimiento y metodologías, así como principios ecológicos sobre los agroecosistemas y la agricultura sostenible. Para ello se emplean las alternativas agroecológicas que son técnicas para diseñar y manejar agroecosistemas sostenibles con un enfoque de responsabilidad ambiental, por ejemplo: los huertos escolares, fertilizantes orgánicos, compostaje, entre otras.

En la agroecología se reconocen y rescatan el conocimiento de los pueblos autóctonos retomando las viejas prácticas que no fueron invasivas con los ecosistemas y se emplean en la agricultura moderna (Altieri, 2013). La federación internacional de campesinos La Vía Campesina (citado en Patel 2009, 666) comenta que los pueblos produzcan, vendan y dispongan a la población, que atiendan la demanda alimenticia con alimentos saludables y culturalmente apropiados, obtenidos de manera agroecológica, con el fin de alcanzar una soberanía alimentaria.

En la actualidad diversas organizaciones (gubernamentales, no gubernamentales, y académicas) y agricultores plantean que la implementación de la agroecología permite la construcción de sistemas agroalimentarios, que tienen poco o nulo impacto ambiental y generan seguridad alimentaria (Altieri, 2009), atendiendo la creciente demanda alimenticia sin depender de la agricultura industrial (Figueres, 2021) a partir de un sistema agroalimentario.

Se define como sistema agroalimentario a un agroecosistema en el cual participan personas, asociaciones y/u organizaciones que emplean técnicas que permiten y facilitan el establecimiento, producción, formación y distribución de alimentos, desde la obtención de la semilla, germinación, crecimiento de la planta y transporte del producto agroalimentario, con el objetivo de satisfacer la demanda alimenticia a bajo costo a un grupo o sociedad específica, de manera organizada (Redacción Asociación el Enjambre sin Reina, 2015), como lo es la agricultura urbana.

Huertos escolares como herramienta pedagógica

Para garantizar una soberanía alimentaria en toda la población sin impactar negativamente los ecosistemas se propone la Agricultura Urbana (AU). Smith (1996) y cotejada por Mougeot (2000) (Citado en Mejias Moreno, 2014) estableció:

> La AU es una industria ubicada dentro (intra-urbana) o en la periferia (peri-urbana) de un pueblo, una ciudad o una metrópoli, que cultiva o cría, procesa y distribuye una diversidad de productos alimentarios y no alimentarios, (re) utilizando en gran medida recursos humanos y materiales, productos y servicios que se encuentran en y alrededor de dicha zona urbana, y a su vez provee de recursos humanos y materiales, productos y servicios en gran parte a esa misma zona urbana.

En la AU los huertos urbanos forman parte, pues se puede producir y son una herramienta para la promoción de entornos saludables. Son sostenibles, con beneficios sociales, ambientales alimentarios e incluso económicos (Urías Borbón, 2020). Los huertos escolares cumplen con las características de un huerto urbano. Son áreas de cultivo de plantas y vegetales que se establecen en instituciones educativas. Son comunicativos, pues los estudiantes y la comunidad escolar se aproximan al conocimiento; estructurados por el cuidado y el mantenimiento de los mismos, fomentando la comunidad educativa (estudiantes, padres y maestros) y son pragmáticos, pues existe el contacto directo con la naturaleza, impulsando la conciencia ecológica y los procedimientos de todas las áreas de conocimiento y en particular del mundo socio-natural, abordándolos de manera didáctica (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO], 2010; Kaufman, 1995; Shell, 2014).

Estas actividades pueden generar en los participantes conocimiento y sensibilización sobre el origen de los alimentos y su importancia en los ecosistemas, por lo que a medida que se involucran en estas actividades, desarrollan una comprensión más profunda de cómo sus acciones impactan en el entorno y se convierten en agentes activos del cambio para un mundo más sostenible, sobre todo para atender problemáticas como la contaminación de suelos y agua (Vives, 2014).

Sierra de Santa Catarina

La Sierra de Santa Catarina es un espacio natural ubicado al oriente de la Ciudad de México conformada por aproximadamente 2,166 ha, abarca las alcaldías de Iztapalapa y Tláhuac. García y Schlaepfer (2014) comentan que 93% del territorio de la Sierra de Santa Catarina, que pertenece a Iztapalapa, tiene afectaciones en la conservación de su ecosistema, derivado de la urbanización particularmente de uso habitacional. Por lo que las autoridades y organizaciones locales trabajan para equilibrar el desarrollo urbano con la preservación de esta área natural dentro de la Ciudad de México, a raíz de esto una superficie de 748.5 ha fue declarada como Área Natural Protegida (ANP) con categoría de Zona Prioritaria de Preservación y Conservación del Equilibrio Ecológico con el objetivo de conservar su biodiversidad y promover la educación ambiental (Secretaría del Medio Ambiente [SEDEMA]). Se denomina de esta forma (ANP) a los territorios cuyos ambientes originales no han sido alterados por la actividad del ser humano (Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente, 2013).

A pesar de que la Sierra de Santa Catarina posee una ANP, en los últimos años esta área se ha degradado por la urbanización y sobreexplotación por el cambio de uso de suelo y el manejo inadecuado de los recursos naturales (Schlaepfer, 2014). Después de varios años, la comunidad busca una apropiación y recuperación de espacio a partir de proyectos de la agricultura urbana, los sistemas de agroproducción, las prácticas de producción orgánica y agroecológicas, así como comercio justo (Moreno, 2022).

La Sierra de Santa Catarina cuenta con un gran valor ecológico por los servicios ecosistémicos que brinda a la ciudad como la recarga de mantos freáticos, cuenta con recursos minerales y se puede implementar la agricultura forestal (Schlaepfer, 2014), además de generar sistemas agroalimentarios para atender la pobreza local con alimentos a bajo costo.

Ante el panorama actual, como la crisis alimentaria y ambiental, se busca generar sistemas agroalimentarios como los huertos urbanos y escolares, donde se empleen prácticas de producción agroecológicas y de bioinsumos (biol y composteo) que, al emplearlos en los agroecosistemas, los alimentos resultantes puedan ser de autoconsumo, libres de tóxicos y viables económicamente. En el Centro Educativo Cultural y de Servicios (CECyS) "José de Tapia Bujalance", ubicado en la Sierra de Santa Catarina, han implementado un huerto escolar, donde participan estudiantes, directivos, padres de familia y voluntarios. El objetivo del presente proyecto es describir las actividades, las experiencias y los aprendizajes que han resultado del huerto escolar en esta institución, como sistema agroalimentario, desde la perspectiva de periodismo científico.

Aspectos metodológicos

CECyS

La investigación se realizó en tres fechas, abril, mayo y octubre de 2023, en la institución escolar correspondiente a un kinder llamado "Centro Educativo Cultural y de Servicios (CECyS) "José de Tapia Bujalance", establecido en las laderas de la Sierra de Santa Catarina en la alcaldía Iztapalapa. Cuenta con una superficie de 480 m², ubicado en Col. Miravalle en calle Atlántida, Mz. 15 Lt. 10, Sierra de Santa Catarina, Alcaldía Iztapalapa, Ciudad de México.

El CECyS inició actividad en 1990, y a la fecha de realización de la investigación cuenta con 33 años de servicio a la comunidad. El centro educativo está conformado con salones, comedor, patios recreativos y un área para la producción. Su matrícula actual es de 72 niñas y niños distribuidos en cinco grupos: dos de segundo y tres de tercero.

En el mes de abril se realizaron entrevistas a especialistas del área para tener un acercamiento a la parte de agroecológica desde una postura social. El 4 de mayo de 2023 se realizó una visita con cámaras, grabadoras de voz y diarios de campo, con el fin de conocer el espacio, el sistema agroalimentario y a los participantes del proyecto. En octubre el lugar fue sede de un simposio de huertos escolares, donde la Directora Raquel presentó las experiencias, aprendizajes y resultados obtenidos en el huerto escolar, para su comunidad, esta información se registró y se agregó al trabajo.

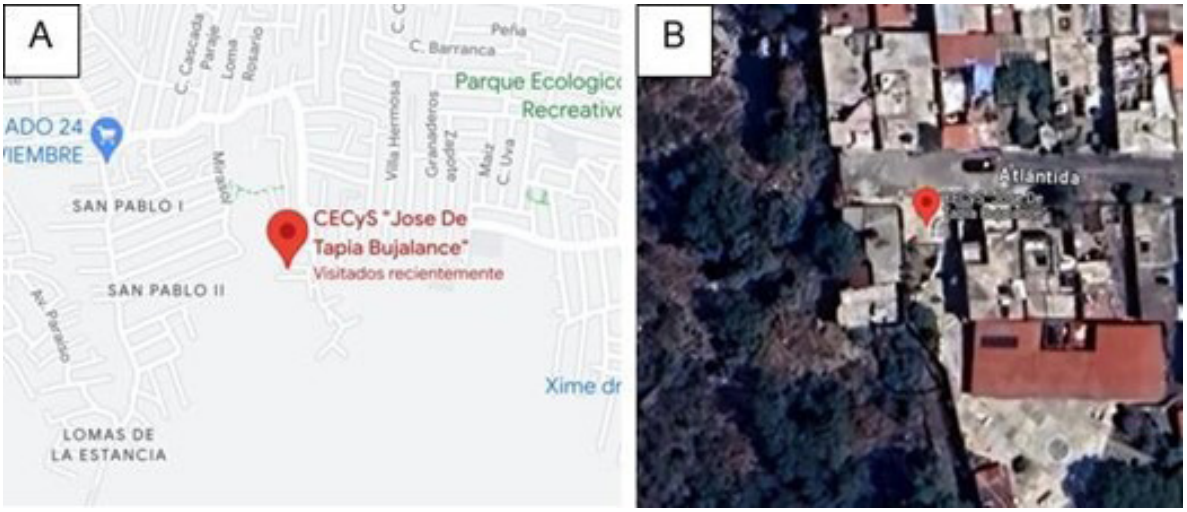


Figura 1. Sitio de trabajo. CECyS "José de Tapia Bujalance". A: mapa, B: vista satelital

Entrevistas

Todas las entrevistas fueron grabadas con los permisos y autorizaciones requeridas, informando a los participantes que sus respuestas se usarían únicamente con objetivos académicos. Se elaboraron entrevistas semiestructuradas y abiertas a los

participantes del huerto escolar (Tabla 1) (seis en total). Las preguntas cambiaron según la persona entrevista y el objetivo en cada una, por ejemplo, a las diplomadas se les abordó acerca de conceptos generales y la integración de la agroecología en los huertos escolares, mientras que, a los participantes, acerca de su integración y experiencia en estos proyectos, conforme respondían se generaban nuevas preguntas abiertas, esto con el fin de recabar información desde diferentes posturas.

Tabla 1. Entrevistados. Personal de diferentes sectores, participantes del proyecto del huerto escolar en el CECyS José de Tapia Bujalance

Participante	Formación/actividad	Objetivo de la entrevista
María de Lourdes Cortés	Bióloga por las UAM y Diplomada Programa Interdisciplinario y especialidad en Soberanías Alimentarias y Gestión Local estratégica (PIES ÁGILES)	Acercamiento a los conceptos generales de agroecología, integración de la comunidad en proyectos socioambientales
María de Jesús Martínez	Soberanías Alimentarias y Gestión Local estratégica (PIES ÁGILES)	Primer acercamiento, vinculación y conocimiento general del proyecto y del CECyS
Raquel Martínez	Bióloga por la UNAM, diplomada del programa PIES ÁGILES, coordinadora del proyecto "Propuesta de plan de acción en torno a la implementación de un huerto escolar comunitario en el CECyS, "José de Tapia Bujalance en la Sierra de Santa Catarina"	Conocer la distribución de los espacios, los participantes, su participación en el proyecto y sus aprendizajes
Guillermo Andrade	Directora del CECyS José de Tapia Bujalance	Describir las actividades que realizan, sus experiencias y aprendizajes.
Brayan	Voluntario fundación ANIMA	Describió experiencias en el lugar.
Padres de familia	Voluntario	Escuchar las experiencias y aprendizajes sobre su participación en el proyecto

De las entrevistas grabadas se transcribieron las respuestas, se leyeron y con base a lo que más mencionaron se establecieron tres categorías a) *conciencia ambiental*, b) *trabajo colaborativo* y c) *conservación ecológica* (Tabla 2). Se establecieron definiciones de estas categorías, en donde se colocaron las respuestas sobre las experiencias, anécdotas, aprendizajes y resultados de los participantes.

Tabla 2. Categorías. Base que muestra el contenido que debería tener una respuesta para categorizar

Categoría	Definición
a) *conciencia ambiental*	El sistema de vivencias, conocimientos y experiencias que el individuo utiliza activamente en su relación con el medio ambiente (Febles, María, 2006).
b) *trabajo colaborativo*	Modelo de aprendizaje interactivo, que invita a las personas a participar en conjunto, demanda combinar esfuerzos, talentos y competencias mediante una serie de transacciones que les permitan lograr las metas establecidas (Pérez, 2007).
c) *conservación ecológica*	"Consiste en proteger y dar mantenimiento continuo a las áreas naturales protegidas y a los parques urbanos (Ecológicos y ambientales), para preservar los recursos naturales: la flora, la fauna, el suelo, el agua y la atmósfera, entre otros" (Secretaría del Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible).

