

TRANSDISCIPLINARIOS: CIENCIA Y SOCIEDAD

Número especial: 50 años del CIATEJ: Ciencia, Tecnología y Sociedad



Ciencia y Tecnología

Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación

CIATEJ

Aniversario





ENFOQUES TRANSDISCIPLINARIOS: CIENCIA Y SOCIEDAD, volumen 4, no. 2, julio – diciembre 2026, es una publicación digital semestral editada y difundida por el Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco A. C. Av. Normalistas 800, Colinas de La Normal, C. P. 44270, Guadalajara, Jal., Tel. (33)3345-5200 ext. 1418 y 2007. <https://revistaenfoques.ciatej.mx/>, revistaenfoques@ciatej.mx. Editores responsables: Dr. Luis Alfonso Mojica Contreras y Dr. Gustavo Adolfo Castillo Herrera. Reserva de derechos al Uso Exclusivo No. 04-2024-053011485500-102, ISSN 3061-709X, ambos otorgados por Instituto Nacional del Derecho de Autor. Reponsable de la última actualización de este número: Departamento de Producción y cuidado editorial, Lic. José Enrique Rentería Méndez, Av. Normalistas 800, Colinas de La Normal, C. P. 44270, Guadalajara, Jal., fecha de última modificación, julio de 2026.



DIRECTORIO

DIRECTORA GENERAL DE LA REVISTA

Dra. Lorena Amaya Delgado
lamaya@ciatej.mx

EDITORES EN JEFE

Dr. Luis Alfonso Mojica Contreras
lmojica@ciatej.mx

Dr. Gustavo Adolfo Castillo Herrera
gcastillo@ciatej.mx

EDITORAS COORDINADORAS

Dra. Anne Christine Gschaedler Mathis
agschaedler@ciatej.mx

Dra. Eugenia del Carmen Lugo Cervantes
elugo@ciatej.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

Dr. Yair Romero Romero
yromero@ciatej.mx

Biotecnología Médica y Farmacéutica

Dra. Alba Adriana Vallejo
avallejo@ciatej.mx

Unidad De Servicios Analíticos y Metrológicos (Usam)

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

Subsede Sureste

Dra. Teresa del Rosario Ayora Talavera
tayora@ciatej.mx

Subsede Noreste

Dr. Kelvin Saldaña Villanueva
ksaldana@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
mpsdaids@gmail.com

Universidad Autónoma de Guerrero (UAGro)

Dr. Martín Fierro Leyva
martinfierroleyya@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

9 **Carta editorial**



50 años del CIATEJ: Ciencia, Tecnología y Sociedad

15 **Fortalecimiento de capacidades científicas de biotecnología vegetal en fitoquímica y biocompuestos: 10 años de avances**

Soledad García-Morales, Janet María León-Morales

33 **Biotecnología microbiana y enzimática para la degradación de plásticos**

Leticia Casas Godoy, Jesús Alberto Urbar Ulloa, Sandra Lizbeth Ramírez Pérez, Juan Raúl Chavira Ontiveros, Adriana Belén Castillejos Pérez, Samadhi Nibbana Rodríguez Zavala, María Camila Sinisterra Sierra, Andrés Méndez Zamora, Amador Roberto Campos Valdez

47 **Métodos de resiliencia vegetal: aliados biotecnológicos para incrementar la defensa de las plantas ante fitopatógenos**

Elizabeth Sánchez Jiménez, Rubén Antonio Olivares Terrones, Eduardo Valdés Velarde, Evangelina Esmeralda Quiñones-Aguilar, Gabriel Rincón Enríquez

69 **Colaboración internacional e innovación biotecnológica en aguacate: un proyecto emblemático del CIATEJ**

Rafael Urrea López, Julio Armando Massange Sánchez, Alejandro Pereira Santana, Antonia Gutiérrez Mora

83 ***Jatropha curcas*: el cultivo que impulsó la biotecnología vegetal en la subsele sureste del CIATEJ**

Guadalupe López-Puc, Alberto Uc-Vázquez, Julia del Socorro Cano-Sosa, Javier Mora-Macías, Sergio Valdivia-Rivera, Gilbert José Herrera-Cool, Carlos Góngora-Canul, Erick Alberto Aguilera-Cauich, Gregorio Martínez-Sebastián

103 **Avances en la extracción y purificación de pigmentos, alcaloides y aceites esenciales de importancia económica en México**

Eugenia Lugo Cervantes, Gustavo Adolfo Castillo Herrera, Jorge Alberto García Fajardo

121 **Ladrillos verdes: monitoreo y reducción de las emisiones atmosféricas en hornos de ladrillo**

Jorge del Real-Olvera, Sergio Alonso-Romero, Leonel Hernández-Mena, José Eduardo Frías-Chimal

135 **Preservando la esencia de una receta tradicional de cochinita pibil de Yucatán**

Sara Berenice Sánchez Soto, Alfonso Álvarez Sánchez, Ingrid Mayanin Rodríguez Buenfil, Manuel Octavio Ramírez Sucre



- 147 **Estrategias multidisciplinares para fortalecer cadenas productivas del Pacífico Sur: desarrollo científico, incidencia territorial, adaptabilidad y resiliencia**
Alena Urdiales-Kalinchuk, Luis Alberto Olvera-Vargas, Yair Romero-Romero, Anne Gschaedler
- 179 **Modelos educativos alternativos para la formación en agroecología y soberanía alimentaria: las Especialidades del CIATEJ**
Alan Heinze, Georgina Alethia Sánchez Reyes
- 205 **Prototipos de Investigación-Acción Comunitaria: experiencias de ciencia de incidencia con comunidades de Guerrero**
Jesús Manuel Mancillas Paredes, Lizeth Nayeli Rodríguez Flores, Germán Bautista García, Román Alejandro Hernández Rivas, Martha Elena López Estrada, Simón Cabello García, Georgina Alethia Sánchez-Reyes
- 221 **Aportes de la antropología social a los sistemas alimentarios: una trayectoria de investigación desde el CIATEJ**
Flores López María de Lourdes^{1}*
- 237 **Urdimbre territorial: diagnóstico participativo de los sistemas agroalimentarios en comunidades zapotecas de Oaxaca**
Gricelda Juárez-Luis
- 255 **BIOTALLER ¡A conciencia!: proyecto emblemático de divulgación científica del CIATEJ**
Jesús Fuentes González^{1}*
- 271 **Del laboratorio a la innovación: el licenciamiento que abrió puerta al talento joven**
Sara Berenice Sánchez Soto, Carlos Omar Aguilar Navarro, Alejandra Navarro Hurtado, Norma Morales Hernández, Evaristo Javier Urzúa Esteva, Manuela González
- 283 **La transdisciplina del laboratorio a las comunidades**
Joaliné Pardo-Núñez, Natasha Mylena Quevedo-Castañón



Carta editorial

Sean bienvenidas y bienvenidos a *Enfoques Transdisciplinarios: Ciencia y Sociedad*, la revista digital del Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco (CIATEJ). Enfoques Transdisciplinarios: Ciencia y Sociedad se plantea como un instrumento de análisis y discusión inter y transdisciplinario sobre los sistemas agroalimentarios, salud, medio ambiente, tecnología y ciencias sociales.

Celebrar los cincuenta años de una institución científica y tecnológica es mucho más que conmemorar un aniversario. Es reconocer una historia construida por generaciones de investigadoras e investigadores, personal técnico, estudiantes, comunidades, sectores productivos e instituciones que han compartido una visión hacia la excelencia. El conocimiento adquiere su mayor valor cuando contribuye a comprender la realidad y a transformarla en beneficio de la sociedad.

Con gran satisfacción presentamos este número especial de *Enfoques Transdisciplinarios: Ciencia y Sociedad*, dedicado a los **50 años del Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco, A.C. (CIATEJ)**. Esta edición reúne una selección de contribuciones que reflejan la diversidad de áreas del conocimiento, el rigor científico y la vocación de impacto social que han distinguido al Centro desde su fundación. Más que un recorrido histórico, los trabajos aquí reunidos ofrecen una mirada hacia el presente y el futuro de una institución que ha sabido evolucionar junto con los desafíos científicos, tecnológicos, ambientales y sociales de México.

A lo largo de cinco décadas, el CIATEJ ha consolidado un modelo de investigación científica y tecnológica que trasciende las fronteras disciplinarias. Sus contribuciones abarcan desde la biotecnología vegetal, microbiana y alimentaria hasta la innovación tecnológica, la transferencia de conocimiento, la formación de recursos humanos, la divulgación del conocimiento y el trabajo colaborativo con comunidades y sectores productivos. Esta diversidad no constituye una simple suma de especialidades; representa una manera de entender la ciencia como un esfuerzo colectivo, orientado a resolver problemas complejos mediante la integración de múltiples saberes.

Los artículos que conforman este número especial ilustran esa visión. La formación de nuevas generaciones de profesionales comprometidos con la sostenibilidad ocupa un lugar central mediante el trabajo *Modelos educativos alternativos para la formación en agroecología y soberanía alimentaria: las Especialidades del CIATEJ*, donde se destaca la importancia de construir procesos educativos que vinculen el conocimiento científico con los saberes locales, fortaleciendo capacidades para enfrentar los desafíos contemporáneos de la producción de alimentos y el desarrollo rural.

La riqueza del patrimonio alimentario mexicano también encuentra un espacio relevante en este volumen. El artículo *Preservando la esencia de una receta tradicional de Cochinita Pibil de Yucatán* demuestra que la ciencia puede desempeñar un papel fundamental en la conservación de las tradiciones gastronómicas, aportando herramientas para preservar la autenticidad de los alimentos sin perder de vista su valor cultural e identitario.

El carácter global de la investigación científica se refleja en *Colaboración internacional e innovación biotecnológica en aguacate: un proyecto emblemático del CLATEJ*, donde la cooperación internacional se presenta como un elemento indispensable para fortalecer la innovación, generar soluciones tecnológicas y consolidar redes de conocimiento que trascienden fronteras.

Desde una perspectiva complementaria, *Aportes de la antropología social a los sistemas alimentarios: una trayectoria de investigación desde el CLATEJ* recuerda que los sistemas alimentarios no pueden comprenderse únicamente desde la biología o la tecnología. La alimentación constituye un fenómeno profundamente social y cultural, cuya comprensión exige el diálogo entre las ciencias naturales, las ciencias sociales y las humanidades, reafirmando el compromiso transdisciplinario que da identidad a nuestra revista.

La construcción de una cultura científica requiere también establecer puentes entre la investigación y la ciudadanía. En este sentido, *BIOTALLER ¿A conciencia! como proyecto emblemático de divulgación científica del CLATEJ* pone de manifiesto la importancia de acercar el conocimiento a públicos diversos mediante estrategias participativas que promuevan el pensamiento crítico, la apropiación social de la ciencia y el fortalecimiento de vocaciones científicas.

La innovación adquiere una dimensión particularmente significativa cuando se traduce en beneficios concretos para la sociedad. El artículo *Del laboratorio a la innovación: el licenciamiento que abrió puerta al talento joven* ilustra cómo la transferencia tecnológica y el licenciamiento pueden convertirse en mecanismos efectivos para impulsar el emprendimiento, favorecer la inserción de jóvenes profesionales y generar valor económico y social a partir de los resultados de investigación.

La biotecnología vegetal ocupa un lugar destacado en varios trabajos de este número. *Métodos de resiliencia vegetal: aliados biotecnológicos en defensa de las plantas* presenta estrategias innovadoras para fortalecer la capacidad adaptativa de los cultivos frente a los retos derivados del cambio climático, las enfermedades y otros factores de estrés. En la misma línea, *Jatropha curcas: el cultivo que impulsó la biotecnología vegetal en la subsele sureste del CLATEJ* recupera una experiencia emblemática que evidencia cómo una línea de investigación puede convertirse en plataforma para el desarrollo de capacidades científicas y tecnológicas regionales.

Esta visión se fortalece con *Fortalecimiento de capacidades científicas de biotecnología vegetal en fitoquímica y biocompuestos: 10 años de avances*, trabajo que documenta la consolidación de infraestructura, talento humano y conocimiento especializado, elementos esenciales para mantener una investigación competitiva y con impacto nacional e internacional.

La investigación científica también encuentra su sentido en la construcción de soluciones para los problemas ambientales que enfrenta nuestra sociedad. En este contexto, *Biología microbiana y enzimática para la degradación de plásticos* aborda uno de los desafíos más urgentes de nuestro tiempo mediante alternativas biotecnológicas que contribuyen a la economía circular y a la mitigación de la contaminación. De manera complementaria, *Ladrillos Verdes: Monitoreo y Reducción de las Emisiones Atmosféricas en Hornos de Ladrillo* demuestra cómo la colaboración entre ciencia, tecnología, industria y comunidades puede traducirse en beneficios ambientales, económicos y de salud pública.

La generación de conocimiento con potencial de aplicación industrial también se expresa en *Compuestos de importancia económica en México: avances de extracción y purificación en el CIATEJ*, donde se presentan desarrollos que fortalecen el aprovechamiento sostenible de los recursos naturales y amplían las posibilidades de innovación en diversos sectores productivos.

Especial atención merece *ADESUR; Transdisciplina del laboratorio a las comunidades*, un trabajo que sintetiza de manera ejemplar el espíritu que inspira este número especial. La investigación alcanza su máxima relevancia cuando establece relaciones horizontales con los actores sociales, reconoce los conocimientos locales y construye soluciones compartidas para responder a problemáticas territoriales complejas.

Finalmente, *Estrategias multidisciplinares para fortalecer cadenas productivas del Pacífico Sur: desarrollo científico, incidencia territorial, adaptabilidad y resiliencia* pone de relieve que el desarrollo regional requiere enfoques integrales donde converjan la investigación científica, la innovación tecnológica, la participación comunitaria y las políticas públicas. Este artículo constituye una muestra clara de la evolución del CIATEJ hacia modelos de investigación orientados por la incidencia social y el desarrollo sostenible.

En conjunto, las contribuciones reunidas en este volumen permiten apreciar la amplitud de las capacidades científicas y tecnológicas desarrolladas por el CIATEJ durante estos 50 años, pero también evidencian una transformación profunda en la manera de concebir la investigación. Hoy, los grandes desafíos de nuestra época —la seguridad alimentaria, el cambio climático, la sostenibilidad ambiental, la conservación de la biodiversidad, la innovación responsable y la equidad social— demandan enfoques que integren disciplinas, instituciones y sectores de la sociedad. La ciencia contemporánea requiere diálogo, colaboración y compromiso con el bienestar colectivo.

Desde *Enfoques Transdisciplinarios: Ciencia y Sociedad*, nos honra dedicar este número especial a una institución cuya trayectoria ejemplifica la capacidad de una institución como el CIATEJ para generar conocimiento y aplicarlo, formar talento humano, fortalecer la innovación y contribuir al desarrollo del país. Asimismo, reconocemos el trabajo de todas las personas que, a lo largo de estas cinco décadas, han hecho posible que el CIATEJ se consolide como un referente nacional e internacional en investigación, desarrollo tecnológico y vinculación con la industria y la sociedad.

Confiamos en que las páginas que siguen no solo permitan conocer los logros alcanzados, sino también inspiren nuevas colaboraciones, nuevas preguntas y nuevos proyectos que continúen fortaleciendo el vínculo entre ciencia, tecnología y sociedad. Celebrar 50 años representa mirar con orgullo el camino recorrido; al mismo tiempo, constituye una invitación a imaginar los próximos cincuenta con la certeza de que el conocimiento seguirá siendo una herramienta indispensable para construir un futuro más justo, sostenible e incluyente.

A nombre del Comité Editorial, expresamos nuestro reconocimiento a las autoras y los autores que hicieron posible esta edición conmemorativa, así como a las personas dictaminadoras, editoras y colaboradoras cuyo trabajo garantiza la calidad académica de la revista. Invitamos a nuestras lectoras y lectores a recorrer este número especial como testimonio de una historia de excelencia científica, tecnológica, compromiso social y permanente vocación por transformar el conocimiento en bienestar para México.

Dra. Lorena Amaya Delgado
Dra. Anne C. Gschaedler Mathis
coordinadoras de número



**50 AÑOS DEL CIATEJ:
CIENCIA, TECNOLOGÍA Y SOCIEDAD**





Fortalecimiento de capacidades científicas de biotecnología vegetal en fitoquímica y biocompuestos: 10 años de avances

Strengthening Scientific Capacities in Plant Biotechnology, Phytochemistry, and Biocomposites: 10 Years of Progress

Soledad García-Morales^{1*}, Janet María León-Morales²

¹ Departamento de Biotecnología Vegetal, SECIHTI-Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco, Zapopan, México.

² Coordinación Académica Región Altiplano Oeste, Universidad Autónoma de San Luis Potosí, Salinas de Hidalgo, México.

* Autor de correspondencia: smorales@ciatej.mx

Palabras clave:

biotecnología vegetal, fitoquímica, biocompuestos, nanobiotecnología agrícola, agricultura sostenible

Keywords:

plant biotechnology, phytochemistry, biocomposites, agricultural nanobiotecnology, sustainable agriculture

Resumen

Durante el periodo 2016–2026 del proyecto “Fortalecimiento de capacidades científicas de biotecnología vegetal en fitoquímica y biocompuestos”, se articularon esfuerzos para establecer la línea de investigación en fitoquímica y biocompuestos de la Unidad de Biotecnología Vegetal del CIATEJ. El objetivo fue documentar los principales avances en investigación, innovación, formación de recursos humanos y vinculación científica. Se generaron 130 productos científicos (artículos, capítulos, solicitudes de patente y actividades de difusión y divulgación), se participó en 19 proyectos financiados por organismos públicos y privados, se atendió a 59 estudiantes externos y se formó a estudiantes de posgrado. Además, se presentaron tres solicitudes de patente relacionadas con nanopartículas de selenio y bioestimulantes agrícolas, lo que fortalece el desarrollo tecnológico. Las capacidades institucionales en biotecnología vegetal se fortalecieron, generando un impacto científico, tecnológico y agroalimentario mediante la innovación biotecnológica, la formación de capital humano especializado y el establecimiento de redes de colaboración.

Abstract

From 2016 to 2026, as part of the project “Strengthening Scientific Capacities in Plant Biotechnology, Phytochemistry, and Biocomposites,” efforts were coordinated to establish a research line in phytochemistry and biocomposites within CIATEJ’s Plant Biotechnology Unit. The objective was to document the main advances in research, innovation, human resources training, and scientific collaboration. A total of 130 scientific outputs (articles, book chapters, patent applications, and outreach and dissemination activities) were produced; the unit participated in 19 projects funded by public and private organizations; 59 external students were mentored; and graduate students were trained. In addition, three patent applications related to selenium nanoparticles and agricultural biostimulants were filed, strengthening technological development. Institutional capacities in plant biotechnology were strengthened, generating a scientific, technological, and agri-food impact through biotechnological innovation, the development of specialized human capital, and the establishment of collaborative networks.

Recibido: 21 de mayo 2026
Revisado: 28 de junio 2026
Aceptado: 07 de julio 2026
Publicado: 01 de agosto 2026



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 México, el fortalecimiento de la investigación científica y tecnológica ha sido impulsado mediante políticas públicas orientadas a consolidar capacidades nacionales de innovación, la formación de capital humano y la transferencia de conocimiento. Programas estratégicos como el Programa Especial de Ciencia, Tecnología e Innovación (PECiTI 2014-2018) destacaron la necesidad de incrementar la generación y aplicación del conocimiento en áreas prioritarias para el desarrollo nacional, promoviendo la vinculación entre instituciones de educación superior, centros de investigación, sectores productivos y la sociedad (CONACYT, 2016). Asimismo, las iniciativas dirigidas a jóvenes investigadores y al fortalecimiento de líneas estratégicas de investigación contribuyeron a consolidar ecosistemas científicos más integrados, interdisciplinarios y orientados a la resolución de problemas complejos (CONACYT, 2014).

Como parte del Plan Nacional de Desarrollo (PND 2013-2018), la H. Cámara de Diputados del Congreso de la Unión autorizó al CONACYT a crear nuevas plazas de investigación, denominadas Cátedras CONACYT. De esta manera, en 2014 el CONACYT lanzó la primera convocatoria para que instituciones de educación superior, centros públicos de investigación, así como otras instituciones nacionales presentaran proyectos con la finalidad de fortalecer su capacidad científica, tecnológica y de innovación mediante la incorporación, individual o en grupo, de jóvenes investigadores. La selección de los investigadores se realizó mediante un concurso cuyos lineamientos fueron aprobados por la Junta de Gobierno del CONACYT (CONACYT, 2014).

En 2016 surgió la tercera convocatoria “Cátedras CONACYT para jóvenes investigadores”, en la que se estableció que los proyectos institucionales deberían estar dirigidos a la creación, desarrollo o consolidación de una línea de generación o aplicación del conocimiento mediante la incorporación de jóvenes investigadores (CONACYT, 2016). El objetivo de las Cátedras CONACYT fue comisionar a jóvenes investigadores en las instituciones para realizar investigación y formar capital humano mediante el desarrollo de un proyecto institucional.

El proyecto “Fortalecimiento de capacidades científicas de biotecnología vegetal en fitoquímica y biocompuestos” fue aprobado en la convocatoria 2016 y surgió como una estrategia institucional para consolidar una nueva línea de investigación enfocada en el estudio integral de fitoquímicos y biocompuestos de interés biotecnológico. Esta línea ha buscado integrar capacidades analíticas, biotecnológicas y multidisciplinarias para el aislamiento, la caracterización y la evaluación funcional de compuestos bioactivos provenientes de especies vegetales con potencial agrícola, alimentario, farmacéutico y ambiental. Asimismo, el proyecto ha promovido la articulación entre la investigación básica y la aplicada, fortaleciendo la vinculación con los sectores académicos, productivos y sociales.

La creación de esta línea de investigación ha permitido consolidar la infraestructura científica, fortalecer las redes de colaboración nacionales e internacionales y formar recursos humanos especializados en áreas relacionadas con la fitoquímica, la metabolómica, el cultivo de tejidos vegetales y la biotecnología aplicada. De igual manera, ha contribuido al desarrollo de metodologías innovadoras para la identificación de compuestos bioactivos y la evaluación de sus aplicaciones potenciales en distintos sectores estratégicos. Estos avances reflejan la importancia de construir plataformas científicas interdisciplinarias capaces de responder a problemáticas emergentes relacionadas con la sostenibilidad, la salud, la seguridad alimentaria y el aprovechamiento de los recursos naturales.

El presente artículo tiene como objetivo documentar los principales avances científicos, tecnológicos y formativos alcanzados durante diez años de desarrollo de esta línea de investigación en la Unidad de Biotecnología Vegetal del CIATEJ. Para ello, se presenta una revisión de los antecedentes institucionales, de las estrategias implementadas para el fortalecimiento de las capacidades científicas, de las principales contribuciones en investigación y en la formación de recursos humanos, así como del impacto generado en términos de innovación, vinculación y producción científica.

Materiales y Métodos

El trabajo integra las actividades desarrolladas en el marco del proyecto, considerando indicadores de producción científica, formación académica, consolidación de infraestructura y generación de redes de colaboración. Los resultados permiten identificar el papel estratégico que esta línea de investigación ha desempeñado en la consolidación de capacidades institucionales en biotecnología vegetal y fitoquímica, así como su contribución al desarrollo de conocimiento aplicado y a la formación de nuevas perspectivas de investigación orientadas al aprovechamiento sostenible de los recursos vegetales.

Resultados y Discusión

Inicio y evolución del proyecto

El proyecto “Fortalecimiento de capacidades científicas de biotecnología vegetal en fitoquímica y biocompuestos” fue aprobado en la convocatoria para instituciones 2016, en el tema del PECITI “Desarrollo tecnológico”, en el reto “Desarrollo de la biotecnología” y en la modalidad de grupo, en la que se solicitaron tres perfiles. Uno de los principales objetivos de la incorporación de tres investigadoras en la unidad de Biotecnología Vegetal fue la creación de la línea de investigación “Fitoquímica y

biocompuestos”, iniciada en 2018. El grupo estuvo integrado por la Dra. Janet María León Morales, la Dra. Cecilia Guízar González y la Dra. Soledad García Morales.

Los primeros proyectos aprobados se dieron en 2018, uno en la convocatoria 2017 “Proyectos de desarrollo científico para atender problemas nacionales” del fondo institucional del CONACYT (FOINS). Este proyecto, a cargo de la Dra. Janet León Morales, titulado “Agentes antifúngicos provenientes de plantas para el control de *Sphaceloma perseae* Jenkins en aguacate”, fue sumamente importante para la adquisición de equipo como un rotavapor, una liofilizadora y la cristalería para fitoquímica. En este mismo año se aprobó el proyecto “Factibilidad técnica comercial del aprovechamiento de *P. volubilis* y *P. pennienrvia* en México”, como parte del programa de estímulos a la investigación, desarrollo tecnológico e innovación (PEI) del CONACYT, en la convocatoria 2018; dicho proyecto estuvo a cargo de la Dra. Soledad García. El proyecto grupal sufrió una reducción de personal en 2021, por lo que en 2024 se solicitó su ajuste a un proyecto individual.

Producción científica y actividades de investigación humanística

Para la integración y sistematización de la producción científica del proyecto, se consideró la información pública registrada en ORCID, Google Scholar y ResearchGate de las integrantes del proyecto de octubre de 2016 a mayo de 2026; el principal criterio de búsqueda fue la adscripción a CONACYT o SECHITI junto con el Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco, garantizando que la productividad se haya realizado en el CIATEJ. Se incluyeron artículos científicos, capítulos de libro, libros, coordinación editorial y publicaciones de difusión y divulgación como artículos, memorias en extenso, páginas web, etc., lo que sumó un total de 130 productos durante el periodo analizado (Figura 1).

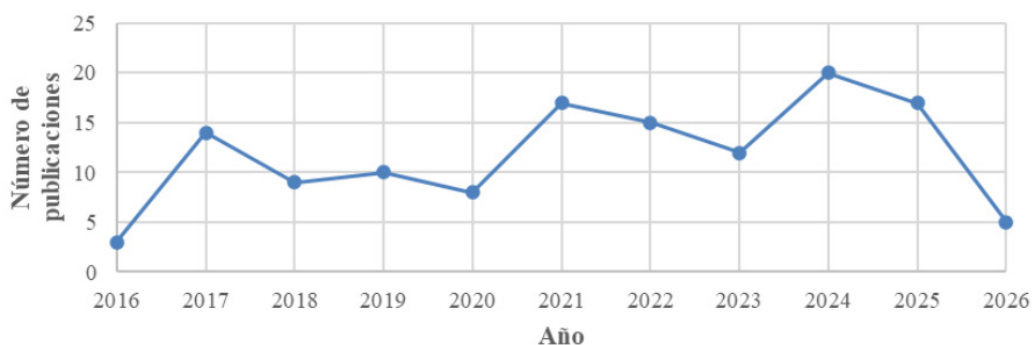


Figura 1. Sumatoria de la producción científica de las tres integrantes del proyecto “Fortalecimiento de capacidades científicas de biotecnología vegetal en fitoquímica y biocompuestos”

Fuente: Elaboración propia con información del ORCID, Google Scholar y ResearchGate

El análisis evidencia una línea de investigación en consolidación que incluye una relación directa y complementaria con otras temáticas, como la biotecnología vegetal, la nanobiotecnología agrícola, los bioestimulantes, la microbiología agrícola y las aplicaciones de nanopartículas de selenio en sistemas agroalimentarios. La producción científica muestra, además, una fuerte orientación hacia la agricultura sostenible, la biofortificación, la protección vegetal y la valorización de los recursos biológicos. Además, se cuenta con publicaciones científicas representativas que evidencian la generación de conocimiento interdisciplinario orientado al aprovechamiento sostenible de compuestos bioactivos de origen vegetal, con impacto en la agricultura, la biotecnología, la salud y la sostenibilidad ambiental (Figura 2).

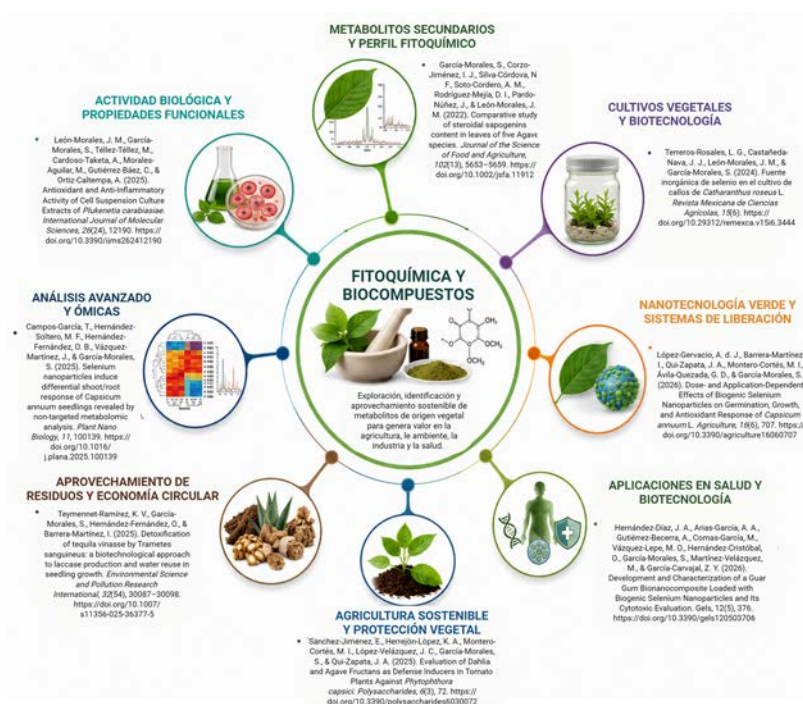


Figura 2. Integración de la producción científica en la línea de investigación en fitoquímica y biocompuestos con aplicaciones biotecnológicas, agrícolas y nutraceuticas

Fuente: Elaboración propia. Created in <https://BioRender.com>

Actividades de fortalecimiento y consolidación de la comunidad

De enero de 2017 a mayo de 2026 se recibió a 59 estudiantes externos, de los cuales 13 realizaron tesis; 26, prácticas profesionales; cinco, verano de investigación; 13, estadías o residencias; un servicio social y una estancia posdoctoral. Los primeros estudiantes que se sumaron al proyecto fueron de pregrado para realizar prácticas profesionales y tesis de licenciatura; posteriormente, se recibieron estudiantes de residencias, de posgrados externos para estancias. El mayor número de estudiantes

recibidos proviene de la Universidad de Guadalajara, seguido del ITESO, del Tecnológico de México en sus distintos institutos a nivel nacional, de la Universidad Politécnica de Sinaloa y de la Universidad del Valle de México (Figura 3a). También se ha atendido a un número reducido de estudiantes de la Universidad Veracruzana, del Tecnológico de Monterrey, del Colegio de Postgraduados, de la Universidad de los Mochis, del Instituto Tecnológico Superior de Ciudad Hidalgo, de la Universidad Politécnica de Pachuca, del Instituto Tecnológico de Tepic, de la Universidad Autónoma de Baja California, de la Universidad Tecnológica de la Huasteca Hidalguense, de la Universidad Tecnológica de Tecamachalco y de la Universidad del Papaloapan.

También se han realizado esfuerzos para participar activamente en la formación de estudiantes de posgrado. Desde el inicio del proyecto hasta mayo de 2026, se graduaron cuatro estudiantes de maestría y dos de doctorado, ya sea como dirección o codirección. Un número similar de estudiantes está en proceso de formación (Figura 3b). De los estudiantes de maestría, tres de ellos se graduaron como maestros en ciencias de la Floricultura; mientras que los de doctorado fueron del posgrado en ciencias en Innovación Biotecnológica.

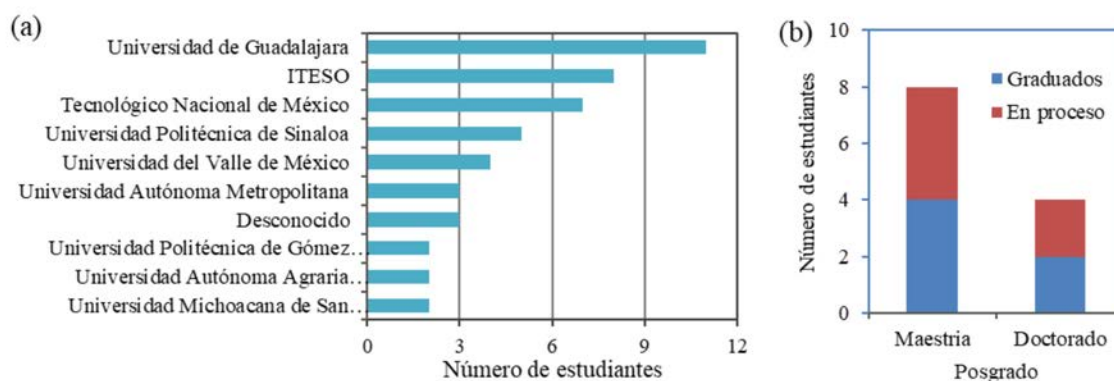


Figura 3. Estudiantes atendidos de enero de 2017 a mayo de 2026. (a) Número de estudiantes externos por institución. (b) Estudiantes de posgrados propios

Fuente: Elaboración propia

La información presentada evidencia una actividad continua y diversa de formación académica y de vinculación interinstitucional, mediante la recepción de estudiantes y participantes provenientes de distintas instituciones de educación superior y de centros de investigación nacionales. Las múltiples modalidades de estancia (prácticas profesionales, tesis de licenciatura, estadías, residencias y veranos de investigación) reflejan una fuerte orientación hacia la formación de recursos humanos especializados y la colaboración académica.

Otra actividad de formación de recursos humanos es la impartición de clases en los posgrados institucionales, participando como coordinadoras o colaboradoras en las asignaturas de Fisiología Vegetal Avanzada, Biología Molecular, Bases de Biología Molecular para las Ciencias Genómicas y la Ingeniería Celular, Metabolitos Secundarios, Biotecnología Avanzada, Fisiología y Nutrición, así como en Fundamentos y Técnicas de Biología Molecular de la maestría en ciencias de Floricultura o en la maestría y doctorado en Innovación Biotecnológica. La mayoría de las asignaturas se ofertan una vez al año, según la demanda de los estudiantes; algunas, como Metabolitos Secundarios, se han impartido cada semestre. Recientemente, se participa en la Especialidad Nacional en Bienestar Comunitario en Agroecologías y Soberanía Alimentaria (ENBC-ASA) como facilitadora y asesora de los cursos Metodologías de Investigación Acción Participativa y Plan de Acción Territorial.

También se observa una progresiva diversificación de modalidades de formación avanzada, incluyendo formación de estudiantes de maestría, doctorado, estancias de investigación y participación posdoctoral, evidenciando el fortalecimiento de capacidades científicas y la consolidación de una plataforma de colaboración orientada al desarrollo de investigación, innovación y formación especializada. Se puede identificar un impacto sostenido en la formación de capital humano, la movilidad académica y la articulación interinstitucional, contribuyendo al fortalecimiento de redes científicas y tecnológicas en áreas estratégicas de investigación y desarrollo.

Desarrollo tecnológico y de innovación

Durante el periodo de fortalecimiento de la línea de investigación en fitoquímica y biocompuestos se generaron tres solicitudes de patente que reflejan la consolidación de capacidades científicas, tecnológicas y formativas orientadas al desarrollo de innovaciones con potencial de transferencia al sector agroalimentario. Un aspecto particularmente relevante es que en todas las solicitudes participaron estudiantes de posgrado, evidenciando la integración efectiva entre la investigación científica, la formación de recursos humanos especializados y el desarrollo tecnológico.

Las dos primeras solicitudes de patente derivan directamente de trabajos desarrollados en la Maestría en Ciencias de la Floricultura y se enfocan en la síntesis verde de nanopartículas de selenio mediante el uso de extractos vegetales, una estrategia alineada con principios de química sustentable y biotecnología vegetal. La primera corresponde a la solicitud MX/a/2021/015367, titulada “Método de fitofabricación y uso de nanopartículas de selenio sintetizadas con extractos de *Amphipterygium glaucum*”, que propone un método biotecnológico para obtener nanopartículas funcionales utilizando metabolitos vegetales como agentes reductores y estabilizantes.

Esta tecnología representa una alternativa innovadora frente a métodos químicos convencionales, al incorporar procesos más sostenibles y con potencial de aplicación en la agricultura y la bioestimulación vegetal.

La segunda solicitud, MX/a/2022/011926, titulada “Método de fabricación y uso de nanopartículas de selenio sintetizadas con extractos vegetales de *Calendula officinalis*”, amplía esta línea de investigación mediante el aprovechamiento de compuestos fitoquímicos de especies ornamentales y medicinales para obtener nanomateriales bioactivos. Este desarrollo fortaleció la especialización del grupo en nanobiotecnología agrícola y sentó las bases para procesos posteriores de maduración tecnológica orientados a la transferencia de conocimiento al sector productivo.

La tercera solicitud de patente, MX/a/2026/003424, titulada “Composición agrícola bioestimulante que comprende hidrolizados vegetales y método de fabricación de la misma”, representa una evolución de la línea de investigación hacia formulaciones biotecnológicas integrales con aplicación agrícola. Este desarrollo se realizó en colaboración con la Unidad de Tecnología Alimentaria y con la participación de personal investigador de la subsele sureste, evidenciando el carácter multidisciplinario e interinstitucional de la investigación. Además, se generó en el marco de la Maestría en Innovación Biotecnológica, fortaleciendo la articulación entre la innovación aplicada, el desarrollo de productos con valor agregado y la formación de capital humano altamente especializado.

En conjunto, estas solicitudes de patente muestran una trayectoria consistente en la generación de conocimiento con potencial de aplicación tecnológica, basada en el aprovechamiento de compuestos vegetales, procesos sustentables y estrategias biotecnológicas innovadoras. Además, se evidencia la capacidad del proyecto y de la línea de investigación para transitar desde la investigación básica hacia esquemas de protección intelectual, transferencia tecnológica y vinculación con el sector agrícola, contribuyendo al fortalecimiento de capacidades científicas en fitoquímica y biocompuestos durante la última década.

Desarrollo institucional

Durante el periodo de octubre de 2016 a mayo de 2026 se ha participado en un total de 19 proyectos financiados entre 2016 y 2025, lo que evidencia una trayectoria sólida, multidisciplinaria y progresivamente especializada en fitoquímica, desarrollo de biocompuestos y biotecnología vegetal, y muestra una alineación estratégica con el proyecto titulado “Fortalecimiento de capacidades científicas de biotecnología vegetal en fitoquímica y biocompuestos” (Tabla 1). En conjunto, estos proyectos reflejan un proceso de consolidación de capacidades científicas, tecnológicas y

de vinculación interinstitucional, orientadas al aprovechamiento sostenible de los recursos vegetales, la innovación agrobiotecnológica y la generación de soluciones con impacto social, ambiental y productivo. El impacto social del proyecto se evidencia al buscar y obtener financiamiento público para investigación, el cual se utilizó para fortalecer la infraestructura (lío­filizadora, rotavapor, por mencionar algunas) y generar conocimiento, lo que dio como resultado la creación de la línea de investigación, las publicaciones, las solicitudes de patente, la formación de recursos humanos especializados y la atención a sectores productivos mediante cursos y talleres de capacitación.

Tabla 1. Proyectos con participación de las integrantes del proyecto en el periodo de octubre de 2016 a mayo de 2026

Proyecto	Fuente de financiamiento
Responsable técnico	
Agentes antifúngicos provenientes de plantas para el control de <i>Sphaceloma perseae</i> Jenkins en aguacate	CONACYT, Proyectos de Desarrollo Científico para Atender Problemas Nacionales (2928-2016)
Factibilidad técnica y comercial del aprovechamiento de <i>P. volubilis</i> y <i>P. penninervia</i> en México	CONACYT, Programa de Estímulos a la Innovación (PEI) 253073-2018
Realización del IX International Symposium on New Ornamental Crops. Convocatoria	Consejo Estatal de Ciencia y Tecnología de Jalisco (COECyTJAL) 7340-2019
Nanopartículas de selenio sintetizadas con extractos vegetales como bioestimulantes para impulsar la producción de cultivos anuales	COECyTJAL (9851-2021)
Contenido y especiación química del selenio en plantas y su efecto en el metabolismo primario	CIATEJ, Convocatoria para la generación de proyectos internos de investigación (PIICs 2023), 2004800099-SELENIO
Actividad bioestimulante de productos a base de levaduras y de minerales	Iniciativa privada 2024
Incremento de la madurez tecnológica del proceso de producción de nanopartículas de selenio (solicitud de patente MX/A/2022/011926) para promover su transferencia al sector agrícola	CIATEJ, Maduración Tecnológica de Proyectos Internos Transdisciplinarios 20205 (PITs-2025)
Colaboración	
Entornos de aprendizaje, capacitación y análisis para el fortalecimiento de las cadenas de valor a partir del trabajo con maestras mezcaleras en Oaxaca y Guerrero	CONACYT, Proyectos de Desarrollo Científico para Atender Problemas Nacionales (6590-2017)
Estrategias multidisciplinarias para incrementar el valor agregado de las cadenas productivas del café, frijol, mango, agave mezcalero y productos acuícolas (tilapia) en la región Pacífico Sur a través de la ciencia, la tecnología y la innovación	CONACYT, FORDECYT (292474-2017)
Elaboración del Plan de Manejo Integral de Plantas Acuáticas Invasoras en la cuenca del Río Santiago.	Asociación Intermunicipal para la Protección del Medio Ambiente y Desarrollo Sustentable del Lago de Chapala (AIPROMADES) AIP-LpL-SCC003-2020

Tópicos de herramientas biotecnológicas para el desarrollo agrícola	COECyTJAL (9109-2020)
Apoyos para Acciones de Mantenimiento de Infraestructura, Laboratorio Nacional PLANTECC	CONACYT, Acciones de Mantenimiento de Infraestructura Científica en Laboratorios Nacionales (314926-2020)
Mantenimiento de la Infraestructura del Laboratorio Nacional PlanTecc	CONACYT, Acciones de Mantenimiento de Infraestructura Científica en Laboratorios Nacionales (315918-2021)
Cosmovisión Nn'anncue Ñomndaa: patrimonio biocultural emergente para la salud, alimentación y justicia ambiental	CONACYT, Proyectos Nacionales de Investigación e Incidencia (PRONACES) 318833-2021
REDTEQ	Iniciativa privada 2022
Cosmovisión Nn'anncue Ñomndaa: patrimonio biocultural emergente para la salud, alimentación y justicia ambiental	CONACYT, Proyectos Nacionales de Investigación e Incidencia para la Producción, Protección, Reconocimiento y Resignificación de las Memorias y la Diversidad Cultural y Biocultural de México – PRONACES CULTURA (322656-2023)
Caracterización y fitotoxicidad de vinazas sometidas a un tratamiento biológico usando el hongo <i>Trametes sanguineus</i>	CIATEJ (PIICs-2023)
Maximizando el potencial del frijol <i>Mucuna</i> : estudio de su potencial nutraceutico y agronomico para su uso integral	CIATEJ (PIICs-2023)
Evaluación del efecto sinérgico de la combinación de semillas criollas del sistema milpa (maíz, frijol, calabaza) sobre marcadores moleculares de obesidad y diabetes tipo 2	SECIHTI, Ciencia de Frontera CF-2023-I-188
Totales	19 proyectos

Fuente: propia

En una primera etapa (2016–2018), los proyectos se enfocaron en el estudio de metabolitos y compuestos bioactivos de origen vegetal aplicados al control fitosanitario, el aprovechamiento de especies vegetales con potencial comercial y el fortalecimiento de cadenas agroalimentarias regionales. Destacan iniciativas como el desarrollo de agentes antifúngicos provenientes de plantas para el control de enfermedades del aguacate y los estudios de factibilidad técnica y comercial de especies vegetales con potencial nutraceutico e industrial. Estas investigaciones constituyen una base directa para la línea de investigación en fitoquímica y biocompuestos, al centrarse en la identificación, caracterización y aplicación de compuestos de interés biológico derivados de recursos vegetales.

Además, se incluyen proyectos de fortalecimiento de infraestructura científica, capacitación especializada y vinculación con problemáticas socioambientales y bioculturales. Los apoyos destinados al Laboratorio Nacional PLANTECC permitieron consolidar

capacidades analíticas y tecnológicas esenciales para estudios avanzados en fitoquímica, metabolómica y biotecnología vegetal. Paralelamente, proyectos relacionados con el patrimonio biocultural, el manejo ambiental y las herramientas biotecnológicas ampliaron el alcance de la investigación hacia enfoques transdisciplinarios y de incidencia territorial.

A partir de 2021, la línea científica muestra una evolución clara hacia la nanobiotecnología agrícola y el estudio funcional de biocompuestos con aplicaciones agroalimentarias. En este contexto, los proyectos sobre el efecto antimicrobiano y bioestimulante de nanopartículas de selenio sintetizadas con extractos vegetales, la especiación química del selenio en plantas y la maduración tecnológica para su transferencia al sector agrícola constituyen un eje estratégico de innovación científica y tecnológica. Estas investigaciones integran conocimientos de fitoquímica, fisiología vegetal, química analítica y desarrollo tecnológico, fortaleciendo significativamente la madurez científica de la línea de investigación.

Asimismo, la participación en proyectos sobre bioestimulantes, la valorización nutracéutica de cultivos como *Mucuna* y estudios relacionados con semillas criollas del sistema milpa demuestran capacidad para articular la investigación básica, aplicada e innovadora, con un impacto potencial en la agricultura sostenible, la salud y la seguridad alimentaria. Esta diversificación temática confirma un proceso hacia la consolidación de un proyecto científico robusto orientado al desarrollo de biocompuestos funcionales y de estrategias biotecnológicas sostenibles.