Observación Participante y registro fotográfico

Se efectuó un recorrido por el CECyS, donde se pudo observar las actividades otorgadas por la coordinadora del proyecto a los diferentes participantes. Dichas actividades fueron: a) *deshierbe de las camas de cultivo*, b) *compostaje*, c) *riego de fertilizante orgánico* (biol) en las camas de cultivo, d) *elaboración de fertilizante orgánico* (Biol). Se recopiló evidencia audiovisual de: a) y b). En todas las actividades anteriormente descritas se llevó a cabo un detallado registro en un diario de campo y se participó de manera activa en cada una de ellas. A lo largo de todo el proceso se documentaron fotográficamente las diferentes etapas y actividades realizadas.

Crónica

Con el uso del diario de campo y el registro fotográfico, posteriormente se estableció una crónica para describir las actividades que realizan los académicos, voluntarios, padres de familia, desde una perspectiva de comunicación social y científica. La crónica es meramente descriptiva con la información obtenida durante la visita realizada a partir de la observación participante y de las entrevistas, en esta se aborda de manera detallada las actividades, experiencias y emociones de todos los participantes (entrevistadores y participantes), en un día, para presentar la importancia del huerto escolar como sistema agroalimentario, desde la perspectiva de periodismo científico.

Resultados y discusión

Conciencia ambiental

Los participantes coincidieron que la relevancia de un huerto escolar es fomentar conciencia ecológica en los involucrados, principalmente en los estudiantes, de esta manera el trabajo realizado en el huerto se puede replicar en otros espacios.

María de Jesús hizo la reflexión sobre los objetivos de la agroecología y cómo los implementa en el lugar, prioriza la sensibilización de los participantes invitando a la reflexión sobre el origen de los alimentos, ella comentó: "primero, sensibilizar a las personas, ya que la población perdió este conocimiento de dónde se obtienen los alimentos y el segundo, para que sea abasto para el comedor del kinder" (comunicación personal, 4 de mayo 2023).

En ese mismo eje, al puntualizar la conciencia ecológica en los huertos, Guillermo Andrade (Miembro de la organización ANIMA) describió acerca de las conexiones y desconexiones que han tenido las personas con la naturaleza. "En el contexto de los huertos urbanos, tiende a haber una desconexión muy fuerte con la naturaleza e incluso con los alimentos, no se comprende de donde viene una lechuga, un maicito, qué trabajo implica poder acceder a esos alimentos" (comunicación personal, 4 de mayo 2023).

La maestra Raquel Martínez describió cómo los estudiantes se vinculan con estos proyectos y genera reflexión sobre la importancia de su participación en ellos. Ella dijo: "Es necesario volvernos a vincular con la tierra, que los niños conozcan todo el proceso que se requiere para producir los alimentos, porque pareciera que no hay nada detrás de ese alimento que nos llevamos a la boca" (comunicación personal, 4 de mayo 2023).

Brayan, un voluntario, hizo reflexionar sobre que el trabajo en campo en algunas comunidades es violento y precario y que estos ejercicios fomentan la recuperación de estos espacios desde otra perspectiva (comunicación personal, octubre 2023).

De acuerdo con los entrevistados, en este rubro se resume que el huerto escolar empleado tiene un impacto, pues invita a la reflexión y sensibilización (de los participantes, pero principalmente en los estudiantes) respecto a conocer su participación en el proyecto, el origen de los alimentos que están consumiendo y su producción. En este sentido y retomando a Vives (2014), se ve reflejado un proceso de sensibilización, además hay integración de diferentes organizaciones como voluntarios, integrantes del CECyS y padres de familia, fomentando las prácticas agroecológicas y el conocimiento transversal (Altieri, 2009).

Trabajo colaborativo

Este proyecto busca la participación y formación de la comunidad estudiantil y padres de familia. Todo esto planeado específicamente como una estrategia sostenible y se pueda seguir llevando a cabo. La diplomada María de Jesús puntualiza que la comunidad se adueñe de los conocimientos básicos para la creación y cuidado de huertos para que tengan una sustentabilidad, ella mencionó: "la idea es que la comunidad se apropie de los conocimientos y ellos puedan sostener el huerto por ellos mismos" (4 de mayo 2023).

Raquel M. coincide en que estos proyectos se tienen que autosustentar. Menciona que ya había intentado un huerto que no tuvo continuidad a causa de la nula participación y falta de conocimiento por parte de la comunidad, espera que en esta ocasión sea diferente: "estamos revisando que todos seamos parte del proceso y que todos nos involucremos, para que si se va Mari (la diplomada), todos sepamos qué hacer, estamos corrigiendo errores de la primera experiencia, ya tenemos nuestra primera cosecha y para los niños, es maravilloso como algo que plantaron se lo pueden comer después" (comunicación personal, 4 de mayo 2023).

La diplomada María de Lourdes enfatizó en la sensibilización para llegar a la ciudadanía, hablando con la verdad: "los que andamos en estas ondas de la agroecología, hablamos desde el corazón, aunque suene cursi" (comunicación personal, 20 de abril 2023). Mencionó, además, que, desde la biología, todos estamos conectados y que

como organismos que sienten, la vida debe ser priorizada por sobre todo. Además, la diplomada Maria de Jesús quedó satisfecha con el trabajo realizado en el espacio: "Raquel al CECyS, a todas las maestras por ofrecerme la oportunidad de trabajar con ellas y por venir a dar lata" (octubre, 2023).

En este espacio se produjeron varios alimentos y productos agrícolas, se sorprendieron cómo los niños quedaron alegres ante ello. Brayan mencionó una experiencia de ello: "justo teníamos nuestra primera cosecha de las flores de cempasúchil y muy emocionado y sorprendido dijo —Miren, miren. Se formó una apasuchil—. De ver a esa infancia diciendo de manera sorprendida una cempasúchil [sic] porque justo yo pensé que en mi experiencia de niño yo nunca vi cómo se daba la flor de muerto y saber que él sí lo pudo hacer en su infancia que es bien diferente" (comunicación personal, octubre, 2023).

En resumen, los participantes aprendieron que la constancia, la comunicación y la resiliencia son fundamentales para estos proyectos. Es importante que estos trabajos se realicen de manera colaborativa. En el CECyS se ha generado un entorno saludable, sostenible con beneficios alimentarios, características de un huerto tal como lo sugiere Urías Borbón (2020) y se desarrolla de manera didáctica (FAO, 2010). Conforme se llevan las actividades en este huerto, con el aprendizaje interactivo, participación en conjunto, integración de talentos y competencias (Pérez, 2007), se fundamenta que, efectivamente, existe trabajo colaborativo de por medio.

Conservación ecológica

La función principal de estos procesos es la preservación de la zona (Sierra de Santa Catarina). Un ejemplo de ello es la defensa del territorio, que consiste en establecer huertos en los espacios descuidados de la Sierra para la recuperación del suelo, al igual que eludir el crecimiento urbano. La coordinadora Ma. de Jesús mencionó: "El huerto se hizo para proteger la zona, ya que además de la sobrepoblación, existían robos y para solucionar esa problemática habitante de la zona se adueñan del espacio" (comunicación personal, 4 de mayo 2023).

La diplomada María de Lourdes mencionó que muchas de las prácticas agroecológicas permitirán que el suelo no se degrade ni pierda sus propiedades, pero que es importante que se establezcan políticas públicas para la atención de estos problemas (comunicación personal, abril 2023).

Por otro lado, Guillermo Andrade señala que para recuperar estos espacios el objetivo del proyecto es el aprendizaje, además de que enfatiza que los esfuerzos han mejorado los rendimientos (sobre productos obtenidos y mejorando la calidad del suelo) e impulsan adquisición de saberes: "También vamos a echar andar brechas de conocimiento […] técnico que tal vez falta en algunos puntos, vaya mejorando y ustedes […] van hacer de una destreza y una capacidad para resolver las cosas".

Este tipo de zonas están protegidas a través de la implementación de huertos, aprovechando esta alternativa para contrarrestar dos problemáticas, por un lado, la urbanización y la degradación del suelo. Estos proyectos generan participación activa por parte de los integrantes, haciéndose autosuficientes (Redacción Asociación el Enjambre sin Reina, 2015), pero, a su vez, aminorar las problemáticas de la contaminación de los suelos y el agua (Vives, 2014).

Crónica: Descripción de actividades y experiencias del CECyS "José de Tapia Bujalance" como sistema agroalimentario

Llegamos a la institución alrededor de las 9:00 de la mañana. La directora del plantel, Raquel Martínez, junto con la coordinadora María de Jesús, nos dieron una cálida bienvenida y seguido de ello nos guiaron por el espacio, así conocimos el terreno designado a los huertos.

Figura 2. Camas de cultivo

Estando en el espacio nos quedamos a contemplar. No esperábamos que una institución tuviera esos paisajes maravillosos. La directora Raquel M. mencionó que en esas áreas verdes que contemplaban se realizaban las camas de cultivo y compostaje. Estábamos expectantes cuando nos indicaron que dos camas son destinadas para el cultivo de hortalizas y una para el sembrado de hierbas aromáticas, pues en la agroecología, las hortalizas nos ayudan a la alimentación y las hierbas aromáticas tiene muchas funciones. Las tareas que se llevaron a cabo dentro de las camas de cultivo fueron realizadas de manera comunitaria por padres de familia y voluntarios de la comunidad.

La coordinadora y diplomada María de Jesús M. designó las actividades para el manejo y cuidado del huerto a los padres de familia, de los cuales seis de ellos se dedicaron a deshierbar las camas de cultivo (Figura 3). Ahí una de nuestras compañeras se integró y muy emocionada comenzó con la actividad.

Figura 3. Deshierbando camas de cultivo

Entre la duda de qué hacían tanto los padres de familia y la coordinadora, nos dijeron la importancia de aquella actividad, pues al retirar la pastura creciente dentro del huerto se garantiza que las hortalizas tengan nutrientes y buen crecimiento.

Mientras tanto, en un espacio no tan alejado, observamos como dos participantes agregaron residuos orgánicos (cáscara de huevo y plátano, restos de verduras y frutas y hojas secas) a un contenedor. Nos dijeron después que estaban preparando composta (Figura 4). Era curioso el aroma, no olía a descompuesto, si no fermentado. Nos contaron que la composta es un reciclaje de nutrientes y funge como abono.

Figura 4. Composta

Sacaron un contenedor y ahí había un líquido con un olor a fermentado, preguntamos qué era y se trató de un fertilizante que realizan ahí en la institución. Uno de los participantes lo vació en las regaderas y con las cuatro de ellas se regó aquel fertilizante en todos los espacios del huerto (Figura 5). Nos dijeron que el biol era un fertilizante orgánico que se hacía a base de residuos orgánicos. Se nos hizo raro, pues cuando pensamos su origen nos imaginamos un olor fétido y este no olía mal.

Figura 5. Riego de fertilizante orgánico (Biol)

En ese momento la coordinadora María empezó a realizar este fertilizante, mientras que la directora del plantel Raquel M. se encargó de proporcionar pequeños contenedores de residuos orgánicos que ellos sacaban de la institución. ¡Nos sorprendió cómo separan la basura para hacer estas actividades!

La coordinadora agregó melaza, mientras el resto de los participantes cortaban la materia orgánica en pequeñas unidades dentro de un recipiente que contenía agua acompañado de desechos de animales (estiércol y hojas secas). Esto se revolvió hasta conseguir una mezcla homogénea, posteriormente se colocó en un bote y se cerró con una trampa de aire, finalizando así la participación de los padres de familia (Figura 6). Comentaron que se habían cerrado las actividades ese día, ya que siempre estaban trabajando.

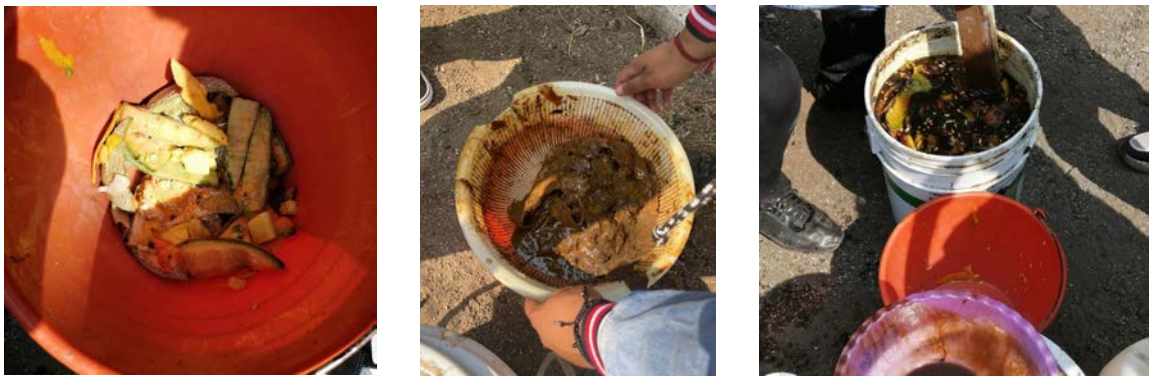


Figura 6. Elaboración del fertilizante orgánico

Continuamos con la coordinadora y diplomada María de Jesús, esta última brindó su conocimiento y experiencias sobre el proyecto, con el cuál está encariñada, es decir, el huerto escolar. No podíamos irnos sin platicar con la anfitriona, la directora del plantel, Raquel M., quien comentó acerca de la historia del CECyS y la creación del huerto en la institución y la importancia del mismo.

Habíamos conocido un ambiente novedoso, lleno de sorpresas y muchos aprendizajes, disfrutamos las actividades, sobre todo la organización de los participantes. Nos dimos cuenta que estos proyectos son de suma importancia para la sociedad y de ahí el porqué de difundirlos. Yéndonos, nos dimos cuenta que en la sierra de Santa Catarina estaba floreciendo un huerto.

Consideraciones finales

De acuerdo con las entrevistas a los participantes, en el huerto escolar se proporciona una experiencia práctica de cultivo en el entorno educativo a partir de la comunicación, pues la comunidad escolar se aproxima al conocimiento agroecológico, formando así un huerto escolar (FAO, 2010). Esta estrategia permite a los estudiantes aprender sobre el proceso alimenticio. Desde la siembra hasta la cosecha se implementan prácticas agroecológicas como bioinsumos (composta y biol), estas características lo determinan como un sistema agroalimentario (Redacción Asociación el Enjambre sin reina, 2015). Además de que produce alimentos locales y para autoconsumo, libres de agroquímicos, fomentando la seguridad alimentaria de la comunidad escolar y promueven la conciencia ambiental, conformando así la soberanía alimentaria local (Bringel, 2015).

Propuesta

Se propone un plan de difusión para promover la implementación y sostenibilidad de los huertos escolares, destacando su influencia positiva en el desarrollo académico, hábitos alimenticios saludables y aprovechamiento de recursos naturales.

Métodos:

1. Desarrollo de un plan de difusión que incluya talleres, seminarios y recursos visuales para educadores, estudiantes y padres.
2. Implementación piloto en varias escuelas para evaluar la efectividad y realizar ajustes.

La integración exitosa de esta iniciativa puede contribuir significativamente a la formación integral de las nuevas generaciones.

Conclusiones

En la Sierra de Santa Catarina existen problemas ambientales que presenta establecimiento de asentamientos irregulares, falta de agua e impacto al suelo de conservación y escasez de apoyo por las diferentes organizaciones e instituciones; sin embargo, la comunidad desea involucrarse para conservar este espacio para contrarrestar el daño a este recurso natural no renovable, y en la integración comunitaria se pueden realizar actividades, como los huertos escolares. En el CECyS existe un huerto escolar que es ejemplo de un sistema agroalimentario funcional que fomentan un aprovechamiento adecuado de los recursos y no genera impacto ambiental en el suelo ni en el ecosistema, al contrario, se reutilizan y reciclan dichos recursos para obtener bioinsumos, se fomentan las prácticas de cultivo y se intenta alcanzar una soberanía alimentaria.

Desde una perspectiva de periodismo científico, en el CECyS queda claro que estos proyectos se realizan en comunidad integrando a los diferentes sectores de la población y de esta manera han logrado un cambio en la sociedad desde la educación y la cultura en alumnos, padres, profesores y voluntarios, dando un ejemplo de integración social contra los problemas socioambientales sobre cómo un huerto escolar que funge como sistema agroalimentario puede ser una alternativa sustentable.

Agradecimientos

A la diplomada (en PIES ÁGILES) y coordinadora del proyecto María de Jesús Martínez Propuesta de plan de acción en torno a la implementación de un huerto escolar comunitario en el CECyS, "José de Tapia Bujalance en la Sierra de santa Catarina" y a Raquel Martínez García directora del CECyS José de Tapia Bujalance, por su participación y por presentarnos el lugar y el proyecto.

Referencias

Aguilar, R. (2017). *Vulnerabilidad social ante amenazas naturales en las inmediaciones del suelo de conservación de Iztapalapa* [Tesis de maestría, UAM Azcapotzalco]. Repositorio institucional UAM. https://sociologiaurbana.azc.uam.mx/wp-content/uplo ads/2021/04/Vulnerabilidad_social_ante_amenazas_n aturales_Aguilar_2017_MPPM.pdf

Altieri, M. A. (2009). Escalonando la propuesta agroecológica para la soberanía alimentaria de América Latina. *Agroecología, 4*, 39–48. https://revistas.um.es/agroecologia/article/view/1171 71

Arteaga, R. (26 de mayo de 2015). 6 problemas ambientales y sociales que colapsarán el DF. *Forbes*. https://www.forbes.com.mx/6-problemas-ambientales-y-sociales-que-colapsaran-al-df/

Bayón, MC. (2015). La construcción del otro y el discurso de la pobreza Narrativas y experiencias desde la periferia de la ciudad de México. *Revista Mexicana de Ciencias Políticas y Sociales, 60*(223), 357-376, https://doi.org/10.1016/S0185-1918(15)72141-0.

Congreso de la Unión. (1988). *Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente de 2013. Artículo 44*. https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/doc/LGEEPA.doc

Consecuencias ambientales de la aplicación de fertilizantes. (2019, marzo). Biblioteca del congreso nacional de chile asesoría técnica parlamentaria. Recuperado 22 de septiembre de 2023, de https://obtienearchivo.bcn.cl/obtienearchivo?id=repos itorio/10221/27059/1/Consecuencias_ambientales_de_la_aplicacion_de_fertilizantes.pdf

Evaluación de la Gobernanza de la Seguridad Urbana. Centro de Excelencia para Información Estadística de Gobierno, Seguridad Pública, Victimización y Justicia de la Oficina de las Naciones Unidas contra la Droga y el Delito, (2021). *Reporte Iztapalapa 2021*. https://www.unodc.org/documents/Urban-security/210521_EGSU_Iztapalapa_Espanol.pdf

Figueres, C. & Rivett-Carnac, T. (2021). *El futuro por decidir: Cómo sobrevivir a la crisis climática*. Penguin Random House. https://doi.org/https://books.google.es/books?id=NnIJ EAAAQBAJ.

Gliessman, R. (2002). *Agroecología: Procesos ecológicos en agricultura sostenible*. Litocat. https://books.google.es/books?id=rnqan8BOVNAC& lpg=PR1&dq=agroecologia&lr&hl=es&pg=PR1#v=o nepage&q&f=false

Gómez-Oliver, Luis. (2008). La crisis alimentaria mundial y su incidencia en México. *Agricultura, sociedad y desarrollo, 5*(2), 115-141. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_artte xt&pid=S1870-54722008000200006&lng=es&tlng=es

Gordillo G,. & Méndez, Ob. (coord) (2013). *Seguridad y soberanía alimentaria*. FAO. https://www.fao.org/3/ax736s/ax736s.pdf

Huang, WY & Lantin, RM (1993). Una comparación de los costos de cumplimiento de los agricultores para reducir el uso excesivo de fertilizantes nitrogenados bajo opciones políticas alternativas. *Perspectivas y políticas económicas aplicadas, 15*(1), 51-62. https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S095965261832211X?via%3Dihub

Hernández Cisneros, E. & Martínez Rodríguez, M. & Silva Rodríguez de San M. (2022). Gestión del agua potable en la alcaldía Iztapalapa, Ciudad de México: una revisión de literatura / Drinking water management in Iztapalapa municipality, Mexico City: a literature review. En O. Castro, J. Rivera & J. Fontalvo (coords.) I*ntervenciones y estudios socioambientales Experiencias interdisciplinarias para la sustentabilidad* (pp. 160-174). Universidad Autónoma Chapingo.

Holt-Giménez, E., & Altieri, M. A. (2013). Agroecología, soberanía alimentaria y la nueva revolución verde. *Agroecología, 8*(2), 65–72. https://revistas.um.es/agroecologia/article/view/2122 01

Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (29 de enero de 2021). *En la ciudad de México somos 9 209 944 habitantes: censo de población y vivienda 2020* [Comunicado de prensa]. https://www.inegi.org.mx/contenidos/saladeprensa/boletines/2021/EstSociodemo/ResultCenso2020_CdMx. pdf

Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (s.f.). *Censo de Población y Vivienda 2020*. https://www.inegi.org.mx/app/cpv/2020/resultadosrap idos/default.html?texto=Iztapalapa

Kaufman, M. (2021). Huertos, y más huertos. Investigando en la escuela infantil. *Investigación En La Escuela,* 25, 87–100. https://doi.org/10.12795/IE.1995.i25.09

Mejías Moreno, A. I. (2013). Contribución de los huertos urbanos a la salud. *Hábitat Y Sociedad, 6*(6). https://doi.org/10.12795/HabitatySociedad.2013.i6.05

Moreno Gaytán, S.I. (2022). Entre lo comunitario y la escasez: La práctica de la agricultura urbana en la zona oriente del Valle de México. *Trace (México, DF),* (81), 24-47. Epub 01 de enero de 2022. https://doi.org/10.22134/trace.81.2022.807

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (2009). *El huerto escolar como recurso de enseñanza-aprendizaje de las asignaturas del currículo de educación básica*. https://www.fao.org/ag/humannutrition/21877-061e61334701c700e0f53684791ad06ed.pdf

Redacción INEGI (S.F.). *Población total. Cuentame de México Población*. https://cuentame.inegi.org.mx/poblacion/habitantes.a spx?tema=P

Sawers, R. (2011). Huertos urbanos y la crisis alimentaria global. *Revista Biodiversidad*. https://grain.org/es/article/4398-huertos-urbanos-y-la-crisis-alimentaria-global

Secretaría del Medio Ambiente de la Ciudad de México. (s.f). S*ierra de Santa Catarina*. Consultado el 19 de abril de 2023 en ANP | Sierra de Santa Catarina (cdmx.gob.mx)

Urías Borbón, D., & Ochoa De La Torre, J. (2020). Huertos urbanos como estrategia de resiliencia urbana en países en desarrollo. *Vivienda y Comunidades Sustentables, 4*(8), 81-102. https://doi.org/10.32870/rvcs.v0i8.143

Vázquez Zentella, V. (2016). Crisis alimentaria y sus implicaciones en la salud y el ambiente. *Razón y Palabra, 20*(94), 596-610. https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=199547464035

Vivas, E. (2014). *El negocio de la comida ¿Quién controla nuestra alimentación?* Icaria. https://es.scribd.com/document/406541148/Vivas-Est eve-2014-El-negocio-de-la-Comida-quien-controla-n uestra-alimentacion-pdf

ENFOQUES TRANSDISCIPLINARIOS: CIENCIA Y SOCIEDAD

Experiencia de investigación-acción participativa para la transición agroecológica de mezcaleras con agaves raicilleros en la costa de Jalisco

María Magdalena Padilla del Muro[1*], Jhony Navat Enríquez-Vara[2] y Alan Heinze Yothers[3]

[1] Estudiante de PIES AGILES, CONAHCYT-CIATEJ.
[2]Laboratorio de Entomología, CONAHCYT-CIATEJ, Biotecnología Vegetal, Zapopan, Jalisco, México.
[3]Investigador por México, Biotecnología Industrial, CIATEJ, Zapopan, Jalisco, México
** Autor de correspondencia:magda.padilladm@gmail.com*

Palabras clave:
agave, agroforestal, mezcalera, raicilla, transición agroecológica.

Resumen

Compartimos la experiencia de investigación-acción participativa de una comunidad de aprendizaje constituida por familias de manejadores de agave y pequeños productores de raicilla de la costa en Cabo Corrientes, Jalisco, quienes han emprendido el camino hacia una transición agroecológica de sus 'mezcaleras' (nombre que se le da a las plantaciones de agave en la región). A través de metodologías participativas como el diálogo de saberes, el intercambio de experiencias y talleres prácticos, tanto a nivel de comunidad como de colaboraciones interinstitucionales, se promueven prácticas agroecológicas como la agroforestería y el manejo integrado de plagas y enfermedades. A partir del acompañamiento, algunas familias productoras ya ponen en práctica estrategias como el trampeo de plagas, la aplicación de caldos minerales y la propagación de agaves nativos por semilla. Es de suma importancia fortalecer la organización de los pequeños productores de agave y raicilla, así como continuar articulando redes colaborativas que contribuyan a frenar la lógica agroextractivista que amenaza al patrimonio biocultural de su territorio.

Enfoques Transdisciplinarios: Ciencia y Sociedad, 2(1), 147-157. ISSN. 3061-709X. https://doi.org/10.5281/zenodo.12795876

Recibido: 23 octubre 2023
Revisado: 13 diciembre 2024
Aceptado: 15 enero 2024
Publicado: 20 de enero 2024

Este artículo es un artículo de acceso abierto distribuido bajo los términos y condiciones de la licencia CC BY-NC-SA 4.0. Para ver una copia de esta licencia visite https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

Introducción

El acelerado crecimiento en la demanda nacional e internacional de las bebidas destiladas de agave ha generado drásticas transformaciones en el paisaje de los territorios que se encuentran

dentro de las denominaciones de origen de estos destilados, poniendo en riesgo la riqueza biológica y cultural de las comunidades y sus agroecosistemas. Estos cambios han derivado, principalmente, de la intensificación y replicación de los modelos agroindustrial y agroextractivo para la producción de su materia prima (Lucio, 2023).

Un ejemplo de esto es el caso de la raicilla, un destilado de agave que obtuvo su denominación de origen en el 2019, en donde se reconocieron a 16 municipios de Jalisco (13 en la región sierra y tres en la costa del estado) y uno de Nayarit. El crecimiento del mercado de esta bebida ha propiciado el surgimiento de cada vez más manejadores de agave, más productores de raicilla y nuevas marcas, contribuyendo al incremento acelerado de la superficie de los monocultivos de agave en estos municipios (Lucio, 2020).