La diversidad de fuentes de financiamiento, que incluyen fondos públicos (CONACYT/SECIHTI), estatales (COECyTJAL), institucionales (CIATEJ) e iniciativas privadas, también evidencia reconocimiento institucional, competitividad académica y capacidad de gestión de recursos. A lo largo de estos años se ha observado una evolución coherente y acumulativa de proyectos que han contribuido al fortalecimiento de capacidades científicas, la formación especializada, la generación de conocimiento y la transferencia tecnológica, consolidando la línea de investigación en fitoquímica y biocompuestos como un eje estratégico de desarrollo científico y tecnológico durante la última década.

Además de los proyectos del personal investigador del proyecto en cuestión, otros investigadores han sumado proyectos a la línea de investigación en fitoquímica y biocompuestos, indicando que la línea se fortalece con la participación de todos los integrantes de la unidad y con la interconexión con las otras líneas de investigación, principalmente con Fitopatología y Micropropagación de Especies Vegetales.

Actividades de divulgación

Las actividades de difusión y divulgación científica desarrolladas entre 2016 y 2026 evidencian una estrategia integral de comunicación y transferencia del conocimiento

orientada al fortalecimiento de la fitoquímica y los biocompuestos, la biotecnología vegetal y la nanobiotecnología agrícola. La participación sostenida en congresos, simposios, talleres y actividades de divulgación permite avanzar hacia la consolidación de la línea y de otras líneas emergentes relacionadas con nanopartículas de selenio, metabolitos bioactivos y agricultura sostenible, además de fortalecer la formación de recursos humanos especializados y la vinculación científica para participar en actividades nacional e internacional, por ejemplo editoras invitadas en las revistas *Agronomy* (https://www.mdpi.com/journal/agronomy/special_issues/U9267VD98Q), *Agriculture* (https://www.mdpi.com/journal/agriculture/special_issues/82T3A6DL33) y *Discover Agriculture* (<https://link.springer.com/collections/hifeiabhad>) .

Existe una participación constante en actividades de difusión, divulgación y transferencia del conocimiento científico en ámbitos nacionales e internacionales, incluyendo la asistencia a congresos científicos nacionales e internacionales, simposios especializados, talleres de capacitación científica y tecnológica, seminarios académicos, encuentros de divulgación, foros interdisciplinarios, actividades de apropiación social del conocimiento y la participación en redes académicas y científicas (Figura 4).

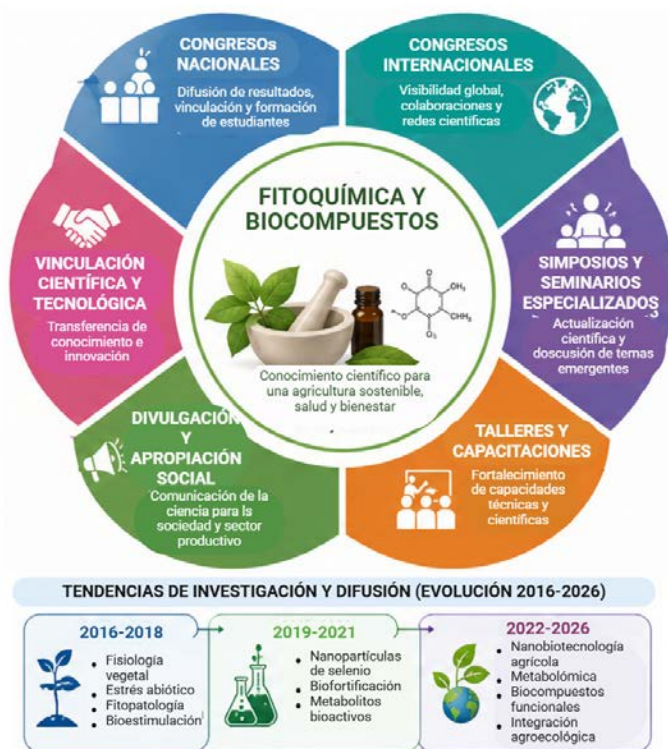


Figura 4. Eventos de difusión y divulgación científica para fortalecer la línea de investigación en fitoquímica y biocompuestos durante el periodo 2016–2026

Fuente: Elaboración propia. Created in <https://BioRender.com>

La participación en las actividades de divulgación ha permitido el establecimiento de redes de colaboración, la internacionalización de resultados de investigación, el fortalecimiento de publicaciones conjuntas, la visibilidad internacional del CIATEJ, el incremento de colaboraciones multidisciplinarias, la publicación en revistas internacionales indexadas, la formación de recursos humanos y la consolidación de líneas estratégicas de investigación. Además, se ha fomentado el impacto en la formación de estudiantes de licenciatura y posgrado, la capacitación de jóvenes investigadores, el fortalecimiento de capacidades técnicas y la vinculación academia-sector productivo.

El proyecto evolucionó desde una etapa centrada en la construcción de capacidades hacia una fase de generación de conocimiento, posteriormente, de innovación tecnológica y, finalmente, de incidencia social. En este proceso, los principales desafíos (como la ausencia de infraestructura especializada, la necesidad de consolidar una nueva línea de investigación, la formación de recursos humanos y la vinculación con el sector productivo) se superaron mediante la obtención de financiamiento, el establecimiento de redes de colaboración y la generación de producción científica y de desarrollos tecnológicos. Como resultado, se cuenta con una línea de investigación que está en condiciones de albergar proyectos de frontera, desarrollar tecnologías con mayor nivel de madurez tecnológica, impulsar procesos de transferencia al sector agroalimentario y contribuir a la solución de desafíos nacionales relacionados con la sostenibilidad, la seguridad alimentaria, la adaptación al cambio climático y la bioeconomía. El principal impacto del proyecto no solo radica en los productos generados, sino también en la capacidad del personal para abordar problemas científicos y tecnológicos que hace una década no se podían enfrentar.

Con ello, es posible vislumbrar algunas directrices para dar continuidad al proyecto y a la línea de investigación, como el desarrollo de bioestimulantes de nueva generación que integren nanopartículas, metabolitos vegetales y microbiomas para incrementar la productividad agrícola de manera sostenible. Escalamiento de la producción de nanopartículas de selenio y otros nanobiomateriales, validando su eficacia en distintas regiones agrícolas y promoviendo su transferencia tecnológica. Implementación de una agricultura de precisión basada en la metabolómica, mediante biomarcadores para monitorear el estado fisiológico de los cultivos y optimizar las prácticas agronómicas. Integración de la inteligencia artificial y herramientas ómicas (metabolómica, transcriptómica, metagenómica) para comprender los mecanismos moleculares de los bioestimulantes vegetales. Desarrollo de estrategias para aumentar la resiliencia de los cultivos frente al cambio climático, mediante el uso de compuestos bioactivos capaces de mejorar la tolerancia a la sequía, la salinidad y las temperaturas extremas. Fortalecimiento de la bioeconomía circular, aprovechando

residuos agroindustriales como fuente de metabolitos de alto valor agregado y de materias primas para nuevos biocompuestos. Contribución a la seguridad alimentaria mediante la biofortificación, desarrollando alimentos con un mayor contenido de compuestos funcionales y micronutrientes esenciales. Consolidación de plataformas nacionales de innovación agrícola, integrando investigación, protección de la propiedad intelectual, transferencia tecnológica y vinculación con productores y empresas.

Conclusiones

Los resultados obtenidos durante el periodo 2016–2026 evidencian que la ejecución del proyecto y la creación de la línea de investigación en fitoquímica y biocompuestos desempeñaron un papel importante en la Unidad de Biotecnología Vegetal del CIATEJ. La integración de proyectos multidisciplinarios permitió fortalecer áreas como la fitoquímica, la metabolómica, la biotecnología vegetal y la nanobiotecnología agrícola, generando una plataforma científica orientada al aprovechamiento sostenible de compuestos bioactivos de origen vegetal.

La trayectoria del proyecto incluye la participación en proyectos financiados por organismos públicos, institucionales y privados, así como en la generación continua de productos científicos y de divulgación. Estos avances contribuyeron al fortalecimiento de redes de colaboración nacionales e internacionales, al incremento de la visibilidad científica institucional y a la consolidación de infraestructura especializada para investigación y desarrollo tecnológico.

Uno de los principales impactos del proyecto fue la formación de recursos humanos especializados mediante la participación de estudiantes de licenciatura, maestría y doctorado, así como la incorporación de estancias, residencias y actividades académicas interdisciplinarias. Este proceso fortaleció la movilidad académica, la colaboración interinstitucional y la generación de nuevas perspectivas de investigación orientadas a la sostenibilidad agrícola y ambiental.

El desarrollo de solicitudes de patente relacionadas con nanopartículas de selenio y bioestimulantes agrícolas evidencia la capacidad de la línea de investigación para evolucionar desde la generación de conocimiento básico hacia procesos de innovación, protección intelectual y transferencia tecnológica. Finalmente, los resultados demuestran que el fortalecimiento de capacidades científicas en fitoquímica y biocompuestos ha contribuido significativamente al desarrollo de soluciones biotecnológicas con potencial de aplicación en la agricultura sostenible, la seguridad alimentaria, la salud y la valorización de los recursos vegetales.

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 el financiamiento de todas las instituciones que se mencionan en la Tabla 1.

Agradecimientos

Se agradece al Dr. Ernesto Tapia Campos, responsable técnico del proyecto 345-2026, “Fortalecimiento de capacidades científicas de biotecnología vegetal en fitoquímica y biocompuestos” de la convocatoria del CONACYT. Asimismo, se agradece a cada uno de los estudiantes que ha participado y ha estado bajo la supervisión de las integrantes del proyecto; a los colaboradores de la Unidad de Biotecnología Vegetal y de las demás unidades del CIATEJ; y a todo el personal administrativo por su apoyo en la gestión de este y de todos los proyectos desarrollados durante estos 10 años.

Referencias

- Campos-García, T., Hernández-Soltero, M. F., Hernández-Fernández, O. B., Vázquez-Martínez, J., & García-Morales, S. (2025). Selenium nanoparticles induce differential shoot/root response of *Capsicum annuum* seedlings revealed by non-targeted metabolomic analysis. *Plant Nano Biology*, 11, 100139. <https://doi.org/10.1016/j.plana.2025.100139>
- Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología. (2016). *Cátedras CONACYT para Jóvenes Investigadores*. Convocatoria para Instituciones 2016. Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología.
- Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología. (2014). *Cátedras CONACYT. Convocatoria para Jóvenes Investigadores*. Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología.
- García-Morales, S., Corzo-Jiménez, I. J., Silva-Córdova, N. F., Soto-Cordero, A. M., Rodríguez-Mejía, D. I., Pardo-Núñez, J., & León-Morales, J. M. (2022). Comparative study of steroidal sapogenins content in leaves of five *Agave* species. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 102(13), 5653–5659. <https://doi.org/10.1002/jsfa.11912>
- Hernández-Díaz, J. A., Arias-García, A. A., Gutiérrez-Becerra, A., Comas-García, M., Vázquez-Lepe, M. O., Hernández-Cristóbal, O., García-Morales, S., Martínez-Velázquez, M., & García-Carvajal, Z. Y. (2026). Development and Characterization of a Guar Gum Bionanocomposite Loaded with Biogenic Selenium Nanoparticles and Its Cytotoxic Evaluation. *Gels*, 12(5), 376. <https://doi.org/10.3390/gels12050376>

- León-Morales, J. M., García-Morales, S., Téllez-Téllez, M., Cardoso-Taketa, A., Morales-Aguilar, M., Gutiérrez-Báez, C., & Ortiz-Caltempa, A. (2025). Antioxidant and Anti-Inflammatory Activity of Cell Suspension Culture Extracts of *Plukenetia carabiasiae*. *International Journal of Molecular Sciences*, 26(24), 12190. <https://doi.org/10.3390/ijms262412190>
- López-Gervacio, A. d. J., Barrera-Martínez, I., Qui-Zapata, J. A., Montero-Cortés, M. I., Ávila-Quezada, G. D., & García-Morales, S. (2026). Dose- and Application-Dependent Effects of Biogenic Selenium Nanoparticles on Germination, Growth, and Antioxidant Response of *Capsicum annuum* L. *Agriculture*, 16(6), 707. <https://doi.org/10.3390/agriculture16060707>
- Sánchez-Jiménez, E., Herrejón-López, K. A., Montero-Cortés, M. I., López-Velázquez, J. C., García-Morales, S., & Qui-Zapata, J. A. (2025). Evaluation of Dahlia and Agave Fructans as Defense Inducers in Tomato Plants Against *Phytophthora capsici*. *Polysaccharides*, 6(3), 72. <https://doi.org/10.3390/polysaccharides6030072>
- Terreros-Rosales, L. G., Castañeda-Nava, J. J., León-Morales, J. M., & García-Morales, S. (2024). Fuente inorgánica de selenio en el cultivo de callos de *Catharanthus roseus* L. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 15(6). <https://doi.org/10.29312/remexca.v15i6.3444>
- Teymennet-Ramírez, K. V., García-Morales, S., Hernández-Fernández, O., & Barrera-Martínez, I. (2025). Detoxification of tequila vinasse by *Trametes sanguineus*: a biotechnological approach to laccase production and water reuse in seedling growth. *Environmental Science and Pollution Research International*, 32(54), 30087–30098. <https://doi.org/10.1007/s11356-025-36377-5>



**50 AÑOS DEL CIATEJ:
CIENCIA, TECNOLOGÍA Y SOCIEDAD**





Biotecnología microbiana y enzimática para la degradación de plásticos

Microbial and enzymatic biotechnology for plastic degradation

Leticia Casas Godoy^{1*}, Jesús Alberto Urbar Ulloa², Sandra Lizbeth Ramírez Pérez², Juan Raúl Chavira Ontiveros², Adriana Belén Castillejos Pérez², Samadhi Nibbana Rodríguez Zavala³, María Camila Sinisterra Sierra², Andrés Méndez Zamora², Amador Roberto Campos Valdez²

¹ SECIHTI-Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco, Camino Arenero 1227, El Bajío, 45019 Zapopan, Jalisco, México.

² Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco, Camino Arenero 1227, El Bajío, 45019 Zapopan, Jalisco, México.

³ Centro Universitario de Ciencias Exactas e Ingenierías, Universidad de Guadalajara, Blvd. Marcelino García Barragán 1421, Colonia Olímpica, C.P. 44430, Guadalajara, Jalisco, México.

* Autor de correspondencia: lcasas@ciatej.mx

Palabras clave:

residuos plásticos, hidrolasas, oxidoreductasas, transformación, PET, LDPE

Keywords:

plastic residues, hydrolases, oxidoreductases, transformation, PET, LDPE

Resumen

Los plásticos son materiales ampliamente utilizados por su resistencia, bajo costo y versatilidad, pero estas propiedades favorecen su persistencia ambiental. Este artículo revisa, desde un enfoque de divulgación científica, cómo la biotecnología microbiana y enzimática puede contribuir al estudio de su transformación. Se abordan las etapas de la biodegradación de plásticos, la búsqueda de microorganismos en ambientes contaminados, el papel de enzimas hidrolíticas y oxidativas y el uso de herramientas bioinformáticas para descubrir nuevas enzimas candidatas. Además, se integran trabajos desarrollados por el grupo en sitios contaminados con residuos plásticos en México y en la bioprospección computacional de enzimas con actividad potencial sobre el tereftalato de polietileno. Se muestra que la modificación biológica de plásticos es un proceso gradual y dependiente del material. Por lo tanto, estas aproximaciones deben entenderse como parte de estrategias complementarias de reducción, manejo, reciclaje y valorización sustentable de residuos en distintos contextos ambientales e industriales.

Abstract

Plastics are widely used materials because of their resistance, low cost, and versatility. However, these same properties favor their environmental persistence. This article reviews how microbial and enzymatic biotechnology can contribute to the study of plastic transformation. It addresses the stages involved in plastic biodegradation, the search for microorganisms in contaminated environments, the role of hydrolytic and oxidative enzymes, and the use of bioinformatic tools to discover new enzyme candidates. In addition, it integrates work developed by the group in sites contaminated with plastic waste in Mexico and in the computational bioprospection of enzymes with potential activity on polyethylene terephthalate. The article shows that biological modification of plastics is a gradual process that depends on the material. Therefore, these approaches should be understood as part of complementary strategies for the reduction, management, recycling, and sustainable valorization of plastic waste in environmental and industrial contexts.

Recibido: 18 de mayo 2026
Revisado: 10 de junio 2026
Aceptado: 03 de julio 2026
Publicado: 01 de agosto 2026



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

Los plásticos son parte de nuestra vida diaria. Sus aplicaciones incluyen empaques, textiles, dispositivos médicos y electrónicos, así como materiales de construcción, por mencionar algunos. Sus propiedades, como ligereza, versatilidad, resistencia y bajo costo, han logrado que sean utilizados en todos los sectores. Sin embargo, estas mismas características los han convertido en uno de los principales problemas ambientales de la actualidad, debido a su acumulación en distintos ecosistemas. La Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE) reportó que aproximadamente 353 millones de toneladas de residuos plásticos fueron generadas en 2019, de las cuales solo 32 millones fueron recolectadas para reciclaje, mientras que 174 millones se enviaron a rellenos sanitarios, 67 millones se incineraron y una fracción importante fue mal gestionada o liberada al ambiente (OECD, 2022). En México se ha observado un comportamiento similar, donde el consumo de plásticos y la generación per cápita de residuos plásticos se estiman en 66 kg/año y 59 kg/año, respectivamente (GIZ, 2023).

El impacto ambiental de los plásticos no se limita a su acumulación. Bajo condiciones ambientales, los plásticos pueden fragmentarse por factores abióticos como la radiación solar, la acción mecánica, los cambios de temperatura y procesos oxidativos. Esta fragmentación genera partículas más pequeñas que llegan a convertirse en micro y nanoplásticos y a dispersarse en suelos, ríos, lagos y océanos. Además, estas partículas pueden incorporarse en la cadena alimenticia y llegar al cuerpo humano por el consumo de alimentos y agua contaminados, así como por inhalación de partículas presentes en el aire. Actualmente, se han detectado microplásticos en muestras humanas como heces, sangre, placenta, leche materna y tejido pulmonar, aunque sus efectos a largo plazo todavía están siendo estudiados (Nouri et al., 2025).

Uno de los principales retos para enfrentar este problema es que no todos los plásticos tienen la misma estructura química ni el mismo comportamiento en el ambiente. Algunos, como el tereftalato de polietileno, conocido como PET, contienen enlaces químicos que pueden ser atacados por ciertas enzimas (Yoshida et al., 2016). Otros, como el polietileno de baja densidad, o LDPE, presentan cadenas de carbono más resistentes y carecen de enlaces fácilmente hidrolizables (Ghatge et al., 2020). Por esta razón, estudiar la transformación biológica de plásticos requiere considerar la naturaleza química de cada polímero y los mecanismos que podrían participar en su modificación.

La biotecnología puede ofrecer nuevas formas de transformar residuos plásticos; sin embargo, no es una solución única ni inmediata. El manejo de estos residuos requiere estrategias complementarias que incluyan políticas públicas para limitar el

uso de plásticos innecesarios, cambios en los patrones de consumo, mejoras en los sistemas de recolección, separación y reciclaje, rediseño de materiales y desarrollo de tecnologías biológicas. Organismos internacionales como la OCDE y el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente han señalado que la contaminación por plásticos debe abordarse desde todo el ciclo de vida del material, no solo a partir de su disposición final (OECD, 2022; UNEP, 2023).

El estudio de la biodegradación de plásticos es un área compleja, en la que deben considerarse la estructura del polímero, las condiciones ambientales, los microorganismos presentes y las enzimas que producen. No se trata solo de buscar microorganismos capaces de “desaparecer” los plásticos, sino de comprender los procesos involucrados en su transformación, los cambios físicos y químicos que se generan, y las herramientas que permiten evaluarlos. El grupo de trabajo inició esta línea de investigación en el año 2020, con el desarrollo de proyectos orientados a identificar, entender y modificar enzimas microbianas relacionadas con la biodegradación de plásticos. Esta línea aprovecha la experiencia acumulada del CIATEJ en microbiología, enzimología, bioprocesos y biocatálisis para generar conocimiento de frontera y explorar alternativas biotecnológicas frente a un problema ambiental actual. En el marco del 50 aniversario del CIATEJ, este artículo presenta cómo esta línea se ha incorporado en el área de la Biotecnología Industrial mediante la búsqueda y evaluación de microorganismos nativos, el estudio de enzimas y el uso de herramientas bioinformáticas. Se busca mostrar cómo un enfoque biotecnológico puede contribuir al conocimiento necesario para el manejo, reciclaje y valorización de residuos plásticos.

Biodegradación de plásticos

La biodegradación de plásticos es un proceso gradual en el que participan factores físicos, químicos y biológicos. Para que los microorganismos interactúen con estos materiales, la superficie del polímero suele requerir modificaciones previas que faciliten su colonización o transformación. Este proceso se ha descrito en cuatro etapas: biodeterioro, biofragmentación, asimilación y, en algunos casos, mineralización (Figura 1) (Sheth et al., 2019).

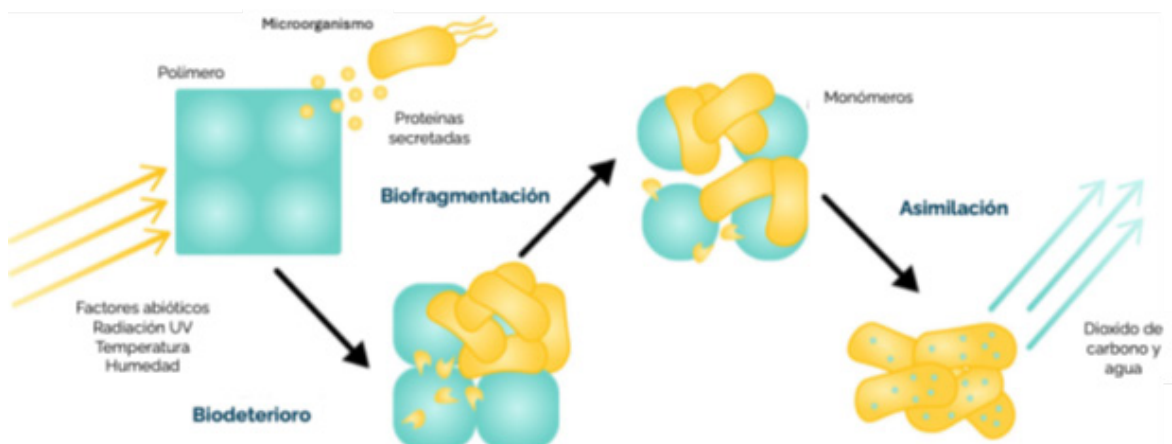


Figura 1. Etapas involucradas en la degradación de plásticos

Fuente: Adaptado de Sheth et al., 2019

El biodeterioro es la etapa en la que ocurren cambios iniciales en la superficie del plástico. Factores ambientales como la radiación UV, la temperatura, la fotooxidación y la abrasión generan variaciones en la rugosidad, hidrofobicidad o composición química del polímero. Estos cambios facilitan que los microorganismos se adhieran al material, formen biopelículas y produzcan enzimas capaces de modificarlo (Mohan et al., 2020; Sheth et al., 2019). Durante la biofragmentación, el polímero se rompe parcialmente o totalmente en fragmentos de menor tamaño, como oligómeros, monómeros u otros compuestos derivados. Enzimas como PETasas, cutinasas, esterasas y lipasas actúan sobre los enlaces éster de plásticos como el PET y liberan productos más pequeños que podrían ser transformados por los microorganismos (Danson et al., 2019). En cambio, en polímeros como el polietileno, la biofragmentación es más limitada y suele requerir procesos oxidativos previos o simultáneos (Ghatge et al., 2020).

La siguiente etapa es la asimilación, la cual ocurre cuando los productos generados durante la fragmentación son lo suficientemente pequeños para ingresar a las células microbianas y ser utilizados como fuente de carbono o energía. Finalmente, la mineralización ocurre cuando los compuestos derivados del plástico son transformados en productos simples, como dióxido de carbono, agua y metano en condiciones anaerobias y con biomasa microbiana. Esta etapa permite distinguir entre una transformación parcial del material y una biodegradación más completa. No obstante, demostrar mineralización es experimentalmente complejo, en especial para polímeros recalcitrantes como el polietileno (Sheth et al., 2019).

Microorganismos como punto de partida

Microorganismos capaces de participar en la transformación de plásticos pueden encontrarse en tiraderos, rellenos sanitarios, suelos contaminados, sedimentos, plantas

de reciclaje y residuos plásticos expuestos al ambiente. No todos los organismos presentes en estos sitios serán capaces de degradar plásticos, pero se favorece la presencia de comunidades microbianas adaptadas a colonizar estos materiales o a producir enzimas relacionadas con su modificación (Gambarini et al., 2021; Sheth et al., 2019). Un concepto que ha surgido para entender esta interacción es el de *plastisfera*, que se refiere a las comunidades microbianas que se forman sobre los residuos plásticos. En estas superficies pueden crecer bacterias, hongos, microalgas y otros microorganismos formando biopelículas y participando en etapas tempranas de la transformación del material (Amaral-Zettler et al., 2020).

Bajo este enfoque, el grupo de trabajo ha explorado sitios contaminados con residuos plásticos en México como fuente de microorganismos nativos. En un estudio realizado en un tiradero de plásticos en Tepic, Nayarit, se aislaron bacterias con actividades enzimáticas extracelulares de interés, incluyendo esterasas, lipasas, cutinasas y lacasas. Dentro de las cepas aisladas y evaluadas, el 27.9% presentó actividad esterasa/lipasa y el 19.8% tuvo capacidad para hidrolizar el aceite mineral. Las cepas que mostraron actividades más altas correspondieron a los géneros *Bacillus* y *Pseudomonas* (Casas-Godoy et al., 2025). De manera complementaria, en tiraderos contaminados con plásticos en Mazamitla, Jalisco, se combinó el análisis de diversidad microbiana con el aislamiento de microorganismos cultivables y la evaluación de actividades enzimáticas asociadas con la transformación de plásticos (Sinisterra-Sierra et al., 2025). A partir del análisis de muestra de suelo, en este sitio se identificaron 49 filos y 946 géneros, dentro de los cuales *Pseudomonas*, *Bacillus* y *Streptomyces* fueron los más representativos. En cuanto a las cepas cultivables, los géneros *Pseudomonas* y *Bacillus* fueron los más abundantes. El cribado de actividades enzimáticas mostró que el 60% de las cepas tuvo por lo menos una actividad enzimática, siendo la actividad carboxilesterasa la más común, encontrando que el 44% fue capaz de degradar la tributirina, un 22% el aceite mineral y un 22% el aceite de linaza. Estos trabajos muestran que los ambientes contaminados pueden ser puntos de interés para identificar microorganismos y enzimas con potencial biotecnológico (Casas-Godoy et al., 2025; Sinisterra-Sierra et al., 2025).

Enzimas en la transformación de plásticos

A partir del estudio de los microorganismos asociados con residuos plásticos, surgen otras preguntas: ¿qué enzimas producen? ¿Cómo podrían participar en la transformación del material? Las enzimas son proteínas capaces de acelerar reacciones químicas específicas. En el caso de los plásticos, su papel depende de la estructura del polímero, por lo que no existe una sola enzima capaz de actuar sobre todos los tipos de plástico.

En los poliésteres, como el PET, las enzimas hidrolíticas pueden romper enlaces éster. Durante la hidrólisis de PET, las enzimas rompen los enlaces éster del polímero y generan oligómeros o monómeros, los cuales se siguen rompiendo en compuestos más solubles como bis(2-hidroxietil) tereftalato (BHET) y mono(2-hidroxietil) tereftalato (MHET). Estos productos pueden continuar hidrolizándose hasta ácido tereftálico (TPA) y etilenglicol (Figura 2). Entre las enzimas capaces de participar en estos procesos se encuentran las esterasas, lipasas, cutinasas y PETasas, las cuales pueden liberar fragmentos más pequeños que después podrían ser utilizados por algunos microorganismos (Figura 3) (Danso et al., 2019; Tournier et al., 2023).

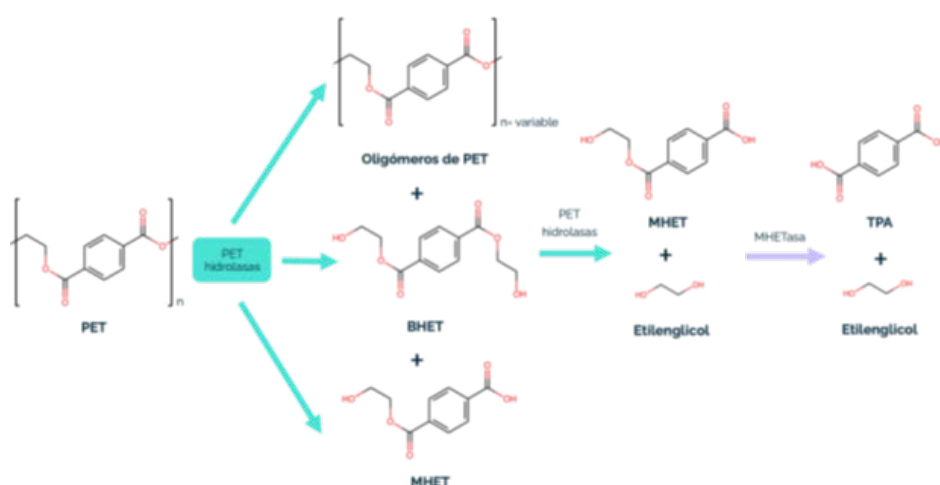


Figura 2. Ruta simplificada de la degradación enzimática de PET. Las PET hidrolasas rompen el polímero y generan oligómeros, BHET y MHET. El BHET puede hidrolizarse en MHET, que puede ser transformado por MHETasas en TPA y etilenglicol

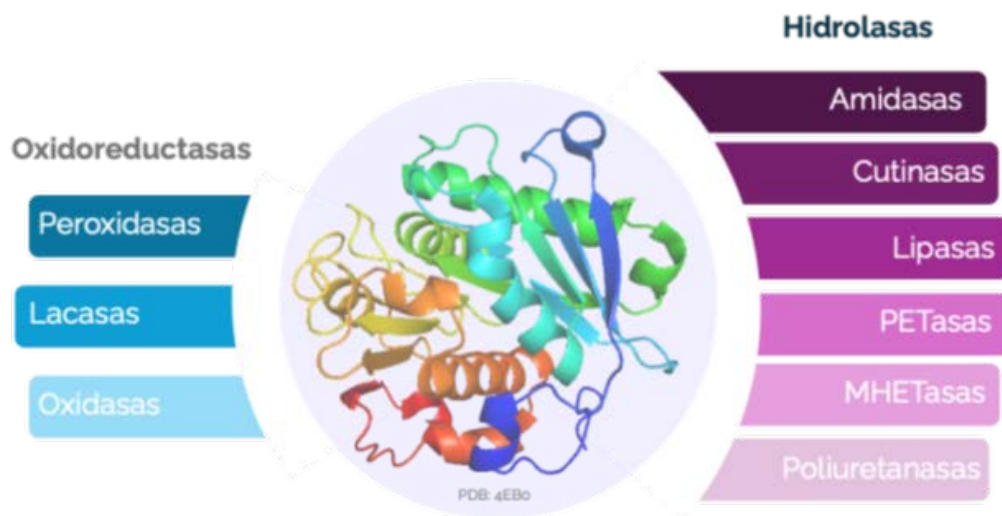


Figura 3. Enzimas involucradas en la degradación de plásticos
Fuente: Elaboración propia, cutinasa de metagenoma de hoja LCC (PDB 4EB0)

En polímeros más recalcitrantes, como el polietileno, la transformación biológica representa un reto mayor. Su cadena principal está formada por enlaces carbono-carbono, por lo que no puede ser hidrolizada de la misma manera que el PET. En estos casos, se propone la participación de enzimas oxidativas, como lacasas, peroxidasas u oxigenasas, que son capaces de introducir grupos funcionales o modificar la superficie del material, facilitando etapas posteriores de transformación (Figura 3) (Ghatge et al., 2020; Srikanth et al., 2022).

En el grupo de trabajo, la evaluación de actividades enzimáticas ha sido una estrategia para seleccionar microorganismos de interés. Las actividades esterasa, lipasa, cutinasa y lacasa se han utilizado como indicadores iniciales del potencial de bacterias y hongos para participar en la modificación de plásticos. Estos ensayos no demuestran por sí solos una biodegradación completa, pero permiten identificar candidatos que pueden estudiarse con mayor detalle en etapas posteriores.

Bioinformática en el descubrimiento de nuevas enzimas

La búsqueda de enzimas capaces de transformar plásticos también se puede realizar utilizando estrategias bioinformáticas que permiten explorar millones de secuencias disponibles en bases de datos y seleccionar aquellas que podrían tener características similares a enzimas ya conocidas. Esta estrategia reduce el número de candidatos que deben evaluarse experimentalmente y permite dirigir la búsqueda hacia enzimas con mayor probabilidad de participar en la transformación de polímeros.

En el caso del PET, esta estrategia ha sido muy eficiente, ya que enzimas conocidas, como PETasas, cutinasas, esterasas y lipasas, comparten características estructurales y funcionales. Esta información ha permitido construir modelos de búsqueda, comparar secuencias, analizar regiones conservadas y predecir estructuras tridimensionales. También es posible evaluar si una enzima candidata podría interactuar con el polímero o fragmentos del mismo. Estas herramientas no sustituyen al trabajo experimental, pero permiten priorizar candidatos antes de pasar al laboratorio (Tournier et al., 2023; Wu et al., 2023).

En el grupo de trabajo se aplicaron herramientas de bioprospección *in silico* para buscar enzimas eucarióticas con potencial actividad sobre PET (Méndez-Zamora et al., 2024). La estrategia integró modelos ocultos de Markov, análisis de secuencias, modelado estructural, acoplamiento molecular y dinámica molecular. Se lograron identificar 31 secuencias con potencial actividad PETasa en organismos de los géneros *Akanthomyces*, *Aspergillus*, *Botrytis*, *Elsinoe*, *Fusarium*, *Microthyrium*, *Penicillium*, *Pestalotiopsis*, *Talaromyces*, *Thermothielavioides*, *Trichoderma* y *Venturia*. Los análisis de acoplamiento molecular con monómeros de PET, seguidos de un análisis de con-

trol de procesos, permitieron seleccionar tres hongos del género *Aspergillus* como candidatos que fueron evaluados experimentalmente usando compuestos modelo y PET posconsumo. En las pruebas, los tres hongos, *Aspergillus oryzae*, *Aspergillus awamori* y *Aspergillus luchuensis*, lograron degradar PET posconsumo y liberar sus productos de hidrólisis, con *A. luchuensis* como la cepa más eficiente.

La bioinformática funciona como una etapa de exploración y selección que permite acelerar el descubrimiento de enzimas y ampliar la búsqueda hacia organismos poco estudiados. En la transformación biotecnológica de plásticos, las herramientas computacionales son un puente entre la información disponible y la evaluación experimental de nuevas enzimas.

Del candidato al laboratorio

Después de identificar microorganismos o enzimas candidatas, su capacidad para degradar plásticos debe ser evaluada en el laboratorio. Esto se puede confirmar mediante modificaciones del polímero, la liberación de monómeros o productos derivados o cambios medibles en el material. Una primera aproximación es el uso de compuestos modelo, como BHET en el caso del PET, que permiten observar si una enzima o microorganismo tiene actividad sobre enlaces similares a los del polímero. Posteriormente, pueden utilizarse muestras de plástico reales, como PET posconsumo o películas de LDPE, para evaluar cambios más cercanos a las condiciones del material que se encuentra presente en el ambiente.

En el trabajo del grupo, esta transición del candidato al laboratorio ha sido clave. Por ejemplo, enzimas identificadas mediante bioprospección *in silico* fueron evaluadas experimentalmente mediante ensayos con BHET y PET. Esta combinación permitió pasar de una predicción computacional a una evaluación funcional de la actividad sobre materiales relacionados con PET (Mendez-Zamora et al., 2024). En los estudios con microorganismos aislados de sitios contaminados, la evaluación enzimática ha permitido seleccionar bacterias y hongos con actividades como esterasas, lipasas, cutinasas y lacasas. Destacan cepas de *Serratia marcescens* (240.3 ± 11.0 U/L), *Comamonas testosteroni* (193.9 ± 2.5 U/L), *Pseudomonas koreensis* (180.4 ± 8.0 U/L), capaces de producir enzimas extracelulares al utilizar aceite mineral como inductor. Además, *C. testosteroni* (125.6 ± 15.5 U/L), *Chryseobacterium joostei* (125.1 ± 14.2 U/L) y *Bacillus mycoides* (120.6 ± 9.9 U/L) mostraron actividad cutinasa. Además, cepas de *Lelliottia amnigena*, *S. marcescens*, *Pseudomonas chlororaphis* y *Pseudomonas kilonensis* fueron capaces de crecer en medios donde los plásticos fueron la única fuente de carbono (Sinisterra-Sierra et al., 2025). Estas actividades y capacidad para crecer en plásticos ayudan a identificar candidatos que pueden evaluarse mediante análisis de productos

de reacción, pérdida de peso, cambios químicos en la superficie o modificación de la estructura del material (Casas-Godoy et al., 2025; Sinisterra-Sierra et al., 2025).

Así, el paso del candidato al laboratorio permite distinguir entre potencial biológico y evidencia experimental, ayudando a seleccionar los microorganismos o enzimas más prometedores, reconociendo las limitaciones de cada sistema.

La degradación no es desaparición inmediata

Uno de los retos al comunicar la biodegradación de plásticos es evitar la idea de que un microorganismo o una enzima hace que el material desaparezca rápidamente. La transformación de un plástico inicia con cambios pequeños, como modificación de la superficie, formación de grietas, aumento de rugosidad, aparición de nuevos grupos químicos o liberación de fragmentos de menor tamaño. Estos cambios indican que el material está siendo afectado, pero no necesariamente una biodegradación completa. Estas modificaciones pueden observarse mediante microscopía electrónica de barrido (SEM, por sus siglas en inglés). En películas de LDPE expuestas a un cultivo bacteriano se observan biomasa adherida después del tratamiento y alteraciones en la superficie después de retirar la biomasa en comparación con la película control (Figura 4).

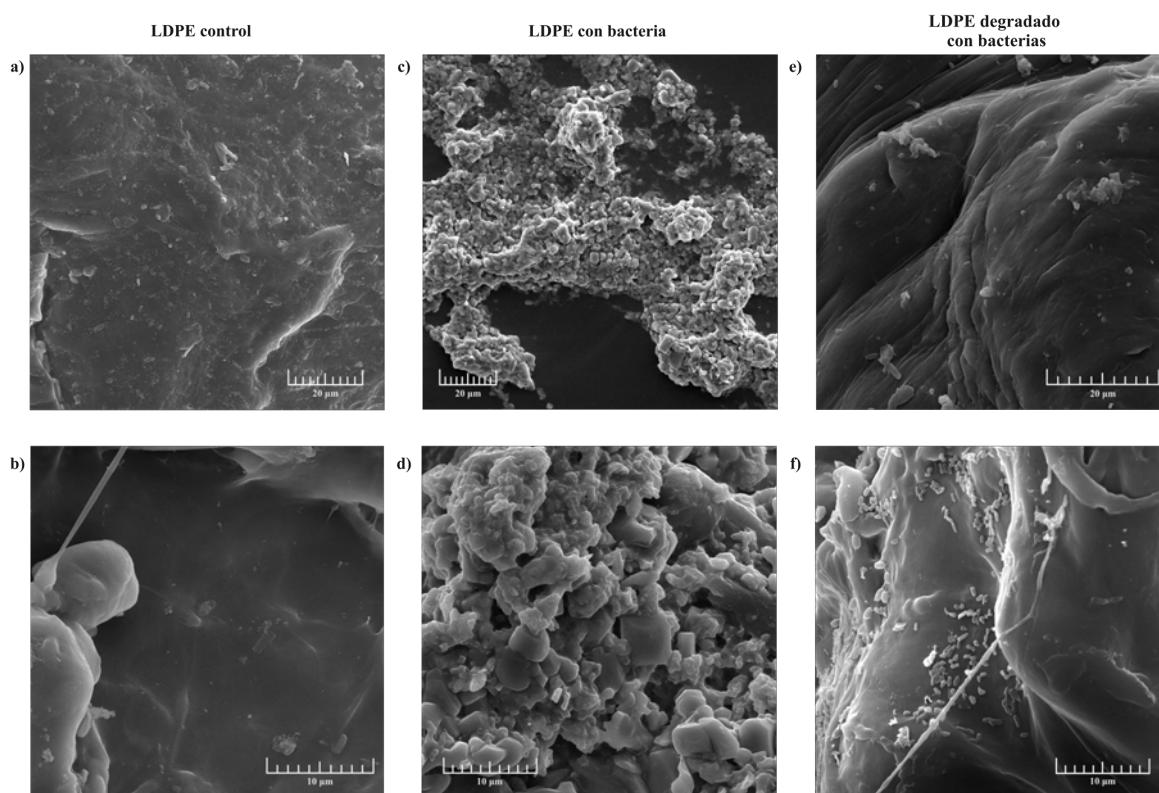


Figura 4. Micrografías electrónicas de barrido de películas de LDPE: (a, b) control sin tratamiento biológico; (c, d) película tratada con una bacteria y sin lavar; (e, f) película tratada y lavada para retirar la biomasa

Evidencias como pérdida de peso, formación de halos, cambios por espectroscopía o crecimiento microbiano en presencia del polímero son útiles como señales iniciales, pero requieren complementarse con otros análisis (Sinisterra-Sierra et al., 2025). Para demostrar una transformación más avanzada, es necesario identificar productos derivados del polímero, evaluar si estos pueden ser asimilados por los microorganismos y, en el mejor de los casos, comprobar su mineralización a productos simples como dióxido de carbono, agua o biomasa microbiana (Chow et al., 2023; Ghatge et al., 2020; Sheth et al., 2019).

Esta distinción permite valorar mejor el papel de la biotecnología. El objetivo no es prometer que los microorganismos resolverán solos la contaminación por plásticos, sino entender qué procesos biológicos pueden contribuir a su modificación y bajo qué condiciones.

Una línea emergente en Biotecnología Industrial

Desde esta perspectiva, el trabajo desarrollado por el grupo ha buscado integrar distintas herramientas para estudiar la transformación biológica de plásticos. La línea parte de la prospección de microorganismos nativos de sitios contaminados, continúa con la evaluación de actividades enzimáticas extracelulares y se complementa con estrategias bioinformáticas para identificar nuevas enzimas candidatas. Esta integración permite abordar el problema desde diferentes escalas: el ambiente, los microorganismos, las enzimas y el material.

Estos trabajos muestran que la transformación de plásticos puede estudiarse desde un enfoque biotecnológico integral, sin perder de vista sus limitaciones. La investigación en esta área contribuye a generar conocimiento sobre los mecanismos que participan en la modificación de polímeros como PET y LDPE, y puede apoyar en el futuro el desarrollo de estrategias complementarias para el manejo, reciclaje y valorización de residuos plásticos. En este sentido, la línea representa un campo emergente dentro de la Biotecnología Industrial, con potencial para formar recursos humanos, fortalecer colaboraciones y aportar soluciones basadas en evidencia científica.

Conclusiones

La biodegradación de plásticos es un proceso progresivo y dependiente del tipo de polímero, de las condiciones ambientales y de los microorganismos o enzimas involucrados. En algunos casos, como el PET, existen enzimas capaces de iniciar su hidrólisis bajo condiciones específicas. En otros, como el LDPE, la transformación biológica representa un reto mayor debido a la estabilidad de su estructura química. Por ello, el estudio de microorganismos, enzimas y herramientas bioinformáticas permite comprender mejor

las etapas iniciales de transformación. Desde esta perspectiva, la línea desarrollada por el grupo aporta conocimiento útil para explorar el papel de la biotecnología industrial en el manejo, reciclaje y valorización de residuos plásticos, como parte de estrategias más amplias y complementarias frente a la contaminación plástica.

Conflicto de intereses

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

Financiamiento

Este proyecto fue financiado por el proyecto FORDECYT-PRONACES/1727997/2020.