En la costa de Jalisco, las mezcaleras[1] con manejo agroforestal son cada vez más escasas (Figura 1). La acelerada expansión de la frontera agrícola de los monocultivos de *Agave angustifolia* y A. rhodacantha ha arrasado principalmente con los bosques tropicales subcaducifolios de la región. Además, ha ocasionado el desplazamiento de los pequeños productores, en particular de aquellos que sostenían la producción de raicilla de la costa en diferentes comunidades del municipio de Cabo Corrientes, antes del decreto de la Denominación de Origen Raicilla (DOR).

Figura 1. Mezcalera agroforestal (cada vez más escasas) en la localidad de Chacala, Cabo Corrientes, Jalisco

La creciente tendencia a la industrialización en el manejo de los agroecosistemas con agave y en la producción de la raicilla de la costa hace imprescindible tomar medidas urgentes para modificar esta dirección y dar solución a las problemáticas sociales, económicas y ambientales que se están ocasionando. Promover el manejo agroforestal, las producciones a pequeña escala e impulsar un manejo agroecológico son tres valiosas perspectivas y propuestas para mitigar las principales consecuencias de la intensificación productiva y, a la vez, contribuir a la preservación del patrimonio biocultural en torno a los destilados de agave (Lucio, 2020, 2022, 2023; Red nacional de manejadores de maguey forestal, 2019; Tetreault *et al.*, 2022).

[1] Nombre con que se conoce a las plantaciones de agave en el territorio. Hace referencia a la palabra "mezcal", nombre común que se les da a los magueyes -plantas de género Agave- en la región y en otros municipios de Jalisco.

La agroecología es una ciencia con enfoque transdisciplinario, un conjunto de prácticas y un movimiento social que tiene como objetivo la sostenibilidad; desde un enfoque socioecológico promueve prácticas de preservación y restauración de los recursos naturales tales como el suelo, agua y la biodiversidad (Wezel *et al.*, 2020). Cambiar de un modelo agroextractivo a uno agroecológico implica un proceso de grandes reestructuraciones, retos y desafíos, con transiciones simultáneas a diferentes escalas, niveles y dimensiones, para lo cual es indispensable la articulación de diversos actores (Tittonell, 2019).

La Investigación Acción Participativa (IAP) es una metodología con enfoque social, basada en el aprendizaje colectivo, que apuesta por el fortalecimiento de los procesos territoriales y la vinculación entre diferentes actores. Las personas de la comunidad destinataria del proyecto dejan de ser consideradas como simples objetos de investigación y contribuyen de forma activa al proceso de investigación y a la planificación de las acciones. Los participantes son los actores centrales en la construcción del conocimiento y la transformación de su realidad (Jara, 2018; Zapata & Rondán, 2016).

En el marco del Programa Interinstitucional de Especialidad en Soberanías Alimentarias y Gestión de Incidencia Local Estratégica (PIES AGILES)[2] se participó durante un periodo de dos años (2021-2023) en una experiencia de investigación-acción en el municipio de Cabo Corrientes, Jalisco. La comunidad de aprendizaje se conformó principalmente de manejadores de agave y pequeños productores de raicilla de la costa. El objetivo general en este proceso fue contribuir a la transición agroecológica de las mezcaleras que sostienen la producción de raicilla en la costa de Jalisco.

Metodología

A partir de octubre de 2021 se inició la creación de la comunidad de aprendizaje con manejadores de agave y pequeños productores de raicilla de la costa. Se realizó un diagnóstico participativo en donde se identificaron los principales problemas en torno a las mezcaleras de la región. La alta presencia de plagas y enfermedades en los agaves fueron las problemáticas señaladas de mayor importancia (Figura 2), la cual se enfatizó con la frase "sin mezcal, no hay raicilla".

[2] El programa de PIES-AGILES es un modelo de formación educativa para la incidencia social en los territorios y sus comunidades, con la participación activa de agentes locales. Su objetivo es fortalecer procesos comunitarios hacia la soberanía alimentaria, las transiciones agroecológicas y la eliminación gradual del uso de glifosato y otros agentes tóxicos en el campo mexicano, así como entablar alianzas con actores clave que compartan estos propósitos. Se trata de un proyecto financiado por CONAHCYT y liderado por el CIATEJ.

Figura 2. Principales plagas y enfermedades en los agaves raicilleros de la costa de Jalisco

Esta experiencia de IAP se desarrolló en dos etapas, con ciclos consecutivos de acción – reflexión/sistematización, a manera de espiral, entre procesos de evaluación/cosecha y creación de planes de acción (Figura 3).

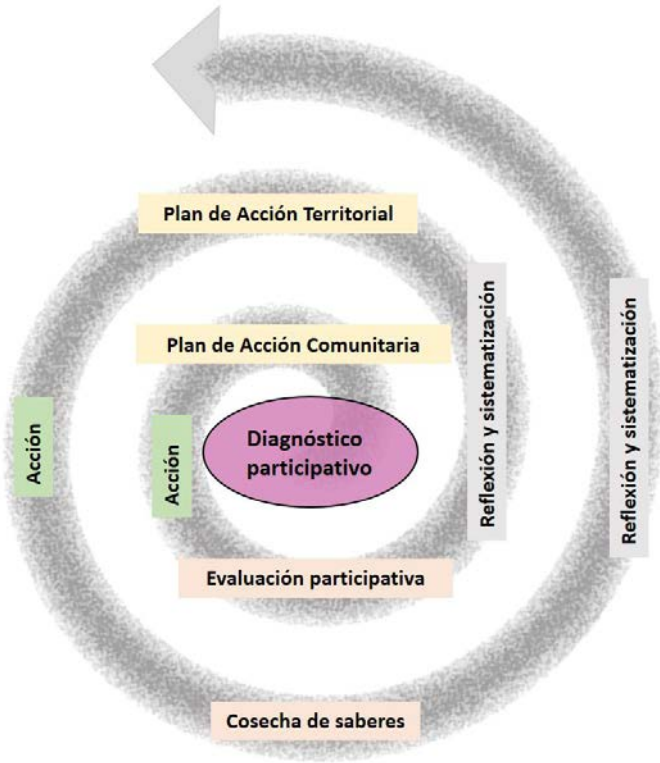


Figura 3. Esquema de la espiral de esta experiencia de IAP, en la que se muestran los ciclos de las dos etapas del proceso

La primera fase tuvo una duración de 15 meses, comenzando con el autodiagnóstico. Se identificó participativamente que la incidencia de plagas y enfermedades es consecuencia de diferentes factores que se relacionan directamente con el tipo de manejo y las prácticas que se realizan en los agroecosistemas. Enseguida se elaboró un Plan de Acción Comunitaria (PAC), con estrategias que contribuyen a la transición agroecológica de las mezcaleras: manejo integrado de plagas y enfermedades de los agaves, diversificación de las mezcaleras y fortalecimiento del tejido social. Las acciones propuestas partieron de metodologías participativas como el diálogo de saberes, el intercambio de experiencias y talleres prácticos, tanto a nivel de comunidad como de colaboraciones interinstitucionales.

Con el objetivo de facilitar la comunicación academia/instituciones/comunidad y fortalecer los procesos territoriales, se promovieron articulaciones interinstitucionales. Primeramente, se realizó un mapeo de aliados estratégicos, identificando a las instancias y organizaciones que trabajan activamente con productores de la región. Se participó con Mezonte[3], investigadores de la Universidad de Guadalajara (UdeG) y con personas de El Paisaje Biocultural Sierra Occidental de Jalisco (PBSOJ)[4]. Además, se buscaron instancias colaboradoras que pudieran contribuir a la resolución de diferentes problemáticas, a partir de lo cual se realizó la vinculación con el Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco (CIATEJ) y El Colegio de Michoacán (COLMICH).

Al término de la primera etapa se realizó una evaluación participativa del proceso, en donde se recogieron los aprendizajes de la experiencia, se identificó lo que funcionó y lo que no y hacia dónde se quería continuar caminando como comunidad de aprendizaje. La estudiante facilitadora del proceso sistematizó la experiencia y elaboró una propuesta de Plan de Acción Territorial (PAT), que se devolvió a la comunidad de aprendizaje para su validación e implementación en un segundo momento.

En la propuesta de PAT se retomaron los aprendizajes del PAC, se realizaron algunos cambios a partir de identificar los intereses y las prioridades de los participantes, se descartaron algunas prácticas que no funcionaron o las que en ese momento encontraban mayores dificultades para su aplicación. También se replantearon las vinculaciones interinstitucionales que existían y las posibilidades para continuar fortaleciéndose. Por último, se amplió el territorio de acción en algunas actividades, con la participación de manejadores de agave de otras localidades vecinas.

La segunda etapa del proceso consistió en un periodo de nueve meses (febrero a octubre de 2023), en el que se participó en esta experiencia a través de las Prácticas

3 Organización que se dedica a preservar y difundir los valores bioculturales alrededor de los mezcales producidos en distintas comunidades en el país.

4 Proyecto que tiene como objetivo el fortalecimiento económico regional de la Sierra Occidental, respetando los recursos naturales, la diversidad biológica y el patrimonio cultural.

Interinstitucionales de Inmersión Territorial. Durante este periodo se dio continuidad al acompañamiento a las familias de manejadores de agave, en la implementación de las prácticas de transición agroecológica propuestas en el PAT y se sistematizaron los aprendizajes colectivos durante el proceso.

Resultados

Manejo integrado de plagas y enfermedades de los mezcales

Para el manejo de las dos principales plagas de los mezcales de la región: el picudo del agave (*Scyphophorus acupunctatus*) y el rinoceronte del agave (*Strategus aloeus*), se promovió principalmente su control etológico (Enríquez & Padilla, 2023). De la mano de los productores se realizó el monitoreo y el registro de las capturas de nueve trampas (instaladas en dos mezcaleras), para las cuales se usaron cubetas con feromona y cebo alimenticio como atrayentes, estas se revisaron cada 15-20 días durante ocho meses (Figura 4). Actualmente, en colaboración con el CIATEJ, se están analizando los diferentes datos registrados en cada monitoreo y se están tomando algunas mediciones a los escarabajos. Esta información nos permitirá tener un mayor conocimiento de la dinámica poblacional de estas plagas en las mezcaleras de la región y con ello poder proponer mejores estrategias para su manejo agroecológico.

Figura 4. Trampeo de las plagas *Scyphophorus acupunctatus* y *Strategus aloeus*

Un problema frecuente en algunas variedades de agave de la región son los síntomas de enfermedades fúngicas y/o bacterianas en las pencas. Una de las principales prácticas para su manejo, promovidas en esta experiencia a través de talleres participativos, fue la elaboración y uso de caldos minerales (Figura 5). Es importante señalar que la aplicación de estos en las mezcaleras no fue realizada por los productores con la periodicidad y frecuencia recomendada para poder observar mejoras

significativas en las plantas afectadas. Ante el poco seguimiento dado, una de las razones observadas y/o mencionadas por los productores fue la falta de jóvenes que tengan interés en participar en las actividades agrícolas. Los pocos jóvenes que hay en las familias y en la comunidad generalmente optan por otras oportunidades laborales al exterior de esta. Es importante señalar que los participantes en este proceso son pequeños productores (en algunos casos de más de 70 años), que realizan una diversidad de actividades agrícolas para su economía familiar. También se observó que suele darse muy poco manejo a las plantaciones, por lo que incorporar esta actividad a su manejo les implica realizar más trabajo. En el caso de las enfermedades y plagas, por ejemplo, generalmente los productores acostumbran a únicamente realizar alguna aplicación de pesticidas cuando el problema ya es muy evidente, lo cual (mencionan) en la mayoría de los casos solo retrasa un poco el avance del problema.

A través de esta experiencia de IAP se han enfocado esfuerzos en promover la importancia del manejo de las plantas enfermas y de la prevención de problemas fitosanitarios. Las dificultades organizativas, la poca disponibilidad de tiempo y de fuerza de trabajo en la comunidad, son temas que es importante analizar y mejorar para lograr reducir los problemas fitosanitarios actuales y avanzar en la transición agroecológica de las mezcaleras. Esto último cobra mayor importancia ante el creciente establecimiento de plantaciones de agave en la región y los problemas socioecológicos que pueden ocasionar sin planes de manejo adecuados.

Figura 5. Talleres de elaboracion y aplicación de caldos minerales y biofertilizantes

Diversificación de las mezcaleras

En cuanto a las acciones relacionadas a este objetivo, las dividimos en dos grandes prácticas: el cultivo de diferentes variedades locales de mezcal y la agroforestería.

En primer lugar, se ha promovido la preservación de diferentes variedades de mezcal, a través de la propagación de agaves nativos por semilla (Figura 6). En la región se realiza la propagación de agaves casi exclusivamente a través de hijuelos y está muy enfocada a la selección de variedades de crecimiento rápido, en especial la variedad conocida como "mezcal amarillo". La práctica de germinación de agaves en este proceso, tiene el objetivo de disminuir la dispersión de plagas y enfermedades a través de hijuelos a nuevas plantaciones y para evitar la pérdida de diversidad genética de las variedades de agaves locales. Ha sido de suma importancia el diálogo academia-instituciones-comunidad respecto a los beneficios de esta práctica. El acompañamiento en la selección y monitoreo de plantas de diferentes variedades para la obtención de semillas, así como en el proceso de germinación y el cuidado de las plántulas constituyeron una parte importante del trabajo con las familias. Cabe señalar, que el intercambio de experiencias entre los propios productores respecto a esta actividad es lo que ha generado mayor interés en otros manejadores de agave por comenzar a experimentar con esta estrategia.

Figura 6. Propagación por semilla de variedades locales de agave

Por otra parte, en el objetivo de promover el manejo agroforestal de las mezcaleras también ha sido fundamental la constante comunicación y los diálogos de saberes entre las instancias colaboradoras y la comunidad. En ese sentido, se reconoce y valora la colaboración con la UdeG a través de sus investigaciones (en curso) de agrobiodiversidad en las mezcaleras y sobre los procesos de cambio de

los sistemas de manejo de los agaves raicilleros. Además del acompañamiento de Mezonte, al brindar a los pequeños productores un espacio para la comercialización de su raicilla a precio justo, siempre promoviendo la importancia de preservar el patrimonio biocultural en torno a su producción. Debido a que es un proceso a largo plazo que sobrepasa los tiempos de esta IAP, aún no se ha logrado ver resultados de acciones dirigidas a la reforestación de las plantaciones de agave. Sin embargo, algunos productores ya expresan su interés en plantar Bonetes (*Jacaratia mexicana*) dispersos en sus mezcaleras, así como establecer cercos con otros árboles de importancia en la región.

Fortalecimiento del tejido social

Esta estrategia ha funcionado de manera transversal a todas las prácticas anteriores. Fortalecer el tejido social se posibilita desde el propio modelo de la IAP, al impulsar el proceso de aprendizaje a través de la creación de una comunidad de personas con ese fin. Los talleres participativos, el diálogo de saberes, los intercambios de experiencias y las evaluaciones participativas han sido pequeños espacios de acercamiento y encuentro entre los productores (Figura 7) en donde, a pesar de las diferencias personales, se crean colaboraciones desde las afinidades. Estas interacciones han facilitado que se trabaje en colectivo en algunas prácticas, lo cual consideramos ha sido un valioso avance.

Figura 7. Fortalecimiento del tejido social a traves del diálogo de saberes, intercambios de experiencias y evaluaciones participativas

Conclusiones

A partir del acompañamiento y esta experiencia de IAP, algunas familias productoras ya ponen en práctica y/o conocen estrategias como el trampeo de plagas, la aplicación de caldos minerales y la propagación de agaves nativos por semilla. Siendo la primera, después de su experimentación con ella, una estrategia recomendada por los mismos productores principalmente para el control del rinoceronte del agave en las mezcaleras de la región.

Para mejorar las prácticas de manejo en las mezcaleras se requieren cambios no solo a nivel técnico-productivo en los agroecosistemas, sino también de reestructuraciones principalmente en lo organizacional de las comunidades y en aspectos socioeconómicos relacionados a la agroindustria de los destilados.

Es cada vez menor la cantidad de jóvenes de la comunidad interesados en las actividades agrícolas, debido principalmente a su búsqueda de otras oportunidades económicas para ellos. Al proponer estrategias para reducir los problemas fitosanitarios actuales de las mezcaleras y para avanzar en la transición agroecológica de estas, es imprescindible considerar la disponibilidad de tiempo y fuerza de trabajo de los productores.

Es de suma importancia continuar articulando redes colaborativas que acompañen a los pequeños productores en estas transiciones. Redes que además faciliten la comercialización de sus raicillas a un precio que refleje su esfuerzo y sus acciones de preservación, con un valor agregado. Las articulaciones interinstitucionales de la mano de las familias de los productores pueden contribuir a frenar la lógica agroextractivista que amenaza al paisaje, los agroecosistemas y las tabernas tradicionales de la costa de Jalisco.

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.

Agradecimientos

A las familias de manejadores de agave y productores de raicilla que forman parte de la Comunidad de Aprendizaje de esta experiencia, un agradecimiento especial a Adrián Rodríguez, Joel Rodríguez, Cutberto Arellano, Abraham Ramos y sus familias por su confianza, entusiasmo, compromiso y participación. A las personas que colaboraron en este proceso desde las distintas instituciones y asociaciones, en particular a Antonio Sierra Huelsz y Dánae Cabrera Toledo (Universidad de Guadalajara), Pedro Jiménez Gurría (Mezonte), Oassis Felipe Huerta Galván (Paisaje

Biocultural), José de Jesús Hernández López (El Colegio de Michoacán) y Anne Gschaedler Mathis (CIATEJ).

María Magdalena Padilla del Muro agradece al CONAHCYT por la beca durante la especialidad de PIES ÁGILES y en las Prácticas Interinstitucionales de Inmersión Territorial, CVU 646496.

Referencias

Enríquez, J. & Padilla, M. (2023). Los escarabajos rinocerontes amenazan la raicilla de la Costa de Jalisco. *CRONICA*. Disponible en: https://www.cronica.com.mx/academia/escarabajos-rinocerontes-amenazan-raicilla-costa-jalisco.html

Jara, O. (2018). *La sistematización de experiencias. Práctica y teoría para otros mundos posibles*. Bogotá. CINDE.

Lucio, C. (2020). La crisis de las denominaciones de origen en México. El desafortunado caso de la raicilla. *Verdebandera*. https://verdebandera.mx/la-crisis-de-las-denominaciones-de-origen-en-mexico-el-desafortunado-caso-de-la-raicilla/

Lucio, C. (2022). Los destilados de agave en México: Una exploración desde la economía ecológica radical. *Revista Iberoamericana de Economía Ecológica, 35*(3), 21-38.

Lucio, C. (2023) Intensificación agroextractiva y crisis socioambiental de los destilados de agave en México. Una reflexión sobre la necesidad de construir alternativas de manejo, producción y comercialización. En Teatrault, D., Lucio, C. y McCulligh, C. (coords.), *Extractivismo, contaminación y luchas socioambientales en México* (pp.327-357). Itaca.

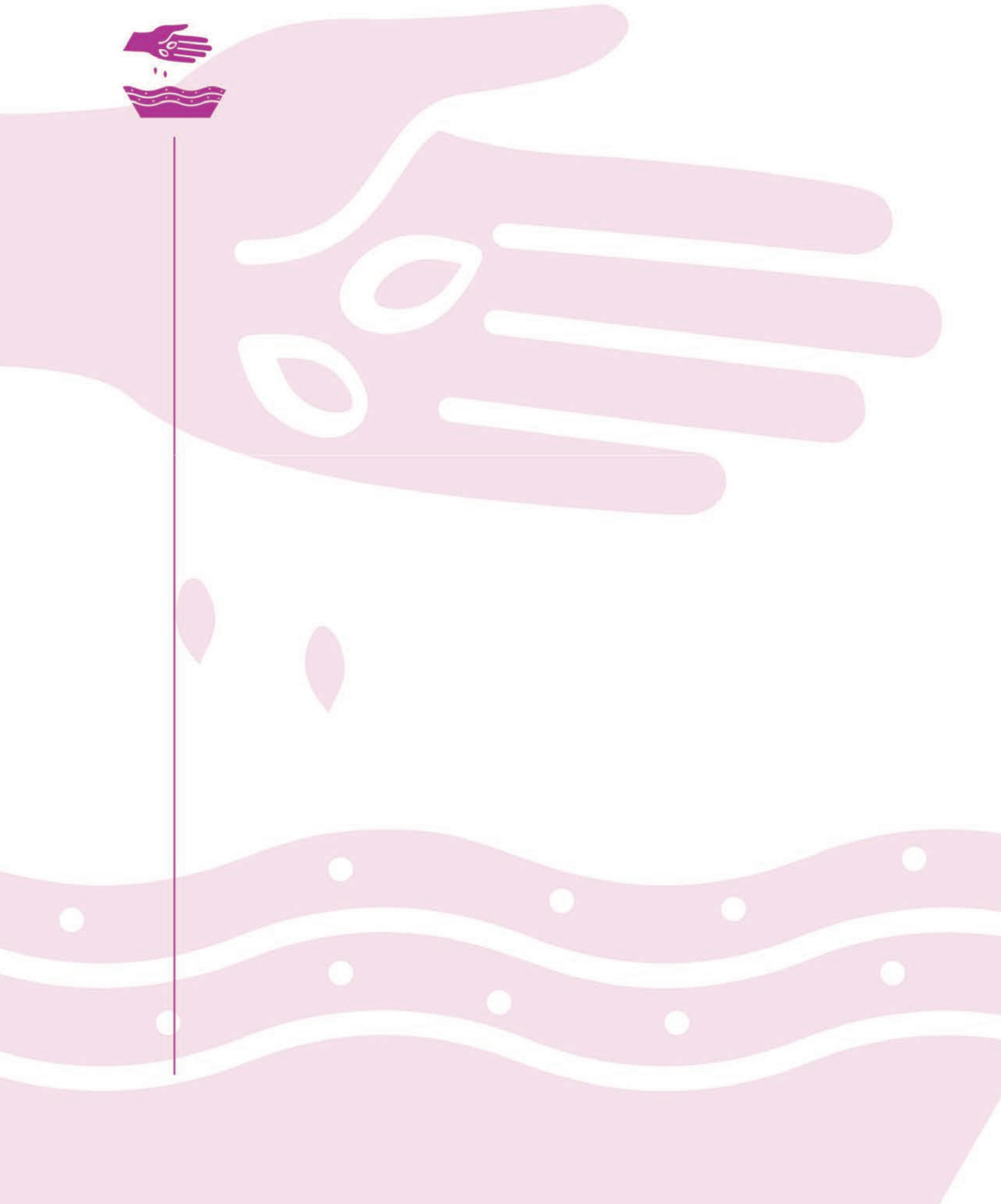
Red nacional de manejadores de maguey forestal. (2019). Declaratoria de la IV Reunión Nacional de Manejadores de Maguey Forestal. *Observatorio del desarrollo, 8*(24), 91-94.

Tetreault, D., McCulligh, C. & Lucio, C. (2022). Producción extractiva de agave y tequila en Jalisco, México. En: McKay, B., Alonso-Fradejas, A. & Ezquerro-Cañete, A. (coords.), *Extractivismo agrario en América Latina* (pp. 342-384). Consejo Latinoamericano de Ciencias Sociales.

Tittonell, P. (2019). Las transiciones agroecológicas: múltiples escalas, niveles y desafíos. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias, 51*(1), 231-246.

Wezel, A., Gemmill, B., Bezner, R., Barrios, E., Rodríguez, A., & Sinclair, F. (2020). Agroecological principles and elements and their implications for transitioning to sustainable food systems. A review. *Agronomy for Sustainable Development, 40*(6).

Zapata, F. & Rondán, V. (2016). *La Investigación Acción Participativa: Guía conceptual y metodológica del Instituto de Montaña*. Instituto de Montaña.



ENFOQUES TRANSDISCIPLINARIOS: CIENCIA Y SOCIEDAD

Experiencias en investigación-acción y agroecología del nodo Jalisco-Nayarit de PIES AGILES

Alan Heinze[1]

[1]*Investigador por México, Biotecnología Industrial, Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco (CIATEJ), Zapopan, Jalisco, México*
Autor de correspondencia: aheinze@ciatej.mx

Palabras clave:
agroecología, comunidades de aprendizaje, investigación acción participativa, programa educativo, redes de colaboración.

Resumen

Ante los problemas del sistema agroalimentario industrial predominante, notable por sus múltiples impactos ambientales, surgen alternativas viables para su transformación desde un enfoque socio-ecológico, regenerativo y social, como la agroecología en México. En este artículo se recupera la experiencia de un conjunto de procesos locales de investigación-acción y agroecología en el occidente de México, en el marco del programa institucional educativo PIES AGILES. Durante el programa se conformaron comunidades de aprendizaje que propiciaron el aprendizaje colectivo, plural y situado en los territorios, y que favorecieron los liderazgos femeninos en los planes de acción comunitarios. Fueron 12 los temas transversales de investigación-acción priorizados: sustitución de plaguicidas químicos, fertilidad de suelos, agrobiodiversidad, tejido social, huertos comunitarios y escalamiento agroecológico, entre otros. A su vez, se fomentó la colaboración entre estudiantes /especialistas y la articulación institucional, generando importantes vínculos de apoyo y redes de colaboración, que promovieron las transiciones agroecológicas en los territorios.

Enfoques Transdisciplinarios: Ciencia y Sociedad, 2(1), 159-173. ISSN. 3061-709X. https://doi.org/10.5281/zenodo.12796093

Recibido: 23 octubre 2023
Revisado: 19 diciembre 2024
Aceptado: 15 enero 2024
Publicado: 20 de enero 2024

Este artículo es un artículo de acceso abierto distribuido bajo los términos y condiciones de la licencia CC BY-NC-SA 4.0. Para ver una copia de esta licencia visite https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

Introducción

En un llamado a la reflexión, dos reconocidos investigadores de sistemas agroalimentarios en el mundo nos plantean una pregunta clave para nuestra supervivencia: "¿Qué tan preparado está nuestro sistema alimentario industrial para enfrentar la policrisis en términos

de escasez de energía, escasez de agua, degradación ambiental, pérdida de biodiversidad, cambio climático, desigualdad económica, inseguridad alimentaria, conflictos militares y otros que afectan al planeta?" (Altieri & Nicholls, 2023, p. 126). Esta cuestión se vuelve aún más relevante al considerar que los sistemas agroindustriales son en sí una fuente de múltiples impactos ambientales, tales como la pérdida de suelos y su fertilidad, la movilización de nutrientes (causando eutroficación), la contaminación por agroquímicos (incluyendo compuestos tóxicos), la deforestación y cambio de uso de suelo, la pérdida de la biodiversidad y servicios ecosistémicos, la sobreexplotación de fuentes de agua dulce y la alta emisión de gases de efecto invernadero (Ritchie *et al.*, 2022).