Referencias

- Amaral-Zettler, L. A., Zettler, E. R., & Mincer, T. J. (2020). Ecology of the plastisphere. *Nature Review Microbiology*, 18(3), 139-151. <https://doi.org/10.1038/s41579-019-0308-0>
- Casas-Godoy, L., Ávila López, Y. C., Saldierna Gómez, A. A., Sumaya Martínez, M. T., Kirchmayr, M. R., Campos Valdéz, A. R., & Robles Machuca, M. (2025). Prospección de enzimas microbianas para la biodegradación de plásticos a partir de un sitio con altos residuos plásticos sólidos en Tepic, Nayarit, México. *Revista Bio Ciencias*, 12, e1913. <https://doi.org/10.15741/revbio.12.e1913>
- Chow, J., Perez-Garcia, P., Dierkes, R., & Streit, W. R. (2023). Microbial enzymes will offer limited solutions to the global plastic pollution crisis. *Microbial Biotechnology*, 16(2), 195-217. <https://doi.org/10.1111/1751-7915.14135>
- Danso, D., Chow, J., Streit Wolfgang, R., & Drake Harold, L. (2019). Plastics: Environmental and Biotechnological Perspectives on Microbial Degradation. *Applied and Environmental Microbiology*, 85(19), e01095-01019. <https://doi.org/10.1128/AEM.01095-19>
- Gambarini, V., Pantos, O., Kingsbury, J. M., Weaver, L., Handley, K. M., & Lear, G. (2021). Phylogenetic Distribution of Plastic-Degrading Microorganisms. *mSystems*, 6(1). <https://doi.org/10.1128/mSystems.01112-20>
- Ghatge, S., Yang, Y., Ahn, J.-H., & Hur, H.-G. (2020). Biodegradation of polyethylene: a brief review. *Applied Biological Chemistry*, 63(1). <https://doi.org/10.1186/s13765-020-00511-3>
- Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH. (2023). *Protección de las regiones costeras mexicanas y sus ecosistemas mediante la reducción de residuos plásticos (PROCEP)*. <https://www.giz.de/en/downloads/giz2023-es-facsheet-PROCEP.pdf>

- Mendez-Zamora, A., Diaz-Vidal, T., Robles-Machuca, M., Pereira-Santana, A., & Casas-Godoy, L. (2024). Unveiling potential PET degrading eukaryotes through *in silico* bioprospecting of PETases. *Science of the Total Environment*, 948, 174978. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.174978>
- Mohanan, N., Montazer, Z., Sharma, P. K., & Levin, D. B. (2020). Microbial and Enzymatic Degradation of Synthetic Plastics. *Frontiers in Microbiology*, 11, 580709. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2020.580709>
- Nouri, M., Massahi, T., & Hossini, H. (2025). Microplastics in human body: a narrative on routes of exposure to contamination and potential health effects. *Environmental Pollutants and Bioavailability*, 37(1), 2538535. <https://doi.org/10.1080/26395940.2025.2538535>
- Organisation for Economic Co-operation and Development. (2022). *Global Plastics Outlook: Economic Drivers, Environmental Impacts and Policy Options*. OECD Publishing. <https://doi.org/10.1787/de747aef-en>
- Sheth, M. U., Kwartler, S. K., Schmaltz, E. R., Hoskinson, S. M., Martz, E. J., Dunphy-Daly, M. M., Schultz, T. F., Read, A. J., Eward, W. C., & Somarelli, J. A. (2019). Bioengineering a Future Free of Marine Plastic Waste. *Frontiers in Marine Science*, 6. <https://doi.org/10.3389/fmars.2019.00624>
- Sinisterra-Sierra, M. C., Campos-Valdez, A., Pereira-Santana, A., Zamora-Briseno, J. A., Ramirez-Perez, S. L., Gonzalez-Escobar, J. L., Kirchmayr, M. R., Barreira-Martinez, I., Robles-Machuca, M., & Casas-Godoy, L. (2025). Microbial diversity and enzymatic potential for plastic degradation in contaminated dumpsites in Mazamitla, Jalisco. *Environmental Research*, 283, 122170. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2025.122170>
- Srikanth, M., Sandeep, T., Sucharitha, K., & Godi, S. (2022). Biodegradation of plastic polymers by fungi: a brief review. *Bioresources and Bioprocessing*, 9(1), 42. <https://doi.org/10.1186/s40643-022-00532-4>
- Tournier, V., Duquesne, S., Guillamot, F., Cramail, H., Taton, D., Marty, A., & Andre, I. (2023). Enzymes' Power for Plastics Degradation. *Chemical Reviews*, 123(9), 5612-5701. <https://doi.org/10.1021/acs.chemrev.2c00644>
- United Nations Environment Programme. (2023). *Turning off the tap: How the world can end plastic pollution and create a circular economy*. <https://wedocs.unep.org/handle/20.500.11822/42277>
- Yoshida, S., Hiraga, K., Takehana, T., Taniguchi, I., Yamaji, H., Maeda, Y., Toyohara, K., Miyamoto, K., Kimura, Y., & Oda, K. (2016). A bacterium that degrades and assimilates poly(ethylene terephthalate). *Science*, 351(6278), 1196-1199. <https://doi.org/10.1126/science.aad6359>



**50 AÑOS DEL CIATEJ:
CIENCIA, TECNOLOGÍA Y SOCIEDAD**





Métodos de resiliencia vegetal: aliados biotecnológicos para incrementar la defensa de las plantas ante fitopatógenos

Plant resilience methods: biotechnological allies to increase plant defense against phytopathogens

Elizabeth Sánchez Jiménez¹, Rubén Antonio Olivares Terrones², Eduardo Valdés Velarde¹, Evangelina Esmeralda Quiñones-Aguilar², Gabriel Rincón Enríquez^{2*}

¹ Departamento de Fitotecnia, Universidad Autónoma Chapingo, Texcoco, Estado de México, México.

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

* Autor de correspondencia: grincon@ciatej.mx

Palabras clave:

biotecnología, elicitores, miARN, actinobacterias, bacteriófagos, micorrizas

Keywords:

biotechnology, elicitors, miRNAs, actinobacteria, bacteriophages, mycorrhiza

Resumen

La biotecnología aplicada al control de microorganismos fitopatógenos en plantas de interés agrícola tiene como objetivo aprovechar los sistemas naturales para fortalecer la respuesta de las plantas y métodos basados en microorganismos para suprimir enfermedades. En CIATEJ se han realizado estudios enfocados en el desarrollo de diferentes aplicaciones para el biocontrol de enfermedades de plantas, entre ellas, destaca la aplicación de fructanos y proteínas bacterianas como bioinductores (elicitores), que han demostrado generar efectos protectores sistémicos o locales, favoreciendo la defensa contra fitopatógenos. La incorporación de nuevas tecnologías basadas en microARN abre la posibilidad de regular la expresión genética de manera precisa, ofreciendo un enfoque innovador para desarrollar variedades resistentes a enfermedades. La aplicación de microorganismos capaces de inhibir el desarrollo de los fitopatógenos, mediante la producción de moléculas con actividad antimicrobiana, como las actinobacterias, o por la lisis de los patógenos, como los bacteriófagos para el control de enfermedades de plantas de interés agrícola.

Abstract

Biotechnology applied to the control of phytopathogenic microorganisms in agriculturally important plants aims to harness natural systems to strengthen plant responses, as well as methods based on microorganisms to suppress diseases. At CIATEJ, studies have been conducted focused on the development of different applications for biocontrol of plant diseases, among them, the application of fructans and bacterial proteins as bioinducers (elicitors), which have demonstrated protective effects at both systemic and local levels, enhancing defense against phytopathogens. The incorporation of new technologies based on microRNAs opens the possibility of precisely regulating gene expression, offering an innovative approach for the development of disease-resistant crops. Likewise, the application of microorganisms capable of inhibiting the development of phytopathogens through the production of antimicrobial molecules, such as actinobacteria, or through pathogen lysis, such as bacteriophages, provides effective strategies for the control of diseases in agriculturally important plants.

Recibido: 17 de mayo 2026
Revisado: 01 de julio 2026
Aceptado: 03 de julio 2026
Publicado: 01 de agosto 2026



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 población mundial en crecimiento demanda una mayor producción de alimentos que, a su vez, sea más efectiva y ambientalmente responsable; sin embargo, la seguridad alimentaria depende de diferentes factores: el aumento en la incidencia de enfermedades fitopatógenas derivadas de las condiciones climáticas cambiantes (Das et al., 2023; Verma et al., 2025). La biotecnología es la herramienta más prometedora para la producción sostenible de alimentos, con la finalidad de mejorar procesos en la industria, mejorar la producción alimenticia, ofrecer alternativas en medicina o para la defensa vegetal frente a fitopatógenos, entre otras aplicaciones (Hernández-Fonseca, 2010).

La biotecnología suele generar incertidumbre debido a que ha sido asociada con el desarrollo de organismos genéticamente modificados, mejor conocidos como transgénicos, pero involucra más procesos capaces de modificar el comportamiento de un organismo sin necesidad de realizar modificaciones genéticas (Jiménez-Villota & Insuasti, 2025). Esto permite crear estrategias de mejora, fomentando la utilización de los mecanismos ya existentes dentro de la célula, del tejido, de órganos o incluso del organismo completo. Las técnicas que aprovechan los procesos naturales para fortalecer el sistema mismo, sin generar modificaciones al genoma, son algunas de las herramientas más prometedoras (Singh et al., 2019; Kumar & Mukhopadhyay, 2025).

Dentro de los aliados de la biotecnología para la protección vegetal frente a fitopatógenos se han descrito dos estrategias generales para el control de enfermedades fitopatógenas: las directas e indirectas. Las estrategias directas tienen efecto sobre el organismo patógeno, mientras que las indirectas disminuyen el efecto de los microorganismos fitopatógenos. Por ejemplo, los inductores o elicitores, que son moléculas o señales de origen biótico o abiótico que inducen en la planta respuestas de defensa, activando mecanismos de resistencia frente a patógenos o estrés (Thakur et al., 2013). Los microARN (miRNA) son pequeños ARN no codificantes que regulan la expresión génica a nivel postranscripcional mediante el reconocimiento específico de ARN mensajeros blancos, modulando procesos esenciales del desarrollo y la respuesta al estrés en plantas (Bojórquez-Orozco et al., 2023). Se trata de moléculas con diferente naturaleza, que actúan a nivel celular y sistémico, es decir, la respuesta generada se observa en el organismo completo (Gowthami, 2018; Sánchez-Jiménez et al., 2025). Por otro lado, las estrategias de control directas son aquellas donde se inhibe el desarrollo del fitopatógeno para evitar la enfermedad (O'Brien & Phillip, 2017). Estos son mecanismos como la producción de moléculas con actividad antimicrobiana o directamente la infección y destrucción del patógeno, como en el caso de los virus bacterianos (bacteriófagos).

En el 2008 inicia la línea de investigación en Fitopatología en el Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco (CIATEJ). En este artículo se recopilan algunos de los trabajos publicados producto de esta línea de investigación que han permitido el desarrollo de alternativas de control biológico de microorganismos fitopatógenos, que contribuyen a disminuir el impacto ambiental y que conllevan el manejo sustentable de bajo impacto ambiental de enfermedades de importancia agrícola.

“Vacunas vegetales”: aplicación de inductores (elicitores)

Las plantas son susceptibles al cambio climático, viéndose afectadas en diferentes etapas de desarrollo, como la germinación, la floración y la productividad, manteniéndose en un estrés constante por el cambio y el aumento de las condiciones climáticas extremas. El estrés abiótico es un factor determinante para su estabilidad, pero, como organismos productores primarios, capaces de producir su propio alimento, son la base de la mayoría de la cadena alimentaria, siendo blancos de invasión por hongos, bacterias, virus, nematodos y animales (Abdul-Malik et al., 2020; Kumar & Mukhopadhyay, 2025).

Los inductores o elicitores son moléculas de naturaleza química, polimérica o biológica que facilitan el reconocimiento entre plantas y fitopatógenos (Gowthami, 2018; Sánchez-Jiménez et al., 2025). Estas moléculas pueden activar el sistema de defensa en las plantas y fortalecer su resistencia a patógenos de manera similar al efecto de vacunas aplicadas a animales con un sistema inmunológico, como en el caso de los seres humanos (Cuellar-Espejel et al., 2024; 2025); por lo cual se les ha denominado “vacunas vegetales”. Estas moléculas, provenientes de derivados naturales, pueden inducir respuestas favorables frente a un amplio espectro de patógenos, sin importar la interacción planta-patógeno. Además, han demostrado mejorar la capacidad de respuesta y protección de la planta, lo que, sin necesidad de modificar su genoma, favorece la respuesta eficaz contra fitopatógenos principalmente al fortalecer sus tejidos (López-Velázquez et al., 2019; Abdul Malik et al., 2020; López-Velázquez et al., 2023a, b).

Investigaciones realizadas en el CIATEJ han explorado el uso de fructanos y proteínas como elicitores en la agricultura; destacando López-Velázquez et al. (2023a), quienes demostraron que la aplicación de inulina de dalia de alta pureza incrementó la actividad de β -1,3-glucanasa y peroxidasas, especialmente a una concentración de 300 mM. Esta respuesta se manifiesta tanto en el sitio de aplicación (local) como sistemáticamente (toda la planta) (Figura 1A). Esta aplicación redujo la severidad de la marchitez del chile causada por *Phytophthora capsici* hasta un 50%; sin embargo,

esta estrategia elevó los costos de producción, motivando el análisis de fructanos de distintos orígenes. Por otra parte, los fructanos de *Agave*, derivados de procesos de producción secundaria, también demostraron su potencial elicitor; el trabajo realizado por Sánchez-Jiménez et al. (2025) consistió en utilizar tres tipos de fructanos, uno de calidad alimentaria de *Agave tequilana* Weber var. Azul y otro obtenido por extracción semiartesanal de *Agave cupreata*, evaluándose de manera comparativa con inulina de dalia. La eficacia de su respuesta de defensa contra *Phytophthora capsici* en la infección de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) se analizó evaluando los mecanismos de defensa, incluidos la deposición de lignina y peróxido de hidrógeno (H_2O_2), la acumulación y actividad de β -1,3-glucanasa y peroxidasa. Los resultados indicaron que la aplicación foliar de ambos fructanos mostró protección contra la infección, reduciendo la incidencia y gravedad de la enfermedad de hasta el 50%, donde los fructanos derivados de *A. tequilana* en una concentración de 0.5 g/L favorecen la mayor protección, donde se asocian con la acumulación temprana de H_2O_2 y el aumento en la actividad de la peroxidasa, lo que se relaciona con la dinámica de las especies reactivas de oxígeno (ROS) diferenciadas de las plantas sin tratamiento, las cuales tienen una menor acumulación (Figura 1B).

Otro compuesto de origen fúngico capaz de inducir la respuesta de defensa de las plantas es el quitosano, un polímero natural con propiedades biológicas que le atribuyen diferentes ventajas, entre ellas que es biodegradable, biocompatible, seguro, económico y no tóxico. López-Velázquez et al. (2023b) utilizaron quitosano de bajo peso molecular, grado alimenticio, grado práctico y grado medio en concentraciones de 0.01 y 0.05% para evaluar su efecto protector contra la roya del café. Los resultados demostraron que el quitosano de grado práctico y el quitosano grado alimenticio indujeron la actividad enzimática de β -1,3-glucanasas y peroxidasas. Se observó un aumento en la cantidad de compuestos fenólicos en plantas tratadas con quitosano de alto peso molecular al 0.05% con un aumento de hasta un 20% en la cantidad de compuestos fenólicos en plantas tratadas con quitosano, lo que se refleja en un aumento en la protección contra la roya del café, por la formación de β -1,3-glucanasas, que degradan la pared celular del hongo y el aumento en las peroxidasas, que se refleja como el engrosamiento de la pared celular de la planta, considerando al quitosano como una molécula eficaz para el control de la roya del café (Figura 1C).

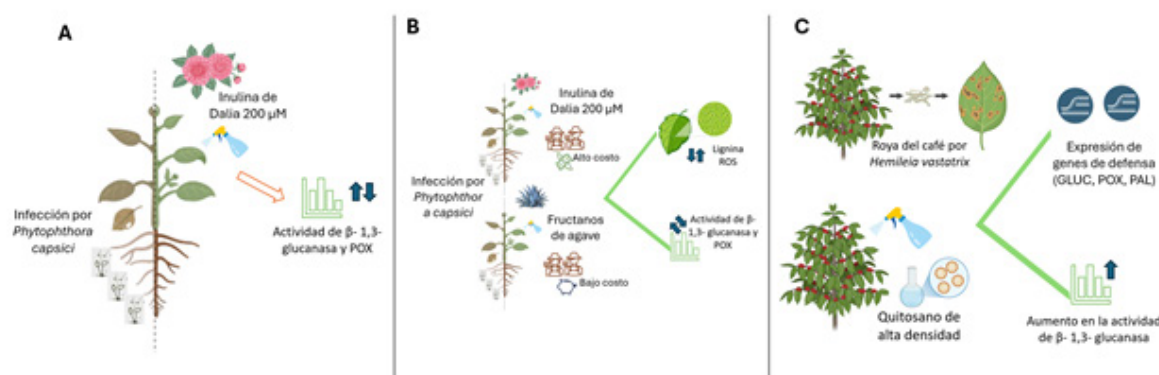


Figura 1. Metodologías utilizadas para la aplicación de elicitores frente a diferentes microorganismos fitopatógenos. A. Aplicación de inulina de dalia para la protección frente a *P. capsici* (López-Velázquez et al., 2023a). B. Aplicación de fructanos de agave para la protección frente a *P. capsici* (Sánchez-Jiménez et al., 2025). C. Aplicación de quitosano para la protección de café contra *Hemileia vastatrix* (López-Velázquez et al., 2023b)

Finalmente, las proteínas harpinas (Hrp) son proteínas de carácter ácido, termoestables, ricas en glicina y libres de cisteína, producidas por las bacterias Gram negativas que son excretadas por el sistema de secreción tipo III en los procesos de infección y las interacciones planta-patógeno (Cuéllar-Espejel et al., 2025). Estas proteínas son capaces de activar el sistema de defensa de las plantas, ya que son detectadas en el tejido superficial de las plantas y esto activa múltiples sistemas de defensa, como la Resistencia Sistémica Adquirida relacionada con el ácido salicílico, otras hormonas de defensa como el etileno, el jasmonato o el ácido abscísico u otros sistemas de defensa como la producción de especies reactivas de oxígeno o la activación de MAP quinasas (Patoliya et al., 2026). Esta estrategia ha sido explorada en el área de Fitopatología en el CIATEJ, principalmente para el control de la mancha bacteriana de los cultivos de chile y jitomate (Cuéllar-Espejel et al., 2025). Para esto se estimuló a la bacteria *Xanthomonas* sp., agente causal de la enfermedad, para incrementar la producción de las proteínas Hrp, las cuales, posteriormente, fueron purificadas y aplicadas en plantas sanas (Valerio-Landa et al., 2020; 2021). Los resultados mostraron que la aplicación de las proteínas a bajas concentraciones (0.01 µg/mL) redujo hasta en un 60% la aparición de síntomas de la mancha bacteriana causada por *Xanthomonas* en el chile, pero también las protegió contra la enfermedad de la peca bacteriana causada por *Pseudomonas syringae* al reducir hasta en un 53% el número de manchas (Cuéllar-Espejel et al., 2025).

La aplicación de elicitores de diversos orígenes ha demostrado un efecto protector al activar rutas enzimáticas que favorecen la respuesta temprana frente a fitopatógenos, con resultados exitosos en chile, jitomate y café. Diferentes estudios han permitido identificar las rutas enzimáticas diferenciadas que desencadenan respuestas

eficientes, integrando disciplinas como la economía circular, con el aprovechamiento de recursos derivados, como los fructanos de *Agave* de diferentes orígenes, el usos de tejido de chile de desecho al finalizar el ciclo del cultivo como inductor de proteínas Hrp; la ciencia de materiales, mediante la caracterización fisicoquímica de compuestos como el quitosano y los fructanos de *Agave* (López-Velázquez et al. 2023 A, B; Sánchez-Jiménez et al., 2025) y el empleo de proteínas Hrp (Valerio-Landa et al., 2020; 2023). Este proceso de interacción elicitor-planta-patógeno abre nuevas perspectivas para la protección vegetal sostenible.

Elicitores vivos: Hongos Micorrízicos Arbusculares (HMA)

Los hongos micorrízicos arbusculares (HMA) son microorganismos que establecen relaciones simbióticas de beneficio mutuo con las raíces de las plantas y ayudan a aumentar la adquisición de nutrientes por parte de las plantas y les confieren resistencia a factores de estrés (Minchev et al., 2026). Esta relación simbiótica también tiene la capacidad de inducir mayor resistencia a las enfermedades mediante mecanismos similares a los de otros elicitores, mediante la activación de rutas hormonales como las del jasmonato y la del etileno. Las plantas micorrizadas presentan cambios fisiológicos que mejoran la respuesta a fitopatógenos, como la acumulación de metabolitos —como los flavonoides y antocianinas— y también presentan una respuesta más rápida a las señales de daño. Además, los HMA pueden competir con los fitopatógenos del suelo —como hongos, oomicetos y nematodos— por la colonización de las raíces. A todos estos mecanismos en conjunto se les conoce como Resistencia Inducida por Micorrizas (André y Chave, 2026; Minchev et al., 2026).

El uso de hongos micorrízicos arbusculares como una estrategia biológica para el control del oomiceto fitopatógeno *Phytophthora capsici*, causante de la marchitez del chile. Los estudios realizados demostraron que la inoculación de plantas de *Capsicum annuum* con consorcios micorrízicos no solo favorece el crecimiento vegetal, incrementando la altura de planta, el diámetro del tallo, el número de hojas y la biomasa, sino que también reduce la severidad de la enfermedad. En particular, el consorcio micorrízico denominado Cerro del Metate mostró un importante efecto bioprotector, disminuyendo los daños ocasionados por el patógeno en variedades de chile serrano y poblano, llegando a duplicar la altura de las plantas micorrizadas en la variedad de chile serrano y disminuyendo la severidad de la infección por *Phytophthora capsici* hasta en un 80% (Reyes-Tena et al., 2016). Además, investigaciones posteriores indicaron que la combinación de micorrizas con actinobacterias puede potenciar estos efectos. En el trabajo de Reyes-Tena et al. (2017) se observó que *P. capsici* infectó hasta el 70% de la raíz de plantas de chile sin protección, disminuyendo

a solo 33% cuando se inocularon con el HMA, y a solo 12% cuando se inoculó en conjunto con HMA y una cepa de actinobacteria, aprovechando las capacidades de biocontrol de esta última.

Regulando amenazas: miARN aliado de la biotecnología vegetal

Los miARN (microARN) son pequeñas moléculas de ARN no codificantes que surgen de manera natural en un proceso altamente regulado durante la transcripción del ADN; estos son secuencias de ARN monocatenarios que no son codificantes de proteínas y surgen a partir de la formación de horquillas. Los microARN pueden transcribirse a partir del ADN genómico en el núcleo a través de la ARN polimerasa II donde surge un pre-miARN, posteriormente una ribonucleasa III enciende estos precursores y se une a una proteína para transportar estas secuencias al citoplasma y es aquí donde mediante proteínas transportadoras puede unirse a diferentes complejos e inducir la degradación o suspensión de la traducción del ARNm (Bórrquez-Orozco et al., 2023; Genedy et al., 2022).

Se llegó a considerar que los miARN eran un residuo del proceso de transcripción, sin función propia, pero en la actualidad se sabe que son pequeñas moléculas con amplia capacidad y funcionalidad, ya que se involucran en la expresión de genes; estas moléculas funcionan como “interruptores moleculares” dentro de las células. Su objetivo es regular qué genes se activan y cuáles se apagan (Zhang et al., 2022). El descubrimiento de estas moléculas ha demostrado que con una secuencia corta (19-25 nucleótidos) se pueden regular funciones específicas. ¿De qué forma? Adhiriéndose a la secuencia del ARNm de un gen de interés (gen en proceso de expresión), provocando que sea degradada o que no se permita su lectura y, por lo tanto, no ocurra la traducción. Esto puede interferir en el desarrollo, la diferenciación celular, las respuestas al estrés y la homeostasis. Pequeñas moléculas de ARN son tan relevantes que su descubrimiento mereció el Premio Nobel de Medicina en 2024 a Victor Ambros y Gary Ruvkun; aunque este proceso se describió por primera vez en las células animales, en los vegetales y demás organismos está presente una herramienta biotecnológica para regular la expresión de sus genes (O’Brien et al., 2018; Tang et al., 2021).

En las plantas, algunos miARN pueden silenciar genes relacionados con el estrés biótico y abiótico, que favorecen la infección de fitopatógenos, convirtiéndose en una defensa molecular no invasiva. Su función dentro de la célula define la expresión específica de genes, sin necesidad de recurrir al genoma original, simplemente eliminando secuencias antes de su expresión en su forma funcional de proteínas (Tang et al., 2021).

El ARN es conocido por ser una molécula que se degrada fácilmente; sin embargo, se sabe que los microARN son muy resistentes, con el tamaño perfecto para transportarse por la célula, llegar a células aledañas y generar efectos de regulación genética (Jiang et al., 2023). Se sabe que los miARN son tan funcionales que incluso se comparte interespecie, es decir, que un hongo puede transferir un miARN funcional a células vegetales, o que células vegetales pueden transferir miARN funcional a células humanas. Estos miARN funcionan porque tienen una estructura tan pequeña que suele no considerarse un peligro dentro del sistema de replicación celular; al ser tan pequeños, pasan desapercibidos, pero su función está definida, es altamente específica y eficiente (Lv et al., 2023).

En agricultura, los miARN han sido empleados para desarrollar variedades con mayor resistencia a condiciones bióticas y abióticas, por ejemplo, en maíz se ha favorecido la resistencia al estrés hídrico; en trigo, a enfermedades causadas por hongos como la roya y la fusariosis; mientras que en tomate se ha favorecido la resistencia a virus (Chaudhary et al., 2018; Lv et al., 2023).

Las investigaciones actuales han demostrado que los miARN desempeñan un papel importante en la regulación genética que favorece la protección ante diferentes factores, como la resistencia a enfermedades en trigo. La mayoría de los estudios se enfocan en describir la diferenciación y sobreexpresión de miARN en diferentes procesos biológicos, dilucidando que su aplicación es efectiva; se transporta eficientemente aun si la aplicación es exógena, donde ocurre una compatibilidad aunque el miARN sea externo y pueda interferir en funciones fisiológicas (Jiang et al., 2023; Lv et al., 2023).

El enemigo de mi enemigo es mi amigo: el control biológico

El término de control biológico se refiere a una amplia variedad de métodos de control de plagas y enfermedades en la agricultura excluyendo el uso de agentes químicos y culturales (Barrera, 2021; Waage & Greathead, 1988) y se puede definir como el uso de organismos biológicos, sus partes o derivados, como agentes para el control de plagas y enfermedades. El control biológico, por tanto, es un fenómeno que debe ser entendido como un proceso agroecológico, donde intervienen factores bióticos y abióticos y la acción del humano está encaminada a regular las poblaciones de las plagas o microorganismos fitopatógenos para mantenerlas por debajo del umbral de daño económico (Rodríguez-del-Bosque, 2019). Específicamente, el control de enfermedades de plantas es la supresión de una enfermedad causada por un microorganismo fitopatógeno por la aplicación de un agente de control biológico, como un hongo, una bacteria o un virus (O'Brien & Phillip, 2017).

Los mecanismos de control biológico de enfermedades de plantas pueden involucrar distintos procesos directos, como la supresión del desarrollo de los fitopatógenos; o indirectos, como la producción de compuestos que activan o potencian las respuestas de defensa de las plantas y la regulación del agroecosistema protegiendo y promoviendo a los enemigos naturales y competidores de los fitopatógenos (Köhl et al., 2019). Ya se ha hablado anteriormente de algunos de los mecanismos indirectos, como los elicitores, así que ahora se abordarán los mecanismos directos; primero, en la producción de metabolitos con actividad antimicrobiana, y enseguida, en los virus bacterianos, los cuales se conocen como bacteriófagos o simplemente fagos.

El arsenal metabólico de las actinobacterias

Los productos naturales, también llamados metabolitos secundarios o especializados, son moléculas producidas por un grupo limitado de organismos que les ayudan a interactuar con su medio ambiente. Aunque muchos microorganismos son capaces de sintetizar este tipo de compuestos, cada molécula en particular suele ser producida solo por especies o grupos muy específicos. Estas sustancias les permiten interactuar con su entorno y desempeñan funciones importantes en su adaptación y supervivencia (Hoskisson & Seipke, 2020). Los metabolitos con actividad antimicrobiana son de gran importancia para el control de fitopatógenos porque ofrecen una alternativa eficaz y más amigable con el ambiente frente a los pesticidas químicos. Las actinobacterias, en especial el género *Streptomyces*, son los mayores productores de estos compuestos, incluyendo la mitad de los antibióticos comerciales, así como productos con otras características de interés como enzimas, pigmentos, antioxidantes, antivirales, antitumorales o metabolitos reguladores del crecimiento vegetal, entre otras (Rincón-Enríquez et al., 2016).

Durante el ciclo de vida, las bacterias del género *Streptomyces* producen una amplia variedad de compuestos naturales, como antibióticos y otras moléculas bioactivas, que les permiten competir con hongos y bacterias dañinas en el suelo. Estas sustancias pueden inhibir el crecimiento de organismos que causan enfermedades en las plantas, ayudando a proteger a los cultivos agrícolas de manera natural. Además, al ser productos de origen biológico, suelen ser más específicos y menos persistentes en el ambiente, lo que reduce el impacto negativo sobre otros organismos y favorece una agricultura más sostenible (Rincón-Enríquez et al., 2016).

Las actinobacterias del género *Streptomyces* son bacterias Gram positivas filamentosas que se caracterizan por un ciclo de vida complejo que inicia con la germinación de una espora, que crece en forma de filamentos ramificados llamados micelio vegetativo bajo la superficie y que se encarga de absorber nutrientes. Cuando los

nutrientes empiezan a escasear, la bacteria entra en una segunda etapa: parte del micelio vegetativo se diferencia en micelio aéreo que se eleva sobre la superficie del sustrato. Finalmente, el micelio aéreo se divide de manera ordenada para producir largas cadenas de esporas, cada una capaz de iniciar un nuevo ciclo si las condiciones son adecuadas. Debido al proceso de diferenciación que tiene en este ciclo de vida, este grupo de bacterias presenta una gran adaptabilidad a una amplia diversidad de ambientes, incluyendo los suelos y las raíces. Por otra parte, el grupo de los *Streptomyces* se caracteriza por una extraordinaria diversidad metabólica que les permite sintetizar moléculas bioactivas como antibióticos, enzimas hidrolíticas y compuestos orgánicos volátiles con actividad antimicrobiana; por lo cual, este grupo microbiano tiene un gran potencial para el control biológico mediante la inhibición de bacterias fitopatógenas e inducción de resistencia sistémica en las plantas (Jahan et al., 2025).

En especial, las actinobacterias aisladas de suelos de México son una valiosa fuente natural de moléculas bioactivas debido a la enorme diversidad ambiental del país. Los suelos mexicanos incluyen ecosistemas muy variados que imponen condiciones ambientales extremas y cambiantes. Para adaptarse y competir en estos ambientes, las actinobacterias tienen que adaptarse y evolucionar. Esta combinación de alta biodiversidad del suelo y presión ecológica favorece la aparición de moléculas nuevas o poco exploradas (Evangelista-Martínez et al., 2017), entre las cuales se encuentran las moléculas con actividad antimicrobiana con potencial para el control de microorganismos fitopatógenos.

En CIATEJ se han realizado varios trabajos para explorar el potencial de las actinobacterias de distintos ambientes del país, para inhibir el desarrollo de algunos de los fitopatógenos de mayor impacto en la agricultura. Por ejemplo, Quiñones-Aguilar et al. (2024) aislaron, a partir de un suelo agrícola con cultivo de *Agave* spp. en el estado de Michoacán, tres cepas de *Streptomyces* spp. capaces de inhibir significativamente el desarrollo de *Pseudomonas syringae* pv. *phaseolicola*. Por su parte, en el trabajo de Rincón-Enríquez et al. (2014) se aislaron 80 cepas de actinobacterias de suelos agrícolas de Michoacán y Aguascalientes, de las cuales cinco mostraron la inhibición total del agente causal del tizón del halo de frijol (*P. syringae* pv. *phaseolicola*). Además, se ha evaluado la capacidad de las actinobacterias aisladas de suelos de distintas partes del país, como Jalisco y Michoacán, para inhibir *in vitro* a *Xanthomonas* spp., grupo de bacterias fitopatógenas que infectan más de 400 especies de plantas de interés agrícola (Trinidad-Cruz et al., 2026).

Las actinobacterias incluyen en su arsenal de productos naturales moléculas con actividad antifúngica y, por lo tanto, sus productos derivados, como extractos e inoculantes, tienen aplicaciones para el control de hongos fitopatógenos. En este

sentido, se ha evaluado el potencial de distintas cepas de actinobacterias del género *Streptomyces* aisladas de suelos en México para inhibir el desarrollo de omicetos u hongos fitopatógenos como *Phytophthora capsici*, *Fusarium oxysporum* y *Botrytis cinerea* (Evangelista-Martínez et al., 2017; Vargas-Gómez et al., 2023, 2025) que pueden afectar los cultivos de forma independiente o en consorcio, como el caso de la enfermedad del *Damping* causada por consorcios de *P. capsici*, *F. oxysporum* y *Rhizoctonia solani*, que causan grandes pérdidas económicas en cultivos tan variados como tomate, cítricos, mango o plátano (Evangelista-Martínez et al., 2020). Si bien no se han identificado los compuestos bioactivos en la mayoría de las cepas de actinobacterias, en el trabajo de Ríos-Muñiz y Evangelista-Martínez (2025) se identificó un método de acción potencial al observar que los extractos inhiben la formación de la membrana conidial. Aunque la mayoría de las cepas se han evaluado en condiciones *in vitro*, también se han usado distintas cepas de *Streptomyces* para el control de enfermedades postcosecha que disminuyen el tiempo de vida de anaquel de frutas y la calidad del producto final (Evangelista-Martínez et al., 2022).

Los virus bacterianos (bacteriófagos)

Los virus son entes biológicos que se encuentran cerca de la frontera entre la materia viva y la materia inerte, no se alimentan, no crecen, no se pueden desplazar por sí mismos y, en general, no interactúan con el ambiente para mantener un equilibrio (homeostasis), únicamente pueden reaccionar a las células que infectan, las cuales replican su material genético y producen las proteínas para ensamblar nuevos virus. En general, los virus consisten en un sistema que les permite reconocer un tipo especial de células, otro que les permite inyectar su material genético dentro de la célula que han reconocido y una o varias capas de proteínas que protegen el material genético (Keen, 2015).

Los virus que infectan a las bacterias se conocen con el nombre de bacteriófagos o fagos, los cuales se pueden utilizar como agentes de control biológico y, a pesar de su simplicidad, son abundantes y presentan una gran diversidad en la naturaleza. La fagoterapia es el uso de los bacteriófagos para controlar infecciones bacterianas (Gordillo-Altamirano & Barr, 2019). Se aprovecha de que, durante el ciclo de reproducción, la mayoría de los fagos destruyen las bacterias que infectan. Su ciclo de reproducción puede seguir dos vías: el ciclo lítico y el ciclo lisogénico. En el ciclo lítico, el fago se adhiere a la bacteria, inyecta su material genético y utiliza la maquinaria celular del hospedero para producir nuevas partículas virales. Al final de este proceso, la bacteria se rompe (lisa) y libera numerosos fagos capaces de infectar nuevas células bacterianas. En cambio, en el ciclo lisogénico, el ADN del fago se

integra al genoma de la bacteria sin destruirla de inmediato, permaneciendo latente hasta que condiciones ambientales favorecen su activación y el paso al ciclo lítico (Maurice et al., 2013). El empleo de bacteriófagos presenta ventajas, como que son altamente específicos, es decir, atacan únicamente a la bacteria patógena sin dañar a otros microorganismos benéficos, a las plantas, a los animales o a las personas y su uso contribuye a disminuir la dependencia de antibióticos y compuestos químicos, ayudando a enfrentar el problema de la resistencia bacteriana y a promover una agricultura más eficiente y ambientalmente responsable (Tripathi et al., 2024).

Se ha buscado generar soluciones para distintas enfermedades causadas por bacterias fitopatógenas. Uno de los ejemplos más completos es la generación de un producto formulado para el control de la mancha bacteriana del chile que mezcla dos fagos de *Xanthomonas euvesicatoria*, causal de la mancha bacteriana en solanáceas (Ibarra-Rivera et al., 2025). Ambos bacteriófagos, denominados XaF13 y XaF18, fueron aislados de suelos donde se cultiva chile, con presencia en Michoacán y Jalisco, y se han caracterizado a nivel microbiológico y genómico (Ríos-Sandoval et al., 2020; Solís-Sánchez et al., 2020, 2026). Una de las principales limitantes para el uso de bacteriófagos en la agricultura es el efecto negativo de la radiación UV solar sobre las partículas virales, por lo cual se diseñó una formulación protectora para los fagos, la cual ya cuenta con protección bajo el modelo de patente otorgada por el IMPI (Rincón-Enríquez et al., 2019). Una revisión más detallada de este caso se puede encontrar en Olivares-Terrones et al. (2024).

Otra de las problemáticas que se han abordado para su control es el tizón de halo del frijol; esta enfermedad es causada por *Pseudomonas syringae* pv. *phaseolicola* (PspH) puede provocar pérdidas de hasta 43–50% de la producción de frijol en México. Por esto, en el trabajo de Quiñones-Aguilar et al. (2018) se aislaron e identificaron seis cepas del patógeno. También se aislaron siete bacteriófagos capaces de infectarlas. La evaluación identificó que solo uno de los fagos logró disminuir significativamente el daño causado por *Pseudomonas syringae* pv. *phaseolicola*. También, se han aislado fagos para bacterias asociadas con la marchitez bacteriana del frijol, como *Exiguobacterium acetylum* (Camacho-Beltrán et al., 2024a) y *Microbacterium enclense* (Camacho-Beltrán et al., 2024b). Estos avances podrían ayudar a generar soluciones basadas en fagoterapia para problemáticas con distintas bacterias fitopatógenas asociadas a problemas fitosanitarios de la agricultura mexicana.

Conclusiones

La biotecnología se convierte en una alternativa estratégica frente a las condiciones que amenazan el desarrollo vegetal y, en consecuencia, la seguridad alimentaria global.

En un contexto marcado por el incremento de factores de riesgo y la intensificación del cambio climático, el uso de inductores (elicitores) ha demostrado ser una herramienta eficaz para la protección contra microorganismos fitopatógenos, ofreciendo un amplio espectro de defensa en las interacciones planta-patógeno. La integración de prácticas agrícolas tradicionales con innovaciones biotecnológicas abre un horizonte prometedor: la biotecnología no solo impulsa la creación de nuevas soluciones, sino que también fortalece la resiliencia de los cultivos, previene la pérdida por enfermedades y contribuye a la producción de alimentos nutritivos e inocuos respetando la salud humana, vegetal y ambiental. En síntesis, la biotecnología de los elicitores (fructanos, quitosano, proteínas Hrp y micorrizas), los miARN y el control biológico empleando metabolitos de actinobacterias y virus bacterianos se perfilan como aliados de la agricultura contemporánea, capaces de potenciar la sostenibilidad de los sistemas productivos y garantizar que el campo se fortalezca con vigor frente a los desafíos del futuro, todo ello sin recurrir a la modificación transgénica.

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

- André, A., Cave, M. (2026), Biocontrol potential of indigenous AMF strains: a systematic review and meta-analysis. *Biological Control*, 217, 106054. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2026.106054>
- Barrera, J. F. (2021). Concepto, alcances e implicaciones del control biológico. En H. C. Arredondo Bernal, F. Tamayo Mejía, & L. Á. Rodríguez del Bosque (Eds.), *Fundamento y práctica del control biológico de plagas y enfermedades* (pp. 15–39). Editorial BBA.
- Bojórquez-Orozco, A. M., Arce-Leal, Á. P., Montes, R. A. C., Santos-Cervantes, M. E., Cruz-Mendivil, A., Méndez-Lozano, J., Castillo, A. G., Rodríguez-Negrete, E. A., & Leyva-López, N. E. (2023). Differential Expression of miRNAs Involved in Response to *Candidatus Liberibacter asiaticus* Infection in Mexican Lime at Early and Late Stages of Huanglongbing Disease. *Plants*, 12(5), 1039. <https://doi.org/10.3390/plants12051039>
- Camacho-Beltrán, E., Morales-Aguilar, J. J., López-Meyer, M., Rincón-Enríquez, G., & Quiñones-Aguilar, E. E. (2024a). Complete genome sequence of the *Exiguobacterium* bacteriophage. *Microbiology Resource Announcements*, 13(7), e00342-24. <https://doi.org/10.1128/mra.00342-24>

- Camacho-Beltrán, E., Morales-Aguilar, J. J., López-Meyer, M., Rincón-Enríquez, G., & Quiñones-Aguilar, E. E. (2024b). Complete genome sequence of the *Microbacterium enclense* bacteriophage phiMiGM15. *Microbiology Resource Announcements*, 13(6). <https://doi.org/10.1128/mra.00302-24>
- Chaudhary, V., Jangra, S., & Yadav, N. R. (2018). Nanotechnology based approaches for detection and delivery of microRNA in healthcare and crop protection. *Journal of Nanobiotechnology*, 16(1), 40. <https://doi.org/10.1186/s12951-018-0368-8>
- Cuellar-Espejel, M. del S., Quiñones-Aguilar, E. E., Rincón-Enríquez, G., Hernández-Gutiérrez, R., Mateos-Díaz, J. C., & Valerio-Landa, S. D. (2025). Proteínas Hrp como bioinductores para el control biológico de enfermedades bacterianas en plantas de jitomate y chile bajo invernadero. *Revista Mexicana de Fitopatología*, 43(4), 54. <https://doi.org/10.18781/R.MEX.FIT.2024-25>
- Cuellar-Espejel, M. del S., Quiñones-Aguilar, E. E., Hernández-Gutiérrez, R., Mateos-Díaz, J. C., Valerio-Landa, S. D. & Rincón-Enríquez, G. (2024). Elicitors para mejorar la producción vegetal: vacunas vegetales. *Enfoques Transdisciplinarios: Ciencia y Sociedad*, 2(2), 163–171. <https://doi.org/10.5281/zenodo.12773668>
- Das, S., Ray, M. K., Panday, D., & Mishra, P. K. (2023). Role of biotechnology in creating sustainable agriculture. *PLOS Sustainability and Transformation*, 2(7), e0000069. <https://doi.org/10.1371/journal.pstr.0000069>
- Evangelista-Martínez, Z., Quiñones-Aguilar, E. E., & Rincón-Enríquez, G. (2017). Potencial biotecnológico de las actinobacterias aisladas de suelos de México como fuente natural de moléculas bioactivas: compuestos antimicrobianos y enzimas hidrolíticas. *Temas de Ciencia y Tecnología*, 21(63), 39–51.
- Evangelista-Martínez, Z., Contreras-Leal, E. A., Corona-Pedraza, L. F., & Gastélum-Martínez, É. (2020). Biocontrol potential of *Streptomyces* sp. CACIS-1.5CA against phytopathogenic fungi causing postharvest fruit diseases. *Egyptian Journal of Biological Pest Control*, 30(1), 117. <https://doi.org/10.1186/s41938-020-00319-9>
- Evangelista-Martínez, Z., Ek-Cen, A., Torres-Calzada, C., & Uc-Vázquez, A. (2022). Potential of *Streptomyces* sp. strain AGS-58 in controlling anthracnose-causing *Colletotrichum siamense* from post-harvest mango fruits. *Journal of Plant Pathology*, 104(2), 553–563. <https://doi.org/10.1007/s42161-022-01104-3>
- Genedy, H. H., Delair, T., Montembault, A. (2022). Chitosan Based MicroRNA Nanocarriers. *Pharmaceuticals*, 15(9), 1036. <https://doi.org/10.3390/ph15091036>
- Gordillo-Altamirano, F. L., & Barr, J. J. (2019). Phage therapy in the postantibiotic era. *Clinical Microbiology Reviews*, 32(2). <https://doi.org/10.1128/CMR.00066-18>

- Gowthami, L. (2018). Role of elicitors in plant defense mechanism. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 7(6), 2806-2812. <https://www.phytojournal.com/archives/2018/vol7issue6/PartAU/7-6-160-363.pdf>
- Hernández-Fonseca, Hugo. (2010). Biotecnología. *Revista Científica*, 20(3), 225-226. http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0798-22592010000300001&lng=es&tlng=es.
- Hoskisson, P. A., & Seipke, R. F. (2020). Cryptic or Silent? the known unknowns, unknown knowns, and unknown unknowns of secondary metabolism. *MBio*, 11(5), e02642-20. <https://doi.org/10.1128/mBio.02642-20>
- Ibarra-Rivera, G., Quiñones-Aguilar, E. E., Solís-Sánchez, G. A., García-Márquez, E., & Rincón-Enríquez, G. (2025). Evaluation of the ΦXaF18 bacteriophage formulation for the control of *Xanthomonas euvesicatoria* in chili pepper plants under field conditions. *Revista Mexicana de Fitopatología, Mexican Journal of Phytopathology*, 43(4). <https://doi.org/10.18781/R.MEX.FIT.2024-12>
- Jiang, C., Li, Z., Zheng, L., Yu, Y., & Niu, D. (2023a). Small RNAs: Efficient and miraculous effectors that play key roles in plant-microbe interactions. *Molecular Plant Pathology*, 24(8), 999-1013. <https://doi.org/10.1111/mpp.13329>
- Jiménez-Villota, D. S., & Insuasti, J. (2025). Investigación formativa en biotecnología: una revisión crítica. *Revista Huellas*, 11(2), 85-95. <https://doi.org/10.22267/huellas.251122.42>
- Keen, E. C. (2015). A century of phage research: bacteriophages and the shaping of modern biology. *BioEssays*, 37(1), 6-9. <https://doi.org/10.1002/bies.201400152>
- Kumar, D., & Mukhopadhyay, R. (2025). Climate change and plant pathogens: understanding dynamics, risks and mitigation strategies. *Plant Pathology*, 74(1), 59-68. <https://doi.org/10.1111/ppa.14033>
- López-Velázquez, J. C., García-Morales, S., López-Sánchez, G. P., Montero-Cortés, M. I., Uc-Vázquez, A., & Qui-Zapata, J. A. (2023a). High-density chitosan induces a biochemical and molecular response in *Coffea arabica* during infection with *Hemileia vastatrix*. *International Journal of Molecular Sciences*, 24(22), 16165. <https://doi.org/10.3390/ijms242216165>
- López-Velázquez, J. C., García-Morales, S., Qui-Zapata, J. A., García-Carvajal, Z. Y., Navarro-López, D. E., & García-Varela, R. (2023b). Induction of defense response mediated by inulin from dahlia tubers (*Dahlia* sp.) in *Capsicum annuum*. *Revista Mexicana de Fitopatología*, 42(1), 9. <https://doi.org/10.18781/R.MEX.FIT.2305-2>
- López-Velázquez, J. C., Haro-González, J. N., García-Morales, S., Espinosa-Andrews, H., Navarro-López, D. E., Montero-Cortés, M. I., & Qui-Zapata, J. A. (2021).