Actualmente, el sistema agroindustrial produce alimentos en abundancia, pero está plagado de problemas y contradicciones. A pesar del impresionante incremento en la producción global de alimentos en las últimas décadas, prevalecen el hambre mundial, la inseguridad alimentaria (con brecha de género) y la malnutrición en todas sus formas (sobrepeso en niños, obesidad en adultos, subalimentación, etc.), mientras que la combinación de ingresos bajos con alimentos nutritivos costosos está limitando la asequibilidad de dietas saludables (FAO *et al.*, 2021).

Se deben transformar los sistemas agroalimentarios en sus múltiples escalas y dimensiones desde un enfoque socio-ecológico y sistémico (Eakin *et al.*, 2017) para promover sistemas alimentarios sostenibles que garanticen la alimentación y nutrición de todas las personas y las generaciones futuras, sin poner en riesgo las bases sociales (que sea benéfico para todos/as), ambientales (que salvaguarde y no deteriore el ambiente) y económicas (que sea rentable) (PNUMA *et al.*, 2023). Más aún, para no perpetuar la desigualdad en el acceso y control de los sistemas alimentarios y la exclusión de los pequeños productores, han surgido propuestas de sistemas alimentarios regenerativos con una visión más holística del bienestar humano y planetario, desde una base comunitaria local, tradicional y ecológica (El-Sayed & Cloutier, 2022). En el caso particular de México y América Latina, la agroecología emerge desde hace algunas décadas como una propuesta viable de agricultura y de transformación de los sistemas agroalimentarios (Astier *et al.*, 2015), que a su vez promueve la democratización del conocimiento y la equidad social y pone un alto a la explotación (Toledo & Barrera-Bassols, 2017). La agroecología representa una manera de rediseñar los sistemas alimentarios –desde la parcela hasta la mesa– enlazando ciencia, práctica y movimiento social para alcanzar la sustentabilidad (Gliessman, 2016). Así, el propósito de este artículo consiste en recuperar la experiencia de un conjunto de procesos locales de investigación-acción y agroecología en el occidente de México.

La agroecología está siendo aplicada en una diversidad de iniciativas comunitarias, productivas, científicas y de política pública. Su enfoque transdisciplinario, participativo y orientado a la acción es relevante a procesos comunitarios de base. Con la

transdisciplina se valoran e integran distintos sistemas de conocimiento, particularmente los saberes ambientales locales y tradicionales. Dentro de las metodologías participativas encauzadas a la transformación sobresale la investigación acción participativa (IAP), la cual integra una diversidad de sujetos y actores –especialmente personas habitualmente excluidas– en ciclos iterativos de acción y reflexión. Estos ciclos conducen a cuestionar el modelo convencional e industrial de agricultura, a mirar más allá de la tierra para reconocer las estructuras políticas y económicas dominantes que mantienen el sistema agroalimentario actual y que socavan la vida rural de una zona (Méndez *et al.*, 2013).

En Jalisco y Nayarit se han promovido varios proyectos de agroecología y soberanía alimentaria con un enfoque transdisciplinario, participativo y de acción social. Se menciona la Red de Alternativas Sustentables Agropecuarias (Gerritsen & Morales-Hernández, 2009), los colectivos agroecológicos de la zona metropolitana de Guadalajara (del Toro Romo, 2016), los huertos familiares de la red de defensoras Jalisco (Flores-Parra, 2019), los espacios productivos y participativos universitarios (Macías-Macías & Sevilla-García, 2021a; Morales-Hernández *et al.*, 2014), el laboratorio práctico de acción ambiental en Chamela, Jal. (Mora-Ardila & Bullen-Aguiar, 2020) y la organización socio-productiva de campesinos/as de Jala y Santiago Ixcuintla, Nay. (Madera-Pacheco & de Dios-Hernández, 2021), entre otros (no se presenta una lista exhaustiva).

Si bien la mayoría de estos estudios se refiere a importantes procesos agroecológicos específicos a una localidad / región o tema de trabajo, son pocos los estudios que han evaluado un conjunto de procesos agroecológicos diversos, simultáneos e interconectados por un mismo programa. Se conoce poco sobre la configuración y el desarrollo de procesos de IAP facilitados por especialistas de distintos perfiles y contextos territoriales, que promueven transiciones agroecológicas y de soberanía alimentaria. En este artículo se resume y describe un conjunto de 26 procesos de IAP en agroecología, guiados y auspiciados por el programa institucional educativo PIES AGILES, que se llevaron a cabo por estudiantes / especialistas de Jalisco y Nayarit, México. El objetivo de esta síntesis es conocer la configuración de estos procesos tras un periodo de un año, y en específico, el desarrollo de comunidades o grupos de aprendizaje, los temas de investigación-acción, y las articulaciones estratégicas y redes de colaboración.

Materiales y Métodos

Este estudio recupera experiencias del Programa Interinstitucional de Especialidad en Soberanías Alimentarias y Gestión de Incidencia Local Estratégica, mejor conocido por su acrónimo PIES AGILES, un posgrado ofrecido por el CIATEJ-Conahcyt y

realizado de septiembre 2021 a noviembre 2022 en México[1]. El PIES ÁGILES surge en el contexto del decreto presidencial de finales de 2020 sobre la sustitución gradual del uso de glifosato, un herbicida tóxico ampliamente utilizado en México, para proponer alternativas productivas y de sistemas alimentarios al modelo agroindustrial.

El programa de formación mixta integró actividades en una plataforma virtual didáctica (Moodle) con la praxis de la IAP, por lo que cada estudiante (becario) impulsó un proceso(s) de transición agroecológica en y desde su territorio. En particular, este estudio se centra en la experiencia de 26 estudiantes / especialistas del occidente del país que cursaron y concluyeron la especialidad, 15 mujeres y 11 hombres de distintos perfiles –jóvenes titulados, docentes, promotores-formadores de agroecología, y actores locales–, quienes junto con un coordinador-tutor (el autor de este artículo) conformaron el nodo Jalisco-Nayarit activo en 22 municipios: Ayotlán, Cabo Corrientes, Chapala, Cuautitlán de García Barragán, Cuquío, El Grullo, El Limón, Guadalajara, Ixtlahuacán de los Membrillos, Ixtlahuacán del Río, Mascota, Mezquitic, Poncitlán, Talpa de Allende, Tapalpa, Tlajomulco de Zúñiga, Tlaquepaque, Tomatlán y Tonalá en Jalisco; Del Nayar, San Blas y Tepic en Nayarit.

El modelo educativo del PIES AGILES se basa en un aprendizaje situado y contextual del territorio y de indagación crítica de los sistemas alimentarios y la justicia social, haciendo énfasis en la base comunitaria y el aprendizaje colectivo para guiar a cada especialista en su proceso de investigación y acción (IAP). En este sentido, la IAP como metodología se distingue por la participación e involucramiento de sujetos activos, protagonistas del estudio que integran ciclos de acción y reflexión con interés en cambiar el objeto de su estudio y promover la transformación social (Colmenares, 2012).

En este programa, el proceso de la IAP consistió en diferentes momentos: 1) la conformación de una comunidad de aprendizaje (COA), es decir, un grupo de personas del territorio interesadas en aprender y colaborar juntas/os; 2) la realización de un autodiagnóstico agroecológico desde una aproximación etnográfica y colectiva, espacio donde se identificó el tema de investigación-acción; y 3) la articulación y vinculación con aliados territoriales con objetivos comunes o afines. Estos tres momentos se sumaron a la generación colectiva de Planes de Acción Comunitarios para impulsar transiciones agroecológicas y promover la soberanía alimentaria en los territorios.

Durante el programa se dio acompañamiento a las/los especialistas y seguimiento de su proceso IAP. Tanto por la revisión de sus actividades y tareas entregadas en plataforma, así como por medio de encuestas directas (agosto de 2022), se recopiló información sobre los procesos de IAP a un año de desarrollo (Tabla 1). Los datos cuantitativos se analizaron con conteos simples y estadísticas descriptivas.

[1] Convocatoria PIES AGILES: https://youtu.be/8MKb_IgExs4

Tabla 1. Método de recopilación y análisis de información básica sobre la configuración de los procesos de IAP de las/los especialistas

1. Composición de las COA
Integrantes: No. integrantes activos (asisten a tan siquiera un tercio de las sesiones o cuya participación se considera esencial), sexo y grupo de edad.
2. Temas de investigación-acción de las COA
Se identifican todos los temas generales de investigación-acción en los Planes de Acción Comunitaria, y luego las/los especialistas califican la prioridad de cada tema para su COA. *Prioridad del tema* (encuesta: variable cualitativa): • Alta: Es el tema principal y central para trabajar con mi COA y en nuestro plan de acción. Prácticamente todas nuestras acciones están enfocadas a atender este tema. (Nota: Otorgar esta calificación a un máximo de dos temas) • Media: Es un tema importante para nuestra COA y relevante a nuestro trabajo, pero se aborda para apoyar al tema central o en conjunto con el tema central. • Baja: Es un tema secundario, nos interesa, pero se atiende de manera indirecta. • Ninguna: No es un tema que trabajamos directamente en nuestro plan de acción, es un tema derivado o que se menciona, pero sin ninguna acción relacionada.
3. Articulación de las/los especialistas
3.1. Vínculo entre especialistas: Las/los especialistas califican el nivel de articulación entre sí, i.e., cada especialista evalúa su articulación con cada uno/a de sus 25 compañeros/as del nodo. Esto genera una matriz con 325 articulaciones bidireccionales. *Nivel de articulación* (encuesta: variable semicuantitativa): • (3): Nuestra alianza es fundamental, colaboramos constantemente en muchas actividades, compartimos una estrategia común y planeamos seguir trabajando juntos/as en el futuro. • (2): Nuestro vínculo es importante, hemos colaborado en actividades y me parece importante incluir actividades o estrategias comunes en mi plan de acción, espero que podamos seguir colaborando en el futuro, aunque no tengo certeza.
• (1): Nos hemos articulado para algunas actividades, ha sido grato y provechoso para mí y mi COA y espero mantener una relación, aunque aún no tenemos nada planeado. • (0): No nos hemos articulado / vinculado, o solo para algunas tareas o actividades puntuales grupales, trabajamos en temas distintos y/o nos encontramos lejos. *Tipo de vínculo entre especialistas* SSe suma la calificación / nivel de articulación de cada pareja de especialistas. Total = 0: Sin vínculo, 1–2: Asistentes, 3–4: Colaboradoras/es, 5–6: Aliadas/os. **3.2. Articulación institucional:** Las/los especialistas generan un reporte de sus articulaciones con instituciones e instancias del sector público, social y educativo, así como con otros programas activos del Conahcyt.
Fuente: propia

Resultados y Discusión

Composición de las comunidades de aprendizaje (COA)

Después de un año en el programa y de iniciar un proceso IAP, las COA se componían por un promedio de 12 integrantes (media = 11.7, mín. 6, máx. 32 personas) incluyendo al especialista. En cuanto al perfil de las COA, hubo una alta representación de personas del sexo femenino y de adultas/os, aunque también hubo una participación significativa de jóvenes, niños/as y personas adultas mayores (> 65 años) (Tabla 2).

Tabla 2. Perfil de las COA según sus integrantes

Composición de la COA	No. COA (% de total) *	
Por sexo		
Total o mayoría de personas del sexo femenino	11	(42%)
Un poco más personas del sexo femenino que masculino	3	(12%)
Más o menos el mismo número de personas del sexo femenino y masculino	8	(31%)
Un poco más personas del sexo masculino que femenino	2	(8%)
Total o mayoría de personas del sexo masculino	2	(8%)
Por edad		
Mayoría de personas adultas mayores	2	(8%)
Mayoría de adultas/os	15	(58%)
Mayoría de jóvenes y/o niños/as	4	(15%)
Intergeneracional o mixto	5	(19%)

* Con relación a un total de 26 COA.

Fuente: propia

Una alta representación de mujeres, tanto de integrantes en la COA como de especialistas del nodo Jalisco-Nayarit (58% mujeres), fomentó la participación y los liderazgos femeninos en los Planes de Acción Comunitarios. La participación de mujeres en los procesos agroecológicos impulsa la ruptura de patrones patriarcales, y representa uno de los elementos clave para sustentar los aprendizajes transformadores (Guzmán Luna & Ferguson, 2021). Las perspectivas de género y las miradas intergeneracionales son necesarias para inspirar procesos agroecológicos incluyentes, profundos y de largo alcance (Sánchez *et al.*, 2022).