- Evaluation of the physicochemical properties of chitosans in inducing the defense response of *Coffea arabica* against the fungus *Hemileia vastatrix*. *Polymers*, 13(12), 1940. <https://doi.org/10.3390/polym13121940>
- López-Velázquez, J.C.; Navarro-López, D.E.; Qui-Zapata, J.A.; León-Morales, J.M.; Saavedra-Loera, D.I.; García-Morales, S. (2019). Effect of selenite and inulin on *Capsicum annuum* L.-*Phytophthora capsici* interaction in greenhouse. *Plant Biotechnol* 19, 25–34.
- Ly, Y., Zhong, Y., Jiang, B., Yan, H., Ren, S., & Cheng, C. (2023). MicroRNA miR171b positively regulates resistance to huanglongbing of citrus. *International Journal of Molecular Sciences*, 24(6), 5737. <https://doi.org/10.3390/ijms24065737>
- Maurice, C. F., Bouvier, C., de Wit, R., & Bouvier, T. (2013). Linking the lytic and lysogenic bacteriophage cycles to environmental conditions, host physiology and their variability in coastal lagoons. *Environmental Microbiology*, 15(9), 2463–2475. <https://doi.org/10.1111/1462-2920.12120>
- Minchev, Z., Garcia, J. M., Berrio, E., Pozo M. J., Jordi Gamir (2026). Primed responses to damage signals mediate mycorrhiza-induced resistance in tomato plants. *Journal of Experimental Botany*, 77(12), 3849–3863. <https://doi.org/10.1093/jxb/erag064>
- O'Brien, J., Hayder, H., Zayed, Y., & Peng, C. (2018). Overview of microRNA biogenesis, mechanisms of actions, and circulation. *Frontiers in Endocrinology*, 9, 402. <https://doi.org/10.3389/fendo.2018.00402>
- O'Brien, Philip A. (2017). Biological control of plant diseases. *Australasian Plant Pathology*, 46(4), 293–304. <https://doi.org/10.1007/s13313-017-0481-4>
- Olivares-Terrones, R. A., Quiñones-Aguilar, E. E., Solís-Sánchez, G. A., Siri-Tomás, M. I., & Rincón-Enríquez, G. (2024). El uso de bacteriófagos para el control de enfermedades en la agricultura: un caso de estudio para el desarrollo de un biobactericida. *Enfoques Transdisciplinarios: Ciencia y Sociedad*, 2(2), 149–161. <https://doi.org/10.5281/zenodo.12773571>
- Patoliya, J., Thaker, K., Kumar, P., Jain, N., & Joshi, R. (2026). From pathogen effectors to plant enhancers - harpin proteins as novel biostimulants: a review. *International Journal of Biological Macromolecules*, 365, 152410. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2026.152410>
- Quiñones-Aguilar, E. E., Reyes-Tena, A., Hernández-Montiel, L. G., & Rincón Enríquez, G. (2018). Bacteriófagos en el control biológico de *Pseudomonas syringae* pv. *phaseolicola* agente causal del tizón de halo del frijol. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 5(14), 191–202. <https://doi.org/10.19136/era.a5n14.1159>
- Quiñones-Aguilar, E. E., Reyes-Tena, A., Rincón-Enríquez, G., Rico-Aguilar, J. C., & López-Pérez, L. (2025). Extractos de actinomicetos contra *Pseudomonas syringae*

- pv. *phaseolicola* en *Phaseolus vulgaris*. *Revista Mexicana de Fitopatología*, 43(4), 73. <https://doi.org/10.18781/R.MEX.FIT.2024-02>
- Reyes-Tena, A., Quiñones-Aguilar, E. E., Rincón-Enríquez, G., & López-Pérez, L. (2016). Micorrización en *Capsicum annuum* L. para promoción de crecimiento y bioprotección contra *Phytophthora capsici* L. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 7(4), 857–870. <https://doi.org/10.29312/remexca.v7i4.260>
- Reyes-Tena, A., Rincón-Enríquez, G., López-Pérez, L., & Quiñones-Aguilar, E. E. (2017). Effect of mycorrhizae and actinomycetes on growth and bioprotection of *Capsicum annuum* L. against *Phytophthora capsici*. *Pakistan Journal of Agricultural Sciences*, 54(3), 513–522. <https://doi.org/10.21162/PAKJAS/17.4245>
- Rincón-Enríquez, G., García-Márquez, E., Quiñones-Aguilar, E. E., & Ibarra-Rivera, G. (2019). *Formulación protectora contra radiación solar UV para agentes de biocontrol en cultivos agrícolas*. Patente <https://vidoc.impi.gob.mx/visor?d=MX/2024/33644>
- Rincón-Enríquez, G., López-Pérez, L., & Quiñones-Aguilar, E. E. (2014). Efectividad biológica *in vitro* de actinomicetos sobre el agente causal del tizón de halo en frijol. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 37(3), 229–234. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-73802014000300008&lng=es&nrm=iso&tlng=es
- Rincón-Enríquez, G., Quiñones Aguilar, E. E., & Evangelista-Martínez, Z. (2016). Los actinomicetos y su aplicación biotecnológica. *Revista Elementos*, 101(23), 59–64. https://www.researchgate.net/publication/297758305_Los_actinomicetos_y_su_aplicacion_biotecnologica
- Ríos-Muñiz, D. E., & Evangelista-Martínez, Z. (2025). Efecto antifúngico de *Streptomyces* sp. GCAL-9 y su extracto bioactivo sobre *Colletotrichum* spp., agente causal de la antracnosis. *Avances en Investigación Agropecuaria*, 29 (Especial), 57–58. <https://doi.org/10.53897/RevAIA.25.29.37>
- Ríos-Sandoval, M., Quiñones-Aguilar, E. E., Solís-Sánchez, G. A., Enríquez-Vara, J. N., & Rincón-Enríquez, G. (2020). Complete genome sequence of *Xanthomonas vesicatoria* bacteriophage ΦXaF18, a contribution to the biocontrol of bacterial spot of pepper in Mexico. *Microbiology Resource Announcements*, 9(16). <https://doi.org/10.1128/MRA.00213-20>
- Sánchez-Jiménez, E., Herrejón-López, K. A., Montero-Cortés, M. I., López-Velázquez, J. C., García-Morales, S., & Qui-Zapata, J. A. (2025). Evaluation of *Dahlia* and *Agave* fructans as defense inducers in tomato plants against *Phytophthora capsici*. *Polysaccharides*, 6(3), 72. <https://doi.org/10.3390/polysaccharides6030072>
- Sharma, N., & Prasad, M. (2020). Silencing AC1 of Tomato leaf curl virus using artificial microRNA confers resistance to leaf curl disease in transgenic to-

- mato. *Plant Cell Reports*, 39(11), 1565-1579. <https://doi.org/10.1007/s00299-020-02584-2>
- Singh, V., Shikha, K., Singh, S., Singh, A. P., & Jaiswal, D. K. (2019). Application of plant biotechnology in improvement of vegetable breeding. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 8(04), 1428-1435. <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2019.804.166>
- Solís-Sánchez, G. A., Quiñones-Aguilar, E. E., Fraire-Velázquez, S., Vega-Arreguín, J., & Rincón-Enríquez, G. (2020). Complete Genome sequence of XaF13, a novel bacteriophage of *Xanthomonas vesicatoria* from Mexico. *Microbiology Resource Announcements*, 9(5). <https://doi.org/10.1128/MRA.01371-19>
- Solís-Sánchez, G. A., Quiñones-Aguilar, E. E., Avalos-Salgado, A. F., Olivares-Terrones, R. A., Ríos-Sandoval, M., & Rincón-Enríquez, G. (2026). Hybrid genome reanalysis of bacteriophage XaF13 infecting *Xanthomonas vesicatoria* provides insights into its phylogenetic relationships within the family inoviridae. *Agronomy*, 16(11), 1090. <https://doi.org/10.3390/agronomy16111090>
- Tang, J., Gu, X., Liu, J., & He, Z. (2021). Roles of small RNAs in crop disease resistance. *Stress Biology*, 1(1), 6. <https://doi.org/10.1007/s44154-021-00005-2>
- Thakur, M., & Sohal, B. S., (2013). Role of Elicitors in Inducing Resistance in Plants against Pathogen Infection: A Review. *International Scholarly Research Notices*, 2013, 762412. <https://doi.org/10.1155/2013/762412>
- Trinidad-Cruz, J. R., Enríquez-Vara, J. N., Rincón-Enríquez, G., & Quiñones-Aguilar, E. E. (2026). Identificación molecular y actividad antifúngica *in vitro* de aislados actinobacterianos contra *Colletotrichum gloeosporioides*. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 13(1). <https://doi.org/10.19136/era.a13n1.4537>
- Tripathi, A. N., Tiwari, S. K., Sharma, S. K., Sharma, P. K., & Behera, T. K. (2024). Current status of bacterial diseases of vegetable crops. *Vegetable Science*, 51(Special Is), 106–117. <https://doi.org/10.61180/vegsci.2024.v51.spl.10>
- Valerio-Landa, S.D., Quiñones-Aguilar, E.E. & Rincón-Enríquez, G. (2020). *Método para la obtención y aplicación de un inductor de resistencia contra agentes fitopatógenos en plantas*. Patente de Invención MX/a/2020/013638 ante el Instituto Mexicano de la Propiedad Industrial (Sometido el 14 de diciembre de 2020 ante el IMPI). <https://vidoc.impi.gob.mx/visor?d=MX/E/2020/087009>
- Valerio-Landa, S.D., Quiñones-Aguilar, E.E., Enríquez-Vara, J.N., Hernández-Gutiérrez, R., Hernández-Montiel, L.G. & Rincón-Enríquez, G. (2021a). Método de inducción, aislamiento y selección de proteínas HRP de bacterias fitopatógenas, una fuente potencial de inductores de resistencia vegetal. *Mensaje Bioquímico*, 45, 70-78. <https://10.22201/fm.0188137xe.2021.45.07>

- Vargas-Gómez, K. A., Evangelista-Martínez, Z., Gastélum-Martínez, É., Quiñones-Aguilar, E. E., & Rincón-Enríquez, G. (2023). Extracellular metabolites production by *Streptomyces* sp. CACIS-1.16CA and their effects on soil-borne phytopathogenic fungi (preprint). <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-2613097/v1>
- Valerio-Landa, S.D., Quiñones-Aguilar, E.E., Hernández-Gutiérrez, R. & Rincón-Enríquez, G. (2023). *Inductor biológico proteico para el control de enfermedades de plantas*. Patente de Invención MX-a-2023-008646 ante el Instituto Mexicano de la Propiedad Industrial (Sometido el 21 de julio de 2023 ante el IMPI).
- Vargas-Gómez, K. A., Evangelista-Martínez, Z., Gastélum-Martínez, É., Uc-Varguez, A., Quiñones-Aguilar, E. E., & Rincón-Enríquez, G. (2025). Broad spectrum antagonistic activity of *Streptomyces* sp. CACIS-1.16CA against phytopathogenic fungi. *Microbiology Research*, 16(9), 193. <https://doi.org/10.3390/microbiolres16090193>
- Verma, K. K., Song, X., Kumari, A., Jagadesh, M., Singh, S. K., Bhatt, R., Singh, M., Seth, C. S., & Li, Y. (2025). Climate change adaptation: challenges for agricultural sustainability. *Plant, Cell & Environment*, 48(4), 2522-2533. <https://doi.org/10.1111/pce.15078>
- Waage, J. K., & Greathead, D. J. (1988). Biological control: challenges and opportunities. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. B, Biological Sciences*, 318(1189), 111–128. <https://doi.org/10.1098/rstb.1988.0001>
- Zhang, Y., Waseem, M., Zeng, Z., Xu, J., Chen, C., Liu, Y., Zhai, J., & Xia, R. (2022). MicroRNA482/2118, a miRNA superfamily essential for both disease resistance and plant development. *New Phytologist*, 233(5), 2047-2057. <https://doi.org/10.1111/nph.17853>





**50 AÑOS DEL CIATEJ:
CIENCIA, TECNOLOGÍA Y SOCIEDAD**





Colaboración internacional e innovación biotecnológica en aguacate: un proyecto emblemático del CIATEJ

International Scientific Collaboration and Biotechnological Innovation in Avocado: A Landmark Project at CIATEJ

Rafael Urrea López ^{1,*}, Julio Armando Massange Sánchez ¹, Alejandro Pereira Santana ², Antonia Gutiérrez Mora ¹

¹ Unidad de Biotecnología Vegetal del Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco (CIATEJ), subsede Zapopan, Jalisco, México.

² SECIHTI-Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco (CIATEJ), subsede Sureste, Mérida, Yucatán, México.

* Autor para correspondencia: rurrea@ciatej.mx

Palabras clave:

aguacate, biotecnología vegetal, colaboración internacional, innovación tecnológica, cambio climático

Keywords:

avocado, plant biotechnology, international collaboration, technological innovation, climate change

Resumen

La agricultura requiere con urgencia respuestas basadas en la innovación científica y tecnológica, así como en la articulación de actores a escala local y global para enfrentar los desafíos del rápido cambio climático. En el marco del 50 aniversario del CIATEJ, este artículo presenta uno de sus proyectos emblemáticos: una iniciativa pionera de colaboración científica binacional entre la Unidad de Biotecnología Vegetal y la Universidad de Sheffield, Reino Unido (2019–2023). Financiado mediante una convocatoria internacional altamente competitiva y ejecutado durante la pandemia de COVID-19, el proyecto se enfocó en el aguacate, cultivo estratégico para México, y refleja la consolidación científica y técnica de la Unidad. Su desarrollo fortaleció la infraestructura de investigación, consolidó redes de colaboración nacionales e internacionales, impulsó la generación y divulgación de conocimiento, la formación de recursos humanos especializados y la innovación tecnológica, materializada en una patente nacional.

Abstract

Agriculture urgently requires solutions based on scientific and technological innovation, as well as the coordinated engagement of stakeholders at local and global scales to address the challenges posed by rapid climate change. As part of CIATEJ's 50th anniversary, this article presents one of the institution's landmark projects: a pioneering binational scientific collaboration between the Plant Biotechnology Unit and the University of Sheffield, United Kingdom (2019–2023). Funded through a highly competitive international call and conducted during the COVID-19 pandemic, the project focused on avocado, a strategic crop for Mexico, and reflects the scientific and technical consolidation of the Unit. The project strengthened research infrastructure, consolidated national and international collaborative networks, promoted knowledge generation and dissemination, fostered the training of highly specialized human resources, and advanced technological innovation, culminating in the granting of a national patent.

Recibido: 14 de mayo 2026
Revisado: 01 de julio 2026
Aceptado: 10 de julio 2026
Publicado: 01 de agosto 2026



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 aumento en el consumo per cápita de aguacate, particularmente en los Estados Unidos de América, ha posicionado a este fruto entre los primeros de mayor volumen de comercialización y el de mayor valor en el mercado global de frutas tropicales. Sin embargo, este crecimiento en la producción de aguacate se está dando en un escenario marcado por la variabilidad climática, la presión sobre los recursos hídricos y la necesidad de transitar hacia sistemas productivos más sostenibles. El rápido cambio climático ha modificado la frecuencia e intensidad de eventos meteorológicos, como las precipitaciones (Hu et al., 2025). Esta alteración en la disponibilidad de agua representa un desafío para todos los cultivos, pero en particular para los cultivos perennes, como el aguacate. Al ser México el principal productor y exportador de aguacate a nivel mundial, con exportaciones que superan los 3 000 millones de dólares por año (SIAP, 2025), la generación de conocimiento científico, orientado a mejorar la eficiencia en el uso del agua y la resiliencia del cultivo, es una prioridad ineludible.

La biotecnología vegetal ha demostrado su utilidad para el estudio funcional de genes y el desarrollo de plantas con características mejoradas, resistencia a plagas y enfermedades, tolerancia al estrés abiótico, biofortificación, biorremediación, biocombustibles, entre otros. Sin embargo, el uso de tecnologías novedosas en aguacate se enfrenta a su naturaleza recalcitrante, responsable de bajas eficiencias de transformación genética y regeneración *in vitro*, lo que ha dificultado significativamente tanto la comprensión de su biología molecular como su mejoramiento genético.

Para atender las urgentes necesidades de investigación y mejoramiento de cultivos estratégicos de México, la investigación científica requiere la articulación de capacidades mediante esquemas de colaboración para integrar conocimientos, infraestructura y recursos que permitan enfrentar retos no resueltos en cultivos de particular interés nacional. Con este fin, el CIATEJ, por medio de la Unidad de Biotecnología Vegetal, de la subsede Zapopan, impulsó una colaboración estratégica con una prestigiosa universidad en investigación del Reino Unido, para concursar por fondos internacionales para desarrollar un proyecto de colaboración científica binacional sin precedentes para la fruta tropical de mayor valor en el mercado internacional.

El proyecto: origen, contexto y relevancia estratégica

El proyecto de investigación “Improving water use and breeding pipelines in avocado” se desarrolló entre los años 2019 y 2023 como resultado de la colaboración entre el CIATEJ y la University of Sheffield (UoS), del Reino Unido. Este proyecto fue desarrollado por medio del financiamiento binacional provisto por la convocatoria del *Newton Fund*, que exigió cumplir con procesos de evaluación altamente exigen-

tes. La convocatoria *Newton Fund* es un programa de cooperación internacional del gobierno del Reino Unido que tiene como fin fortalecer las capacidades científicas y tecnológicas de países socios. En el caso de la convocatoria del *Newton Fund* de 2018, el financiamiento fue otorgado de manera conjunta por parte del Reino Unido, a través del Biotechnology and Biological Sciences Research Council (BBSRC), y por parte de México, mediante el Consejo Estatal de Ciencia y Tecnología de Jalisco (COECYTJAL) de la Secretaría de Innovación, Ciencia y Tecnología (SICYT) del estado de Jalisco.

La obtención de fondos en tan reconocida convocatoria binacional representa un indicador relevante de la madurez científica del equipo participante. El otorgamiento de fondos por parte de la convocatoria *Newton Fund* es, al mismo tiempo, un reconocimiento de las capacidades institucionales de producción de conocimiento, con criterios de excelencia científica y pertinencia social, y también de su capacidad para la gestión y administración transparentes de recursos.

Este proyecto de investigación se formuló para atender una problemática crítica para el contexto agrícola mexicano: la necesidad de mejorar la eficiencia en el uso del agua y acelerar los procesos de mejoramiento genético en aguacate. A pesar de la importancia económica del aguacate y de la disponibilidad de la secuencia de su genoma (Rendón-Anaya et al., 2019), en la actualidad pocas herramientas moleculares han sido usadas en su estudio y mejoramiento genético. Antes del proyecto solo un estudio reportaba el uso de biobalística para la transformación transitoria de callos embrionarios (Chaparro-Pulido et al., 2014), un estudio reportaba el uso de *Agrobacterium rhizogenes* para la producción de plantas compuestas (Prabhu et al., 2017) y ocho estudios informan el uso de *Agrobacterium* para explorar transformaciones estables (Cruz-Hernández et al., 1998; Efendi 2003; Raharjo et al., 2003, 2008; Palomo-Ríos et al., 2011, 2012, 2017; Ahmed et al., 2012). Sin embargo, la caracterización funcional de genes de aguacate se ha reportado mediante la sobreexpresión heteróloga exclusivamente, en particular en plantas modelo (Ziv et al., 2014) y ninguna por silenciamiento transitorio o estable. Mayores detalles del panorama previo al proyecto se pueden consultar en el Review que publicamos (Tamayo-Ramos et al., 2022). Los escasos reportes y las bajas eficiencias alcanzadas en los dos mayores cuellos de botella que enfrenta el estudio del aguacate, la transformación y la regeneración, representaron un gran reto a superar.

Este cultivo enfrenta crecientes presiones derivadas del rápido cambio climático y de la disponibilidad de recursos hídricos. Para ello, el proyecto debió iniciar afrontando uno de los principales cuellos de botella del estudio de la biología y el mejoramiento biotecnológico de especies perennes: la naturaleza recalcitrante a la transferencia de genes. Superar esta restricción es fundamental, ya que ha dificultado

tado tanto la caracterización funcional de genes como el mejoramiento genético de nuevas variedades en cultivos perennes como el aguacate. En este contexto, la generación de metodologías alternativas de transferencia de genes representó un objetivo central con implicaciones científicas y tecnológicas de amplio alcance.

Más allá de una participación simultánea de actores de diferentes países, la colaboración en este proyecto logró una articulación efectiva en el diseño experimental, la ejecución de actividades en condiciones retadoras y la generación de resultados. La ejecución de este proyecto enfrentó diferentes adversidades. Una de las más relevantes, aquellas derivadas de la pandemia de COVID-19, lo que exigió creatividad y adaptaciones en el trabajo, una estrecha coordinación con los colaboradores nacionales e internacionales y la reorganización de las actividades experimentales. Lejos de limitar el desarrollo del proyecto, este contexto desafiante puso de manifiesto la resiliencia del equipo de investigación y contribuyó al fortalecimiento de las redes de colaboración, lo que permitió el avance del proyecto para cumplir con los objetivos planteados.

Colaboración internacional y cooperación técnico-científica

La colaboración internacional en este proyecto fue un componente estructural desde su concepción hasta su desarrollo. Lo que se corresponde con dinámicas de la investigación científica hoy en día, que buscan la articulación cada vez más a través de redes que permitan integrar diversas capacidades, compartir infraestructura, así como acceder a fondos de financiamiento internacional altamente competidos.

La relación entre el CIATEJ y UoS se estableció y desarrolló bajo principios de cooperación técnico-científica basados en el intercambio de conocimientos especializados, metodologías experimentales y capacidades tecnológicas. Esta colaboración entre un centro público de investigación de México y una de las 15 mejores universidades del Reino Unido, de acuerdo con el *QS World University Rankings*, permitió abordar el problema de investigación desde perspectivas complementarias, generando sinergias que difícilmente podrían haberse alcanzado de manera aislada por cada institución.

El financiamiento mediante la convocatoria binacional *Newton Fund* desempeñó un papel fundamental, obviamente al aportar los recursos necesarios para la ejecución operativa, pero también al establecer un proceso de evaluación exigente que garantizó altos estándares de calidad científica, con enfoque técnico, científico y social. El *Newton Fund* hace parte del programa Oficial de Asistencia para el Desarrollo del Reino Unido y se alinea con objetivos de desarrollo y bienestar global, promoviendo la generación de conocimiento aplicable a problemáticas estratégicas y la consolidación de redes de investigación de largo plazo.

Resultados, productos y fortalecimiento institucional

A pesar de las limitaciones impuestas por la pandemia de COVID-19, el proyecto de investigación mantuvo una productividad constante. Lo que demuestra la capacidad de adaptación del equipo de trabajo, así como la solidez de las condiciones institucionales del CIATEJ y UoS. Más allá del cumplimiento de metas establecidas, los resultados alcanzados reflejan un proceso de generación de conocimiento articulado con el crecimiento y desarrollo de capacidades y la consolidación de infraestructura científica.

En términos de producción académica, el proyecto de investigación ha generado a la fecha nueve artículos publicados en revistas de investigación arbitradas (Tamaño-Ramos et al., 2022; Salazar-González et al., 2023; Hernández-Delgado et al., 2023; Urrea-López & Gatica-Arias, 2024; Sánchez-Pérez et al., 2025; Ramírez-Preciado et al., 2025; Burton et al., 2025; Urrea-López, 2026; Urrea-López et al., 2026), productos que trascienden más allá de meros indicadores, sino que son contribuciones al avance del conocimiento en biotecnología vegetal, en particular en el desarrollo de herramientas para la sobreexpresión de genes en especies perennes de naturaleza recalcitrante y de genómica comparativa de aguacate. Publicaciones en revistas científicas que hacen parte del *Journal Citation Reports*, por lo que cuentan con aval internacional al superar procesos de evaluación por pares. Publicaciones en las que el CIATEJ es autor de correspondencia, con lo que se fortalecen la visibilidad y posicionamiento institucional.

En este proyecto de investigación, la formación de recursos humanos constituyó un eje central. Por lo que se impulsó la incorporación de estudiantes de licenciatura y posgrado, provenientes de diversas instituciones nacionales e internacionales, para consolidar un entorno académico dinámico y altamente competitivo. La activa participación de las y los estudiantes en el proyecto les permitió la adquisición de competencias técnicas y la integración en redes de investigación; de esta forma, el proyecto contribuyó al fortalecimiento de la comunidad científica. Al día de hoy se han graduado siete estudiantes de posgrado con trabajos de investigación integrados directamente a los objetivos del proyecto. Asimismo, la participación de estudiantes de licenciatura amplió el alcance formativo y contribuyó a la construcción de trayectorias académicas tempranas.

La difusión de resultados no se ha limitado a artículos de investigación en inglés en revistas especializadas, también se han presentado en 26 oportunidades conferencias y carteles en diversos eventos académicos en español, la mayoría de ellos en México. Esta amplia difusión ha promovido la socialización de resultados, el intercambio de ideas y la construcción de redes académicas. En el ámbito de divulgación, a la fecha se han publicado ocho artículos dirigidos a público no es-

pecializado, contribuyendo a la comunicación social del conocimiento en un área donde la percepción pública resulta determinante.

Entre los resultados más significativos obtenidos mediante el proyecto de investigación se encuentra una innovación tecnológica estratégica para el análisis funcional de genes en especies leñosas, para soslayar una barrera que limita el uso de herramientas biotecnológicas en una amplia diversidad de especies perennes de gran tamaño. Esta innovación contribuye a las políticas de desarrollo tecnológico e innovación soberana impulsadas por la Secretaría de Ciencias, Humanidades, Tecnología e Innovación (SECIHTI) del gobierno de México. El Instituto Mexicano de la Propiedad Industrial (IMPI) otorgó al CIATEJ la patente por el método de infiltración al vacío localizado en plantas de gran tamaño para la transferencia de genes *in planta* (Urrea-López, 2025). Esta innovación no solo resuelve una limitación importante para la infiltración localizada de material genético directamente en tejidos maduros, sino que preserva el contexto fisiológico de la planta. Esto se logra mediante los principios de ciencia abierta, por lo que facilita el acceso del método a laboratorios con acceso limitado a recursos interesados en impulsar la investigación en especies perennes de gran tamaño.

Adicionalmente, este proyecto de investigación desempeñó un papel relevante en el fortalecimiento de las capacidades de la Unidad de Biotecnología Vegetal del CIATEJ, tanto en la adquisición de equipamiento especializado (~\$1.3 millones), que amplía las capacidades experimentales y competitividad no solo de la Unidad de Biotecnología Vegetal, sino de toda la institución.

En conjunto, todos estos resultados sitúan al proyecto como un caso emblemático que articula generación de conocimiento, desarrollo tecnológico, formación de capacidades y colaboración internacional. Lo que a su vez refleja una práctica científica alineada con los retos contemporáneos, donde la relevancia social, la excelencia científica y la cooperación internacional convergen como ejes fundamentales.

Impacto científico, tecnológico y social

El impacto de este proyecto de investigación trasciende más allá de la generación de productos académicos, al contribuir de manera integrada al avance del conocimiento, al desarrollo tecnológico y al fortalecimiento de capacidades institucionales. Desde el punto de vista científico, el proyecto amplió el catálogo de herramientas disponibles para el estudio funcional de genes en aguacate. El desarrollo de metodologías de sobreexpresión transitoria de genes en tejidos de plantas adultas representa un avance relevante, al permitir evaluaciones más rápidas y bajo condiciones fisiológicas realistas en especies perennes.

En el ámbito tecnológico, estos avances impactan directamente en el fitomejoramiento del aguacate. La posibilidad de evaluar genes candidatos sin depender de sistemas de regeneración completos reduce significativamente los tiempos experimentales y abre nuevas rutas para la caracterización funcional de genes en especies recalcitrantes. Asimismo, la innovación tecnológica de infiltración localizada por vacío permitirá explorar estrategias intermedias que pueden facilitar la adopción tecnológica en contextos regulatorios estrictos. Las metodologías de transformación transitoria, desarrolladas en el proyecto, permiten evaluar la función génica en tejidos vegetales sin requerir necesariamente la generación de plantas transgénicas estables. Esta característica amplía las posibilidades experimentales para especies recalcitrantes como el aguacate y, al mismo tiempo, introduce una dimensión relevante en términos de percepción social y aceptación de herramientas biotecnológicas aplicadas a la agricultura.

El impacto también se manifiesta en el fortalecimiento de infraestructura y en la formación de capital humano, generando efectos acumulativos en la capacidad institucional. Desde una perspectiva social y productiva, el proyecto se vincula con la sostenibilidad agrícola, particularmente en relación con el uso eficiente del agua y la resiliencia del cultivo frente al cambio climático.

Discusión: articulación entre ciencia, tecnología y sociedad

El proyecto permite examinar, desde una perspectiva de Ciencia–Tecnología–Sociedad, cómo la producción de conocimiento se configura en la intersección entre agendas científicas, capacidades institucionales, mecanismos de financiamiento y problemáticas socioambientales.

La colaboración internacional fue central en la configuración del proyecto. La interacción entre el CIATEJ y UoS no se limitó al intercambio de técnicas o datos, sino que implicó la alineación de estándares experimentales, criterios de validación y marcos interpretativos. Las colaboraciones interinstitucionales son enriquecedoras porque constituyen espacios de circulación de saberes que influyen en la definición de prioridades, en la selección de metodologías y en la evaluación de resultados. En este proceso, las capacidades locales se fortalecen mediante el intercambio y la complementariedad.

El financiamiento binacional de la convocatoria *Newton Fund* actuó como un dispositivo que estructuró la investigación, es decir, más allá de su función como fuente de recursos. La participación en este tipo de esquemas implicó responder a criterios de evaluación rigurosos, cumplir con objetivos definidos y articular resultados verificables. Todo esto contribuyó a orientar la investigación hacia la convergencia

entre excelencia científica y relevancia social, influyendo en el diseño experimental y en la priorización de líneas de trabajo.

Los estudiantes involucrados en el proyecto no solo adquirieron habilidades técnicas, sino que se integraron a comunidades de práctica, internalizando normas, metodologías y dinámicas de colaboración propias de la investigación contemporánea. Este proceso genera efectos positivos que trascienden la duración del proyecto, al fortalecer la continuidad de líneas de investigación y expandir las redes científicas.

En relación con la innovación tecnológica producida por este proyecto, como es el desarrollo de una metodología de infiltración localizada por vacío para la sobreexpresión transitoria de genes, se evidencia que la innovación surge de la interacción entre conocimiento básico, limitaciones experimentales y necesidades prácticas, que se puede sintetizar en palabras del dicho popular que dice: “nunca un mar calmo hizo buenos marineros”. El enfrentar retos técnicos, desde un punto de vista de recursividad y uso prudente de los recursos, puede contribuir a innovaciones que promuevan el acceso general que contribuya al desarrollo científico de especies perennes tradicionalmente excluidas.

La dimensión regulatoria y de adopción representa un elemento clave para comprender el alcance de estos desarrollos. La biotecnología vegetal se inserta en un entorno donde la aceptación social, los marcos normativos y las percepciones públicas influyen en la implementación de innovaciones. Es por lo que las estrategias basadas en la expresión transitoria de genes desarrolladas en este proyecto, al no implicar necesariamente la integración estable de material genético, abren espacios para la investigación y posibles aplicaciones, particularmente en contextos regulatorios restrictivos.

La divulgación científica cada vez adquiere más relevancia como mecanismo de mediación entre la comunidad científica y la sociedad. La comunicación de resultados no es un proceso unidireccional, sino un espacio en el que se construyen significados, se negocian percepciones y se facilita la apropiación social del conocimiento. En campos como la biotecnología, esta dimensión es fundamental para promover la comprensión pública y generar condiciones favorables para la adopción de innovaciones. Es por lo que las 26 participaciones en conferencias y carteles, y los ocho artículos de divulgación, todos ellos publicados en español, constituyen una contribución significativa de parte del proyecto.

Finalmente, este proyecto de investigación puede interpretarse como un ejemplo de articulación entre la investigación científica y una visión más amplia de desarrollo, en la que la generación de conocimiento se vincula con el fortalecimiento de capacidades institucionales, la innovación tecnológica y la atención de problemáticas prioritarias. Este proyecto es una evidencia de cómo la ciencia contemporánea se configura

como un proceso en el que interactúan actores, instituciones y contextos diversos, y en el que su impacto depende de la integración efectiva de estas dimensiones.

Conclusiones

El proyecto titulado “Improving water use and breeding pipelines in avocado” constituye un ejemplo representativo de cómo la investigación científica se articula con la innovación tecnológica y la atención de problemáticas estratégicas en el sector agroalimentario. Uno de sus principales aportes radica en haber contribuido a superar limitaciones técnicas en la biotecnología de especies leñosas, mediante el desarrollo de enfoques alternativos para la caracterización funcional de genes, con implicaciones tanto científicas como aplicadas.

Desde una perspectiva institucional, el proyecto evidencia la consolidación de la Unidad de Biotecnología Vegetal del CIATEJ como un actor capaz de participar en colaboraciones internacionales altamente competitivas. Asimismo, al tratarse de un proyecto de investigación internacional, desarrollado bajo un esquema formal de financiamiento binacional exigente, sentó las bases para la estructuración de nuevas colaboraciones internacionales de mayor alcance, contribuyendo al fortalecimiento de las capacidades científicas y tecnológicas institucional.

Desde el enfoque Ciencia–Tecnología–Sociedad, el proyecto ejemplifica cómo la investigación puede orientarse hacia la solución de problemas complejos, integrando dimensiones científicas, tecnológicas y sociales.

Los desarrollos metodológicos generados en el proyecto continuarán aplicándose en estudios que buscan el silenciamiento de genes con el fin de ampliar las herramientas disponibles para la caracterización funcional de genes en aguacate, orientados a profundizar la comprensión de procesos biológicos y en particular aquellos asociados a la respuesta al estrés y otros rasgos que sean de interés agronómico. En el futuro, este conocimiento podría apoyar estrategias de mejoramiento genético del cultivo como la selección de materiales con mayor tolerancia al estrés y mejor desempeño agronómico, e incluso para acelerar el mejoramiento genético aplicando la biotecnología en el proceso, pero no en el producto.

En el marco del 50 aniversario del CIATEJ, este proyecto representa una forma de hacer ciencia que articula excelencia académica, pertinencia social e innovación tecnológica.

Agradecimientos

Agradecimiento a los organismos financiadores Consejo Estatal de Ciencia y Tecnología de Jalisco (COECYTJAL) y Secretaría de Innovación, Ciencia y Tecnología (SICYT) del estado de Jalisco, México (Convenio 7270-2018).

Referencias

- Ahmed, M. F., Kantharajah, A. S., & Holford, P. (2012). Genetic Transformation Studies on Avocado Cultivar “Hass” (*Persea americana*). *American Journal of Plant Sciences*, 03(09), 1225–1231. <https://doi.org/10.4236/ajps.2012.39148>
- Burton, M. A., Rodríguez-López, C. E., Cetz-Chel, J. E., Urrea-López, R., & Pereira-Santana, A. (2025). Beyond the trinity: unraveling a fourth clade in the PEBP gene family in plants. *Plant Cell Reports*, 44(6), 122. <https://doi.org/10.1007/s00299-025-03505-x>
- Chaparro-Pulido, C. A., Montiel, M. M., Palomo-Ríos, E., Mercado, J. A., & Pliego-Alfaro, F. (2014). Development of an efficient transient transformation protocol for avocado (*Persea americana* Mill.) embryogenic callus. *In Vitro Cellular and Developmental Biology - Plant*, 50(2), 292–298. <https://doi.org/10.1007/s11627-013-9564-2>
- Cruz-Hernández, A., Witjaksono, Litz, R. E., & Gomez-Lim, M. (1998). *Agrobacterium tumefaciens* - Mediated transformation of embryogenic avocado cultures and regeneration of somatic embryos. *Plant Cell Reports*, 17(6–7), 497–503. <https://doi.org/10.1007/s002990050431>
- Efendi, D. (2003). Transformation and cryopreservation of embryogenic avocado (*Persea americana* Mill.) cultures [tesis de doctorado, University of Florida]. Repositorio institucional UF. <http://purl.fcla.edu/fcla/etd/UFE0001339>
- Hernández-Delgado, H. E., Zamora-Briseño, J. A., Figueroa-Yáñez, L. J., & Urrea-López, R. (2023). Vacuum-Forced Agroinfiltration for *In planta* Transformation of Recalcitrant Plants: Cacao as a Case Study. *Journal of Visualized Experiments*, (201), e66024. <https://doi.org/10.3791/66024>
- Hu, W. fei, Qin, Y. bo, Lin, J. jiang, Chen, T. ting, Li, S. feng, Chen, Y. tiao, Xiong, J., & Fu, G. fu. (2025). Unraveling the nexus of drought stress and rice physiology: mechanisms, mitigation, and sustainable cultivation. *Plant Stress*, 17, 100973. <https://doi.org/10.1016/j.stress.2025.100973>
- Palomo-Ríos, E., Barceló-M., Barceló-Muñoz, A., Pliego, C., Blanco-Portales, R., Caballero-Repullo, J. L., Ruano-Rosa, D., López-Herrea, C., Mercado, J. A., & Pliego-Alfaro, F. (2011). Transformación vía *Agrobacterium tumefaciens* para inducir tolerancia a la podredumbre blanca del aguacate. *Proceedings VII World Avocado Congress 2011*, 2011(September), 1–7.
- Palomo-Ríos, E., Barceló-Muñoz, A., Mercado, J. A., & Pliego-Alfaro, F. (2012). Evaluation of key factors influencing *Agrobacterium*-mediated transformation of somatic embryos of avocado (*Persea americana* Mill.). *Plant Cell, Tissue and Organ Culture*, 109(2), 201–211. <https://doi.org/10.1007/s11240-011-0086-5>

- Palomo-Ríos, E., Cerezo, S., Mercado, J. A., & Pliego-Alfaro, F. (2017). *Agrobacterium*-mediated transformation of avocado (*Persea americana* Mill.) somatic embryos with fluorescent marker genes and optimization of transgenic plant recovery. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture*, 128(2), 447–455. <https://doi.org/10.1007/s11240-016-1122-2>
- Prabhu, S. A., Ndlovu, B., Engelbrecht, J., & Van Den Berg, N. (2017). Generation of composite *Persea americana* (Mill.) (avocado) plants: A proof-of-concept-study. *PLoS ONE*, 12(10), 1–22. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0185896>
- Raharjo, S. H. T., Witjaksono, N. F. N., Gomez-Lim, M. A., Padilla, G., & Litz, R. E. (2008). Recovery of avocado (*Persea americana* Mill.) plants transformed with the antifungal plant defensin gene PDF1.2. *In Vitro Cellular and Developmental Biology - Plant*, 44(4), 254–262. <https://doi.org/10.1007/s11627-008-9117-2>
- Raharjo, S., Witjaksono, Efendi, D., Suarez, I., Gasca-Vazquez, I., Gomez-Lim, M. A., & Litz, R. E. (2003). Genetic Transformation of Avocado. *Proceedings V World Avocado Congress*, 115–118. <https://doi.org/10.1201/9780203910979.ch23>
- Ramírez-Preciado, J. A., Rodríguez-Gandarilla, M. G., Tapia-Campos, E., & Urrea-López, R. (2025). Enhancing transient gene expression in mature leaves of Mexican lime (*Citrus aurantifolia*) through *Agrobacterium*-mediated transformation. *Plant Biotechnology Reports*, 19, 167–180. <https://doi.org/10.1007/s11816-025-00966-0>
- Rendón-Anaya, M., Ibarra-Laclette, E., Méndez-Bravo, A., Lan, T., Zheng, C., Carretero-Paulet, L., Perez-Torres, C. A., Chacón-López, A., Hernandez-Guzmán, G., Chang, T. H., Farr, K. M., Brad Barbazuk, W., Chamala, S., Mutwil, M., Shivhare, D., Alvarez-Ponce, D., Mitter, N., Hayward, A., Fletcher, S., & Herrera-Estrella, L. (2019). The avocado genome informs deep angiosperm phylogeny, highlights introgressive hybridization, and reveals pathogen-influenced gene space adaptation. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 116(34), 17081–17089. <https://doi.org/10.1073/pnas.1822129116>
- Salazar-González, J. A., Castro-Medina, M., Bernardino-Rivera, L. E., Martínez-Terrazas, E., Casson, S. A., & Urrea-López, R. (2023). *In-planta* transient transformation of avocado (*Persea americana*) by vacuum agroinfiltration of aerial plant parts. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture*, 152(3), 635–646. <https://doi.org/10.1007/s11240-022-02436-9>
- Sánchez-Pérez, C. R., Castaño, E., Rodríguez-López, C. E., Urrea-López, R., & Pereira-Santana, A. (2025). Heavy Metal-Associated Proteins in Plants: Ge-

- nome-Wide Identification and Functional Insights from Angiosperms and Ancestral Plants. *Journal of Molecular Evolution*, 93(4), 527–542. <https://doi.org/10.1007/s00239-025-10260-w>
- Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. (2025). *Panorama Agroalimentario 2025*. https://nube.agricultura.gob.mx/panorama_dgsiap/2025.pdf
- Tamayo-Ramos, D. I., Salazar-González, J. A., Casson, S. A., & Urrea-López, R. (2022). Old and new horizons on *Persea americana* transformation techniques and applications. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture*, 150(2), 253–266. <https://doi.org/10.1007/s11240-022-02268-7>
- Urrea-López, R. (2025). *Sistema y método de infiltración localizada por vacío, Mexican Patent MX2023015160A*. <https://vidoc.impi.gob.mx/visor?usr=SIGA&texp=SI&t-doc=E&id=MX/a/2023/015160>
- Urrea-López, R. (2026). Localized Vacuum Infiltration as a Size-Independent Platform for *In Planta* Transient Gene Expression: Highlight of Patent MX2023015160A. *Recent Patents on Biotechnology*. <https://doi.org/10.2174/0118722083490752260714052319>
- Urrea-López, R., & Gatica-Arias, A. (2024). Addressing the UN sustainable development goals of woody plants through genetic engineering. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture*, 158(3). <https://doi.org/10.1007/s11240-024-02849-8>
- Urrea-López, R., Salazar González, J. A., & Massange-Sánchez, J. A. (2026). Localized vacuum agroinfiltration: expanding transient gene expression to large woody perennials. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture*, 164, 36. <https://doi.org/10.1007/s11240-026-03362-w>
- Ziv, D., Zviran, T., Zezak, O., Samach, A., & Irihimovitch, V. (2014). Expression profiling of *FLOWERING LOCUS T-like* gene in alternate bearing “Hass” avocado trees suggests a role for *PaFT* in avocado flower induction. *PLoS ONE*, 9(10). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0110613>



**50 AÑOS DEL CIATEJ:
CIENCIA, TECNOLOGÍA Y SOCIEDAD**





***Jatropha curcas*: el cultivo que impulsó la biotecnología vegetal en la subsele sureste del CIATEJ**

Jatropha curcas: The crop that shaped plant biotechnology at CIATEJ's Southeast unit

Guadalupe López-Puc^{1*}, Alberto Uc-Vázquez¹, Julia del Socorro Cano-Sosa¹, Javier Mora-Macías¹, Sergio Valdivia-Rivera¹, Gilbert José Herrera-Cool², Carlos Góngora-Canul^{3,4}, Erick Alberto Aguilera-Cauich⁵, Gregorio Martínez-Sebastián⁶

¹ Subsele Sureste, Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco. Mérida, México.

² Campo Experimental Chetumal, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Chetumal, México.

³ Department of Botany and Plant Pathology, Purdue University, West Lafayette, IN, United States.

⁴ Tecnológico Nacional de México. Ciudad Valles, San Luis Potosí, México.

⁵ Facultad de Ingeniería Química, Universidad Autónoma de Yucatán, Mérida, México.

⁶ Agroindustria Alternativa del Sureste. Mérida, México.

*Autor de correspondencia: glopez@ciatej.mx

Resumen

Toda historia científica tiene un punto de partida, y la del grupo de Biotecnología Vegetal de la Subsele Sureste del CIATEJ comenzó con *Jatropha curcas*, planta conocida como piñón, cuyas semillas despertaron interés por su potencial para producir biocombustibles. Lo que inició como la búsqueda de materiales más productivos y resistentes a plagas y enfermedades se transformó en un proyecto de mayor alcance, en el que el trabajo de campo, la propagación *in vitro* y los estudios fitosanitarios permitieron avanzar desde el cultivo hasta el desarrollo tecnológico. De este esfuerzo surgieron 15 variedades registradas ante el SNICS, de las cuales dos cuentan con Título de Obtentor. Al mismo tiempo, jatrofa abrió camino al conocimiento aplicado, a la formación de recursos humanos, a nuevas líneas de investigación y a la consolidación del Laboratorio de Mejoramiento Genético y Micropropagación de Plantas. Así, se convirtió en una iniciativa emblemática que sentó las bases del actual grupo de Biotecnología Vegetal del CIATEJ Sureste.

Abstract

Every scientific story has a starting point, and that of the Plant Biotechnology group at CIATEJ Sureste began with *Jatropha curcas*, a plant known as piñón (physic nut), whose seeds attracted interest for their potential to produce biofuels. What began as a search for more productive materials resistant to pests and diseases evolved into a broader project, in which fieldwork, *in vitro* propagation, and phytosanitary studies enabled a shift from crop evaluation to technological development. As a result of this effort, 15 varieties were registered with SNICS, two of which were granted Plant Breeder's Rights. At the same time, *Jatropha* paved the way for applied knowledge, human resource training, new research lines, and the consolidation of the Plant Genetic Improvement and Micropropagation Laboratory. Thus, it became an emblematic initiative that laid the foundations for the current Plant Biotechnology group at CIATEJ Sureste.

Palabras clave:

Jatropha curcas, biotecnología vegetal, mejoramiento genético, micropropagación, biodiésel

Keywords:

Jatropha curcas, plant biotechnology, genetic improvement, micropropagation, biodiesel

Recibido: 18 de mayo 2026
Revisado: 17 de junio 2026
Aceptado: 30 de junio 2026
Publicado: 01 de agosto 2026



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 impacto del uso de combustibles fósiles, la creciente demanda mundial de energía y la disminución de las reservas han puesto de manifiesto la necesidad urgente de buscar fuentes de energía renovable (Desta et al., 2025). Entre las opciones para satisfacer la demanda de combustibles, tenemos las energías de transición de bajo carbono, como la biomasa y el biogás, que, además, promueven una economía circular. En este escenario, la planta de *Jatropha curcas* (jatrofa) emergió como candidata para la producción de biocombustible, debido a que no compite con los suministros de alimento humano ni forrajero, evitando así los conflictos éticos y económicos asociados a otros cultivos bioenergéticos (Divakara et al., 2010). Las semillas de jatrofa poseen aproximadamente un 40% de aceite que puede ser convertido en biodiésel, bioturbosina y aceite dieléctrico, entre otros usos industriales (Riayatsyah et al., 2022; Mofur et al., 2020; Zhang et al., 2015). En México, en el 2011, la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA), ahora Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (SADER), emitió una convocatoria para Macroproyectos de Investigación, Desarrollo e Innovación Tecnológica (I+D+i) en bioenergéticos, ya que se pronosticaba la demanda de aceites vegetales para biocombustibles. La jatrofa fue seleccionada para atender la demanda en dicha convocatoria ya que, aunque se había identificado como insumo para la producción de biodiésel, era necesario realizar mejoramiento genético para su domesticación, incrementando su productividad y adaptación. Por lo tanto, los esfuerzos debían dirigirse al desarrollo de variedades de jatrofa para los principales ambientes de México —entre ellos el sureste— e integrarlos en el diseño de paquetes tecnológicos de alta productividad y rentabilidad.

El objetivo de este artículo es describir el programa de mejoramiento genético de *Jatropha curcas*, así como sus resultados e impacto institucional y regional en la Subselección Sureste del CIATEJ.

Desarrollo

En la búsqueda de alternativas energéticas más limpias, una planta ha captado la atención del mundo científico: la jatrofa. Conocida popularmente como “piñón”, esta especie crece en tierras áridas y sus semillas contienen aceite con potencial para la obtención de biodiésel. El interés por el cultivo comercial de jatrofa inició en México durante la primera década del siglo XXI. Esto fue impulsado por la demanda global de fuentes de energía renovable y la necesidad de encontrar alternativas a los combustibles fósiles sin comprometer la seguridad alimentaria de la nación. En este escenario, jatrofa emergió como un candidato porque no compite

con los suministros de alimentos humanos ni forrajeros, evitando así los conflictos éticos y económicos asociados a otros cultivos bioenergéticos (Riayatsyah et al., 2022; Pérez et al., 2019; Valdés-Rodríguez et al., 2014; Atchen et al., 2008). El biodiésel extraído de las semillas de esta especie posee propiedades fisicoquímicas que cumplen con estándares internacionales para un funcionamiento eficiente en motores de combustión interna a diésel, ya sea en mezcla o directamente. Su adopción representa una ventaja ambiental, ya que su ciclo de vida genera una huella de carbono menor y reduce la emisión de partículas contaminantes a la atmósfera en comparación con el diésel derivado del petróleo (Achten et al., 2013). No obstante, en México los primeros intentos de establecimiento se vieron obstaculizados por la falta de conocimiento del manejo agronómico del cultivo y por la inexistencia de variedades domesticadas. Esta brecha de información dio lugar a la investigación científica orientada a la domesticación y a la mejora genética de la especie. En el periodo entre 2012 y 2018 se consolidó un esfuerzo interinstitucional de alto nivel, en el que el Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco A.C. (CIATEJ), la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Autónoma de Yucatán (UADY) y la empresa Agroindustria Alternativa del Sureste (Jatronergy) trabajaron conjuntamente.

Esta colaboración tripartita entre academia, gobierno y sector privado dio lugar a una serie de estudios de laboratorio y de campo, cuyos resultados se integraron en un paquete tecnológico. Para evaluar su eficacia en diversos ecosistemas, dicho paquete fue validado con rigor científico en las localidades de Sierra Papacal, Mérida, Yucatán; Hecelchakán, Campeche y Emiliano Zapata, Tabasco. El objetivo de este esfuerzo, financiado por el Fondo Sectorial SAGARPA-CONACYT, fue proporcionar una guía técnica para el cultivo en la región sureste de México. Con ello, se proporcionó información que permitió establecer plantaciones productivas, ambientalmente sustentables y económicamente rentables, lo que beneficia directamente al sector energético nacional.

El impacto del proyecto trascendió el ámbito agrícola y generó un ecosistema de conocimiento robusto. Durante su ejecución, se presentaron 10 trabajos en congresos internacionales, se publicaron tres libros especializados y se formaron expertos de alto nivel mediante la graduación de tres estudiantes de doctorado, tres de maestría y cinco de licenciatura. La transferencia de conocimiento hizo posible el acceso universal a la ciencia mediante materiales de divulgación y pláticas con técnicos y productores, entre otras actividades.

Este proyecto permitió el fortalecimiento de la infraestructura y la capacidad institucional del CIATEJ en la subsede Sureste, mediante la construcción y el equipamiento

del Laboratorio de Mejoramiento Genético y Micropropagación de Plantas, infraestructura que asegura la continuidad de las investigaciones biotecnológicas en el área de Biotecnología vegetal de la región. El objetivo principal fue la mejora genética; como resultado directo, se registraron 15 variedades de alta calidad ante el Sistema Nacional de Inspección y Certificación de Semillas (SNICS). Dos de estas variedades con Título de Obtentor, otorgando derechos de propiedad intelectual sobre este material élite.

Gracias a la mejora genética, las variedades de jatrofa registradas con título de obtentor se caracterizan por incrementar su producción pasando de 200 kg a 4,500 kg por hectárea. Actualmente, estas variedades se conservan en una plantación experimental bajo el resguardo del CIATEJ Subsede Sureste. Representan un activo para el país, quedando disponibles para el uso y la continuidad de programas de mejora genética, así como para su transferencia con el fin de obtener biodiésel.

En cultivos a gran escala se requiere multiplicar de manera eficiente y masiva, manteniendo las características deseadas (Hussain et al., 2012). Por lo tanto, mediante el cultivo de tejidos *in vitro* se establecieron protocolos para su propagación. También se realizó el diagnóstico e identificación de los principales problemas fitosanitarios que afectan a los parentales e híbridos de jatrofa, de manera que se pudo caracterizar el comportamiento de los materiales seleccionados en tres ambientes diferentes.

Materiales y métodos

Programa de mejora genética

El programa de mejora genética se estructuró en dos etapas: la selección de padres y cruzas para generar híbridos F1 y la evaluación de caracteres agronómicos destacados de estos híbridos durante la interacción Genotipo-Ambiente.

Etapas 1: Selección de padres y cruzas para generar híbridos F1

Selección

Los materiales parentales fueron donados del banco de germoplasma de la empresa Agroindustria Alternativa del Sureste S.P.R.L. de C.V., los cuales se conformaron por colectas tanto nacionales como internacionales. De estos materiales se seleccionaron 26 accesiones de jatrofa como padres para la mejora genética. La selección se hizo con base en criterios de alta producción, porte adecuado para la cosecha y resistencia a enfermedades. Los criterios de selección para estos materiales se fundamentaron en el análisis de la diversidad genética mediante marcadores moleculares y en una caracterización morfológica de fenotipos, atributos agronómicos de interés (acci-

tes para la producción de biocombustibles) y de menor incidencia y severidad de enfermedades. Estos materiales se convirtieron en la base genética sobre la cual se diseñaron las cruzas controladas.

Cruzas para generar híbridos F1

Para mejorar las características de la planta *jatropha*, se realizaron más de 700 cruzamientos controlados entre 26 accesiones de jatrofa. El proyecto incluyó cruzas directas, recíprocas (en dirección inversa) y autocruzas. Este proceso consistió en seleccionar cuidadosamente las plantas “madre” y “padre” para combinar sus mejores cualidades, como una mayor producción de aceite o la resistencia a enfermedades.

Para combinar las características de dos plantas seleccionadas, se realizaron cruzamientos directos: una planta aportó el polen (padre) y la otra lo recibió (madre). En las cruzas recíprocas se hace exactamente lo contrario: se intercambian los papeles, de modo que la planta que antes daba el polen ahora lo recibe y viceversa. Esto permite determinar si el “papel” que desempeña cada planta influye en las características de la descendencia, lo cual resulta muy útil para comprender cómo se heredan ciertos rasgos. También se efectuaron autocruzamientos, en los que una misma planta se poliniza con su propio polen. Todo esto formó parte de un programa genético cuyo objetivo fue obtener nuevas líneas con alto potencial productivo y adaptadas a las condiciones del sureste mexicano.

El proceso consistió en:

- **Emasculación:** Este proceso se realizó para controlar el cruce entre las plantas. Se retiraron manualmente los estambres, que son las estructuras florales en las que se produce el polen. Esto se hace porque si la flor conserva sus estambres, podría autopolinizarse, es decir, fecundarse con su propio polen. Al quitar los estambres, se aseguró de que solo el polen de otra planta llegara a la flor, lo que permitió un cruce totalmente controlado. Es como “desactivar” la opción de que la planta se fecunde por sí sola para poder elegir exactamente con qué otra planta se va a combinar.
- **Tapado.** Después de retirar los estambres para evitar que la flor se polinice por sí sola, se cubrió con una pequeña bolsa de tela o de papel. Esta bolsa funcionó como un “escudo protector” que impidió que el polen del ambiente, de insectos o de otras flores cercanas llegara. En otras palabras, el tapado asegura que solo el polen elegido por el mejorador sea el que llegue a la flor en el momento de la polinización manual. Es como ponerle un “casquito” temporal a la flor para mantenerla aislada y lista para el cruce controlado.

- **Polinización.** Colecta de polen en cajas de Petri y depósito manual en flores femeninas. Una vez que la flor estaba lista y protegida, se realizó la polinización manual. En este paso se recolectó el polen de la planta “padre” y se depositó directamente sobre el estigma, la parte femenina de la flor “madre”. Con esto se garantiza el polen que se desea usar, asegurando que la fecundación ocurra únicamente con la planta seleccionada. Este proceso permitió controlar por completo la combinación genética de la nueva semilla.
- **Etiquetado:** Después de la polinización manual, se marcó cada flor que se cruzó. El etiquetado se hizo para identificar con precisión cómo se realizaron las cruza. El etiquetado es importante porque, en un experimento con muchas plantas y muchos cruzamientos, es fundamental saber qué planta aportó el polen, en qué fecha se realizó el cruce y qué tipo de cruce se realizó (directo, recíproco o autocruza). Fue como ponerle un “nombre y apellido” a cada cruce para dar seguimiento a su desarrollo y, más adelante, saber de qué combinación genética provienen los frutos y las semillas.
- **Registro de información.** La información de las cruza se registró en una libreta y en una base de datos. Este registro funciona como la “bitácora” del experimento y permite llevar un control preciso de cada combinación genética.
- ¿Por qué es tan importante? Porque cuando los frutos maduren y se obtengan las semillas, será posible saber exactamente de qué cruza provienen y analizar sus características con total claridad. Sin este registro, sería imposible relacionar cada semilla con su origen y evaluar correctamente los resultados del programa genético.
- **Colecta de semillas.** Cuando el fruto estuvo completamente maduro, se procedió a recolectarlo para extraer las semillas. Este paso fue importante porque cada semilla representa una combinación genética única, producto de una cruza controlada.
- **Almacenamiento y siembra.** Después de recolectarlas, las semillas se limpian, se secan y se almacenan en condiciones adecuadas para conservar su viabilidad. Cada lote se conservó con su etiqueta para no perder la información de la cruza. Posteriormente, las semillas se sembraron en vivero o laboratorio para evaluar:
 - Capacidad de germinación
 - El vigor de las plántulas
 - Las características heredadas
 - Su potencial para programas de mejoramiento

La Figura 1 describe la selección de las 26 accesiones iniciales basadas en criterios agronómicos, su propagación y manejo agrícola en el banco de germoplasma; el plan de cruza y polinización controlada mediante técnicas manuales de emasculación, tapado de flores y etiquetado riguroso; y la fase de cosecha, donde se cuantifica el éxito de las 305 cruza logradas, la producción total de frutos y semillas de 237 cruza distintas, junto con el análisis de su calidad genética.

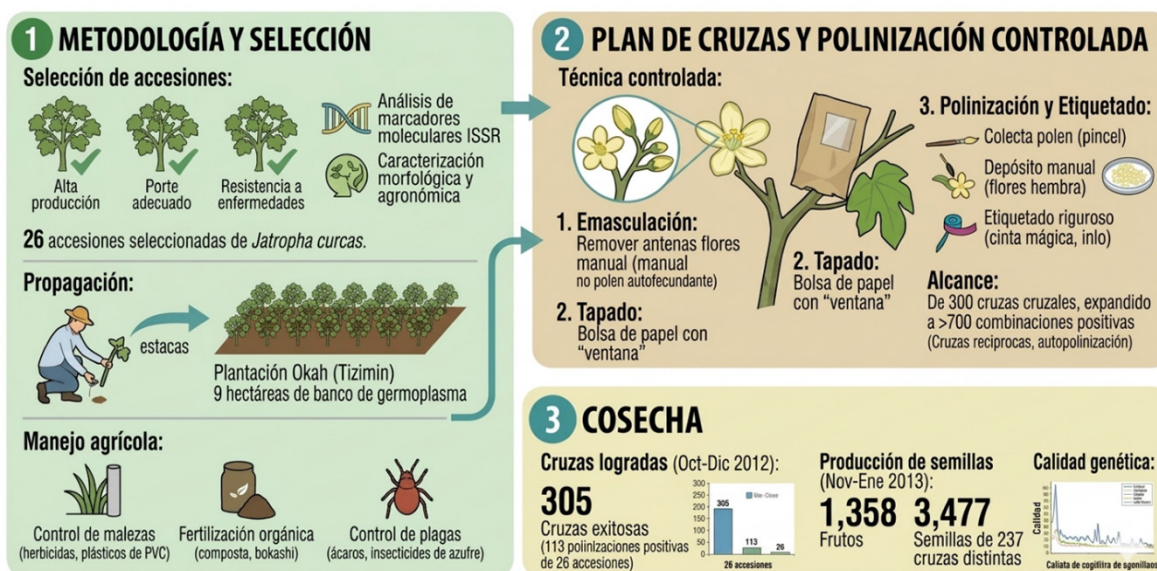


Figura 1. Diagrama de la metodología de selección, técnica de polinización controlada y datos cuantitativos de la cosecha de semillas derivadas de las cruza parentales en *jatropha*

Fuente: elaboración propia con apoyo de inteligencia artificial

Manejo agrícola

El control de malezas se realizó con herbicidas; se aplicó fertilización orgánica (gallinaza y estiércol) y se controlaron plagas (especialmente ácaros) mediante insecticidas a base de azufre. Con estas prácticas de manejo se garantizó que los resultados de las cruza reflejaran el verdadero potencial genético de la especie.

Resultados de la Etapa 1

El éxito de las cruza realizadas permitió avanzar en la evaluación de los híbridos F1 más prometedores. De las 700 cruza realizadas entre los padres (en sentido directo, inverso y autocruza), se lograron con éxito 305 (113 en ambas direcciones y 16 autocruza), de las cuales se cosecharon 1,358 frutos que produjeron 3,477 semillas de 237 cruza distintas. Se incluyó un análisis del índice de separación genética entre las accesiones para orientar los cruzamientos más prometedores y continuar con

la siguiente etapa de mejora genética. Con base en lo anterior, se seleccionaron los 15 híbridos F1 más sobresalientes para su propagación por estacas y para evaluar la interacción genotipo-ambiente en cuatro ambientes, bajo un diseño en bloques al azar. Los híbridos seleccionados fueron la base para la siguiente etapa: evaluar su desempeño en distintos ambientes del sureste mexicano (Figura 2).

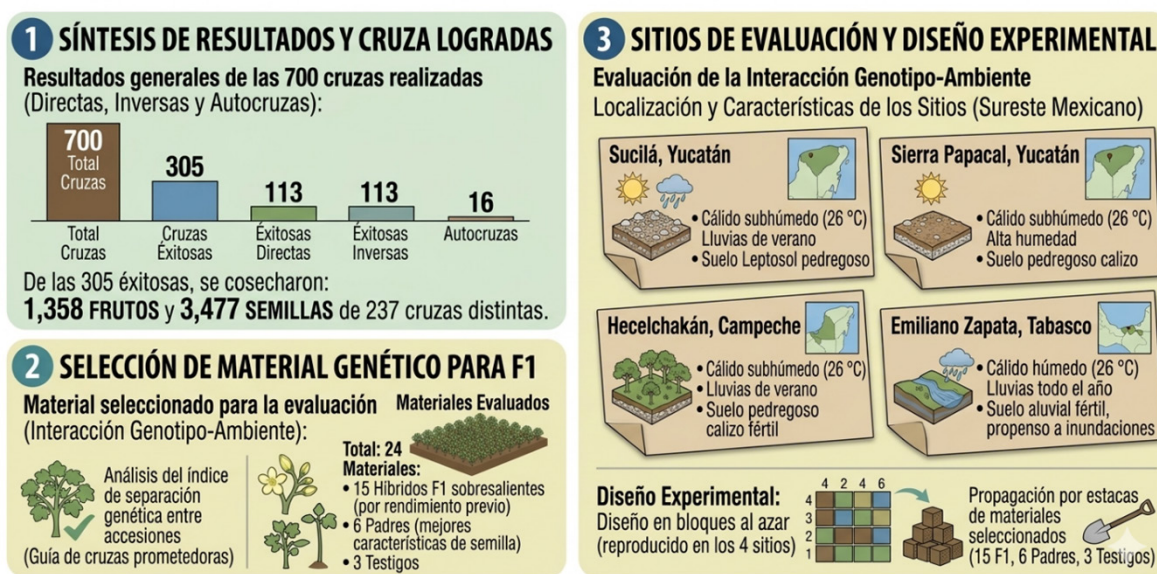


Figura 2. Esquema metodológico de la síntesis de cruzas y evaluación de la interacción genotipo-ambiente en híbridos de *jatropha*. 1) Los resultados cuantitativos de las 700 cruzas iniciales (directas, inversas y autocruzas) y su eficiencia de cosecha; 2) los criterios de selección basados en el índice de separación genética para conformar el material de evaluación (24 materiales en total) y 3) las condiciones edafoclimáticas específicas de los cuatro sitios de evaluación en el sureste mexicano (Sucilá, Sierra Papacal, Hecelchakán y Emiliano Zapata), implementadas bajo un diseño experimental de bloques completos al azar con fines de propagación vegetativa

Fuente: elaboración propia con apoyo de inteligencia artificial

Etapa 2. Evaluación de la Interacción Genotipo-Ambiente

Selección del Material Genético

El estudio del efecto genotipo-ambiente se realizó evaluando 24 materiales: 15 híbridos F1 sobresalientes (seleccionados por su desempeño previo en campo a partir de cruza directas y recíprocas), seis padres seleccionados por sus mejores características de rendimiento de semilla y tres testigos.

Sitios de Evaluación y Diseño Experimental

La evaluación se llevó a cabo en cuatro ambientes: Sucilá, Yucatán, ubicado a 21°09'16" N de latitud y 88°18'49" O de longitud. Tiene un clima cálido subhú-

medo, con abundantes lluvias en verano y una temperatura media de 26 °C, suelo Leptosol pedregoso y somero; Sierra Papacal, Mérida, Yucatán, ubicada a 21°07'20"N 89°43'41"O de longitud. Tiene un clima cálido subhúmedo (26 °C) con lluvias en verano y alta humedad, suelo somero, pedregoso y calizo; Hecelchakán, Campeche, ubicado a 20°10'37"N 90°08'04"O de longitud. Presenta un clima cálido subhúmedo con lluvias en verano, temperaturas promedio de 26 °C y un entorno dominado por selvas bajas y medianas, suelo mayormente pedregoso y calizo (Leptosol) y se caracteriza por ser fértil; Emiliano Zapata, Tabasco, ubicado a 17°41'00"N 91°41'00"O de longitud, posee un clima cálido húmedo, con abundantes lluvias durante todo el año y temperaturas promedio de 26 °C, suelo tipo aluvial y arcilloso (Gleysol/ Vertisol), caracterizado por ser profundo, fértil y propenso a inundaciones debido a su cercanía con el río Usumacinta.

Resultados de la Etapa 2

Con el fin de calificar las características de las plantas F1 provenientes de las cruza, se utilizaron los descriptores de jatrofa establecidos en la guía técnica de la SAGARPA (2014). Se evaluaron sus características en los cuatro ambientes mencionados para su incorporación al Catálogo Nacional de Variedades Vegetales (CNVV). La Tabla 1 presenta los 15 materiales F1 de jatrofa registrados en el CNVV, indicando el nombre asignado a cada variedad, su significado en lengua maya y la clave de registro correspondiente. La denominación de los materiales con nombres mayas resalta el vínculo regional del programa de mejoramiento genético con el sureste de México, en particular con Yucatán, donde se desarrolló y evaluó una parte importante del proyecto. De este grupo, los dos genotipos con mayor rendimiento de semilla fueron protegidos mediante la solicitud de Título de Obtentor (Tabla 2); este reconocimiento otorga derechos de propiedad intelectual sobre las variedades élite, asegurando su protección y disponibilidad para futuros programas de mejora genética.

Tabla 1. Listado de los 15 materiales F1 inscritos en el Catálogo Nacional de Variedades Vegetales del SNICs

#	Icono	Variedad	Significado (Maya)	Clave de Registro
1		Akbal	Noche / Oscuridad	JAT-008-100818
2		Lek	Recipiente hecho de fruto seco	JAT-016-100818
3		Lool Beh	Flor del camino	JAT-009-100818
4		Makech	Escarabajo	JAT-010-100818
5		Muyal	Cielo	JAT-011-100818
6		Nicte	Flor de mayo	JAT-017-100818

7		Ochkan	Boa / Serpiente ratonera	JAT-022-040220
8		Sikilte	Semilla de calabaza	JAT-023-040220
9		Tolok	Iguana	JAT-012-100818
10		Turix	Libélula	JAT-020-100818
11		Yaax	Verde / Primero	JAT-013-100818
12		Zacnite	Flor blanca (Plumeria)	JAT-018-100818
13		Zamna	Rocío del cielo (personaje histórico)	JAT-014-100818
14		Zazil	Claridad / Luz	JAT-015-100818
15		Kanlol	Flor amarilla	JAT-019-100818

Tabla 2. Genotipos con Título de Obtentor con mayor potencial comercial

Variedad	Obtendores	Vigencia	No. Registro
 J. curcas Ochkan	López-Puc G., Uc-Vázquez A., Góngora-Canul, C.C., Sebastián-Martínez, G., Aguilera-Cauich, E.A.	2020 – 2038	2368
 J. curcas Sikilte	López-Puc G., Uc-Vázquez A., Góngora-Canul, C.C., Sebastián-Martínez, G., Aguilera-Cauich, E.A.	2020 - 2038	2407

Es importante destacar que el enfoque de este proyecto fue bioenergético, orientado a maximizar el rendimiento de fruto para la obtención de biodiésel como un fin no alimentario. Al respecto, cabe precisar que las dos variedades que actualmente cuentan con título de obtentor están clasificadas como ligeramente tóxicas, mientras que el perfil toxicológico de las líneas restantes aún no ha sido caracterizado. Por consiguiente, la evaluación detallada de la pasta residual post-extracción, así como el desarrollo de metodologías para su eventual detoxificación y aprovechamiento seguro, se acotan como una línea de investigación futura para complementar el modelo de economía circular.

Micropropagación de jatrofa

La micropropagación de las variedades de jatrofa se realizó siguiendo rutas morfogénicas para inducir organogénesis y/o embriogénesis somática. En la organogénesis, un tejido (como un segmento de hoja) se reprograma para generar brotes o embriones somáticos. En el caso de la embriogénesis somática, es el método más avanzado en la micropropagación; las células de la planta se organizan para formar embriones, tal como sucede dentro de una semilla, pero sin necesidad de polinización. Estos embriones pueden generarse directamente a partir del tejido vegetal, mediante un callo o a partir de una suspensión celular en un medio líquido (Figura 3).

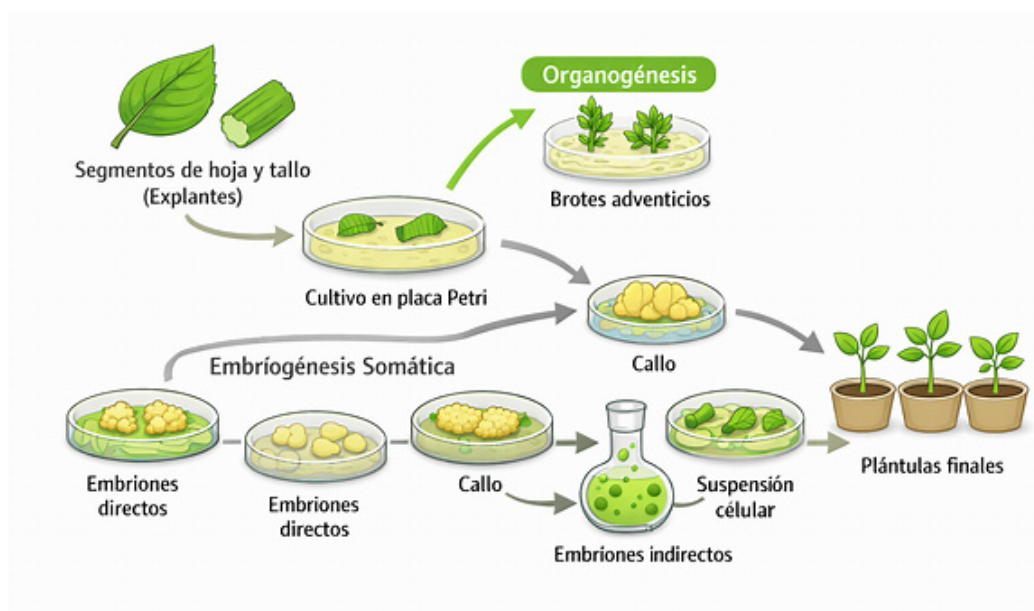


Figura 3. Rutas morfogénicas para la propagación de plantas evaluadas para la propagación de variedades de jatrofa

Fuente: elaboración propia con apoyo de inteligencia artificial

Resultados de la micropropagación de jatrofa

De las rutas de cultivo *in vitro* evaluadas para jatrofa, se estableció un protocolo eficiente de micropropagación mediante organogénesis *in vitro*. Se obtuvieron hasta 18.5 brotes por explante usando una combinación específica de reguladores de crecimiento 6-(γ , γ -dimetilalilamino) purina (2ip), ácido indolacético (AIA) y sulfato de adenina (SAd). Se detallaron las mezclas hormonales óptimas tanto para el crecimiento de los brotes como para el enraizamiento exitoso. Se evaluó la estabilidad genética de las plántulas *in vitro* generadas por esta ruta mediante citometría de flujo y se confirmó que el contenido de ADN nuclear se mantuvo estable durante ocho subcultivos, lo que sugiere que las plantas producidas son genéticamente estables (Herrera-Cool et al., 2019).

Plagas y enfermedades

Como parte integral del mejoramiento genético de jatrofa, se realizó el diagnóstico e identificación morfológica y molecular de los fitopatógenos presentes en las diversas accesiones. La estrategia que se siguió para caracterizar los materiales seleccionados (padres e híbridos) consistió en determinar la incidencia y la severidad de las principales enfermedades y, en el caso de las plagas, la fluctuación poblacional de los principales insectos plaga y ácaros presentes en accesiones seleccionadas, distribuidas de manera aleatoria en la plantación, mediante muestreos durante un

año. En todos los casos (la incidencia y la severidad de las enfermedades y la fluctuación poblacional de insectos plaga), los parámetros epidemiológicos registrados se correlacionaron con factores ambientales (temperatura, humedad relativa y precipitación) durante el período de evaluación. Por otro lado, se evaluó la eficacia de los pesticidas de síntesis química y de las alternativas biológicas en el manejo de diversos problemas fitosanitarios. Los resultados del comportamiento sanitario de los diferentes materiales permitieron seleccionar de manera oportuna e informada las mejores accesiones de jatrofa, basándose no solo en su rendimiento, sino también en su tolerancia a los problemas sanitarios que se presentan en el cultivo. Parte importante de la información generada para el manejo sanitario del cultivo se puede encontrar en el manual para el manejo de las principales plagas y enfermedades que afectan el cultivo de jatrofa en el sureste de México (Uc Vázquez et al., 2017), en el paquete tecnológico del cultivo (Góngora-Canul et al., 2018a), así como en diversos artículos científicos publicados sobre el comportamiento epidemiológico de la pudrición del pie inducida por el hongo fitopatógeno *Lasiodiplodia theobromae* (Uc-Vázquez et al., 2018), así como en el comportamiento epidemiológico del piojo harinoso (*Pseudococcus* sp.; Góngora-Canul et al., 2018b).

Impacto del proyecto para la consolidación del Laboratorio de Micropropagación y mejoramiento genético del área de Biotecnología vegetal de la Subsele Sureste

Al hacer un balance general del proyecto de jatrofa, es claro que su impacto fue más allá de los objetivos inicialmente planteados para el mejoramiento genético, la propagación *in vitro*, la evaluación de materiales élite y el registro de variedades. Este proyecto representó un punto de partida para fortalecer las capacidades científicas y tecnológicas, así como la infraestructura del CIATEJ en la Subsele Sureste. Uno de sus aportes más relevantes fue la construcción y equipamiento del Laboratorio de Mejoramiento Genético y Micropropagación de Plantas, lo que permitió dar continuidad a las investigaciones biotecnológicas en la región. A partir de esta infraestructura, se consolidaron nuevas líneas de trabajo, se impulsó la formación de recursos humanos y se crearon las condiciones para desarrollar proyectos posteriores relacionados con la propagación vegetal, la sanidad, la conservación, el mejoramiento genético y el aprovechamiento sostenible de los recursos vegetales. En este sentido, el proyecto de jatrofa no solo generó variedades, protocolos y conocimiento aplicado, sino que también sentó las bases para el crecimiento del actual grupo de Biotecnología Vegetal de la Subsele Sureste, convirtiéndose en un proyecto emblemático por su contribución científica, institucional y regional. Los alcances deriva-

dos de este proceso se presentan en proyectos que se realizaron y que han tenido impacto a nivel nacional, destacando la concentración de actividades en Yucatán, seguida por Campeche, Tabasco, Jalisco, Quintana Roo y Morelos (Figura 4). Esta distribución refleja el papel de la Subsele Sureste del CIATEJ como eje articulador de proyectos regionales y nacionales derivados de las capacidades inicialmente generadas por el proyecto de jatropa. La Figura 5 refleja los ingresos obtenidos de distintos proyectos desarrollados a partir de las capacidades científicas y técnicas, así como de la infraestructura consolidada en el Laboratorio de Biotecnología Vegetal. Destaca el proyecto Jatropa 11-Yuc como el de mayor captación de recursos, seguido por proyectos relacionados con haploides, líneas dobles, HLB, miel de melipona, cacao, ricino, bases de datos y otras líneas de investigación aplicada.



Figura 4. Distribución geográfica de los proyectos de I+D+i desarrollados a partir del fortalecimiento del Laboratorio de biotecnología vegetal del CIATEJ, Subsele Sureste

Fuente: elaboración propia con apoyo de inteligencia artificial

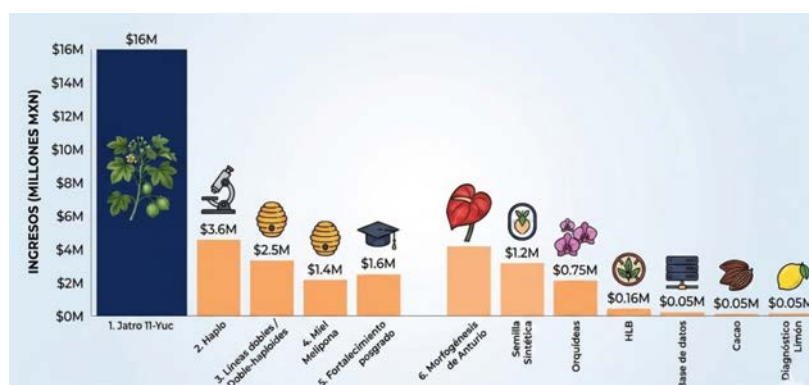


Figura 5. Ingresos asignados por proyectos de I+ D +i en el área de biotecnología vegetal del CIATEJ, Subsele Sureste

Fuente: elaboración propia con apoyo de inteligencia artificial

La contribución de los distintos proyectos a la formación de recursos humanos en diferentes niveles académicos, incluidos el pregrado, la licenciatura, la maestría, el doctorado y el posdoctorado (Figura 6). Destacan los proyectos Jatro 11-Yuc, HLB, Base de datos, Jardín etnobiológico, Orquídeas, Ricino, Miel Melipona, Cacao, Plantas y Semilla Sintética, que contribuyeron a consolidar la capacidad formativa del Laboratorio de Biotecnología Vegetal de la Subsele Sureste del CIATEJ.

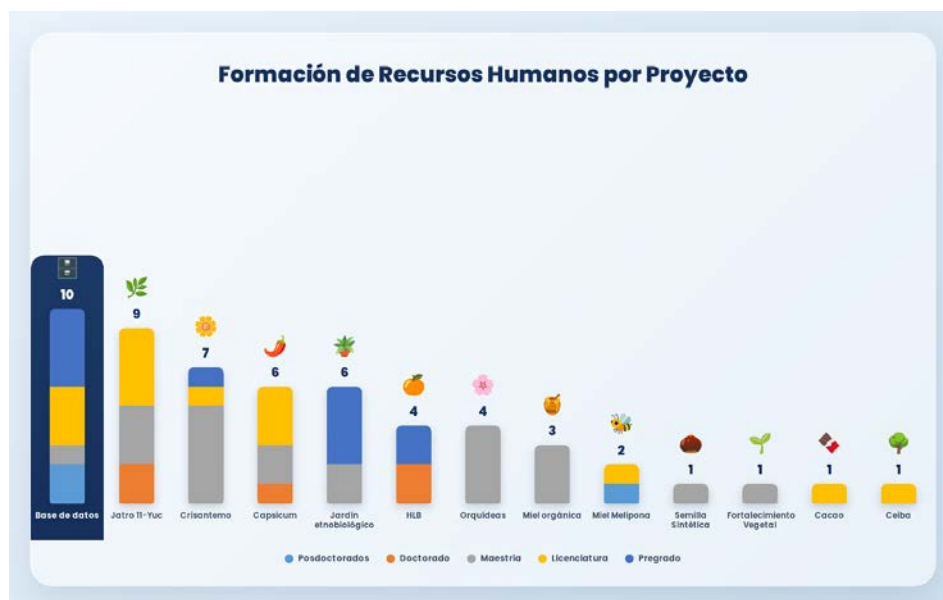


Figura 6. Formación de recursos humanos por proyecto en el área de biotecnología vegetal del CIATEJ, Subsele Sureste

Fuente: elaboración propia con apoyo de inteligencia artificial

Las publicaciones generadas por los diferentes proyectos incluyen artículos científicos, artículos de divulgación, capítulos de libro y libros. Destaca el proyecto Jatro 11-Yuc por su mayor contribución a la producción académica, seguido de proyectos como HLB, Miel Melipona, Orquídeas, Cacao, Plantas, Base de datos, Jardín etnobiológico y Semilla Sintética (Figura 7). Estos resultados reflejan la capacidad del grupo para transformar los proyectos de investigación en conocimiento científico, en materiales de divulgación y en productos editoriales. Los artículos científicos representan la mayor proporción de publicaciones, con 37%, seguidos por los capítulos de libro, con 29%, los artículos de divulgación, con 19%, y los libros, con 15%. Esta composición refleja una producción académica diversa, orientada tanto a la generación de conocimiento científico como a la transferencia y divulgación de los resultados a públicos especializados y no especializados. Las actividades de difusión y divulgación realizadas a partir de los proyectos desarrollados en el área son, en su mayor proporción, congresos (69%), seguidas de talleres (16%) e infografías

(15%) (Figura 8). Estos resultados reflejan el esfuerzo del grupo por comunicar los avances científicos y tecnológicos en espacios académicos, técnicos y de vinculación con distintos sectores de la sociedad.

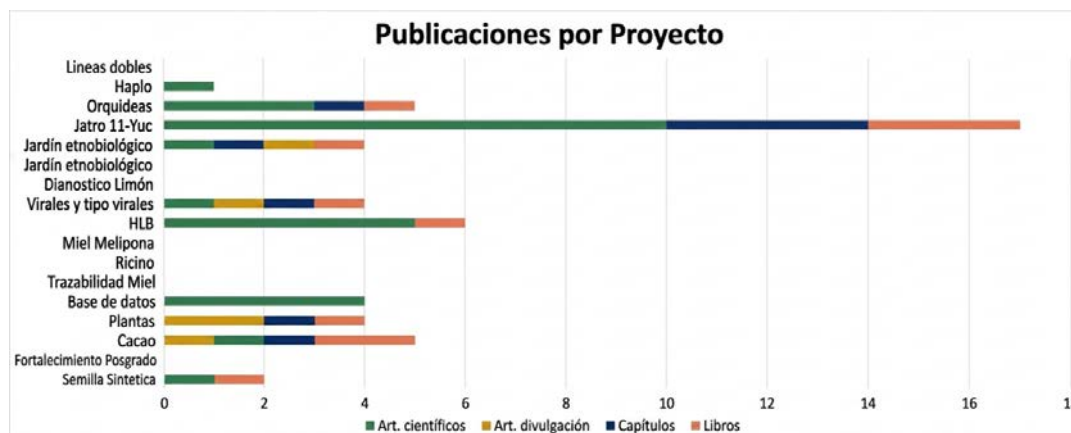


Figura 7. Producción académica y de divulgación por proyecto en el área de biotecnología vegetal del CIATEJ, Subsede Sureste
Fuente: elaboración propia con apoyo de inteligencia artificial



Figura 8. Composición de las actividades de difusión y divulgación derivadas de los proyectos del área de biotecnología vegetal del CIATEJ, Subsede Sureste
Fuente: elaboración propia con apoyo de inteligencia artificial

En conjunto, el proyecto de jatrofa representó un punto de inflexión para la Subsede Sureste del CIATEJ. A partir de una iniciativa enfocada en el mejoramiento

genético, la propagación *in vitro*, el manejo fitosanitario y el registro de variedades se obtuvieron resultados científicos y tecnológicos con impacto directo en el aprovechamiento de este cultivo bioenergético. Sin embargo, su mayor alcance fue haber dado origen a una infraestructura especializada, a la formación de recursos humanos y a nuevas líneas de investigación que, posteriormente, ampliaron el trabajo del área de Biotecnología Vegetal. Por esta razón, jatrofa se considera un proyecto emblemático: no solo produjo variedades registradas, protocolos y conocimiento aplicado, sino que también sentó las bases para el desarrollo de una plataforma regional de investigación, innovación y vinculación científica en el sureste de México.

Como conclusión de este trabajo, el proyecto de jatrofa puede considerarse emblemático porque logró integrar investigación científica, desarrollo tecnológico y vinculación regional en torno a un cultivo con potencial bioenergético. Sus resultados permitieron generar variedades registradas, establecer protocolos de propagación *in vitro*, avanzar en el manejo fitosanitario del cultivo y formar recursos humanos especializados. Sin embargo, su impacto más amplio fue haber contribuido al establecimiento y fortalecimiento del Laboratorio de Mejoramiento Genético y Micropropagación de Plantas, desde el cual se impulsaron nuevas líneas de investigación y proyectos posteriores en el área de biotecnología vegetal. De esta manera, jatrofa no solo representó un caso exitoso de aprovechamiento biotecnológico de un recurso vegetal, sino también el punto de partida para consolidar una plataforma científica orientada al desarrollo de soluciones aplicadas para el sureste de México.

Conflicto de intereses

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

Financiamiento

Fondo SAGARPA-CONACYT mediante el financiamiento otorgado para el proyecto 2011-163502.

Referencias

- Achten, W. M., Verchot, L., Franken, Y. J., Mathijs, E., Singh, V. P., Aerts, R., & Muys, B. (2008). Jatropha bio-diesel production and use. *Biomass and Bioenergy*, 32(12), 1063–1084. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2008.03.003>
- Achten, W. M., Almeida, J., Fobelets, V., Bolle, E., Mathijs, E., Singh, V. P., Verchot, L., & Muys, B. (2013). Life cycle assessment of Jatropha biodiesel as

- transportation fuel in rural India. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 28, 495–508. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.03.044>
- Desta, T. G., Gebresilasie, G. G., Meressa, G. G., Abraha, S. K., Weldeclassie, M. Abdu, K. Y., ... & Shah, M. A. (2025). Production and characterization of biodiesel from *Jatropha curcas* seed oil by using fly ash as a catalyst. *ACS omega*, 10(24), 25498-25505. <https://doi.org/10.1021/acsomega.5c00712>
- Divakara, B. N., Upadhyaya, H. D., Wani, S. P., & Gowda, C. L. L. (2010). Biology and genetic improvement of *Jatropha curcas* L.: A review. *Applied Energy*, 87(3), 732–742. doi:10.1016/j.apenergy.2009.07.013
- Góngora-Canul, C.C., Sebastián-Martínez, G., Aguilera-Cauich, E.A., Uc-Varguez, A., López-Puc, G., & Pérez-Hernández, O. (2018). Spatio temporal dynamics of mealybugs (Hemiptera: Pseudococcidae) Populations in plantations of *Jatropha curcas* L. in Yucatan Mexico. *Industrial Crops and Products*, 117, 110-117. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2017.12.070>
- Góngora-Canul, C.C., Sebastián-Martínez, G., Aguilera-Cauich, E.A., Uc-Varguez, A., López-Puc, G. (2018). El cultivo de *Jatropha curcas* L. en el sureste de México: Paquete tecnológico. CIATEJ.
- Herrera-Cool, G.J., Rodríguez-Buenfil, I.M., & López-Puc, G. (2019). Indirect organogenesis and estimation of nuclear DNA content in regenerated clones of a non-toxic variety of *Jatropha*. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 22, 451–463. <http://dx.doi.org/10.56369/tsaes.2615>
- Hussain, A., Naz, S., Nazir, H., & Shinwari, Z. K. (2012). Plant Tissue Culture: Current Status and Opportunities. En A. Leva & L. M. R. Rinaldi (Eds.), *Recent Advances in Plant Tissue Culture* (pp. 1-28). IntechOpen. <http://dx.doi.org/10.5772/50568>.
- Mofijur, M., Rasul, M. G., Hassan, N. M. S., & Mahlia, T. M. I. (2020). A review on biofuel production from *Jatropha curcas* and its sustainability. *Energies*, 13(17), 4319. <https://doi.org/10.3390/en13174319>
- Pérez, G., Islas, J., Guevara, M., & Suárez, R. (2019). The sustainable cultivation of Mexican nontoxic *Jatropha curcas* to produce biodiesel and food in marginal rural lands. *Sustainability*, 11(20), 5823. [10.3390/su11205823](https://doi.org/10.3390/su11205823)
- Riayatsyah, T. M. I., Sebayang, A. H., Silitonga, A. S., Padli, Y., Fattah, I. M. R., Kusumo, F., Ong, H. C., & Mahlia, T. M. I. (2022). Current progress of *Jatropha curcas* commoditisation as biodiesel feedstock: A comprehensive review. *Frontiers in Energy Research*, 9, 815416. <https://doi.org/10.3389/fenrg.2021.815416>
- Uc-Varguez, A., López-Puc, G., Góngora-Canul, C.C., Sebastián-Martínez, G., Aguilera-Cauich, E.A. (2017). Spatio-temporal behavior of foot rot (*Lasiodiplodia*

- theobromae*) in *Jatropha curcas* L. plantations in Yucatan, Mexico. *European journal of plant pathology*, 150, 991-1000. 10.1007/s10658-017-1338-y
- Uc-Varguez, A., López-Puc, G., Góngora-Canul, C.C., Sebastián-Martínez, G. & Aguilera-Cauich, E.A. (2017). *Manual para el manejo de las principales plagas y enfermedades que afectan el cultivo de Jatropha curcas L. en el sureste de México*. CIATEJ.
- Valdés-Rodríguez, O. A., Pérez Vázquez, A., & Muñoz Gamboa, C. (2014). Drivers and consequences of the first *Jatropha curcas* plantations in Mexico. *Sustainability*, 6(6), 3732-3746. 10.3390 /su6063732
- Zhang, Y., Li, X., Li, H., & Wang, Y. (2015). Efficient synthesis of biodiesel from non-edible oils using a solid base catalyst. *ACS Omega*, 5(7), 1234–1242. <https://doi.org/10.1021/acsomega.5c00712>.



**50 AÑOS DEL CIATEJ:
CIENCIA, TECNOLOGÍA Y SOCIEDAD**





Avances en la extracción y purificación de pigmentos, alcaloides y aceites esenciales de importancia económica en México

Advances in the extraction and purification of economically important pigments, alkaloids, and essential oils in Mexico

Eugenia Lugo Cervantes¹, Gustavo Adolfo Castillo Herrera¹, Jorge Alberto García Fajardo^{2*}

¹Subsede Zapopan. Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco, A.C. (CIATEJ), Cam. Arenero 1227, El Bajío, 45019. Zapopan, Jal., México.

²Subsede Noreste. Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco, A.C. (CIATEJ), Autopista Mty-Aeropuerto, Vía de la Innovación 404, Parque PIIT, 66628. Apodaca, N.L., México.