Las/los especialistas promovieron la formación, desarrollo y/o fortalecimiento de las COA, varias preexistentes al programa, mismas que se describieron (algunos ejemplos) como: "Grupo de mujeres que defienden la vida, que rescatan y comparten saberes campesinos", "Cooperativa de mujeres y sus familias en la conservación de su territorio y la producción de café", "Una agrupación de personas adultas que realizan trabajos sobre el cuidado de la vida y se reúnen para compartir y aprender estrategias respetuosas con el ambiente", "Vecinos de una colonia que gustan de compartir saberes y reconectar con la naturaleza pero también de defender el territorio por medio de la agricultura urbana", "Equipo de profesionistas multidisciplinario", "Grupo intergeneracional de aprendizaje agroecológico y también interdisciplinario", "Grupo de cañeros entusiastas agroecólogos de corazón buscando mejorar su cultivo y el medio ambiente", "Campesinas y campesinos productores de maíces nativos", "Grupo de productores y productoras en proceso de experimentación campesina para la adopción de la agroecología y su escalamiento" y "Grupo de jóvenes entusiastas por hacer cambios agroecológicos en el manejo de la agricultura actual".

Estos grupos ponen en manifiesto su responsabilidad hacia el cuidado del ambiente, la vida, la diversidad y los bienes comunes, valores en común a los principios de la agroecología y las organizaciones campesinas (Nyéléni, 2016).

Las COA fueron esenciales para desarrollar un aprendizaje colectivo de los/las estudiantes del programa. Estas comunidades o grupos de aprendizaje se consideran centrales a los nuevos modelos pedagógicos de la agroecología, que se basan en el territorio y se enfocan más allá del sujeto individual (Nicklay *et al.*, 2023). 15 especialistas del nodo Jalisco-Nayarit eran originarios o residentes de las localidades en donde se encontraban las COA, y otros 7 de ellas/os, a pesar de ser foráneos, tenían varios años de experiencia trabajando en estas localidades o en la región. Esta proximidad facilitó el aprendizaje colectivo y situado en los territorios; las/los especialistas eran parte de las comunidades y compartían sus problemáticas. Al colocar el territorio al centro del proceso de educación se crean nuevas sinergias y se moviliza la cogeneración de conocimiento agroecológico (McCune *et al.*, 2017). A su vez, las COA suscitaron una organización horizontal y una participación inclusiva –un diálogo de saberes– en el que todas/os sus integrantes tenían algo único e importante que aportar. Para Haraway (1988), el conocimiento situado reconoce las perspectivas parciales que cada persona trae a los espacios colectivos de aprendizaje y acción, espacios de pluralidad y comunidad que dejan atrás al individuo aislado. Los grupos de personas que aprenden juntas por medio de la práctica y la reflexión de sus experiencias son capaces de una agencia colectiva (Nicklay *et al.*, 2023).

Temas de investigación-acción de las COA

Las y los especialistas del programa identificaron 12 temas generales y relevantes de investigación-acción que trabajaron en conjunto con sus COA. Los seis temas de mayor importancia, considerando su frecuencia de mención (prioridad alta + media) fueron: la sustitución y eliminación de plaguicidas químicos; la conservación y fertilidad de suelos; el uso, rescate y conservación de la agrobiodiversidad; el tejido social, organización e integración comunitaria; los huertos comunitarios y la promoción de transiciones agroecológicas en el territorio, i.e., un escalamiento agroecológico. Cabe mencionar que los huertos comunitarios, la sustitución y eliminación de plaguicidas químicos son los dos temas centrales o principales (prioridad alta) más frecuentes entre las COA (Tabla 2).

En general, todos los temas fueron transversales, esto es, la mayoría de ellos fueron abordados directa o indirectamente y trabajados de manera entrelazada. Las/los especialistas calificaron un promedio de 9.2 temas con algún nivel de prioridad (de los 12 identificados) y relevancia para su COA, y si bien algunos temas no fueron considerados primordiales (prioridad alta), sí fueron abordados de manera

indirecta o como complemento a los temas principales, p. ej., policultivos y rediseño de agroecosistemas, perspectiva de género y enfoques feministas, y educación y colaboración con jóvenes y/o niñeces.

Tabla 3. Temas de investigación-acción más relevantes y frecuentes

Tema de investigación-acción	Prioridad frecuencia (f)			Importancia *f alta + media*
	alta*	media	baja	
Sustitución y eliminación de plaguicidas químicos	9	8	5	17
Conservación y fertilidad de suelos	5	12	7	17
Uso, rescate y conservación de la agrobiodiversidad	6	9	10	15
Tejido social, organización e integración comunitaria	3	12	8	15
Huertos comunitarios	10	4	6	14
Transición y escalamiento agroecológico	5	9	5	14
Educación y colaboración con jóvenes y/o niñeces	3	9	9	12
Manejo de plagas y enfermedades de cultivos	2	9	8	11
Economía solidaria	1	9	4	10
Policultivos y rediseño de agroecosistemas	2	6	13	8
Perspectiva de género y enfoques feministas	1	7	12	8
Defensa del territorio	1	3	8	4

* solo se permitió calificar un máximo de dos temas con prioridad alta

Fuente: propia

La sustitución y eliminación de plaguicidas químicos fue, dado el contexto de restricción de uso de estos compuestos tóxicos en el país (Gobierno de México, 2023), un tema prioritario para las/los especialistas del nodo Jalisco-Nayarit, especialmente porque han vivido de primera mano los impactos ambientales y efectos perjudiciales de la agricultura industrializada en su región (Macías-Macías & Sevilla-García, 2021b; Rojas-Ramírez & Vallejo-Rodríguez, 2017), con consecuencias nefastas en sus comunidades (Díaz, 2021).

Por medio de sus Planes de Acción Comunitarios, las/los especialistas respondieron con propuestas concretas de producción agroecológica, enfocadas en mejorar la fertilidad del suelo por medio de prácticas de conservación de suelo (particularmente el método biointensivo) y la aplicación de bioinsumos de producción propia, el rescate de cultivos nativos y criollos, la promoción de una mayor agrobiodiversidad y el manejo integral de plagas y enfermedades de los cultivos (Tabla 3). Esta estrategia se inspiró y apoyó de la experiencia de un proceso de reconfiguración agroecológica en Jalisco de tres décadas (Juárez, 2019). Asimismo, esta labor se completó con la organización comunitaria y el tejido social, la educación y sensibilización ambiental –especialmente a través de huertos comunitarios– mercados alternativos de economía solidaria y el escalamiento agroecológico, promoviendo

con frecuencia el intercambio de experiencias entre compañeras/os del programa, p. ej., encuentros de promotores de agroecología y docentes en torno a los huertos escolares (ver la nota de Rodríguez, 2022).

Articulación de las/los especialistas

Se desarrollaron múltiples vínculos de trabajo entre los 26 especialistas del nodo: 210 vínculos positivos (nivel de articulación de pareja > 0), alrededor de 2/3 del total posible, incluyendo asistencias para realizar alguna actividad (asistentes, 27%), vínculos importantes con actividades o estrategias comunes (colaboradoras/es, 21%), y alianzas fundamentales de apoyo y colaboración permanente hacia objetivos compartidos (aliados/as, 17%) (Figura 1). El programa en sí propició la articulación y colaboración entre especialistas por medio de tareas y actividades grupales, encuentros presenciales, participación conjunta en congresos, y la conformación de redes y comunidades de aprendizaje temático, p. ej., una red nacional de especialistas en soberanía alimentaria (ver video de Composta Media Teatro y Agroecología, 2023). El vínculo afectivo generado entre compañeras/os del programa fue esencial para sentirse acompañadas/os, apoyadas/os y reconocidas/os; se vivieron experiencias compartidas, se crearon redes de soporte y se cultivaron amistades. En palabras de un especialista de Jalisco durante el congreso nacional del programa[2]: "No me esperaba encontrar con tantas personas con procesos tan hermosos, tan arraigados a la tierra, y tan generadores de cambio […], me di cuenta que no estoy solo" (Composta Media Teatro y Agroecología, 2022, min. 7:12). Para finalizar, cabe destacar la fuerte vinculación afectiva y de colaboración de la Red MAES (Red de Mujeres en Agroecología y Economía Solidaria, s.f.), una comunidad de aprendizaje temático –en economía solidaria, feminismos y perspectiva de género– que agrupa a siete mujeres del nodo Jalisco-Nayarit y otras tres compañeras externas, que hasta la fecha se mantiene activa.

[2] 1° Congreso PIES AGILES "Resultados de investigación e incidencia territorial por la soberanía alimentaria en México", Oaxtepec, Morelos, 10 al 12 de noviembre de 2022.

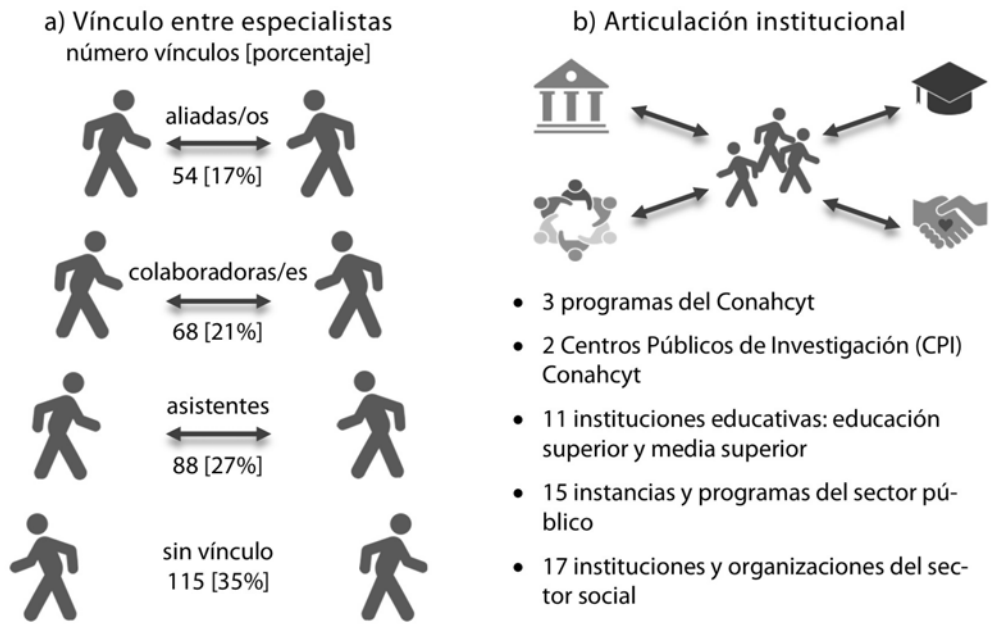


Figura 1. Vínculos entre especialistas y articulaciones institucionales del nodo Jalisco-Nayarit
Fuente: propia

La articulación de las/los especialistas con una diversidad de instituciones y organizaciones externas, en algunos casos en el marco de otros programas institucionales, fue fundamental para consolidar redes de trabajo, colaborar e impulsar procesos agroecológicos de escala local y regional. Hacia el final del programa se identificaron un total de 75 vínculos directos con representantes de instancias e instituciones públicas, educativas y del sector social (Figura 1).

La articulación con instituciones educativas fue fundamental. En primera instancia se encontraron los mismos docentes del programa (participando como estudiantes de la especialidad), quienes integraron las actividades del programa a su plan de estudios y en sus propias aulas. Sus estudiantes constituyeron sus COA, quienes mostraron interés en espacios de diálogo horizontal en los que todos aportan, y entusiasmo a participar en proyectos concretos y localmente relevantes ("aprender haciendo, enseñar produciendo"): Estos docentes crearon y promovieron huertos escolares y familiares, así como módulos de producción diversificada bajo principios agroecológicos (p. ej., UBBJ Ayotlán, Jal.). Por otra parte, hubo un buen apoyo y colaboración con profesores e investigadores/as de centros públicos de investigación, el CIATEJ y el CIESAS Occidente, así como de otras universidades: la UDG desde sus distintos centros universitarios (CUCSUR, CUSur, CUCBA, CUValles) y el ITESO. También hubo articulación con otros tres programas y proyectos apoyados por el Conahcyt en la región, incluyendo un Programa Nacional de Investigación e Incidencia (Pronaii). A su vez, el grupo de especialistas ha incursionado fuertemente en varios planteles

educativos, incluyendo preparatorias (p. ej., CBTa) e institutos estatales (p. ej., Tecnológico Superior de Jalisco), o bien ha recibido a diversos grupos escolares en sus propios espacios de formación (p. ej., la Casa del Maíz en Tlajomulco, Jal.).

En cuanto a la articulación con instituciones del sector público, las/los especialistas desarrollaron una buena vinculación a nivel municipal, por medio de relaciones directas con ayuntamientos (p.ej., Cuautitlán de García Barragán, Autlán y El Limón, Jal.), delegaciones y juntas intermunicipales (p. ej., la Junta Intermunicipal de Medio Ambiente de Sierra Occidental y Costa, Jal.) que promueven iniciativas y programas en temas afines. En paralelo, se desarrollaron vínculos de colaboración con instancias y programas públicos federales, por lo general a través de su personal activo en territorio, p.ej., técnicos de Producción para el Bienestar en tres regiones, así como personal de CONANP (R. B. Sierra de Manantlán), INPI e INIFAP. Con relación al sector social, las/los especialistas de Jalisco y Nayarit colaboraron con diversas asociaciones, redes y otras organizaciones de la sociedad civil capacitando y fortaleciéndose en temas de manejo agroecológico, huertos comunitarios, organización comunitaria, gestión de recursos, comercio justo, formación política y educación, entre otros. 17 especialistas (65%) colaboraron con alguna organización de la sociedad civil en la organización y realización de talleres, cursos y eventos. Muchas iniciativas de base social son afines a procesos agroecológicos ya que representan formas activas de resistencia al modelo agroindustrial, los agronegocios extractivos y las políticas neoliberales (Toledo y Barrera-Bassols, 2017). Cabe señalar que si bien se crearon nuevas articulaciones durante el programa, ya preexistían varios vínculos con distintas organizaciones. El programa tan sólo coadyuvó a fortalecer esta red de articulaciones.