*Autor de correspondencia: jgarcia@ciatej.mx

Palabras clave:

fitoquímicos, aceites esenciales, pigmentos, alcaloides, agroindustria

Keywords:

phytochemicals, essential oils, pigments, alkaloids, agroindustry

Resumen

El objetivo de este trabajo es presentar los desarrollos tecnológicos del CIATEJ relacionados con la extracción, purificación y caracterización de compuestos de alto valor económico provenientes de recursos vegetales cultivados o aprovechados en México. La metodología consistió en revisar los procesos de obtención, purificación y análisis químico aplicados a tres grupos de fitoquímicos: pigmentos, alcaloides y aceites esenciales. Los resultados muestran que la aplicación de tecnologías eficientes de extracción, destilación y purificación puede mejorar el rendimiento, la pureza y la calidad de estos metabolitos secundarios en comparación con los métodos convencionales, además de optimizar los perfiles químicos, que permiten verificar su calidad. En conjunto, estos avances proporcionan bases para el aprovechamiento sustentable de la biodiversidad y ofrecen alternativas de valor agregado para los sectores agroindustrial, farmacéutico y alimentario.

Abstract

The review presents CIATEJ's technological developments related to the extraction, purification, and characterization of economically valuable compounds obtained from plant resources cultivated or used in Mexico. The methodology consisted of reviewing and optimizing the extraction processes, purification, and chemical analysis applied to three groups of phytochemicals: pigments, alkaloids, and essential oils. The results show that efficient extraction, distillation, and purification technologies can improve the yields, purity, and quality of these secondary metabolites compared with conventional methods, while providing chemical profiles that support quality assessment. Overall, these advances provide a foundation for the sustainable use of biodiversity and offer value-added alternatives for the agro-industrial, pharmaceutical, and food sectors.

Recibido: 20 de mayo 2026
Revisado: 25 de junio 2026
Aceptado: 10 de julio 2026
Publicado: 01 de agosto 2026



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/>

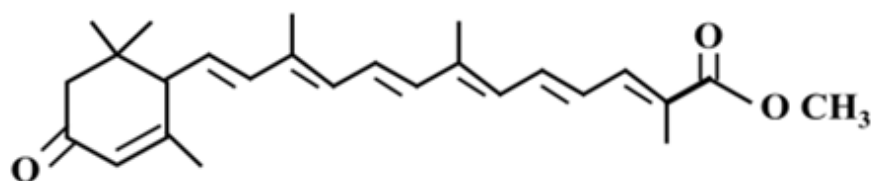
Introducción

La amplia biodiversidad botánica de México constituye un reservorio invaluable de metabolitos secundarios con elevado potencial económico. Históricamente, el aprovechamiento de estos recursos se ha limitado a su comercialización como materias primas o extractos de bajo valor agregado. Sin embargo, la transición hacia una bioeconomía circular y sustentable requiere desarrollar e implementar tecnologías avanzadas de extracción y purificación. En el marco del 50 aniversario del Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco (CIATEJ), este trabajo presenta los avances tecnológicos de la institución en la obtención de tres grupos de fitoquímicos de alta demanda industrial: pigmentos naturales, alcaloides y aceites esenciales. La optimización de procesos, desde el manejo de la materia prima hasta su aplicación industrial, muestra cómo la caracterización química y la ingeniería de procesos permiten obtener compuestos de alto valor que cumplen los requerimientos de calidad de los sectores alimentario, farmacéutico y cosmético.

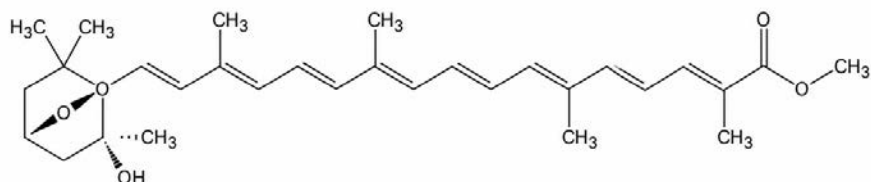
Pigmentos naturales: innovación en extracción y estabilización para la industria alimentaria

Carotenoides

Los carotenoides son compuestos formados generalmente por 40 átomos de carbono, cuya unidad estructural fundamental es el isopreno. Se encuentran principalmente en flores y frutos, aunque también pueden estar presentes en semillas, como ocurre en *Ditaxis heterantha*, conocida como azafrán de bolita (Méndez Robles et al., 2004). En el marco de un proyecto del fondo SIMORELOS se estudiaron distintos métodos de extracción, purificación e identificación de los carotenoides presentes en esta semilla. La especie, endémica de México y perteneciente a la familia *Euphorbiaceae*, se distribuye en zonas semiáridas de Jalisco, Zacatecas e Hidalgo. Su semilla molida se utiliza tradicionalmente como colorante en alimentos como arroz, caldo de pollo y menudo. Las semillas recolectadas se extrajeron con solventes no polares y los compuestos se purificaron mediante cromatografía en columna con éter etílico y éter de petróleo. La identificación se realizó por espectrometría de masas y resonancia magnética nuclear (RMN) (Figura 1). Debido a la disponibilidad limitada de equipos de RMN en Jalisco, los análisis se efectuaron finalmente en el Departamento de Química del CINVESTAV. Este trabajo se desarrolló dentro del proyecto «Aprovechamiento agroindustrial del azafrán de bolita (*Ditaxis heterantha*) para la obtención de amarillos naturales».



Methyl 3-oxo-12'-apo-ε-carotene-12'-oate



Methyl 3β, 6β-epoxy-5β-hydroxy-4,5-dihydro-8'-apo-ε-carotene-8'-oate

Figura 1. Apocarotenoides identificados mediante MS+ y RMN de *Ditaxis heterantha*

Betalaínas

Las betalaínas son pigmentos nitrogenados presentes principalmente en unas 13 a 17 familias de plantas del orden Caryophyllales, entre las que destacan Amaranthaceae y Cactaceae. En las cactáceas se localizan sobre todo en flores y frutos, donde producen tonalidades amarillas, naranjas, rojas y púrpuras. En otro proyecto del fondo SIMORELOS se estudiaron las betalaínas de los frutos de *Stenocereus queretaroensis*, especie conocida como pitaya de Jalisco. El objetivo principal fue identificar y caracterizar las betalaínas presentes en estos frutos, así como establecer un procedimiento adecuado para su recuperación. El estudio formó parte del proyecto «Aprovechamiento integral del chile (*Capsicum annuum*) y pitaya (*Stenocereus queretaroensis*) para la producción de colorantes naturales rojos sustituyentes de los sintéticos». La extracción se llevó a cabo con una mezcla de metanol y agua, mientras que la identificación se realizó mediante espectrometría de masas y RMN. Como se muestra en la Tabla 1, se identificaron distintos compuestos, entre ellos filocactina, una betalaína característica de las cactáceas (Calva Estrada et al., 2022).

Tabla 1. Espectrometría de masas de las betalainas de *Stenocereus queretaroensis*

Compuesto Número de pico	RT (min)	Contenido (%)	Longitud de onda máx (nm)	LC-MS M ⁺ H ⁺ (m/z)	Betalainas
1	11.1	0.2	469	n.d	Vulgaxantina I
2	17.7	8.4	476	309	Isoindicaxantina
2	18.3	51.8	475	309	Indicaxantina
3	20.4	1.2	403	n.d	Ac. betalámico
4	21.2	0.3	538	n.d	Betanina
4	22.9	0.1	536	n.d	Isobetanina
5	23.6	0.3	536	n.d	Betacianina
6	25.1	29.2	538	637	Filocactina
6	26.5	3.9	538	n.d	Isofilocactina
7	26.8	1.5	536	n.d	Betacianina

Compuestos fenólicos y procianidinas

Los compuestos fenólicos constituyen uno de los grupos más abundantes de metabolitos secundarios de las plantas, junto con los alcaloides y los terpenos, entre los que se incluyen los componentes de los aceites esenciales. Sus principales clases comprenden fenoles simples, taninos, cumarinas, lignanos, antraquinonas y flavonoides.

En términos generales, la composición de los granos de cacao comprende 32–39% de agua, 30–32% de grasa, 8–10% de proteína, 4–6% de almidón, 2–3% de celulosa, 2–3% de sacarosa, 5–6% de polifenoles, 1–2% de teobromina, 1% de ácidos orgánicos y aproximadamente 1% de cafeína. Los tres principales grupos de polifenoles reportados en los granos de cacao son los flavan-3-oles (~37%), las procianidinas (~58%) y las antocianinas (~4%). Entre los flavan-3-oles, la (–)-epicatequina es la forma monomérica predominante (hasta el 35% del total de polifenoles) en los granos de cacao desgrasados recién cosechados, seguida por menores cantidades de (+)-catequina y trazas de (+)-galocatequina, (–)-epigalocatequina y (–)-epicatequina-3-O-galato.

Las procianidinas están compuestas por unidades monoméricas de flavan-3-oles unidas mediante enlaces interflavonoides. La fracción de antocianinas está dominada por dos glucósidos de cianidina: cianidina-3- α -L-arabinosido y cianidina-3- β -D-galactósido. Adicionalmente, se han encontrado polifenoles no flavonoides, tales como derivados de ácidos hidroxibenzoicos e hidroxicinámicos, en los granos de cacao. Los principales derivados del ácido benzoico detectados son los ácidos gálicos, p-hidroxibenzoico, protocatéquico, vainílico y siríngico; mientras que los ácidos cafeicos, ferúlico y p-cumárico son los principales ácidos hidroxicinámicos presentes.

El contenido de polifenoles en los granos de cacao Criollo representa aproximadamente dos tercios del observado en la variedad Forastero (Figura 2). No obstante, la variedad Criollo puede presentar concentraciones elevadas de procianidinas, compuestos que contribuyen al sabor astringente y amargo del chocolate elaborado con este cultivar.

Durante los procesos de fermentación, el secado y el tostado disminuyen principalmente el contenido de epicatequina. Debido a que los polifenoles suelen estar asociados con moléculas de azúcar, presentan solubilidad en solventes polares. Para su extracción, la muestra se desengrasa primero con hexano y, posteriormente, se trata con una mezcla de acetona, agua y ácido acético. Acevez-Mares et al. (2025) evaluaron la actividad antioxidante de cinco variedades de cacao criollo y encontraron que la variedad Rojo Samuel puede modular la inflamación y el metabolismo lipídico en un modelo de adipocitos.

En el CIATEJ, la línea de Tecnología Alimentaria ha participado en diversos proyectos relacionados con el cacao, particularmente con su manejo poscosecha (SAGARPA-Cacao, desde 2009; FINNOVA, 2015; SAGARPA, 2017). Estos proyectos desarrollados con productores de Chiapas y Tabasco, han abordado las etapas de fermentación, secado y tostado, con la colaboración de investigadores del grupo de Biotecnología Industrial.

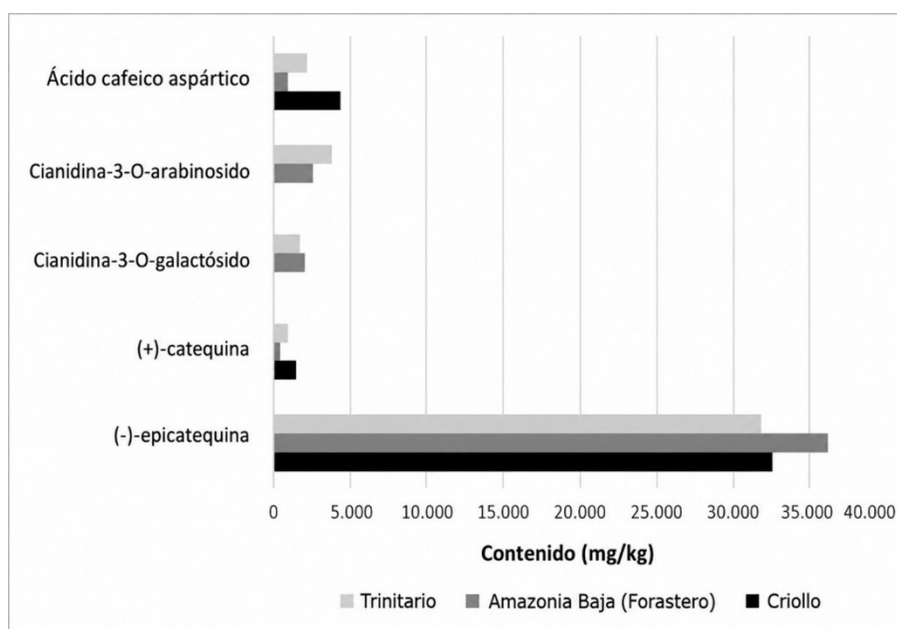


Figura 2. Contenido de polifenoles en tres variedades de cacao

Alcaloides: de la biodiversidad mexicana a la purificación de moléculas de interés farmacológico

El aprovechamiento integral de materias primas y subproductos agroindustriales representa una estrategia relevante para desarrollar ingredientes funcionales, reducir el impacto ambiental y generar alternativas de valor agregado para las industrias alimentaria, farmacéutica y biotecnológica. En este contexto, el cultivo de chile y la producción de café tienen una gran importancia económica y social en México, donde ambos sectores forman parte de la actividad agrícola y del sustento de miles de productores.

México destaca por su producción y diversidad de especies del género *Capsicum*, caracterizadas por su contenido de capsaicinoides, compuestos responsables de la pungencia del chile y reconocidos por sus propiedades antimicrobianas y antiinflamatorias, así como por su potencial aplicación en alimentos funcionales, productos farmacéuticos y formulaciones cosméticas. Por ello, se requieren procesos eficientes para obtener oleorresinas y extractos ricos en capsaicinoides que garanticen su calidad, estandarización y seguridad de uso industrial. No obstante, numerosos procesos convencionales dependen de solventes orgánicos como hexano, metanol o éter, cuyos residuos implican limitaciones regulatorias, ambientales y tecnológicas. Aunque existen alternativas consideradas verdes, como la extracción con fluidos supercríticos, la destilación molecular y las técnicas cromatográficas de alta resolución, sus costos operativos, capacidad de procesamiento y dificultades de escalamiento pueden restringir su aplicación. En consecuencia, resulta pertinente desarrollar procesos accesibles, sostenibles y escalables para obtener extractos con alto contenido de compuestos bioactivos y reducir el uso de solventes, además de favorecer el aprovechamiento de residuos como los aceites vegetales usados.

De manera similar, la industria cafetalera enfrenta retos derivados de la generación de subproductos y de enfermedades fitopatológicas como la roya del café (*Hemileia vastatrix*), una de las principales amenazas para la producción mundial de café y una causa importante de pérdidas económicas, especialmente para los pequeños productores. En regiones como Pluma Hidalgo, Oaxaca, donde el café cuenta con denominación de origen y posee gran relevancia económica, las opciones de manejo de plagas y enfermedades son limitadas, por lo que es necesario explorar alternativas para aprovechar los materiales afectados. Diversos estudios indican que las hojas y los granos infectados pueden presentar cambios en su perfil de metabolitos secundarios, incluidos compuestos fenólicos, flavonoides y alcaloides. En particular, se observó una disminución de la cafeína en los granos infectados de café, característica que podría aprovecharse para su revalorización y comercialización en lugar de desecharlos o quemarlos.

Asimismo, la producción de café genera grandes cantidades de pulpa, considerada uno de los principales residuos contaminantes de esta agroindustria, en particular durante el beneficio húmedo. Este subproducto conserva cafeína, lo que limita su uso directo como alimento para animales o material de compostaje, y hace necesario desarrollar procesos sencillos para recuperarla antes de su aprovechamiento. Con este propósito se han evaluado métodos convencionales de extracción y tecnologías no convencionales, como la extracción con agua presurizada y con fluidos supercríticos. La integración de estas alternativas con procesos de purificación mediante resinas poliméricas puede incrementar el rendimiento y la pureza de la cafeína, atender la demanda de este compuesto y agregar valor a materias primas que, de otro modo, representarían un residuo.

En este contexto, la línea de Tecnología Alimentaria ha desarrollado e integrado procesos sostenibles para la extracción, concentración, purificación y caracterización de alcaloides provenientes de recursos agroalimentarios y sus residuos. Este enfoque no solo permite obtener ingredientes naturales con potencial aplicación industrial, impulsar estrategias de economía circular, disminuir el impacto ambiental de los residuos agroindustriales y fortalecer el aprovechamiento tecnológico de materias primas de alta relevancia económica para México. Durante los últimos años, los proyectos de la línea de Tecnología Alimentaria relacionados con la obtención de alcaloides se han orientado principalmente a la revalorización de materias primas y subproductos. En todos los casos se ha procurado desarrollar procesos sostenibles, con posibilidades de escalamiento y capaces de aprovechar el potencial biológico de los compuestos obtenidos. A continuación, se describen los avances alcanzados con dos materias primas de particular importancia: chile y café, incluidos los residuos y los subproductos derivados de su procesamiento tradicional.

En el género *Capsicum*, se han estudiado los capsaicinoides de chile habanero, serrano y de árbol, entre otros. Inicialmente se desarrollaron estrategias de extracción orientadas a obtener oleorresinas sin solventes orgánicos. A diferencia de los métodos convencionales basados en hexano, metanol u otros solventes con limitaciones regulatorias y ambientales, se diseñó un proceso de extracción sólido-líquido con aceites vegetales, incluidos aceites residuales de la industria restaurantera o gastronómica. Esta alternativa permite recuperar los capsaicinoides mediante un proceso más amigable con el ambiente y aprovechar los aceites generados durante la fritura de alimentos. Sin embargo, la concentración de los capsaicinoides obtenida inicialmente fue baja. Para mejorar el proceso, se evaluaron operaciones de saponificación y de extracción líquido-líquido, con las que se incrementó la concentración y pureza de los capsaicinoides, como se muestra en la Figura 3, facilitando su aplicación como ingredientes funcionales y saborizantes naturales (Rodríguez-Vera et al., 2016).



Figura 3. Extractos de capsaicinoides: a) extracto con aceite; b) saponificación del extracto; c) extracción líquido-líquido de la fracción no saponificada

En el caso del café, los trabajos han comprendido la caracterización de los alcaloides presentes en muestras procedentes de regiones productoras de Oaxaca, Guerrero, Chiapas, Veracruz y Jalisco, con énfasis en la cafeína, uno de los alcaloides más conocidos, y en su potencial biológico. También se han estudiado subproductos del beneficio, principalmente del beneficio húmedo, así como hojas y granos afectados por enfermedades del cultivo. En particular, se analizaron materiales asociados con *Hemileia vastatrix*, agente causal de la roya del café, debido a que esta enfermedad representa una de las principales amenazas para la producción cafetalera mundial. Los estudios permitieron evaluar cómo la infección modifica la síntesis y el contenido de cafeína en diferentes tejidos y tipos de extracto. Para la caracterización de los alcaloides se desarrollaron metodologías cromatográficas avanzadas como HPTLC y HPLC, y se complementaron con ensayos biológicos para determinar el potencial de las fracciones obtenidas, como se muestra en la Figura 4 (Cárdenas-Ureña et al., 2025).

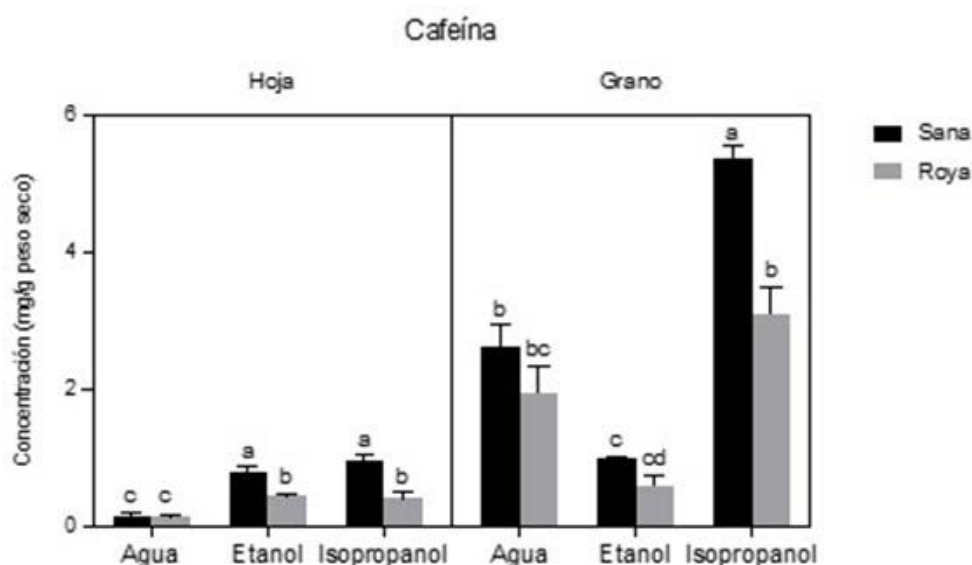


Figura 4. Concentración de cafeína en las hojas y granos sanos e infectados con roya, determinada en extractos acuosos, etanólicos e isopropanólicos mediante HPTLC. Los datos representan la media $\pm$ desviación estándar. Las letras minúsculas indican diferencias estadísticas entre las muestras de hoja y, por separado, entre las muestras de granos, de acuerdo con la prueba de Tukey ($p < 0.05$, $n=3$)

También se evaluaron procesos no convencionales para recuperar alcaloides de subproductos agroindustriales. En el caso de la pulpa de café, principal residuo contaminante del beneficio húmedo, se comparó la extracción con agua subcrítica y con CO_2 supercrítico frente a métodos tradicionales de lixiviación. La extracción con agua subcrítica proporcionó los mayores rendimientos de cafeína; posteriormente, se desarrolló un proceso de purificación con resinas poliméricas, con el que se obtuvieron fracciones de mayor pureza y actividad biológica. Estos resultados muestran el potencial de integrar tecnologías verdes y procesos de purificación selectiva para transformar residuos agroindustriales en ingredientes funcionales de alto valor agregado.

En conjunto, estos desarrollos evidencian la experiencia de la línea de Tecnología Alimentaria en el diseño y optimización de procesos de extracción, purificación y caracterización de compuestos bioactivos, así como en la aplicación de tecnologías sostenibles para el aprovechamiento integral de recursos agroalimentarios. Los resultados muestran su potencial para generar ingredientes naturales destinados a alimentos y productos nutraceuticos, al tiempo que promueven la economía circular y la valorización de residuos agroindustriales.

Aceites esenciales: de la biodiversidad mexicana a la innovación tecnológica en destilación y purificación

Los aceites esenciales son mezclas complejas de sustancias volátiles, lipofílicas y odoríferas biosintetizadas por el metabolismo secundario vegetal, y desempeñan funciones ecológicas vitales como la defensa contra fitopatógenos y la atracción de polinizadores. La diversidad climática y orográfica de México favorece una flora aromática amplia, que incluye especies endémicas y cultivos de importancia económica, como el orégano mexicano (*Lippia graveolens*), la pimienta gorda (*Pimenta dioica* Merrill) y diversas especies cítricas. Durante décadas, la recolección y el procesamiento de materias primas se realizaron principalmente mediante tecnologías empíricas, con las que se obtenían aceites crudos destinados al mercado de fragancias de bajo costo o se comercializaba directamente la biomasa seca. Sin embargo, el mercado actual demanda ingredientes especializados con perfiles químicos estandarizados y libres de residuos de solventes, plaguicidas y productos de degradación térmica. Para atender estos requerimientos y facilitar la transferencia del campo al laboratorio y a la industria, el CIATEJ ha desarrollado y validado tecnologías avanzadas de destilación, extracción y purificación, que permiten obtener fitoquímicos de calidad y mejorar la rentabilidad agroindustrial.

Degradación térmica e hidrolítica en los métodos convencionales

El aislamiento tradicional de aceites esenciales se realiza principalmente mediante hidrodestilación o destilación por arrastre de vapor (ver Figura 5a). Aunque estos procesos son económicamente accesibles y relativamente fáciles de implementar a escala rural, presentan limitaciones fisicoquímicas al procesar matrices botánicas complejas. Durante la hidrodestilación, la biomasa permanece en contacto directo con agua en ebullición durante periodos prolongados, generalmente de 2 a 6 h. Este tratamiento térmico e hidrolítico puede favorecer distintas reacciones de degradación en los compuestos termolábiles y modificar el perfil químico del aceite recuperado.

A nivel molecular, el calentamiento prolongado puede provocar la hidrólisis de ésteres volátiles, su transformación en ácidos y alcoholes menos odoríferos, la isomerización de monoterpenos (como la conversión térmica de precursores en el orégano) y la polimerización oxidativa de compuestos insaturados. Además, la solubilización parcial puede ocasionar que algunas fracciones oxigenadas, de mayor polaridad y responsables en buena medida del perfil aromático y de la actividad biológica, permanezcan disueltas en el agua de condensación conocida como hidrolato (ver Figura 5b). En consecuencia, el aceite esencial recuperado por decantación puede presentar una disminución de su calidad organoléptica y bioactividad.

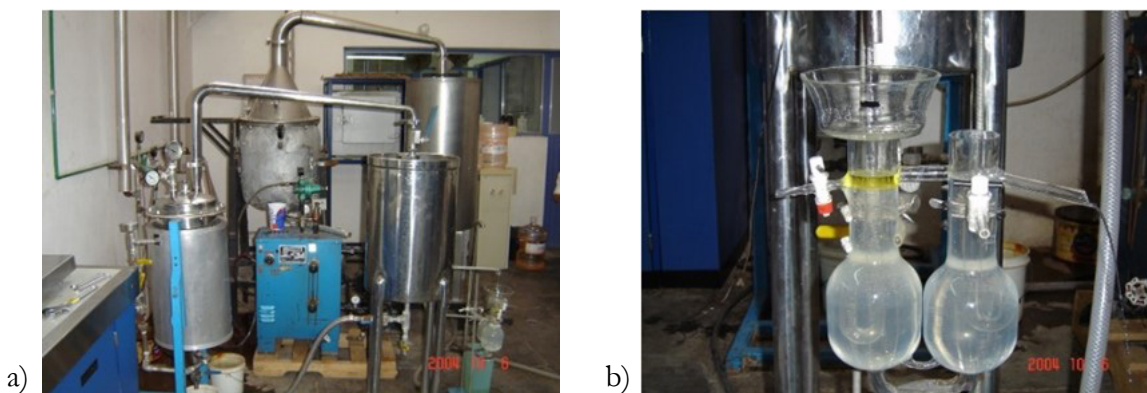


Figura 5. a) Equipo a nivel piloto de 25 L para la destilación de aceites esenciales por arrastre con vapor. b) Sistema de decantación del aceite esencial-hidrolato durante la destilación

Extracción con fluidos supercríticos

Ante las limitaciones de los procesos térmicos, la extracción por fluidos supercríticos mediante dióxido de carbono (EFS- CO_2) constituye una alternativa relevante para la valorización de fitoquímicos volátiles. El CO_2 alcanza el estado supercrítico en condiciones operativas relativamente moderadas: una temperatura crítica de $31.1\text{ }^\circ\text{C}$ y una presión crítica de 73.8 bar. En este estado termodinámico, el fluido presenta propiedades de transporte híbridas y altamente ajustables: posee una densidad comparable con la de un solvente orgánico líquido, que le confiere un elevado poder de solvatación y una viscosidad y difusividad similares a las de un gas. Esta combinación facilita la penetración del fluido en la matriz celular vegetal y permite modificar su selectividad mediante cambios controlados de presión y temperatura.

La utilidad de esta tecnología se demostró en los estudios comparativos realizados con pimienta gorda (*Pimenta dioica* Merrill) cultivada en regiones tropicales de México. El análisis fitoquímico mostró que la destilación tradicional por arrastre de vapor modifica la concentración de eugenol y metileugenol, componentes bioactivos relevantes de esta especie. En contraste, la EFS- CO_2 , operada a $40\text{ }^\circ\text{C}$ y presiones de 90 a 120 bar, permitió una extracción selectiva y exhaustiva. El extracto supercrítico no presentó productos detectables de degradación térmica y conservó con mayor fidelidad el perfil organoléptico de la especia fresca. Además, el carácter inerte del CO_2 redujo la oxidación durante el proceso y su eliminación mediante descompresión permitió obtener un extracto sin trazas de solventes (García-Fajardo et al., 1997).

Fraccionamiento molecular y aislamiento de biomoléculas

La extracción supercrítica es adecuada para separar inicialmente los compuestos de la matriz vegetal; sin embargo, la purificación de los aceites esenciales crudos requiere

operaciones posteriores. La industria citrícola nacional genera grandes volúmenes de residuos agroindustriales, principalmente cáscaras de naranja, mandarina y toronja. Estudios orientados a la economía circular han mostrado que estos subproductos pueden aprovecharse mediante prensado en frío o arrastre con vapor para recuperar aceites crudos con componentes de actividad antimicrobiana (Mora-Álvarez, 2006). No obstante, estos aceites contienen más del 90% de hidrocarburos monoterpénicos, predominantemente *d*-limoneno, que son susceptibles a la autooxidación y tienen un valor comercial limitado. Por ello, el reto tecnológico consiste en fraccionar el material para concentrar las fracciones oxigenadas minoritarias de mayor valor.

Para este propósito, la destilación molecular de trayecto corto constituye una alternativa eficaz. A diferencia de la destilación fraccionada convencional que opera a vacío medio y requiere columnas de reflujo, la destilación molecular funciona a alto vacío, con presiones residuales entre 0.001 y 0.01 mbar. En estas condiciones, la distancia entre la superficie de evaporación y el condensador interno es menor que el recorrido libre medio de las moléculas en fase gaseosa. Esto permite disminuir la temperatura de ebullición de los compuestos de mayor peso molecular y reducir el tiempo de residencia térmica a pocos segundos, con lo que se limita su polimerización.

El dominio de estas tecnologías ha permitido optimizar procesos de separación altamente eficientes. En el aceite esencial de naranja dulce, la combinación de destilación fraccionada y destilación molecular con película agitada permite recuperar de manera sistemática *d*-limoneno de alta pureza y, simultáneamente, aislar y concentrar la fracción de compuestos oxigenados responsable de las notas aromáticas de mayor impacto. Esta integración mejora el aprovechamiento de la materia prima y genera fracciones con características adecuadas para diferentes aplicaciones industriales (García-Fajardo et al., 2023).

Caracterización fitoquímica de alta resolución

La instrumentación analítica avanzada constituye un soporte indispensable para diseñar, optimizar y escalar estos procesos de separación. En el CIATEJ, la cromatografía de gases acoplada a espectrometría de masas (GC-MS) ha sido fundamental para identificar los componentes y validar la calidad fitoquímica de los extractos. Esta herramienta es especialmente relevante para especies endémicas complejas como el orégano mexicano (*Lippia graveolens*), una planta de recolección silvestre que presenta una amplia variabilidad genética, fenotípica y química según la región geográfica, las condiciones climáticas y el estrés hídrico al que se encuentra sometida.

El análisis por GC-MS ha permitido diferenciar con precisión los quimiotipos de las poblaciones botánicas y resolver coeluciones cromatográficas importantes

para cuantificar la relación entre timol y carvacrol, dos fenoles monoterpénicos con actividad antimicrobiana. Para reducir el efecto de las variaciones climáticas y geográficas sobre la calidad del extracto, se han aplicado métodos extractivos como la hidrodestilación fraccionada. Esta modificación del proceso convencional permite estandarizar el contenido fenólico del aceite y concentrar timol y carvacrol hasta en un 74% en una sola fracción, independientemente de la región de origen de la especia en México (Castillo-Herrera et al., 2007).

El fraccionamiento y la concentración de las fases fenólicas incrementan su actividad biocida. Se ha demostrado que el aceite esencial de orégano inhibe el crecimiento de fitopatógenos de importancia agrícola, como *Erwinia carotovora* y *Fusarium oxysporum* en plantas de *Agave tequilana* Weber var. azul a concentraciones de apenas 50 ppm (Obledo et al., 2002). Asimismo, las fracciones con un contenido combinado de hasta 83% de timol y carvacrol muestran eficacia para reducir *Salmonella* spp. en productos agrícolas frescos como aguacate, tomate y limón (Estarrón-Espinosa et al., 2018).

Además de su aplicación directa en el lavado de alimentos, las fracciones ricas en carvacrol pueden emplearse en sistemas avanzados de envasado. Su incorporación en matrices de biopolímeros naturales, como películas de quitosano, modifica las propiedades fisicoquímicas y de barrera del empaque y permite conservar y liberar de forma controlada la actividad antimicrobiana y antioxidante (López-Mata et al., 2013). De este modo, la caracterización molecular contribuye a transformar el conocimiento botánico en aditivos y empaques activos funcionales.

El desarrollo de protocolos de extracción, fraccionamiento y destilación molecular de aceites cítricos y de especies endémicas debe trascender la validación de laboratorio. Para favorecer la transferencia tecnológica, los proyectos del CIATEJ se han estructurado bajo el modelo de la pentahélice que articula la participación de los sectores académico, productivo, gubernamental, social y ambiental. Este enfoque busca que el valor agregado generado a partir de pigmentos, alcaloides y aceites esenciales se traduzca en beneficios para las comunidades y contribuya a la sostenibilidad y competitividad nacional.

Conclusiones

La trayectoria de la línea de investigación de Tecnología Alimentaria del CIATEJ durante más de 30 años muestra que el valor real de los compuestos naturales de la flora cultivada y silvestre de México, pigmentos, alcaloides y aceites esenciales, puede incrementarse mediante la integración de la ingeniería de procesos con el modelo de la pentahélice. El aprovechamiento de materias primas y de residuos

agroindustriales permite reducir el impacto ambiental, generar alternativas de valor agregado para el sector productivo y fortalecer la transferencia tecnológica hacia las comunidades agrícolas. En conjunto, estos avances aportan bases para consolidar una bioeconomía sustentable, competitiva y con beneficios compartidos.

Referencias

- Acevez-Mares, L. C., Alcázar-Valle, M., Velásquez-Reyes, D., Mojica, L., Jaramillo-Flores, M. E., Avendaño-Arrazate, C., & Lugo-Cervantes, E. (2025). Native cacao from southern Mexico: polyphenol profiling and its impact on inflammation and lipid metabolism modulation. *Bioactive Compounds in Health and Disease*, 8(10). <https://doi.org/10.31989/bchd.v8i10.1814>
- Calva-Estrada, S. J., Jiménez-Fernández, M., & Lugo-Cervantes, E. (2022). Betalains and their applications in food: The current state of processing, stability and future opportunities in the industry. *Food Chemistry: Molecular Science*, 4, 100089. <https://doi.org/10.1016/j.fochms.2022.100089>
- Cárdenas-Ureña, A., Mojica-Contreras, L., Coronado-Cáceres, L., & Castillo-Herrera, G. (2025). *Evaluación del efecto de Hemileia vastatrix en cafetos de la variedad Pluma en el contenido de metabolitos secundarios y su relación con el potencial biológico de los extractos de hojas y granos verdes de café* [tesis de maestría, Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco, A.C.]. Repositorio institucional CIATEJ.
- Castillo-Herrera, G. A., García-Fajardo, J. A., & Estarrón-Espinosa, M. (2007). Extraction method that enriches phenolic content in oregano (*Lippia graveolens* H.B.K.) essential oil. *Journal of Food Process Engineering*, 30(6), 661–669. <https://doi.org/10.1111/j.1745-4530.2007.00134.x>
- García-Fajardo, J. A., Flores-Méndez, D. A., Suárez-Jacobo, Á., Torres-Martínez, L. G., Granados-Vallejo, M., Corona-González, R. I., Guatemala-Morales, G. M., & Arriola-Guevara, E. (2023). Separation of D-limonene and other oxygenated compounds from orange essential oil by molecular distillation and fractional distillation with a wiped film evaporator. *Processes*, 11(4), 991. <https://doi.org/10.3390/pr11040991>
- García-Fajardo, J. A., Martínez-Sosa, M., Estarrón-Espinosa, M., Vilarem, G., Gaset, A., & de Santos, J. M. (1997). Comparative study of the oil and supercritical CO₂ extract of Mexican pimento (*Pimenta dioica* Merrill). *Journal of Essential Oil Research*, 9(2), 181–185. <https://doi.org/10.1080/10412905.1997.9699456>
- Estarrón-Espinosa, M. E., García-Fajardo, J. A., & Castillo-Herrera, G. A. (2018). The antimicrobial effect of oregano essential oil and its phenolic and terpe-

- nic fractions in the reduction of *Salmonella* spp. in avocados, tomatoes and lemons. En A. Cardador-Martínez & V. M. Rodríguez-García (Eds.), *Essential Oils: Production, Applications and Health Benefits* (pp. 139–148). Nova Science Publishers. <https://novapublishers.com/shop/essential-oils-production-applications-and-health-benefits/>
- López-Mata, M. A., Ruiz-Cruz, S., Silva-Beltrán, N. P., Ornelas-Paz, J. de J., Zamudio-Flores, P. B., & BurrueI-Ibarra, S. E. (2013). Physicochemical, antimicrobial and antioxidant properties of chitosan films incorporated with carvacrol. *Molecules*, 18(11), 13735–13753. <https://doi.org/10.3390/molecules181113735>.
- Méndez-Robles, M. D., Flores-Chavira, C., Orozco-Ávila, I., Jaramillo-Flores, M. E., & Lugo-Cervantes, E. (2004). Economic potential of ‘Azafrán de bolita’ (*Ditaxis heterantha* Zucc; Euphorbiaceae): a food pigment producing plant. *Economic Botany*, 58, 530–535. [https://doi.org/10.1663/0013-0001\(2004\)058\[0530:C-CACDO\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1663/0013-0001(2004)058[0530:C-CACDO]2.0.CO;2)
- Mora-Álvarez, M. C. (2006). Evaluación de los componentes activos de aceites a partir de subproductos de naranja, mandarina y toronja con actividad antimicrobiana, por los métodos de prensado en frío y arrastre con vapor [tesis de maestría, Centro Universitario de Ciencias Exactas e Ingenierías]. Repositorio institucional CUCEI.
- Obledo, E. N., Javiel-Robles, E., García-Fajardo, J. A., & Ramírez-Córdova, J. J. (2002). Antimicrobial activity of the essential oil of Mexican oregano (*Lippia graveolens* HBK) against pathogens of *Agave tequilana* Weber var. azul. *Phyton-International Journal of Experimental Botany*, 71, 143-148. <https://hero.epa.gov/reference/5241549/>
- Rodríguez-Vera, R., López-Ramírez, J., & Castillo-Herrera, G. (2016). Evaluación de un proceso para el enriquecimiento y purificación de capsaicinoides a partir de una oleorresina de chile habanero [tesis de licenciatura, Universidad de Guadalajara]. Repositorio institucional UDG.





**50 AÑOS DEL CIATEJ:
CIENCIA, TECNOLOGÍA Y SOCIEDAD**





Ladrillos verdes: monitoreo y reducción de las emisiones atmosféricas en hornos de ladrillo

Green bricks: monitoring and reduction of atmospheric emissions in brick kilns

Jorge del Real-Olvera^{1*}, Sergio Alonso-Romero², Leonel Hernández-Mena¹, José Eduardo Frías-Chimal²

¹ Unidad de Tecnología Ambiental, Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco, Guadalajara, Jalisco, México.

² Dirección de Soluciones Tecnológicas, Centro de Innovación Aplicada en Tecnologías Competitivas, León, Guanajuato, México.

* Autor de correspondencia: jdelreal@ciatej.mx

Palabras clave:

emisiones atmosféricas,
ladrillo artesanal, hornos MK,
control de emisiones

Keywords:

atmospheric emissions, artisanal
brick, MK kilns, emission control

Resumen

La producción de ladrillo en México es un pilar económico-cultural que genera impactos ambientales y de salud por las emisiones atmosféricas. Para evaluar alternativas de mitigación, este proyecto cuantificó y comparó los gases contaminantes (CO, CO₂, NO₂ y SO₂) generados durante la cocción en dos tipos de horno: Paredes Fijas (PF) y MK, integrando el monitoreo en campo y el modelado teórico. Adicionalmente, se evaluó la eficiencia de un lavador de gases en las chimeneas. Los resultados indicaron que, sin lavador, el horno PF es más eficiente por pieza elaborada y alcanza mayor calidad comercial, aunque sus emisiones cuadruplican las del modelo MK. Al activar el lavador del horno MK, se observó una mayor remoción de CO (36%), NO₂ (22%) y CO₂ (26%), sin efecto aparente sobre SO₂. La optimización energética y el lavado de gases disminuyen los riesgos para la salud y ofrecen una ruta sustentable para este sector.

Abstract

Brick production in Mexico is an economic and cultural pillar that generates environmental and health impacts due to atmospheric emissions. To evaluate mitigation alternatives, this project quantified and compared the polluting gases (CO, CO₂, NO₂, and SO₂) generated during firing in two types of kilns: Fixed Walls (PF) and MK, integrating field monitoring and theoretical modeling. Additionally, the efficiency of a flue gas scrubber was evaluated. The results indicated that, without the scrubber, the PF kiln is more efficient per brick produced and achieves higher commercial quality, although its emissions are four times higher than those of the MK model. Activating the scrubber in the MK kiln resulted in greater removal of CO (36%), NO₂ (22%), and CO₂ (26%), with no apparent effect on SO₂. Energy optimization and flue gas scrubbing reduce health risks and offer a sustainable path for this sector.

Recibido: 18 de mayo 2026
Revisado: 29 de junio 2026
Aceptado: 01 de julio 2026
Publicado: 01 de agosto 2026



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 las últimas décadas, el crecimiento de las zonas urbanas y la actividad industrial han deteriorado la calidad del aire en diversas regiones del país, poniendo bajo la lupa al transporte y algunos sectores industriales. Para enfrentar este reto económico-ambiental, se han diseñado normativas que actúan como un escudo al establecer límites a la emisión de contaminantes atmosféricos. Dentro de este marco regulatorio, el funcionamiento de los hornos ladrilleros ha adquirido gran relevancia científica debido al profundo impacto socioeconómico y ambiental, lo que ha atraído el interés de la comunidad científica para resolver dicha problemática, la cual se ha estudiado ampliamente tanto en México como en otros países en desarrollo de Asia y América Latina. Más allá de las implicaciones climáticas globales, esta actividad económica plantea una dimensión crítica de salud pública a nivel local. El uso arraigado de hornos artesanales que emplean combustibles tan heterogéneos como residuos de madera y aserrín, así como desechos industriales, libera una compleja mezcla de emisiones gaseosas y de material particulado que expone directamente a los operarios y a las poblaciones circundantes (Lara-Mireles et al., 2021). En relación con esto, diversos reportes epidemiológicos recientes en zonas ladrilleras asocian dicha exposición con una alta incidencia de afecciones oculares, padecimientos respiratorios crónicos y síntomas neurotóxicos en grupos vulnerables, lo que evidencia la urgencia de transitar hacia esquemas de producción más limpios (Pedroza et al., 2025).

Contradictoriamente, frente a este escenario de riesgo ambiental y sanitario, el sector ladrillero se mantiene como un pilar económico y cultural indispensable para numerosas comunidades mexicanas. No obstante, sus métodos de fabricación han permanecido prácticamente inalterados durante generaciones. Estudios realizados en entidades con alta producción ladrillera, como Jalisco, Puebla y Guanajuato, confirman que estos procesos tradicionales aportan volúmenes considerables de contaminantes a los inventarios de emisiones regionales (Alonso et al., 2024). Como se observa en la Figura 1, en la distribución geográfica de esta actividad se destaca una concentración crítica en el centro del país, lo que acentúa la necesidad de evaluar alternativas tecnológicas para mitigar los contaminantes atmosféricos (INEGI, 2025).

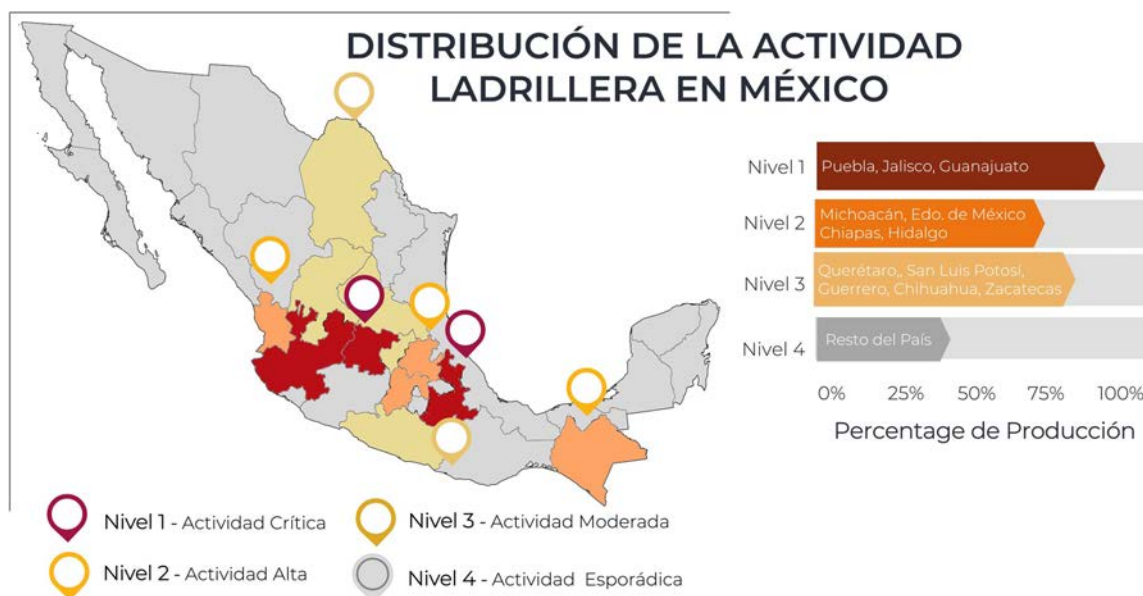


Figura 1. Distribución de la actividad ladrillera en México y el porcentaje de producción
Fuente: Elaboración propia con datos del INEGI (2025)

Diversos reportes científicos han documentado que la eficiencia energética en los hornos ladrilleros depende directamente de la metodología de alimentación del combustible, del tipo de horno y del tipo de biomasa utilizada. Con el fin de estandarizar las evaluaciones realizadas en los diversos tipos de hornos ladrilleros, el Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC) ha propuesto dos variables teóricas que permiten comparar y calcular la cantidad de contaminación generada por tonelada de combustible utilizado; dichas variables son: el factor de emisión (FE) y el contenido de carbono (CC). En términos generales, el contenido de carbono es el porcentaje de carbono puro presente en la biomasa utilizada (como leña o aserrín), lo que determina el potencial máximo de gas que puede liberarse al oxidarse. Por otra parte, el factor de emisión es un coeficiente de referencia que cuantifica la masa promedio de un contaminante específico (por ejemplo, CO_2) que es liberada a la atmósfera por unidad de combustible quemado. Para evaluar ambos parámetros en campo, la variable operativa fundamental a registrar es la masa total del combustible consumido durante el proceso de cocción. Al tratarse de valores teóricos estandarizados, estos indicadores no reflejan fielmente las particularidades del día a día en campo. Por ello, estudios científicos sugieren que minimizar el impacto real no solo consiste en cambiar el material que se quema, sino también en optimizar factores dinámicos del proceso, como el flujo de aire, el acomodo estratégico de los ladrillos sin cocer y el uso de lavadores de gas (INECC, 2016).

Actualmente, el panorama de la producción de ladrillo en México se compone de diversas tecnologías de cocción. Los principales tipos de hornos utilizados en

nuestro país son los tradicionales de campaña (22%), donde los mismos ladrillos sin cocer se acomodan para formar la propia estructura del horno; los hornos de paredes fijas (PF) (75%), con estructura y diseño permanentes, donde se ubica de manera estable la cámara de cocción; y el modelo MK (0.5%) (nombrado así por las iniciales de sus inventores, Ing. Roberto Márquez y el técnico Ricardo Kruse en los años 90), creado en respuesta a las limitaciones operativas y a la alta contaminación de los métodos artesanales. En este modelo, la cámara de cocción del horno se cubre con una cúpula superior fija y, a través de ella, se canaliza el flujo de salida de los gases calientes de combustión hacia una segunda cámara de cocción precargada con ladrillo crudo, logrando así el aprovechamiento del calor y originando una filtración inicial de las emisiones (Ramos-Vargas et al., 2026). Esta alternativa tecnológica demostró que, con el aprovechamiento del calor de los gases emanados, era posible reducir el consumo de combustibles entre un 30 y un 50%. Una de sus mayores ventajas técnicas es que, a diferencia del esquema convencional de paredes fijas, el MK facilita la integración y el acoplamiento directo de sistemas de lavado de gases en su salida. La evidencia recopilada en proyectos similares indica que la transición hacia estos sistemas más eficientes puede reducir drásticamente las emisiones de contaminantes atmosféricos, lo que demuestra que es posible equilibrar una actividad productiva ancestral con las exigencias ambientales del siglo XXI (Alonso et al., 2025).

Antecedentes históricos de investigación

El desarrollo de este proyecto se alineó directamente con la evolución histórica y la maduración científica de la Unidad de Tecnología Ambiental (UTA) del CIATEJ. A lo largo de su trayectoria, la UTA se ha fortalecido con una sólida reputación en el diseño de soluciones tecnológicas enfocadas en prevenir, reducir y controlar la contaminación atmosférica en el occidente y el centro de México. Lo que inicialmente comenzó como un esfuerzo centrado en la evaluación de impactos ambientales ha evolucionado hacia la investigación aplicada, en la que la mitigación de emisiones atmosféricas y la optimización energética juegan un papel prioritario para cumplir las metas de desarrollo sostenible propuestas para la institución. Históricamente, la UTA ha ampliado sus capacidades analíticas desde el tratamiento biológico de residuos y el monitoreo de la calidad del agua hasta el estudio de la calidad del aire y de la salud socioambiental.

Por otro lado, este proyecto robusteció la trayectoria tecnológica del Centro al abordar la problemática ambiental del sector ladrillero, una actividad de arraigo cultural y económico crítica en estados como Jalisco y Guanajuato, que presenta

un importante rezago tecnológico. La pertinencia del proyecto dentro de la agenda del CIATEJ generó el fortalecimiento de las relaciones con otras instituciones de investigación como el CIATEC, INECC y la UdG, evaluando cómo la eficiencia de los quemadores, el lavado de gases y el reacomodo de la carga en hornos disminuyen la contaminación atmosférica, no solo aportando patentes o literatura científica, sino generando conocimiento transferible que impacta de forma directa en las políticas públicas y la reducción de riesgos neurotóxicos y respiratorios en las comunidades vulnerables. De este modo, aquí se muestra un claro ejemplo del principio rector del CIATEJ en su medio siglo de vida, transitando de la ciencia básica hacia una tecnología de alto valor social, demostrando que es viable mitigar la huella del cambio climático global sin desarticular la economía de los sectores productivos más tradicionales del país.

Por todo lo anterior, el objetivo del proyecto fue monitorear y cuantificar las emisiones atmosféricas producidas en dos tipos de hornos: Paredes Fijas (PF) y MK, utilizados en la cocción de ladrillo en el estado de Guanajuato, evaluando alternativas de mitigación mediante sistemas lavadores de gases, empleando metodologías de medición directa *in situ* y evaluaciones teóricas empleando las variables (FE) y (CC) y utilizando la eficiencia energética como punto de comparación.

Materiales y Métodos

De acuerdo con el recurso económico solicitado a la Secretaría de Energía, se realizó el monitoreo *in situ* de 10 ciclos de cocción (5 en MK y 5 en PF) en las comunidades de León y Acámbaro, en el estado de Guanajuato. Las emisiones atmosféricas de CO, CO₂, NO₂ y SO₂ fueron cuantificadas mediante dos analizadores portátiles de gases marca Testo, modelo 340 (TESTO SE & Co.), colocados en la chimenea de los hornos y conectados a laptops para la adquisición de datos en línea. Se realizó la medición directa de los gases por 3 min continuos cada 15 min, a lo largo de todo el ciclo de cocción, el cual varió entre 12 h (MK) y 16 h (PF), según el método productivo del operador del horno. En todo momento se procuró no interferir ni modificar las prácticas habituales de cocción de los operadores, sino reproducir fielmente las condiciones de quema tradicionales para obtener un esquema real del proceso.

Para reducir las emisiones atmosféricas y el material particulado generado en la cocción, se diseñó y colocó un sistema lavador de gases en la parte alta de la chimenea de ambos tipos de hornos, en los cuales se utilizó agua potable como medio de absorción de los contaminantes. La recirculación de agua desde un tambo de 200 L se realizó empleando una bomba de ¼ de caballo colocada en la parte inferior del horno y se operó permanentemente mientras se realizaba la alimentación de

biomasa a la cámara de cocción; no obstante, el efecto positivo del lavador de gases se reduce cuando se calienta el agua al entrar en contacto con los contaminantes gaseosos (200-300 °C) generando la desorción prematura de contaminantes y limitando la efectividad del sistema solo a las primeras horas de quema; además de la evaporación natural del líquido al calentarse. Para evaluar la eficiencia del lavador, se cuantificaron las emisiones antes y después del sistema, para calcular el porcentaje de remoción de los diferentes gases y del material particulado.

La determinación teórica del impacto ambiental de las emisiones atmosféricas se basó en el cálculo de los factores de emisión (FE) y del contenido de carbono (CC) del combustible utilizado (leña y aserrín de madera), según la literatura recomendada. Al integrar datos oficiales y estandarizados con la cantidad precisa de combustible consumido en cada quema, es posible estimar el volumen de emisiones atmosféricas liberadas. Los valores numéricos de FE y CC se tomaron de reportes oficiales publicados en la literatura (INECC, 2016). Una de las ventajas de emplear esta metodología para la estimación teórica de las emisiones es que solo se requiere conocer la cantidad de combustible consumido durante todo el proceso de cocción. Este método de cálculo proporciona un valor aproximado de la huella de carbono del proceso, lo que permite monitorear la actividad productiva y evaluar la eficiencia del horno para garantizar el cumplimiento de las normativas ambientales vigentes.

Resultados y Discusión

Los resultados mostraron diferencias importantes entre ambos tipos de hornos, asociadas principalmente al diseño y la operación de los mismos, así como a la cantidad de biomasa utilizada durante la cocción.

Muestreo de campo

En el caso del horno MK, se observó un comportamiento más estable y eficiente en el proceso de combustión, lo que se reflejó en una menor generación de contaminantes atmosféricos y en una mejor distribución térmica dentro del horno. Por otra parte, el horno PF presentó importantes variaciones en la emisión de gases, asociadas a un descontrol del proceso de combustión y a la pérdida de calor debida a su configuración estructural. Los resultados indican que, si se comparan ambos hornos con la misma cantidad de ladrillos y peso de combustible, el horno PF emite en promedio cuatro veces más gases totales que el MK, como se puede observar en la Figura 2, aunque al final produjo hasta 2.2 veces más ladrillos bajo norma por ciclo de cocción.

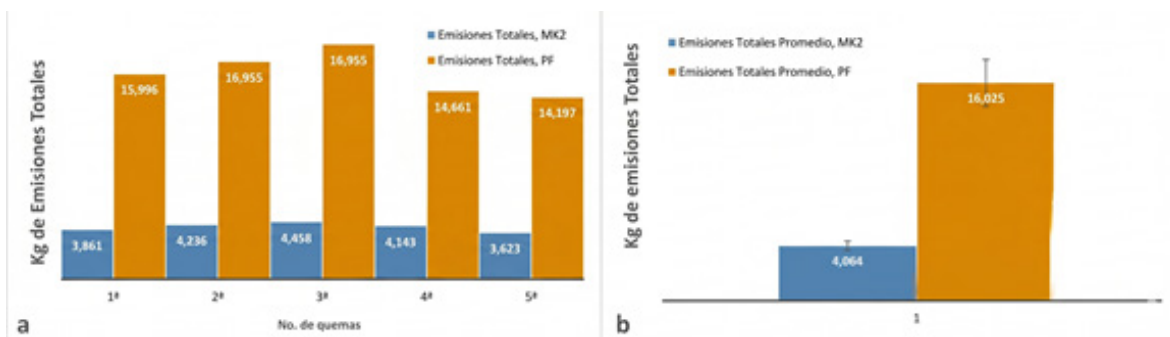


Figura 2. a) Variación de las emisiones en las diferentes quemas de los hornos MK y PF; b) Promedios de las emisiones de ambos tipos de hornos en las cinco quemas
Fuente: propia con resultados parciales del proyecto 234633

La Figura 2a muestra la variación de las emisiones generadas en las cinco quemas independientes de cada tipo de horno analizado. En el caso del horno MK, la cantidad total de emisiones osciló entre 3,600 y 4,400 kg, mientras que para el horno de PF la variación estuvo entre 14,200 y 18,300 kg. Los resultados de campo muestran un ligero descenso en la cantidad total de emisiones, en particular durante las quemas 4 y 5 del horno de PF y la quema 5 del horno MK. En la Figura 2b se observa el valor promedio global de las emisiones generadas durante las quemas analizadas en el proyecto para ambos tipos de hornos.

En cuanto a los gases, el CO fue el contaminante atmosférico con mayor variabilidad en ambos hornos, ya que sus emisiones están estrechamente relacionadas con la eficiencia de combustión y la disponibilidad de oxígeno durante el proceso de cocción. Las concentraciones registradas evidenciaron condiciones de combustión deficiente o de consumo incompleto del material, particularmente durante las horas iniciales de operación y en la etapa final de cocción, cuando la experiencia de los operadores indicó que ya no se requería una mayor cantidad de combustible. La generación de dióxido de carbono (CO₂) representó el 95% de las emisiones totales y fue la principal fracción gaseosa emitida, debido a la oxidación del carbono contenido en la biomasa utilizada como combustible. Por otro lado, los demás contaminantes atmosféricos cuantificados en campo, como el CO (4%), el NO₂ y el SO₂, fueron minoritarios (<0.1%).

En relación con los óxidos de nitrógeno y azufre (NO₂ y SO₂), las emisiones estimadas fueron menores que las de CO y CO₂; sin embargo, su presencia está asociada a las características del combustible y a las condiciones de temperatura alcanzadas en el horno de cocción. La generación de NO₂ estuvo influida principalmente por las altas temperaturas de combustión y el contenido de nitrógeno de la biomasa, mientras que las emisiones de SO₂ dependieron del contenido de azufre de la madera y del aserrín empleados, ya que ninguno de los combustibles empleados contenía pintura ni tratamiento químico alguno.

Modelado teórico

La comparación entre las estimaciones basadas en factores de emisión (FE) y los datos de monitoreo en campo permitió identificar diferencias entre los valores teóricos y las emisiones reales observadas en condiciones de operación. Esto evidenció la importancia de complementar el uso de factores de emisión con mediciones directas, particularmente en procesos artesanales donde las condiciones de operación pueden variar considerablemente entre hornos y ciclos de producción.

Como ejemplo de aplicación, los resultados de las comparaciones del monitoreo 3 del MK y de los FE se muestran en la Tabla 1. Las emisiones totales (e individuales por gas) estimadas para el FE pueden considerarse un valor de referencia con base en la cantidad de combustible empleado, sin considerar factores propios y particularidades de la operación del horno, que influyen directamente en la cantidad de emisiones generadas y en la proporción de los gases más importantes.

En términos generales, todas las especies de gases cuantificadas con los equipos de monitoreo (excepto el SO_2) mostraron una reducción en las cantidades emitidas. Por ejemplo, las emisiones totales determinadas en este monitoreo fueron un 13% menores que las estimadas teóricamente para el FE. Esta disminución porcentual estuvo dominada por el descenso de la cantidad de CO_2 . Estos resultados sugieren que el reacomodo de los ladrillos sin quemar y los cambios sugeridos en la alimentación de combustible durante el proceso de cocción de los ladrillos artesanales en el monitoreo 3 del horno MK tuvieron un efecto positivo en la reducción de las emisiones esperadas.

Tabla 1. Comparación de las emisiones por FE y del monitoreo 3 del horno MK

Gas emitido	Emisiones (Kg)	
	FE	Monitoreo
CO_2	3,433.05	3,007.42
CO	187.38	124.93
SO_2	0.30	3.09
NO_2	1.93	1.48
Emisiones totales	3,622.65	3,136.93

Uso de lavador de gases

El monitoreo de las emisiones de gases durante la operación de dos quemas en el horno MK, con el funcionamiento del lavador de gases que empleó agua como medio de transporte para la precipitación de partículas y la absorción de gases, se muestra en la

Figura 3. El monitoreo de las emisiones se realizó durante el tiempo en que el lavador de gases estuvo en funcionamiento (8 h), de acuerdo con las prácticas del operador del horno. Para comprobar la eficiencia de la remoción de gases contaminantes en el horno, se colocaron dos sondas de análisis de gases, una antes y otra después del lavador, operando simultáneamente. La cuantificación de las concentraciones permitió estimar la capacidad de remoción de gases del lavador utilizado.

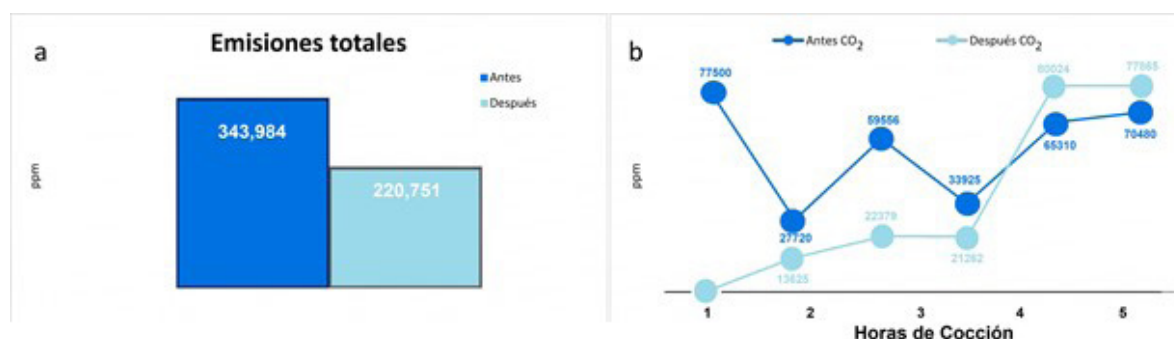


Figura 3. a) Emisiones totales antes y después del lavador de gases en el horno MK; b) Variación del CO₂ por hora durante el proceso de cocción de ladrillo empleando un lavador de gases

Fuente: propia con resultados parciales del proyecto 234633

Como se puede observar, las emisiones totales alcanzaron 343,984 ppm antes del lavador y descendieron a 220,751 ppm después del lavador. La diferencia equivale a un 36% menos de emisiones. De estas, el CO₂ es el de mayor contribución (entre 95 y 99%), por lo que el efecto de la remoción de gases incide prácticamente en esta especie.

En el caso del horno de PF, el lavador de gases funcionó durante 4 h continuas desde el inicio de la cocción. El diseño del lavador consideró el confinamiento de todas las emisiones, por lo que se emplearon dos sondas de detección, una antes y otra después del lavador de gases, para su monitoreo. En este proceso de cocción, las emisiones totales reportadas fueron de 716,605 ppm antes del lavador, mientras que después de este descendieron a 380,311 ppm, lo que equivale a una reducción del 47%, como se observa en la Figura 4a. En el caso particular del CO₂, como el gas más abundante, la Figura 4b permite apreciar su variabilidad. En general, la principal reducción de este gas se observó entre las 3 y las 4 h de monitoreo. Al igual que en el caso del MK, a mayor tiempo transcurrido en el proceso, menor es la remoción del CO₂ debido al incremento de la temperatura del agua de lavado, lo que afecta la adsorción del gas en el medio líquido.

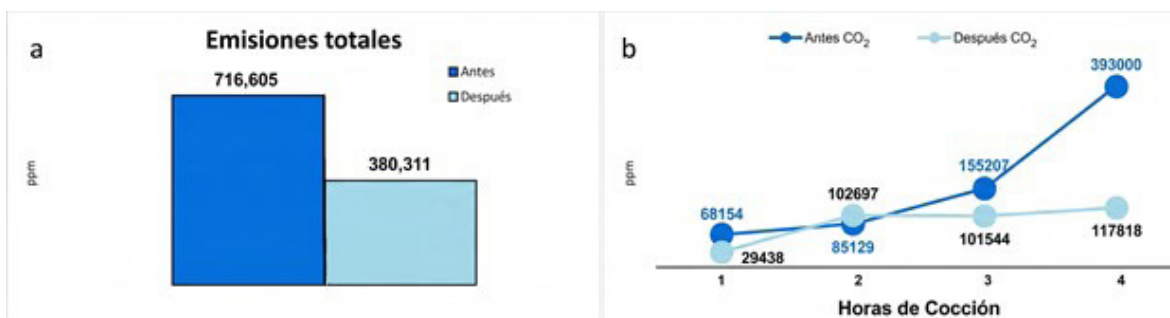


Figura 4. a) Emisiones totales antes y después del lavador de gases en el horno PF; b) Variación del CO₂ por hora durante el proceso de cocción de ladrillo empleando un lavador de gases

Fuente: propia con resultados parciales del proyecto 234633

Conclusiones

Los resultados sugieren que la huella de carbono en la producción de ladrillo artesanal depende no solo del tipo de horno, sino también de la relación entre la cantidad de piezas producidas y la calidad del combustible utilizado. Aunque los hornos PF generan mayores emisiones totales, optimizan las emisiones por unidad de ladrillo, lo cual resulta aceptable para el mercado y permite cumplir mejor con la norma. La introducción de lavadores de gases constituye una estrategia viable y replicable para reducir el impacto ambiental y proteger la salud de los operadores, especialmente ante la alta vulnerabilidad de las poblaciones expuestas. Sin embargo, la variabilidad en el manejo de los hornos, debido a las diferentes formas de trabajar de los operadores, y la falta de control de parámetros como la temperatura y la aireación, limitan la efectividad de estas tecnologías, lo que requiere capacitación y adaptación a las condiciones locales. Los principales puntos encontrados al final del proyecto son enumerados a continuación:

- El monitoreo y la cuantificación de emisiones en los hornos tradicionales evidencian la importancia de adecuar las tecnologías de control y los procesos de combustión para reducir el impacto ambiental y la huella de carbono en la producción de ladrillo.
- El horno PF, pese a emitir más contaminantes en términos absolutos, es más eficiente si se considera la cantidad de ladrillos de calidad producidos.
- La implementación de lavadores de gases y mejoras en el acomodo de los ladrillos crudos reduce significativamente las emisiones de CO y de CO₂.
- Es fundamental promover regulaciones, capacitaciones y apoyos para la adopción de prácticas más limpias en el sector ladrillero artesanal.
- El trabajo representa un avance hacia una producción más sostenible y la protección de la salud comunitaria en Guanajuato y en regiones similares.

Conflicto de intereses

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

Financiamiento

El proyecto fue financiado por el CONACYT en la Convocatoria S0019-2013-05 del Fondo de Sustentabilidad Energética en su tercer corte trimestral, con el proyecto denominado “Optimización energética numérico-experimental del proceso de cocción de ladrillo rojo tradicional”, solicitud 234633, donde el líder del proyecto fue el Dr. Sergio Alonso Romero, investigador del CIATEC y se invitó a CIATEJ, a través del Dr. Jorge del Real Olvera, para participar como colaborador para que desarrollara un eje del proyecto que se denominó “Monitoreo y cuantificación de las emisiones a la atmosfera generadas en la operación de hornos del proceso de cocción de ladrillo rojo tradicional”.

Referencias

- Alonso Romero, S., Ángel Ortiz Lango, L., Eduardo Frías Chimal, J., Zitzumbo Guzmán, R., Estrada Monje, A., Hernández Mena, L., del Real-Olvera, J. (2024). Compression Resistance and Color Evaluation in Artisanal Red Bricks: Experimental Study and Numerical Simulation. *Journal of King Saud University-Engineering Sciences*, 36(7), 446–454. <https://doi.org/10.1016/j.jksues.2023.10.002>
- Alonso-Romero, S., Alfaro-Ayala, J.A., Frias-Chimal, J.E., López-Núñez, O.A., Ramírez-Minguela, J.d.J., Zitzumbo-Guzmán, R. (2025). A Transient Combustion Study in a Brick Kiln Using Natural Gas as Fuel by Means of CFD. *Processes*, 13(8), 2437. <https://doi.org/10.3390/pr13082437>
- Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático. (2016). *Regional Level Market Analysis of the Construction Sector and Pilot Project Based On a Public Policy Portfolio in Order to Reduce SLCP of Traditional Brickyards in Mexico. Final Report*. National Institute of Ecology and Climate Change (INECC), https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/252837/Final_report_pub_final_290817.pdf
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2025). *Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas (DENUE): Fabricación de productos de arcilla y albañilería (Código SCLAN 327121)*. <https://www.inegi.org.mx/app/mapa/denue/>
- Lara-Mireles, J., Alonso-Romero, S., Frías-Chimal, E., Zitzumbo-Guzmán, R., del Real-Olvera, J., Hernández-Mena, L. (2021). Analysis of the MK brick kiln thermal behavior. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, 20(1), 289-304. <https://doi.org/10.24275/rmiq/Fen1749>

- Pedroza Carrillo, P.K., Salazar-Gómez, A., Jiménez Alcalá, A.M., Nilo Olmos, D.R., Pérez Pérez, B., Rocha Villa, V.G., Martínez-Rodríguez, A.L., Thébault, S.C., Hernández-Zimbrón, L.F. (2025). Human exposure to pollutant emissions from brick kilns and their association with ocular health and neurotoxic symptoms: a pilot study in the Refugio Brickmaking Area, León, Mexico. *Frontiers in Psychiatry*, 16, 1554101. <https://doi.org/10.3389/fpsyt.2025.1554101>
- Ramos-Vargas, S., Vázquez-Tinoco, J.C., Serrano-Medrano, M., Masera, O., Ruiz-García, V.M. (2026). Participatory innovation for sustainable artisanal brick production in Mexico: A case study. *Sustainable Futures*, 11, 101697. <https://doi.org/10.1016/j.sftr.2026.101697>



**50 AÑOS DEL CIATEJ:
CIENCIA, TECNOLOGÍA Y SOCIEDAD**





Preservando la esencia de una receta tradicional de cochinita pibil de Yucatán

Preserving the essence of a the traditional Yucatecan cochinita pibil recipe

Sara Berenice Sánchez Soto^{1*}, Alfonso Álvarez Sánchez², Ingrid Mayanin Rodríguez Buenfil³,
Manuel Octavio Ramírez Sucre³

¹Gestión de la Responsabilidad Social, Dirección Adjunta de Vinculación y Transferencia de Tecnología, Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco.

²Productor de cochinita pibil "El Tío Yuca".

³Subsede Sureste, Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco, Tablaje Catastral 31264, Km. 5.5 Carretera Sierra Papacal-Chuburná Puerto, Parque Científico Tecnológico de Yucatán, Mérida C.P. 97302, Yucatán, México.

*Autor de correspondencia: Sara Berenice Sánchez Soto, ssanchez@ciatej.mx

Palabras clave:

biotecnología alimentaria,
propiedades organolépticas,
técnica artesanal *pib*, empaque al
alto vacío, patrimonio biocultural

Keywords:

food biotechnology, organoleptic
properties, *pib* artisan technique,
high vacuum packaging,
biocultural heritage

Resumen

En el marco del 50 aniversario del CIATEJ, el presente artículo de divulgación analiza cómo converge la biotecnología alimentaria en la solución de la necesidad de producción a mayor escala de un productor regional de cochinita pibil con la técnica de cocción subterránea, adecuando el proceso de esterilización. Ese artículo recopila la historia de este servicio realizado por la Subsede Sureste de CIATEJ y cómo la innovación adaptada logró estandarizar el proceso de un producto con perfil sensorial único, pero que, dada su naturaleza artesanal, limitaba su distribución a gran escala. Este desarrollo, además de resolver un reto logístico para el productor, permitió que la gastronomía yucateca trascendiera fronteras territoriales. Los resultados confirman que la tecnología al servicio de una técnica ancestral favorece la competitividad y preserva la identidad cultural.

Abstract

Within the framework of CIATEJ's 50th anniversary, this outreach article analyzes how food biotechnology addresses the need for larger-scale production by a regional producer of cochinita pibil using the underground cooking technique, by adapting the sterilization process. This article chronicles the history of this initiative carried out by Subsede Sureste of CIATEJ and how this adapted innovation succeeded in standardizing the production process for a product with a unique sensory profile, one whose artisanal nature had previously limited its large-scale distribution. In addition to resolving a logistical challenge for the producer, this development enabled Yucatecan cuisine to transcend territorial boundaries. The results confirm that technology applied to an ancestral technique enhances competitiveness and preserves cultural identity.

Recibido: 11 de mayo 2026

Revisado: 22 de junio 2026

Aceptado: 30 de junio 2026

Publicado: 21 de julio 2026



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/>

¿Industrializar lo artesanal?

Imagínate abrir una hoja de plátano con el interior de cochinita pibil todavía caliente. Sale un vaporcito que huele a monte y a fiesta tempranera del domingo. Ese aroma profundo viene del achiote, de la naranja agria y del *pib*, del horno bajo tierra, de la paciencia y del fuego manso. Al primer bocado, la carne se deshace sin pelear. Es jugosa, es suave, casi sedosa porque el *pib* la cuece despacio, abrazada por la tierra caliente. Ahí la carne no se seca: se transforma. La carne de cerdo se impregna del achiote y la acidez balanceada de la naranja agria y el fondo que susurra, al final, un recuerdo ahumado y terroso, como si el suelo mismo hubiera sazonado la carne. Y cuando lo acompañas solo con complementos tradicionales, cebolla morada encurtida y habanero picado, todo se despierta. Hace que quieras otro taco, y luego otro, porque la cochinita pibil te engancha.

Cerrar los ojos, con ese sabor, es sentir el calor húmedo de la mañana y ver la luz blanca del sureste. Es entender por qué dicen que la cochinita no se cocina, se honra, y que el *pib* no es una técnica: es memoria enterrada, fuego y tierra paciente que sabe cocinar. Ese toque del *pib* sabe a leña, a ceniza tibia, a barro, a tiempo lento, no se puede fingir, sabe a Yucatán.

Con esta sabiduría y en el corazón de la Península, don Alfonso Álvarez, mejor conocido como el “Tío Yuca”, inició una micro empresa familiar dedicada a la venta de comida tradicional para consumo inmediato (taquería) ofreciendo diferentes guisos yucatecos, entre ellos su producto estrella: la cochinita pibil enterrada, en diversas presentaciones como tortas, tacos y por kilos, cuya característica esencial es la forma artesanal de guisar, utilizando ingredientes de la zona que le dan un sabor y olor único a sus platillos.



Figura 1: Puesto de venta de cochinita pibil de don Alfonso Álvarez en la calle 60 (Av. Tecnológico) entre 37 D y Circuito Colonias Norte, Col. Buenavista en Mérida, Yucatán

Fuente: Fotografía proporcionada por Alfonso Álvarez Sánchez (2026)

Desde la creación de su empresa en el año 2014, don Alfonso se fijó un objetivo firme y claro: que su tradicional cochinita pibil con la técnica ancestral del *pib* (cocción bajo tierra) pudiera disfrutarse en los hogares logrando tener presencia más allá de su localidad y, así, llevar la gastronomía yucateca a nivel nacional e internacional para difundir su cultura, todo ello dentro de su misión: “Acercar a los mexicanos el platillo más representativo de Mérida, Yucatán, a personas que extrañen y deseen deleitarse por primera vez que no estén en condiciones de visitar nuestro estado, provocando una visita imaginaria a Mérida, Yucatán, en convivencia familiar y contribuyendo como medio de difusión de la cultura yucateca”. (Alfonso Álvarez Sánchez, 2026, entrevista). Así pues, se daba cuenta de que su misión planteaba un reto no solo cultural y logístico, sino también tecnológico: industrializar lo artesanal sin poner en riesgo su identidad.

Durante años, disfrutar una cochinita pibil auténtica, fuera de su región de origen, era un privilegio casi imposible, pues en cuestión de horas el aroma y hasta la inocuidad eran comprometidos en su traslado. Don Alfonso, fiel a su propuesta de valor: ofrecer un producto elaborado artesanalmente (que mantenga sabor y olor endémico) sin conservadores, y práctico, es decir, listo para consumirse, cien por ciento carne, con productos e insumos yucatecos y elaborado por manos yucatecas, a menudo le aquejaba esta pregunta: ¿podría la ciencia preservar el alma de su platillo sin convertirlo en un producto “sin vida” ultraprocesado?

En el 50 aniversario del CIATEJ, presentamos el caso de éxito de la cochinita pibil envasada de “El Tío Yuca”. En este artículo exploramos cómo el desarrollo de protocolos adaptados al cliente, desde la biotecnología alimentaria, funcionaron como una solución técnica para prolongar su vida de anaquel, pero también como un puente de innovación que permitió a un productor local llevar el genuino sabor de Yucatán a cualquier latitud.

Más allá del vacío

La globalización de la producción y el consumo de alimentos ha introducido tanto perspectivas como obstáculos para la preservación de las gastronomías tradicionales y el patrimonio culinario a escala mundial (Eabin Mathew, 2024). Los platillos típicos, que tienen una historia en su preparación y consumo en comunidades locales, algunos como parte de rituales culturales, reuniones familiares y tradiciones gastronómicas, están llegando cada vez más a los mercados globales. Para Eabin Mathew (2024), esta mercantilización puede conducir a la explotación comercial del patrimonio cultural, donde las recetas tradicionales son alteradas o envasadas para consumo masivo, a menudo despojándolas de sus contextos y significados culturales

originales, de ahí los esfuerzos para salvaguardar la autenticidad e integridad de las cocinas regionales frente a la explotación comercial y la imitación.

En este sentido, Don Alfonso recuerda que, al inicio de su empresa, los clientes con frecuencia le hacían pedidos de manera anticipada de cochinita pibil para congelarla y transportarla a otros estados, con las limitantes que ello conllevaba: descongelamientos parciales, derrames, descomposición en el transporte terrestre afectando su jugosidad, textura y aroma o bien que fuera decomisada en los aeropuertos. Esto lo llevó, en el año 2016, a decidir buscar alternativas de empaquetado y envasado. Durante el siguiente año, por su cuenta, realizó pruebas con muestras de empaques como recipientes térmicos, plásticos, aluminio, vidrio, pero sin resultados positivos; no lograba el factor de conservación. Al final siempre requería congelar el producto.

En 2018, la persistencia llevó a don Alfonso a pensar en el empaque de alto vacío y consiguió lo que, en su momento, creía que era la solución: una máquina, bolsas e insumos. Sin embargo, relata la impotencia y desilusión que le provocaron infructuosos resultados. Después, al entrar en las tiendas y ver en los anaqueles distintas marcas de frijoles y otros alimentos empacados al vacío, pensaba: “Si se puede con los frijoles, se debe poder con la cochinita”. Lejos de rendirse, lo invadió un sentimiento de determinación para asumir el reto que se propuso, y contundentemente planteó: “Es tiempo de buscar ayuda de terceros”. Por ello, tomó su vehículo y se dirigió al Centro de Investigación Científica de Yucatán (CICY), un centro de investigación hermano del CIATEJ.

En el CICY, don Alfonso recibió una desmotivación más, pues ahí le comentaron que el servicio que buscaba no era competencia de ese centro. Sin embargo, al mismo tiempo le dieron un rayo de esperanza: le hablaron de otra institución en Mérida que podía hacer lo que él estaba buscando. Don Alfonso, ya sin muchas esperanzas, escuchó hablar del CIATEJ y de que una de sus subsedes se encontraba dentro de ese mismo Parque Científico y Tecnológico. Aunque desanimado, acudió para solicitar información. A su llegada lo recibió la recepcionista y lo canalizó con el Dr. Manuel Octavio Ramírez Sucre. Don Alfonso nos cuenta que, después de escucharlo y generarle confianza absoluta, pensó: “¡Bingo!, justo lo que necesito”.

Si bien, don Alfonso quería que la cochinita pibil cruzara fronteras, tenía también claro que no quería que se convirtiera en un producto industrializado y que ni por ahorro económico se modificara parte alguna de su receta, menos aún, que ésta desapareciera al hacer una producción masiva. La técnica de cocción *pib* guarda toda una historia de sabor, y si esto no era entendido a la perfección por el CIATEJ, su sabor pasaría a ser un recuerdo lejano.

El mayor reto de este servicio sobre conservación y esterilización de productos cárnicos tenía que ver con la expectativa cultural del consumidor. Existía un alto

riesgo de alterar rasgos de textura, color, así como aromas propios de la identidad tradicional del producto, y al tratarse de una comida emblemática, don Alfonso buscaba no perder la autenticidad. Después de todo, el consumidor no conoce muchos de los procesos tecnológicos que intervienen en la elaboración de los alimentos que consume, por los que suele mostrar resistencia ante ellos. Por otra parte, las características sensoriales de los productos son resaltadas por los propios consumidores como un beneficio importante de las nuevas tecnologías (Deliza & Ares, 2018; Putnik et al., 2020).

El problema se encontraba muy bien delimitado, y el Dr. Manuel Ramírez, investigador de la Subsele Sureste del CIATEJ, le presentaba a don Alfonso una solución para el tema de la degradación de las propiedades organolépticas, es decir, el olor, sabor y textura, así como de las propiedades microbiológicas de la cochinita pibil elaborada con técnica *pib*. Don Alfonso y el Dr. Manuel estaban de acuerdo en las causas de esta necesidad: los procesos convencionales de conservación no permitían una adecuada inocuidad, por lo que había que encontrar las condiciones de procesamiento térmico —temperatura, tiempo y humedad— para evitar la alteración de la estructura y el perfil aromático del platillo después de la esterilización.

Uno de los principales retos era que los tratamientos térmicos intensos, aunque eficaces para eliminar microorganismos, tendían a modificar la textura, resecar el producto y degradar los compuestos responsables del aroma y el sabor. Por ello, fue indispensable encontrar un equilibrio entre seguridad sanitaria y calidad sensorial, ajustando cuidadosamente las condiciones de proceso.

Previo a la esterilización, se realizó el envasado al alto vacío, que no es solo “sacar el aire”, sino que es una forma de controlar el ambiente interno del envase, reduciendo la presencia de oxígeno, lo que disminuye reacciones de oxidación y limita el crecimiento de microorganismos aerobios. El vacío influye directamente en la transferencia de calor durante el tratamiento térmico, permitiendo una distribución más uniforme de la temperatura dentro del producto. Además, el alto vacío implica una reducción de la presión interna, lo que controla la evaporación de agua y evita la pérdida excesiva de moléculas aromáticas responsables del sabor tradicional del platillo. Esto ayuda a preservar su identidad sensorial durante y después de la esterilización.

Si bien las tecnologías pueden aportar ventajas a los procesos convencionales, por ejemplo, lograr que los alimentos sean más nutritivos, eso no siempre garantiza la aceptación del consumidor; sin embargo, el que mantengan sus características sensoriales es el principal determinante del éxito de las nuevas tecnologías (Deliza & Ares, 2018).

CIATEJ presentó un protocolo de estandarización que respetaba el conocimiento y los tiempos del artesano. Y esto de *respetar los tiempos del artesano* sí lo decimos muy en serio, pues don Alfonso nos relata que, durante el tiempo que se desarrolló el proyecto, el Dr. Manuel hacía las pruebas de esterilización en autoclave en el lugar donde aún hoy se elabora el platillo: un espacio adaptado con poca infraestructura de “El Tío Yuca”; y que mientras esperaban que concluyeran los procesos en el equipo para obtener resultados, las mañanas se convertían en incontables charlas entre ambos, llenas de optimismo, registraban cada dato en la bitácora hasta lograr las variables adecuadas.



Figura 2. Dr. Manuel Ramírez y don Alfonso Álvarez en las pruebas de elaboración de la cochinita pibil
Fuente: Fotografía proporcionada por Alfonso Álvarez Sánchez (2026)

Cada prueba acercaba a don Alfonso a su objetivo. El Dr. Manuel se enfocaba en cada requisito del cliente: la vida de anaquel extremadamente corta que limitaba el transporte de la cochinita pibil envasada a largas distancias y la inocuidad del producto durante su almacenamiento. Cada cosa era importante, pues comprometía la competitividad de la gastronomía yucateca frente a productos ultraprocesados globales y podría generar desconfianza en la comercialización de los productos artesanales empacados, además de los riesgos potenciales a la salud pública y sanciones regulatorias.

Don Alfonso estaba haciendo una gran inversión, no solo de su tiempo; económicamente, el servicio que brindó CIATEJ estaba estimado en casi ochenta mil pesos (en ese entonces), más el costo del equipo necesario —entre básculas, selladoras, y la autoclave—. Había llegado a una encrucijada debido al límite de su presupuesto,

lo que lo llevó a platicar con su familia y, con el apoyo de su esposa, decidió vender su vehículo, así como algunas de sus pertenencias. Él estaba convencido de ver materializado su esfuerzo y su sueño: en el que el empaque no sustituyera su técnica, sino que la protegiera para su exportación; y que se ampliara la vida de anaquel, permitiendo así el acceso a mercados nacionales y, por qué no, también internacionales, siendo CIATEJ quien le diera ese soporte y validez científica.

El “saber-hacer” del CIATEJ no fue mejorar el sabor de la cochinita pibil; eso ya lo sabía hacer don Alfonso; la técnica del *pib* ya era óptima, la ayuda al “Tío Yuca” fue resolver que un platillo de alta complejidad técnica fuera accesible en regiones donde la técnica *pib* es geográficamente imposible de replicar, en donde la tecnología sirviera a la tradición y no al revés. Después de muchas visitas y pruebas, de productos y validaciones, el proyecto se completó a través del equipo conformado por el Dr. Manuel Octavio Ramírez Sucre, la Dra. Ingrid Mayanin Rodríguez Buenfil, la Dra. Élide Gastélum Martínez y la Dra. Teresa del Rosario Ayora Talavera, quienes interdisciplinariamente contribuyeron con la consecución de los objetivos del proyecto: definición del equipo de esterilización a utilizar en el proyecto, desarrollo de un proceso de esterilización eficaz para la inocuidad del producto, cuantificación de la vida de anaquel del producto y elaboración del etiquetado nutrimental del producto final.



Figura 3. Autoclave con bolsas de cochinita pibil después de esterilizar
Fuente: Fotografía proporcionada por Alfonso Álvarez Sánchez (2026)

El momento de la verdad había llegado: con su producto en mano, don Alfonso lo llevó a degustar ante una importante comercializadora. De camino se preguntaba: ¿habremos superado el reto?, es decir, que el producto hiciera sentir como si lo acabaran de comprar en Mérida, Yucatán; que conservara su textura, se calentara en su propio jugo, con su sabor y olor tradicional. El suspenso se vivió y... ¡Reto superado!!! Con gran júbilo nos transmite la emoción de salir saltando de alegría al conseguir su primer pedido de cochinita pibil envasada.



Figura 4. Producto final de cochinita pibil envasada
Fuente: Fotografía proporcionada por Alfonso Álvarez Sánchez (2026)

Hoy don Alfonso puede ver su Cochinita Pibil, única en su estilo, envasada y comercializada en diferentes lugares, siendo el principal punto de venta en su restaurante y en el Aeropuerto de Mérida. Sus clientes incluso le cuentan experiencias donde su platillo ha llegado a Estados Unidos, Alemania, Colombia. Sus coterráneos que radican en estos países reviven recuerdos al degustar la cercanía de este platillo, y comparten con consumidores internacionales su gastronomía regional, asegurando que la fidelidad sensorial e identidad cultural de la cochinita pibil no se diluyó en un formato comercial. Así es como don Alfonso ahora es un embajador de la cultura yucateca con el respaldo científico del CIATEJ.



Figura 5. Don Alfonso Álvarez Sánchez con el producto desarrollado
Fuente: Fotografía proporcionada por Alfonso Álvarez Sánchez (2026)

Impacto de la tecnología al servicio de la memoria

En palabras de don Alfonso, tras el servicio de CIATEJ, su proceso productivo tiene un 100% de efectividad; se alcanzaron los objetivos. Ahora tiene una capacidad de 500 kg mensuales y ha incrementado en un 3% mensual sus clientes. Ha generado tres empleos nuevos directos e incursiona, a su ritmo, en el mercado nacional. El aprovechamiento del recurso tecnológico y humano permitió aumentar sus ventas un 22% y, por ende, también incrementar las compras de insumos y materias primas, beneficiando a productores y distribuidores de la región.

La aportación del CIATEJ para la implementación de una tecnología de empaque al alto vacío y esterilizado, en platillos emblemáticos de la cultura yucateca, como lo es la cochinita pibil, más allá de la solución al cliente, trasciende el problema de la riqueza culinaria tradicional confinada a un consumo inmediato y local. Asimismo, asegura que su industrialización no desplace a quien históricamente ha custodiado esta receta, y permite que don Alfonso más allá del servicio técnico, gestione de forma autónoma su tecnología de conservación. Con ello se garantiza el acceso a alimentos con identidad cultural, alta vida de anaquel e inocuidad garantizada.

Don Alfonso nos comenta: “... es bien sabido que nuestros desarrollos industriales son como los hijos; son lo mejor de lo mejor... Agradezco profundamente a CIATEJ, y principalmente al Dr. Manuel Ramírez Sucre por el apoyo, trabajo

profesional y el constante acompañamiento en todo el proceso de desarrollo de mi producto. Gracias, muchas gracias por ayudarme a lograr un sueño” (Alfonso Álvarez Sánchez, 2026, entrevista).

El caso de éxito de este servicio es un modelo para otras gastronomías mexicanas que enfrentan el riesgo de desaparecer por falta de métodos de conservación adecuados, revelando cómo a través de un servicio adecuado, las prácticas culinarias evolucionan y se adaptan en respuesta a la globalización sostenida. El CIATEJ, en este servicio, hace un reconocimiento al valor de la técnica artesanal y contribuye con el cliente frente al lenguaje de la ciencia moderna y las exigencias de la seguridad alimentaria global. Así es como CIATEJ, después de 50 años, sigue siendo un puente entre el conocimiento tradicional y la norma técnica.

Agradecimientos

Las y los autores agradecen de manera especial a don Alfonso Álvarez, quien generosamente compartió su testimonio y experiencia sobre el acompañamiento técnico brindado por el CIATEJ, A.C. para el desarrollo y mejora de su producto envasado al alto vacío. Su disposición para relatar su recorrido permitió enriquecer este artículo con una perspectiva práctica y cercana sobre el impacto que la vinculación científica y tecnológica puede tener en la consolidación de iniciativas productivas.

Asimismo, se reconoce y agradece el consentimiento expreso otorgado por don Alfonso para el uso de su información, fotografías y datos personales con fines exclusivamente de divulgación científica y tecnológica, en estricto apego al principio de protección de datos personales aplicables.

Referencias

- Deliza, R., & Ares, G. (2018). Consumer Perception of Novel Technologies. En A. Rosenthal, R. Deliza, J. Welte-Chanes, & G. V. Barbosa-Cánovas (Eds.), *Fruit Preservation* (Chapter 1). Springer New York. <https://doi.org/10.1007/978-1-4939-3311-2>
- Eabin Mathew. (2024). Globalization and Local Flavours: The Impact of Modern Food Production on Traditional Cuisine and Culinary Heritage Preservation. *International Journal for Multidimensional Research Perspectives*, 2(7), 61–74. <https://doi.org/10.61877/ijmrp.v2i7.170>
- Putnik, P., Pavlić, B., Šojić, B., Zavadlav, S., Žuntar, I., Kao, L., Kitonić, D., & Kovačević, D. B. (2020). Innovative hurdle technologies for the preservation of functional fruit juices. *Foods*, 9(6), 699. <https://doi.org/10.3390/foods9060699>



**50 AÑOS DEL CIATEJ:
CIENCIA, TECNOLOGÍA Y SOCIEDAD**





Estrategias multidisciplinarias para fortalecer cadenas productivas del Pacífico Sur: desarrollo científico, incidencia territorial, adaptabilidad y resiliencia

Multidisciplinary Strategies to Strengthen Productive Chains in the Southern Pacific: Scientific Development, Territorial Impact, Adaptability, and Resilience

Alena Urdiales-Kalinchuk¹, Luis Alberto Olvera-Vargas², Yair Romero-Romero², Anne Gschaedler^{3*}

¹ Dirección Subsede Zapopan, Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco. Camino Arenero 1227, 45019 El Bajío, Zapopan, Jal., México.