En nuestra experiencia, las redes de colaboración, tanto entre especialistas del programa como con otras instituciones, fueron fundamentales para arrancar, impulsar y escalar procesos agroecológicos en los territorios. Las redes de colaboración, que conectan nodos de experiencia y facilitan flujos de información, son uno de los factores con mayor potencial para propiciar transformaciones sustentables (Tuckey *et al.*, 2023) y agroecológicas (Anderson *et al.*, 2019).

Conclusiones

En esta revisión de un conjunto de procesos de IAP facilitados por estudiantes / especialistas encaminados a promover transiciones agroecológicas en distintos territorios, es notoria la participación de mujeres y los liderazgos femeninos en los planes de acción comunitarios, la diversidad de temas relevantes y transversales de investigación-acción para abordar la problemática identificada, y el interés por articularse y colaborar con otras/os especialistas, instituciones y actores territoriales para lograr sus objetivos.

Si bien estos resultados revelan aspectos interesantes sobre la configuración de procesos de IAP, p.ej., el perfil de las COA y redes de colaboración a un año de desarrollo, aquí no se analizan los factores determinantes de esta configuración, es decir, en qué medida influyen los diversos participantes del proceso, los componentes del programa y el contexto en esta configuración. Este artículo se limita a recopilar y caracterizar un grupo de experiencias, lo que aporta valiosos datos empíricos –pocas veces reportados– que se espera informen estudios más críticos y reflexivos del programa y de procesos IAP en general. A la luz de los resultados surgen muchas interrogantes en cuanto al papel de las/los especialistas, su experiencia educativa y territorial durante el programa, e incluso del programa mismo, en particular sus aciertos, retos y limitaciones. Corresponde, en subsecuentes estudios, analizar estos temas con mayor profundidad, especialmente para rescatar los aprendizajes del programa y fortalecer futuras ediciones.

Conflicto de intereses

El autor declara que la investigación se realizó en ausencia de cualquier relación comercial o financiera que pudiera interpretarse como un potencial conflicto de interés.

Financiamiento

PIES AGILES fue un proyecto financiado por Conahcyt y respaldado por el CIATEJ (F003-Proyecto 321324), con el apoyo interinstitucional operativo de ECOSUR, CIESAS y COLMICH, Centros Públicos de Investigación del Conahcyt.

Agradecimientos

Reconocemos la participación de las/los 26 estudiantes que cursaron y culminaron la especialidad, quienes con gran compromiso y dedicación –y de la mano de sus COA– se plantaron, entretejieron y afectaron en sus diversos territorios. Agradezco también al Programa 'Investigadoras e Investigadores por México' del Conahcyt, que me permitió acompañarlos/as, motivarlos/as, y aprender de, y con ellos/as.

Referencias

Altieri, M. A., & Nicholls, C. I. (2023). Agroecología, policrisis global y transformación de sistemas alimentarios. *Magna Scientia UCEVA, 3*(1), 125–131. https://doi.org/10.54502/msuceva.v3n1a12

Anderson, C. R., Bruil, J., Chappell, M. J., Kiss, C., & Pimbert, M.P. (2019). From Transition to Domains of Transformation: Getting to Sustainable and Just Food Systems through Agroecology. *Sustainability, 11*, 5272. https://doi.org/10.3390/su11195272

Astier, C. M., Argueta, Q., Orozco-Ramírez, Q., González, S. M. V., Morales, H. J., Gerritsen, P. R. W., Escalona, M., Rosado-May, F. J., Sánchez-Escudero, J., Martínez, T. S.

S., Sánchez-Sánchez, C. D., Arzuffi, B. R., Castrejón, A. F., Morales, H., Soto-Pinto, L, Mariaca, M. R., Ferguson, B., Rosset, P., Ramírez, T. H. M.,…Ambrosio, M. (2015). Historia de la Agroecología en México. *Agroecología, 10*(2), 9–17.

Colmenares E., A. M. (2012). Investigación-acción participativa: una metodología integradora del conocimiento y la acción. *Voces y Silencios. Revista Latinoamericana de Educación, 3*(1), 102–115. https://doi.org/10.18175/vys3.1.2012.07

Composta Media Teatro y Agroecología (31 diciembre de 2022). *Capítulo I. Conocernos y reconocernos. Serie video-documental 1er Encuentro Nacional Pies Ágiles* [Video]. YouTube. https://youtu.be/DoXz_IBm3JM?si=TUvRl_bvWWKI5u7A

Composta Media Teatro y Agroecología (18 de febrero de 2023). *Capítulo III 1er Encuentro Nacional Pies Ágiles Día 2 Comunidades de Aprendizaje Temático* [Video]. YouTube. https://youtu.be/lNzfgOYvqbc?si=Er7XQ099hF1Qgwkl

Del Toro-Romo, M. (2016). *Cultivando la educación agroecológica en la zona metropolitana de Guadalajara: un análisis participativo y desde la educación popular ambiental* [Tesis de Doctorado, Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Occidente]. Sistemas de Información de la Dirección de Información Académica ITESO. http://hdl.handle.net/11117/4040

Díaz, A. (29 de julio de 2021). *Un "cóctel tóxico" vive en niños de Autlán: CEDHJ*. UDGTV. https://udgtv.com/noticias/un-coctel-toxico-vive-en-ninos-de-autlan-cedhj/33475

Eakin, H., Connors, J. P., Wharton, C., Bertmann, F., Xiong, A., & Stoltzfus, J. (2017). Identifying attributes of food system sustainability: Emerging themes and consensus. *Agriculture and Human Values, 34*(3), 757–773. https://doi.org/10.1007/s10460-016-9754-8

El-Sayed, S., & Cloutier, S. (2022). Weaving disciplines to conceptualize a regenerative food system. *Journal of Agriculture, Food Systems, and Community Development, 11*(2), 1–29. https://doi.org/10.5304/jafscd.2022.112.003

FAO, FIDA, OMS, PMA, & UNICEF. (2021). *El estado de la seguridad alimentaria y la nutrición en el mundo 2021. Transformación de los sistemas alimentarios en aras de la seguridad alimentaria, una nutrición mejorada y dietas asequibles y saludables para todos*. FAO. https://doi.org/10.4060/cb4474es

Flores-Parra, C. C. (2019). *Respuestas ecofeministas al crecimiento de la agroindustria en el sur de Jalisco. El caso de la red de defensoras Jalisco, en el municipio de Zapotlán el Grande* [Tesis de Maestría, Universidad Autónoma de Chapingo]. https://repositorio.chapingo.edu.mx/handle/123456789/1966

Gerritsen, P. R. W., y Morales Hernández, Jaime. (2009). Experiencias de agricultura sustentable y comercio justo en el Estado de Jalisco, occidente de México. *Revista Pueblos y Fronteras digital, 4*(7), 187–226. https://doi.org/10.22201/cimsur.18704115e.2009.7.188

Gliessman, S. (2016) Transforming food systems with agroecology. *Agroecology and Sustainable Food Systems, 40*(3): 187–189. https://doi.org/10.1080/21683565.2015.1130765

Gobierno de México. (2023). *Agroecología y la sustitución de glifosato*. Recuperado el 16 de septiembre de 2023 de https://www.gob.mx/semarnat%7Cagroecologiayglifosato

Guzmán Luna, A. & Ferguson, B. (2021). Aprendizaje transformador en la territorialización de la agroecología. *Sociedad y Ambiente, 24*, 1–31. https://doi.org/10.31840/sya.vi24.2283

Haraway, D. (1988). Situated Knowledges: The Science Question in Feminism and the Privilege of Partial Perspective. *Ferminist Studies, 14*(3), 575–599. https://doi.org/10.2307/3178066

Juárez, N. H. (2019). Reconfiguración agroecológica en Jalisco: Estrategias para reactivar la soberanía alimentaria y las economias locales. *Brazilian Journal of Development, 5*(6), 6107–6121. https://doi.org/10.34117/bjdv5n6-121

Macías-Macías, A., & Sevilla-García, Y. L. (2021a). Kuautlali, parcela para agricultura sustentable. Respuesta ante depredación de la naturaleza en el Sur-Jalisco, México. *Revista agroalimentaria, 27*(52), 155–176.

Macías-Macías, A., & Sevilla García, Y. L. (2021b). Naturaleza vulnerada. Cuatro décadas de agricultura industrializada de frutas y hortalizas en el sur de Jalisco, México (1980–2020). *EntreDiversidades, 8*(1,16), 64–91. https://doi.org/10.31644/ED.V8.N1.2021.A03

Madera-Pacheco, J. A., & de Dios-Hernández, D. (2021). La producción campesina de alimentos en contextos de disputa por los recursos en los municipios de Jala y Santiago Ixcuintla, Nayarit, México. *EntreDiversidades, 8*(1,16), 119–140. https://doi.org/10.31644/ED.V8.N1.2021.A05

McCune, N., Rosset, P. M., Cruz Salazar, T., Saldívar Moreno, A. & Morales, H. (2017) Mediated territoriality: rural workers and the efforts to scale out agroecology in Nicaragua. *The Journal of Peasant Studies, 44*(2), 354–376. https://doi.org/10.1080/03066150.2016.1233868

Méndez, V. E., Bacon, C. M., & Cohen, R. (2013). Agroecology as a Transdisciplinary, Participatory, and Action-Oriented Approach. *Agroecology and Sustainable Food Systems, 37*(1), 3–18. https://doi.org/10.1080/10440046.2012.736926

Mora-Ardila, F. & Bullen-Aguiar, A. A. (2020). *Fortalecimiento de la Investigación Acción Participativa como marco metodológico para la acción ambiental en la Licenciatura en Ciencias Ambientales*. Repositorio de Innovación Educativa. https://www.innovacioneducativa.unam.mx:8443/jspui/handle/123456789/6751

Morales-Hernández, J., Alvarado-Castro, E. R. & Vélez-Lucero, L. (2014). Los procesos de construcción de conocimiento agroecológico y la transición hacia agricultura más sustentable en Jalisco, México. *Memorias del IX Congreso*

Latinoamericano de Sociología Rural. Asociación Latinoamericana de Sociología Rural. http://hdl.handle.net/11117/2155

Nicklay, J. A., Perrone, S. V., & Wauters, V. M. (2023). Becoming agroecologists: A pedagogical model to support graduate student learning and practice. *Frontiers in Sustainable Food Systems, 7*, 770862. https://doi.org/10.3389/fsufs.2023.770862

Nyéléni. (diciembre 2016). Declaración del Foro Internacional de Agroecología 2015. *Boletín Nyéléni, 28*, 2. https://viacampesina.org/es/wp-content/uploads/sites/3/2016/12/Nyeleni_Newsletter_Num_28_ES.pdf

PNUMA, FAO & PNUD. (2023). *Rethinking Our Food Systems: A Guide for Multi-Stakeholder Collaboration*. PNUMA, FAO y PNUD. https://doi.org/10.4060/cc6325en

Red de Mujeres en Agroecología y Economía Solidaria (s.f.). *Publicaciones* [Página Facebook]. Facebook. Recuperado el 12 de octubre de 2023 de https://web.facebook.com/INFOREDMAES

Ritchie, H., Rosado, P. & Roser, M. (2022). *Environmental impacts of food production. Our World in Data*. Recuperado el 10 de agosto de 2023 de https://ourworldindata.org/environmental-impacts-of-food

Rodríguez, D. (16 de agosto de 2022). En El Mentidero intercambian experiencias en torno a los huertos escolares y sus beneficios. *Letra Fría*. https://letrafria.com/en-el-mentidero-intercambian-experiencias-en-torno-a-los-huertos-escolares-y-sus-beneficios/

Rojas-Ramírez, J. P., & Vallejo-Rodríguez, R. (2017). Impactos ambientales por las actividades agropecuarias de Jalisco, México: primera década del siglo XXI. *Estudios Ambientales, 5*(1), 3–28. https://doi.org/10.47069/estudios-ambientales.v5i1.727

Sánchez, D., Sánchez, L. & Tejeda, Y. (16 de diciembre de 2022). La necesidad de miradas de género e intergeneracionales en la agroecología. *Gaceta Agroecológica Teocintle*. http://teocintle.cusur.udg.mx/la-necesidad-de-miradas-de-genero-e-intergeneracionales-en-la-agroecologia

Toledo, V. M., & Barrera-Bassols, N. (2017). Political Agroecology in Mexico: A Path toward Sustainability. *Sustainability, 9*(2), 268. https://doi.org/10.3390/su9020268

Tuckey, A. J., Harmáčková, Z. V., Peterson, G. D., Norström, A. V., Moore, M.-L., Olsson, P., Lam, D. P. M., y Jiménez-Aceituno, A. (2023). What factors enable social-ecological transformative potential? The role of learning practices, empowerment, and networking. *Ecology & Society, 28*(2), 27. https://doi.org/10.5751/ES-14163-280227

ET
CIENCIA Y SOCIEDAD

CONAHCYT
CONSEJO NACIONAL DE HUMANIDADES CIENCIAS Y TECNOLOGÍAS

CIATEJ