² Biotecnología Vegetal, SECIHTI-Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco. Camino Arenero 1227, 45019 El Bajío, Zapopan, México.

³ Biotecnología Industrial, Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco. Camino Arenero 1227, 45019 El Bajío, Zapopan, México.

* Autor de correspondencia: agschaedler@ciatej.mx

Palabras clave:

región Pacífico Sur, cadenas productivas agroalimentarias, innovación científica y tecnológica, resiliencia territorial, aprendizaje organizacional

Keywords:

South Pacific region, agri-food production chains, scientific and technological innovation, territorial resilience, organizational learning

Resumen

Entre 2018 y 2024, CIATEJ, CICY, CIAD y CentroGeo desarrollaron el proyecto *Estrategias multidisciplinarias para incrementar el valor agregado de las cadenas productivas del café, frijol, mango, agave mezcalero y tilapia en la región Pacífico Sur*, con el propósito de fortalecer las cadenas productivas de Guerrero, Oaxaca y Chiapas mediante ciencia, tecnología e innovación. A través de un enfoque multidisciplinario organizado en seis ejes, se promovió el aprovechamiento sustentable de recursos agrícolas y acuícolas, obteniendo resultados como el desarrollo de plataformas GeoWeb, dos solicitudes de patente, la titulación de 82 estudiantes, 76 publicaciones científicas y 93 participaciones en congresos. Pese a los desafíos, el proyecto impulsó la innovación agroalimentaria, fortaleció la colaboración interinstitucional y generó aprendizajes sobre adaptación y trabajo colaborativo, contribuyendo al desarrollo sostenible, la competitividad y el bienestar de las comunidades productivas del Pacífico Sur mexicano.

Abstract

Between 2018 and 2024, CIATEJ, CICY, CIAD, and CentroGeo implemented the project *Multidisciplinary Strategies to Increase the Added Value of the Coffee, Bean, Mango, Agave Mezcalero, and Tilapia Value Chains in the South Pacific Region*. The initiative aimed to strengthen the productive value chains of Guerrero, Oaxaca, and Chiapas through science, technology, and innovation. Organized around six multidisciplinary research areas, the project promoted the sustainable use of agricultural and aquaculture resources. Major outcomes included the development of GeoWeb platforms, the filing of two patent applications, the graduation of 82 students, the publication of 76 scientific articles, and 93 conference presentations. Despite implementation challenges, the project enhanced innovation in the agri-food sector, strengthened interinstitutional collaboration, and generated valuable experience in adaptive and collaborative research. These achievements contributed to sustainable regional development, improved the competitiveness of productive value chains, and supported the well-being of communities in Mexico's South Pacific region.

Recibido: 22 de mayo 2026
Revisado: 19 de junio 2026
Aceptado: 30 de junio 2026
Publicado: 01 de agosto 2026



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 región Pacífico Sur, también conocida como Región Suroeste, compuesta por los estados de Guerrero, Oaxaca y Chiapas, es una zona de altos contrastes y asimetrías socioeconómicas y ambientales. El Índice de Marginación (IM) de la CONAPO registra los estados de Guerrero, Oaxaca y Chiapas con un nivel de marginación muy alto (Figura 1). De los 775 municipios que conforman estos estados, el 18% presenta un IM muy alto y el 30% alto. De los 204 municipios del país con un grado de marginación muy alto, el 71% están en alguno de estos estados del Pacífico Sur (Consejo Nacional de Población [CONAPO], 2011; CONAPO, 2021). Por otro lado, aunque el sector económico más importante de la región es el terciario (servicios y comercio), la agricultura sigue teniendo un peso social y territorial muy relevante, especialmente en Oaxaca y Chiapas. La Encuesta Nacional de Ocupación y Empleo (ENOE) de 2024 indica que el 28 % de la población económicamente activa se dedica a la agricultura en esta región (Instituto Nacional de Estadística y Geografía [INEGI], 2024). De estos 1.5 millones de personas dedicadas a la agricultura, el 15% cultiva frijol, el 16% café, el 3.8% mango, el 2.4% agave (INEGI, 2023).

Además de la importancia social, la región tiene una relevancia territorial respecto a las actividades agrícolas, debido a que se siembran 123 de los 290 cultivos que el país produce, que equivalen a más de 39 millones de toneladas de producto agrícola, generando ganancias superiores a los 74 mil millones de pesos anualmente (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera [SIAP], 2024). Los cultivos más representativos de la zona son: mango, frijol, café, agave, caña de azúcar, maíz y plátano. Los cuatro primeros tienen un potencial productivo y tecnológico que puede contribuir a mitigar sus desigualdades tecnológicas. Por ejemplo, el 38% del mango producido en el país proviene de esta región; también el café producido en esta zona representa el 49 % del total producido, teniendo estos productos una capacidad de exportación muy importante. Respecto al frijol y al agave, son cultivos de agricultura familiar y su relevancia radica en las dimensiones territoriales y culturales. Por ejemplo, el frijol se cultiva en 85 % de los municipios de la región Pacífico Sur, con cerca de 232 mil productores; mientras que el agave se siembra en 148 municipios de Oaxaca y Guerrero, con poco más de 36 mil productores (SIAP, 2024; INEGI, 2023).

La región Pacífico Sur tiene una alta capacidad agrícola que es un componente estratégico para el desarrollo regional; sin embargo, existen altos niveles de marginación (INEGI, 2024). En la Figura 1 se muestra que la marginación y la capacidad agrícola presentan una marcada heterogeneidad espacial, lo que indica que el potencial productivo del territorio no necesariamente se traduce en mejores condiciones de bienestar (Ramírez et al., 2013). Las áreas con alta capacidad

agrícola y alta marginación representan áreas prioritarias para la implementación de estrategias tecnológicas y de innovación para incrementar la productividad, mejorar la tecnificación y reducir la alta vulnerabilidad climática. También, estas áreas constituyen territorios prioritarios para la consolidación de las cadenas de valor y la incorporación de tecnologías avanzadas. Sin embargo, el potencial productivo de un territorio no está determinado solo por las condiciones biofísicas, sino que depende también de infraestructura, organización social y políticas públicas (Lee-Cortés & Delgadillo-Macías, 2018) que, en el caso de Guerrero, Oaxaca y Chiapas, requieren estas intervenciones integrales (Cadena-Iñiguez et al., 2024).

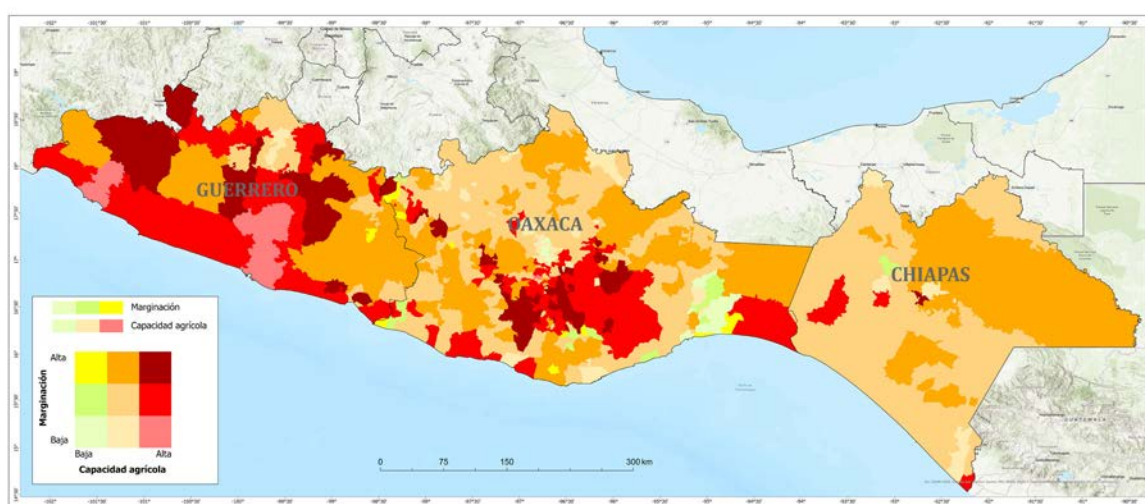


Figura 1. Capacidad agrícola y marginación en la región Pacífico Sur
Fuente: CONAPO (2021), SIAP (2024)

La conformación del proyecto

Entre 2003 y 2004, el entonces Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) comenzó a concebir los consorcios como una vía para impulsar la innovación en México y tener presencia en estados donde no contaba con centros públicos de investigación. Las alianzas, los consorcios y las redes formaban parte de nuevos modelos orientados a impulsar la competitividad y la cooperación, por lo que el CONACYT no permaneció ajeno a la búsqueda de estructuras capaces de acelerar la transferencia del conocimiento científico y tecnológico, así como propiciar la participación de actores locales, nacionales e internacionales, intentando incidir de una manera distinta en las problemáticas tradicionales del país. Esta política representó una transición hacia esquemas de articulación regional y sectorial, así como de vinculación entre centros públicos de investigación, las empresas y la academia. Entre los consorcios enmarcados en el ámbito agroindustrial se encontraba

ADESUR (Alianza Estratégica para el Desarrollo Sustentable de la Región Pacífico Sur), concebido con la intención de integrar capacidades de distintos centros públicos de investigación para atender problemáticas regionales y promover estrategias de desarrollo sustentable en la región Pacífico Sur de México (Agencia Informativa CONACYT, 2017). Los centros que conformaban esta alianza son el CentroGEO (Centro de Investigación en Ciencias de Información Geoespacial, A.C.), el CIAD (Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A.C.), el CICY (Centro de Investigación Científica de Yucatán, A.C.) y el CIATEJ (Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco, A.C.).

Es en la transición de 2018 cuando se produce un cambio en la discursiva institucional. El quehacer científico debía emular la narrativa del bienestar social y la atención prioritaria a las problemáticas nacionales, con compromiso social. Más en la integración de la propuesta del proyecto FORDECYT (Fondo Institucional de Fomento Regional para el Desarrollo Científico, Tecnológico y de Innovación) No. 292474 titulado “Estrategias multidisciplinarias para incrementar el valor agregado de las cadenas productivas del café, frijol, mango, agave mezcalero y tilapia en la región Pacífico Sur”, en el marco de la ADESUR, antes de que estableciera formalmente este nuevo derrotero, CIATEJ estableció como objetivo principal del proyecto el contribuir a la reducción del rezago productivo y competitivo de la subregión Pacífico Sur a través de la generación y aplicación del conocimiento científico y/o tecnológico nuevo o existente, para lograr un aprovechamiento integral y sustentable de sus recursos agrícolas y acuícolas, así como la agregación de valor a sus cadenas productivas. Uno de los enunciados contenidos en los antecedentes de la propuesta señaló: “Las instituciones que conforman el Consorcio sumarán sus capacidades en capital humano, infraestructura, recursos económicos y experiencias para el desarrollo de proyectos productivos, proyectos de innovación y formación de recursos humanos, buscando un impacto en las condiciones económicas, tecnológicas y sociales de los estados y en el conjunto de la Región Pacífico Sur” (Gschaedler, 2024).

Es en esta transición institucional de 2018 cuando comienzan a permear con mayor fuerza componentes centrados en la soberanía científica, el bienestar social y la atención prioritaria a las problemáticas nacionales dentro de la orientación científica del país. En la formulación original de la propuesta no existía una declaratoria explícita orientada al eje social en los términos en que posteriormente sería planteado desde la política científica nacional. Sin embargo, durante el tránsito mismo del proyecto, conceptos como innovación, transferencia tecnológica, vinculación, capital humano y parques tecnológicos comenzaron a reinterpretarse bajo nuevas ideas asociadas con la pertinencia social, la ciencia para el bienestar, la atención a

las desigualdades y el rescate de saberes, en parte gracias a la misma integración de personal del CONACYT al proyecto.

Más que un reemplazo de los objetivos originales, el proyecto atravesó un proceso gradual de adaptación institucional y discursiva. A lo largo de su desarrollo, los equipos participantes aprendieron a moverse entre distintos marcos de interpretación acerca del papel de la ciencia, la tecnología y el desarrollo regional, ajustando su práctica conforme evolucionaba el contexto. Los acontecimientos observados durante la ejecución del proyecto pueden interpretarse a la luz de la propuesta de *Action Science* propuesta por Argyris et al. (1985), particularmente en lo referente a la reorganización de las teorías en uso y de los marcos cognitivos que orientaban la acción organizacional. En consecuencia, la transformación no se expresó únicamente en modificaciones de programas o instrumentos, sino también en la manera de comprender el papel de la ciencia en el desarrollo regional y en la forma de orientar las acciones de las instituciones participantes. Bajo esta dinámica, elementos como la construcción de redes de colaboración y la visión del desarrollo regional permanecieron como referentes constantes durante el periodo de ejecución del proyecto (2017-2024), aun cuando el entorno institucional experimentó cambios significativos.

La diversidad de enfoques metodológicos presentes tanto en la ADESUR como en el proyecto no puede reducirse a la coexistencia de diferentes técnicas o procedimientos. En la práctica, implicó un ejercicio continuo de diálogo, negociación y ajuste entre actores provenientes de disciplinas, instituciones y experiencias distintas. Más que imponer una metodología única, el proyecto favoreció un espacio donde fue posible construir acuerdos operativos respetando la diversidad de perspectivas. La participación conjunta de investigadores, estudiantes, instituciones académicas, dependencias gubernamentales y comunidades permitió consolidar una red de colaboración en la que la multidisciplinariedad y la transdisciplinariedad propiciaron el intercambio de conocimientos, metodologías y formas de abordar los problemas del territorio. De esta forma, la cooperación no dependió exclusivamente de los métodos empleados, sino de la capacidad de los participantes para generar confianza, coordinar esfuerzos y sostener procesos de trabajo.

Desde esta perspectiva, la experiencia desarrollada en el proyecto puede entenderse como un proceso de aprendizaje organizacional y social. La producción científica constituyó una parte importante de resultados, estuvo acompañada por mecanismos de adaptabilidad colectiva que permitieron responder a condiciones cambiantes, sin perder de vista los objetivos generales. La reorganización de actividades, la redefinición de formas de trabajo, la incorporación de nuevas modalidades de interacción y el fortalecimiento de las redes de colaboración hicieron visibles capacidades institucionales

que ya existían, aunque de forma menos evidente, y que adquirieron mayor relevancia frente a escenarios de incertidumbre. En este sentido, el proyecto impulsado en el marco de la ADESUR puede comprenderse como un sistema abierto de aprendizaje, capaz de reorganizarse ante transiciones institucionales, contingencias sanitarias, fenómenos climáticos y otras condiciones complejas propias del territorio.

Materiales y Métodos

Se realizó un análisis documental sistematizado, con enfoque descriptivo para identificar, clasificar y analizar la productividad científica, tecnológica, formativa y territorial generada en el marco del proyecto FORDECYT No. 292474. Con el objetivo de garantizar la transparencia, la replicabilidad y el control de sesgos en la selección de la evidencia, se realizó una adaptación metodológica del enfoque PRISMA 2020 (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses) (Page et al., 2021). La metodología retomó, de manera adaptada, las fases de identificación, selección e inclusión del enfoque PRISMA 2020, utilizando como fuente principal reportes técnicos, tesis, artículos científicos, memorias, libros, documentos de divulgación, bases de datos y otros materiales probatorios del proyecto, a fin de evitar duplicidades y homologar categorías equivalentes (Figura 2).

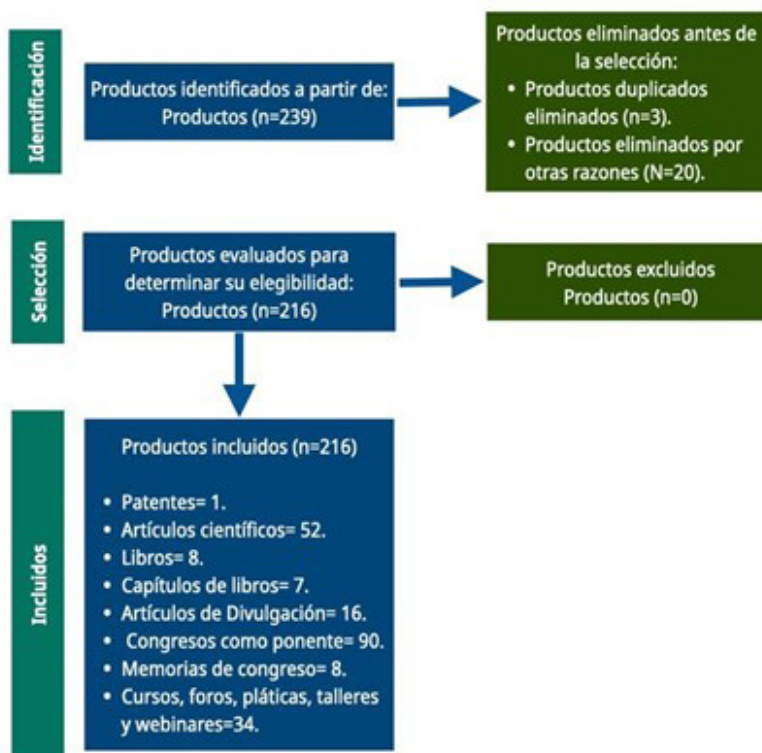


Figura 2. Adaptación metodológica de PRIMA 2020 para realizar el análisis del proyecto FORDECYT No. 292474
Fuente: Informe final FORDECYT No. 292474 (Gschaedler, 2024)

La metodología para identificar, clasificar y analizar la productividad científica, tecnológica, formativa y territorial generada en el marco del proyecto FORDECYT No. 292474 constó de tres fases. La primera fue la identificación, tomando como fuente principal los reportes técnicos que incluían los productos académicos logrados en el proyecto; dentro de esta misma fase se ordenaron, clasificaron y cribaron los duplicados o aquellos que no correspondían al proyecto. La segunda fase consistió en la selección, con el fin de garantizar que los productos incluidos en el análisis fueran resultado del proyecto. Finalmente, en la tercera fase se integró una base de datos que reunió la información validada para su posterior análisis y sistematización (Figura 2).

A partir de la compilación documental se realizó una consolidación general de productos, integrando 57 informes técnicos de etapa, 18 informes finales, 58 artículos científicos, 42 artículos de divulgación, 90 participaciones en congresos, 28 talleres y cursos, 84 tesis de estudiantes titulados (51 de licenciatura, 19 de maestría y 14 de doctorado), así como libros, capítulos, manuales, convenios, bases de datos y otros productos de transferencia y apropiación social del conocimiento. Se efectuó un análisis descriptivo para identificar los ejes de mayor incidencia, destacando la formación de recursos humanos, la difusión científica y académica, la producción científica y el componente de innovación tecnológica para el aprovechamiento integral de agrorecursos, particularmente por subproyectos.

Además de los documentos revisados, se identificaron las áreas de incidencia territorial del proyecto, actividades realizadas, las instituciones participantes y los cultivos atendidos (frijol, agave, café, mango y tilapia). Con esta información se determinaron los municipios de intervención, se incorporaron sus claves geoestadísticas municipales a partir de fuentes oficiales como el INEGI y se elaboró la cartografía temática en ArcGIS Pro-3.6.2 para mostrar espacialmente el alcance territorial y la distribución de las acciones del proyecto.

Resultados y Discusión

Se identificó, gracias a la información recopilada, una extensa producción en términos científicos, tecnológicos, académicos y de vinculación derivada del proyecto FORDECYT No. 292474, enfocado al fortalecimiento de las cadenas productivas del agave mezcalero, café, frijol, mango y tilapia en la región Pacífico Sur de México. Los resultados muestran un alcance multidisciplinario sustentado en investigación aplicada, innovación tecnológica, formación de recursos humanos y transferencia de conocimiento, con una colaboración coordinada entre distintas instituciones y actores regionales.

Aportaciones científicas y tecnológicas

A continuación, se presenta un resumen de los resultados obtenidos; la información detallada de cada uno de los proyectos se puede consultar en la obra *Semillas de Cambio en la Región Pacífico Sur: Ciencia, Tecnología y Sociedad para el desarrollo local en las cadenas productivas principales en Guerrero, Oaxaca y Chiapas* publicada por CIATEJ en 2024, disponible en línea (Gschaedler et al., 2024).

El proyecto se dividió en diferentes ejes que constituyen una guía para su comprensión. El primer Eje, titulado “Conservación, caracterización y propagación de germoplasma”, tuvo como propósito fortalecer las cadenas de valor mediante la conservación y selección de germoplasma élite, así como generar procesos de micropropagación a escala, que sirvan de base para los programas de renovación de los cultivos de interés. Este eje está compuesto de tres proyectos enfocados a tres materias primas diferentes: agave mezcalero, café y frijol.

En el caso del agave y, de manera particular, el agave mezcalero, es una materia prima de gran importancia para los estados de Oaxaca y de Guerrero. De hecho, Oaxaca es el líder en producción a nivel nacional y Guerrero, si bien presenta una producción menor, maneja diferentes agaves (la mayoría de ellos silvestres) como el *A. cupreata* y, en menor cantidad, *A. angustifolia* y una variedad particular llamada sacatoro. Tanto en Oaxaca como en Guerrero, el proceso de elaboración sigue siendo artesanal, pero en estos últimos años, con un incremento importante de la demanda, lo cual justifica ampliamente la búsqueda de alternativas para la producción de la materia prima. A lo largo del proyecto desarrollado por investigadores del CICY, especialistas en estos temas, se establecieron procesos de micropropagación a escala para especies de interés regional. Las especies seleccionadas para Guerrero fueron *A. cupreata* y *A. angustifolia*. Se logró la producción de más de 100,000 microcortes *in vitro* y la entrega de 53,807 plantas *ex vitro* a productores para su aclimatación (Ojeda et al., 2024). Un punto importante que hay que resaltar en este proyecto es el acompañamiento constante a los productores, en particular en el establecimiento de viveros o semilleros que garanticen el manejo adecuado del material derivado del sistema integral de micropropagación establecido en CICY (Saldívar Chávez et al., 2024).

De manera similar, otra materia prima emblemática de la región es el café, cuyo estudio también se orientó al fortalecimiento de la producción de plantas. En este proyecto, desarrollado por el CICY, se estudió el uso de biorreactores para el escalamiento en la producción de plántulas de *Coffea* spp. generadas mediante embriogénesis somática. Se compararon dos sistemas de escalamiento (reactores) para producir plántulas de dos especies de *Coffea* (*C. canephora* y *C. arabica*) y se establecieron los parámetros de escalamiento. También se establecieron las condiciones

para la aclimatación de las plantas obtenidas a partir de cultivos en biorreactores. Se produjeron 7000 plantas que se entregaron a 20 cafecultores en el estado de Guerrero. La mayoría de estas plantas siguen hoy en día creciendo y pronto van a dar frutos para una primera cosecha (Méndez-Hernández et al., 2024).

El tercero y último proyecto de este eje se desarrolló en CIATEJ con una temática central enfocada en el frijol. Se colectaron y caracterizaron 56 accesiones de la región, lo que permitió identificar una amplia diversidad genética y un alto nivel de polimorfismo en *Phaseolus vulgaris*. De estas 56 accesiones de frijol, 18 son de Chiapas y pertenecen a diferentes especies (*Phaseolus coccineus*, *P. polyanthus*, *P. lunatus* y *P. vulgaris*). En Oaxaca se obtuvieron un total de 20 accesiones, predominando las variedades de la especie *P. vulgaris*, y en Guerrero, 18. La mayor diversidad en cuanto a color, tamaño y especies de frijol obtenidas se observó en Chiapas y Guerrero. Por otra parte, se realizó en análisis proximal, incluyendo el contenido de humedad, cenizas, grasas, proteína, carbohidratos y fibra cruda de todas las accesiones colectadas y se determinó el contenido de aminoácidos libres, así como un análisis de la diversidad genética en el cual se encontró un alto polimorfismo entre las accesiones colectadas, que demuestra la amplia diversidad genética del género *Phaseolus* en las regiones de colecta, principalmente en el caso de *P. vulgaris*. Finalmente, las accesiones obtenidas mostraron resultados promisorios desde el punto de vista agronómico por su potencial para la formación de nódulos y su implicación en la fijación de nitrógeno (García-Morales et al., 2024; Lugo Cervantes et al., 2022).

El Eje 2, “Manejo integral de plagas”, contempló la evaluación de diversos enfoques metodológicos para establecer un esquema de control integral de plagas en los cultivos de interés comercial de la región del Pacífico Sur. Estuvo constituido por un solo proyecto titulado “Evaluación de microorganismos antagonistas como agentes de control biológico para el manejo sustentable de la roya del café *Hemileia vastatrix*”, a cargo del CIATEJ. Esta enfermedad fúngica de la hoja del café genera pérdidas importantes en la producción de café, afectando, sobre todo, a los pequeños cafecultores. Todavía no existe un método para erradicar la enfermedad, pero sí una serie de estrategias para tratar de controlarla. Estas estrategias van desde la generación de variedades resistentes, el manejo de sombra y poda para mejorar la ventilación y reducir la humedad en la plantación, la aplicación de fungicidas, la aplicación de una nutrición adecuada para tener plantas más sanas que permiten a las plantas tolerar mejor la enfermedad y, finalmente, el monitoreo constante de las plantaciones para una detección temprana de la enfermedad y evitar su propagación (Qui-Zapata et al., 2024).

Este proyecto generó resultados muy interesantes tanto desde el punto de vista científico como desde el tecnológico. Se evaluaron dos estrategias biorracionales

para combatir la roya del café. La primera propone la utilización de hongos *Trichoderma* sp. asociados a las raíces del cafeto, capaces de estimular el crecimiento de la planta y activar sus defensas naturales contra la roya. Los resultados en laboratorio e invernadero fueron positivos, y el siguiente paso será probarlos en campo y desarrollar formulaciones prácticas para los productores.

La segunda estrategia estudió el uso del quitosano (biopolímero derivado de la quitina, un componente presente en el exoesqueleto de animales como los camarones y los cangrejos) como inductor de las defensas vegetales. Se analizaron distintos tipos y formulaciones de quitosano para crear opciones económicas y fáciles de usar. Se comprobó que varios quitosanos pueden proteger eficazmente al cafeto contra la roya y se identificaron las propiedades y mecanismos responsables de esa protección. Se desarrolló una formulación y su forma de preparación a partir de un quitosano y de un disolvente económico y de fácil acceso: el vinagre comercial. Se comprobó su efecto de control y se aclaró su mecanismo de acción.

El eje 3, “Innovación tecnológica para el aprovechamiento integral de los agrorecursos”, tuvo como objetivo desarrollar y transferir diversas tecnologías para la generación de procesos, productos y subproductos, prototipos, así como la generación de valor agregado en las cadenas agroalimentarias de café, mango, agave-mezcal y productos acuícolas. Es el eje con más proyectos; en efecto, se desarrollaron cinco proyectos alrededor de esta temática y abarcan todas las materias primas consideradas en el proyecto.

El primer proyecto de este eje contempló la caracterización de la región e identificación de proyectos productivos factibles y estuvo a cargo del CIAD. Se presentó una metodología original para elaborar una cartera de 21 proyectos importantes y viables que podrían desarrollarse en la región. Se clasificaron los proyectos en seis categorías: proyectos productivos existentes en la región con potencial de recuperarse (Reactivación); proyectos que funcionaron en el pasado (Rescate); cambio de actividades productivas (Reconversión); proyectos “de suministro” o ligados a actividades económicas determinadas (Encadenamiento); valor agregado e innovación en proyectos (Reescalamiento); proyectos productivos “nuevos” que se identifiquen como factibles de impulsar (Alternativos). Como ejemplos concretos de proyectos, se pueden mencionar “Recuperación de centros de acopio y empaque de mango para pequeños productores”, clasificado como proyecto de rescate, y los proyectos “Aprovechamiento de hueso, cabeza y cola de tilapia” y “Aprovechamiento del mango niño”, que pertenecen a la categoría de proyectos alternativos (Taddei Bringas et al., 2024).

El segundo proyecto, a cargo del CIATEJ, se enfocó en la generación de una tecnología emergente para el tostado de café. El resultado principal de este proyecto fue la validación de un modelo emergente de tostado de café, basado en un lecho fuente de tamaño manejable, dirigido a pequeños productores. Además, se desarrollaron alternativas de uso para la cascarilla del café (Arriola Guevara et al., 2024).

El tercer proyecto contempló la transformación e innovación tecnológica de procesos y productos a base de mango como alternativa de valor comercial y estuvo a cargo del CIAD. Este proyecto destacó por su participación en la formación de recursos humanos. Además, se desarrollaron varios productos a base de mango mediante la aplicación de tecnologías de vanguardia. En los productos desarrollados se puede mencionar el aprovechamiento de frutos no comercializables para obtener fertilizantes orgánicos, botanas, bebidas y pectinas, entre otros (Muy Rangel et al., 2024).

El siguiente proyecto consistió en la elaboración y validación de una línea de productos nutracéuticos, cosmeceúticos y nutricosméticos a partir de café, frijol y mango, provenientes de los estados de Guerrero, Oaxaca y Chiapas, con enfoque de competencia para el crecimiento y desarrollo. Este proyecto estuvo a cargo del CIA-TEJ. Se destacó la valiosa información generada en el caso de diferentes variedades de frijol endémicas. Por ejemplo, los estudios demostraron que las antocianinas de la cáscara de variedades endémicas tienen un alto potencial antioxidante y capacidad para reducir el estrés oxidativo celular (Alcázar Valle et al., 2024). En el caso del agave, se presentó una metodología sencilla para la obtención de fructanos, así como la caracterización de los fructanos de las principales especies de agave de la región. En el caso del café, se realizó la formulación de un producto tipo sérum utilizando el extracto con el mejor contenido de 5-CQA (ácido clorogénico) (Guatemala-Morales et al., 2024). Y, finalmente, en el caso del mango se investigaron varias de sus moléculas y, por ejemplo, se demostró el efecto antimicrobiano de los extractos fenólicos de cáscara y de almendra de semilla con un efecto muy interesante sobre *Cutibacterium acnes*, causante del acné (Ayora Talavera et al., 2024).

Finalmente, el último proyecto de este eje se enfocó en el desarrollo regional sustentable en los estados del Pacífico Sur mexicano: modelo de política pública para la sustentabilidad alimentaria, enfocado en el cultivo de tilapia en la micro y pequeña empresa. El CIAD estuvo a cargo del proyecto, el cual se dividió en tres temáticas: nutrición, sanidad, así como una parte socioeconómica. En el caso de la parte socioeconómica, se generaron y aplicaron con actores sociales documentos de extensionismo de análisis financiero aplicado en el cultivo de tilapia en pequeña escala en tres sistemas de producción y una infografía de cambio climático, empleando la metodología de la investigación-acción participativa. En la parte de sanidad se destacaron tres cursos y tres talleres con productores. Finalmente, en la parte de nutrición, se desarrollaron técnicas moleculares para la detección de bacterias patógenas como *Aeromonas*, *Francisella*, *Streptococcus*. Se implementó la técnica molecular para *Staphylococcus*, ya que comúnmente se confunde con *Streptococcus*. Además, se

impartieron varios cursos con los productores y se acompañó a varios de ellos en la instalación de pequeñas unidades de producción de tilapia (Abad-Rosales et al., 2024; Hernández et al., 2024; Martínez Cordero et al., 2024).

En el Eje 4, “Inteligencia tecnológica, competitiva y territorial y sus plataformas tecnológicas”, se buscó hacer un análisis del estado del arte y desarrollar un sistema de inteligencia estratégica para las cadenas de valor seleccionadas, así como diseñar e implementar una plataforma GeoWeb de servicios de información geoespacial, cuyo núcleo es una caracterización del territorio a través de sus cadenas de valor, con la finalidad de crear un sistema de soporte a las tareas de coordinación y gestión.

El primer proyecto, a cargo del Centro Geo, tuvo como objetivo construir una plataforma de servicios de información geoespacial relacionados con agave, café, mango y frijol. El alcance de la plataforma se amplió para incluir la información de todos los proyectos desarrollados en la región que buscan difundir su información a través de una plataforma como estrategia de difusión (Trujillo Almeida et al., 2024).

El segundo proyecto, titulado “Inteligencia territorial: análisis territorial de las cadenas estratégicas de valor (Agave Mezcal, Café, Mango y frijol)”, también a cargo del Centro Geo, permitió realizar la delimitación, tipificación y caracterización socioeconómica de territorios funcionales, lo cual aporta información y conocimiento geoespacial relevante para el análisis, planificación y gestión del desarrollo regional, urbano y rural de la región del Pacífico Sur. Esta delimitación es el resultado de un ejercicio de regionalización que pone énfasis en la importancia de las relaciones funcionales que definen y organizan territorios más amplios, compartidos por municipios con características muy diversas entre sí, pero fuertemente vinculados en su dinámica demográfica, económica y social, llegando incluso a integrar municipios de diferentes entidades federativas. Por ejemplo, se delimitaron 184 territorios funcionales de muy diverso tamaño y composición, en términos de la población, el número y carácter rural-urbano de los municipios que los conforman. Oaxaca es la entidad con la mayor cantidad. Además de los avances reportados, el Centro Geo fue uno de los motores de las interacciones entre los Centros involucrados en el proyecto y con otras instituciones e instancias gubernamentales (Anzaldo Gómez et al., 2024).

El tercero y último proyecto de este eje se desarrolló en CIATEJ y se titula “Sistema de inteligencia estratégica y su articulación para el impulso del desarrollo regional de las cadenas a través del uso de conocimientos tradicionales y tecnología de vanguardia (Agave Mezcal, Café, Mango y frijol)” y su propósito fue estudiar las diferentes cadenas productivas. Se analizó el contexto actual de los actores, las redes y las estrategias productivas de las cadenas productivas en la región. Se reco-

noció, a partir de talleres, parte de los conocimientos tradicionales que se emplean en estas cadenas productivas, así como su relevancia para la productividad local y regional. Se obtuvo información muy valiosa sobre las prácticas sustentables en la producción y su importancia para la rentabilidad de los productos, y se caracterizó geográficamente su distribución con el fin de analizar los eslabones de las cadenas productivas (Olvera-Vargas et al., 2024).

Productos y resultados globales

Los productos generados en el marco del proyecto no solo buscaban una aportación académica o científico-tecnológica, sino también generar conocimiento útil, transferible y vinculado a las necesidades reales del territorio. Así, los productos obtenidos contribuyen tanto al incremento del valor agregado de las cadenas agrícolas y acuícolas como a la sostenibilidad regional, a la inclusión productiva y al fortalecimiento del tejido social. En la Figura 3 se presentan los productos clasificados por cadena productiva. Además, se agregó la categoría “transversales” para incluir aquellos productos que abordan dos o más cadenas productivas.

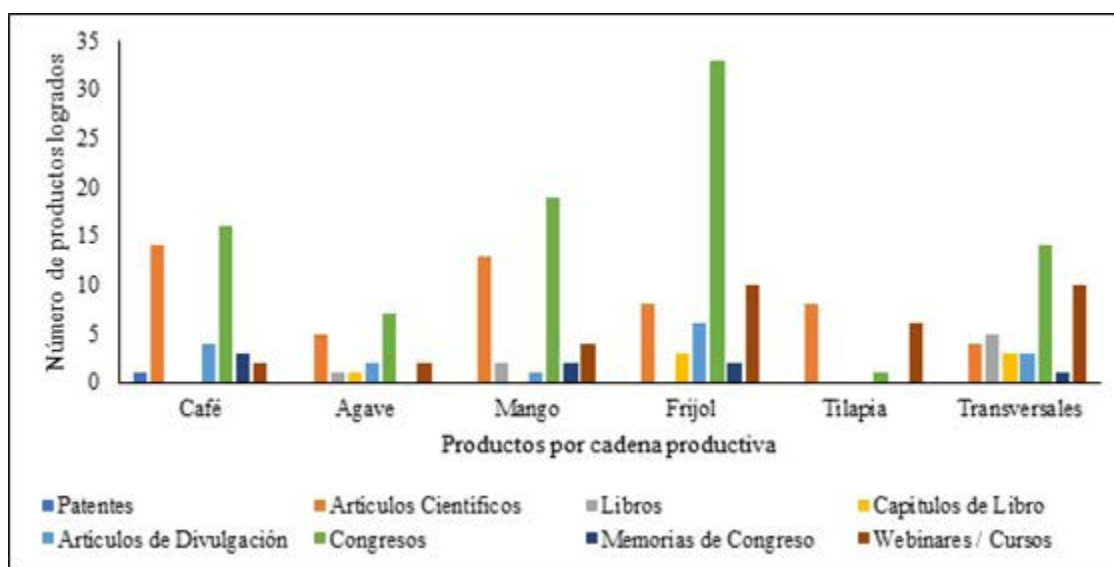


Figura 3. Tipo de productos obtenidos en el marco del proyecto, separados por cadena productiva
Fuente: Informe final FORDECYT No. 292474 (Gschaedler, 2024)

El mapa de calor muestra que los productos del proyecto FORDECYT No. 292474 no se distribuyeron de manera uniforme entre las cadenas, sino que se alinearon con las necesidades específicas de cada sistema productivo. La elaboración de productos se concentró principalmente en la valorización de recursos y subpro-

ductos, especialmente de frijol, mango y café, lo que evidencia una clara orientación hacia el aprovechamiento integral y la generación de valor agregado (Tabla 1).

Tabla 1. Mapa de calor de la orientación estratégica de los productos a lo largo de la cadena

Cadena productiva	Producción primaria	Sanidad	Transformación	Valorización de recursos y subproductos	Diagnóstico socioeconómico	Transferencia y capacitación
Café	13	11	2	10	2	2
Agave	11	0	0	1	4	2
Mango	0	1	9	20	7	4
Frijol	8	2	0	38	4	10
Tilapia	0	6	0	3	0	6
Transversales	2	0	1	9	17	11

En el eslabón de producción primaria, la mayor concentración de productos se observó en las cadenas de café, agave y frijol, lo que refleja una orientación hacia el fortalecimiento de la base productiva mediante acciones vinculadas a la propagación vegetal, la conservación del germoplasma y el manejo del cultivo. En el eje de sanidad, la cadena del café integró más estudios; esto se justifica debido a los problemas fitosanitarios que se presentan en la cadena a causa de la roya. En cuanto a estudios sobre la transformación y valorización, el mango fue uno de los productos agrícolas más investigados. Esto puede atribuirse a que entre el 40 y el 50% de las frutas se pierden a lo largo de la cadena de suministro, siendo el mango una de las más afectadas debido a su alto contenido de agua, que lo hace muy sensible a los golpes y a las variaciones de temperatura (Romero-Romero, et al., 2024). En este contexto, la transformación agroindustrial es una estrategia lógica para reducir las pérdidas a lo largo de la cadena. Por parte de la transferencia y capacitación, sobresale el frijol, lo que sugiere un esfuerzo por vincular el conocimiento y la producción (Figura 4).

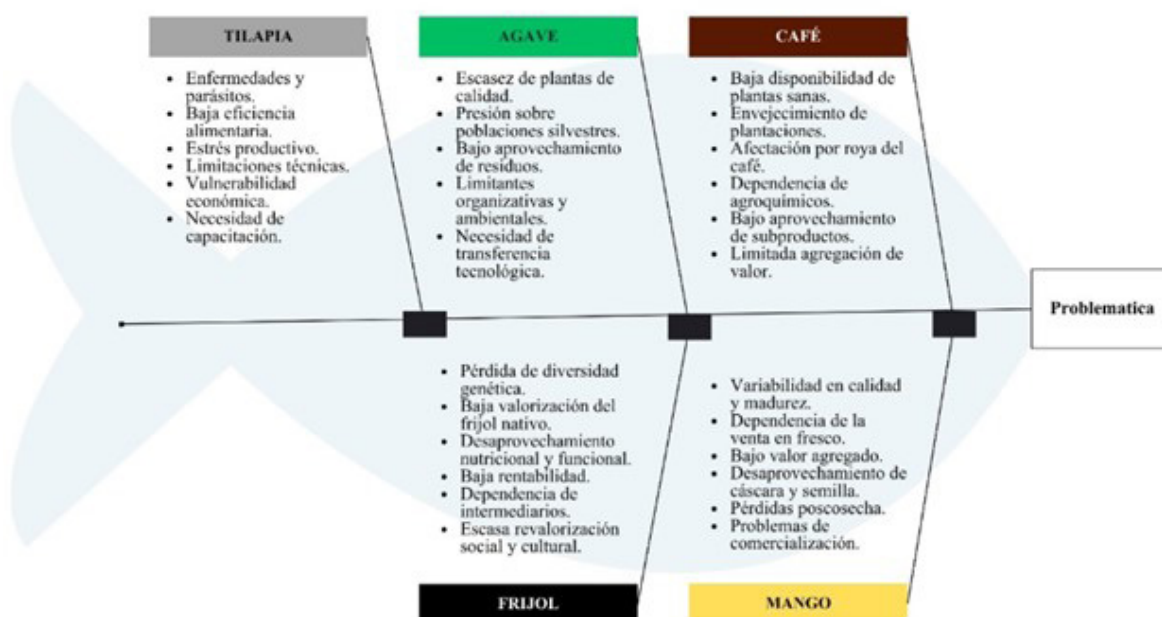


Figura 4. Diagrama Ishikawa de las principales problemáticas de las cadenas productivas analizadas
Fuente: Informe final FORDECYT No. 292474 (Gschaedler, 2024)

En la cadena del café, los estudios fueron encaminados a resolver problemas fitosanitarios y atender la demanda de plantas sanas por parte de los productores. Es por ello que entre los productos académicos publicados se mencionan metodologías como la propagación *in vitro*, la evaluación de la germinación, la embriogénesis somática, el análisis molecular, el uso de quitosanos, las cepas de *Trichoderma*, la extracción de compuestos bioactivos, la fermentación microbiana y la biocatálisis enzimática, para abordar dichas problemáticas.

En el caso del agave, las problemáticas se relacionaron principalmente con la escasez de plantas de calidad, la presión sobre poblaciones silvestres y la necesidad de fortalecer la transferencia tecnológica hacia productores. Los productos generados utilizaron metodologías de cultivo *in vitro*, micropropagación, sistemas de inmersión temporal, aclimatización, caracterización de compuestos bioactivos y actividades de capacitación. De este modo, se intentó ofrecer soluciones para producir plantas uniformes y sanas, preservar el germoplasma de especies de interés mezcalero, reducir la presión sobre poblaciones naturales y facilitar la adopción de tecnologías en viveros y unidades productivas.

La cadena del frijol se abordó desde la conservación de la diversidad genética, la revalorización de las variedades nativas y el aprovechamiento de su potencial nutricional y funcional. Las metodologías abarcaban la colecta de accesiones, la caracterización en términos morfológicos, agronómicos, nutricionales y genéticos,

el análisis de compuestos fenólicos, flavonoides y antocianinas, la evaluación de la actividad antioxidante, la biofortificación con selenio, el diagnóstico socioeconómico y las actividades de divulgación. Estas medidas posibilitaron a reconocer al frijol no solo como cultivo básico, sino también como un recurso estratégico para la seguridad alimentaria, la preservación de la biodiversidad biocultural y la generación de alternativas de mayor valor funcional y social.

En la cadena del mango, los productos respondieron a problemas como la dependencia de la venta en fresco, las pérdidas poscosecha, el bajo valor agregado y el desaprovechamiento de la cáscara, la semilla y la almendra. Las metodologías se centraron en análisis fisicoquímicos, bromatológicos, funcionales y sensoriales; desarrollo de néctares, mermeladas, barras y productos procesados; extracción de compuestos bioactivos; obtención de pectinas; y evaluación antioxidante, antimicrobiana y antiinflamatoria. Estas contribuciones permitieron plantear alternativas para diversificar productos, aprovechar residuos agroindustriales y generar ingredientes con potencial alimentario, nutracéutico, cosmeceútico y comercial.

La cadena de tilapia se orientó principalmente a resolver problemas de sanidad acuícola, baja eficiencia alimentaria, limitaciones técnicas y necesidad de capacitación en pequeños sistemas productivos. Para ello, se utilizaron metodologías de diagnóstico parasitológico, histopatología, análisis molecular, caracterización de patógenos, evaluación de dietas experimentales, uso de agavinas, extractos vegetales y antioxidantes, además de cursos, talleres y materiales de capacitación. Estas acciones buscaron mejorar la salud de los cultivos, fortalecer la alimentación funcional, reducir riesgos productivos y aumentar las capacidades técnicas de los productores acuícolas.

Incidencia territorial

La incidencia territorial se entiende como el grado en que la intervención tecnológica o un proceso productivo modifica la organización, el funcionamiento o el desarrollo de un espacio, donde también puede tener efecto en las políticas públicas y de planeación territorial (Madeiros, 2019). En el caso del Pacífico Sur, se realizó incidencia territorial directa en 93 municipios de los estados de Guerrero, Oaxaca y Chiapas. La organización de los productos y actividades se diferenció por institución y materia prima, considerando la investigación realizada, transferencia tecnológica, capacitación y generación de productos científicos, según las vocaciones productivas de cada estado (Figura 5).

Para el agave mezcalero, la incidencia territorial se concentró en el estado de Guerrero, donde el CICY tuvo mayor presencia a través de actividades de micro-propagación masiva que generaron la entrega de más de 53 000 plantas para su

adaptación en invernadero y posterior transferencia a vivero, particularmente en municipios como Chilapa de Álvarez, Tixtla de Guerrero, Huitzuco de los Figueroa e Iguala de la Independencia (Gschaedler, 2024). También se fortalecieron las capacidades productivas a través de talleres y cursos sobre la recepción y manejo de material biotecnológico generado *in vitro*, en Chilpancingo de los Bravos y Acapulco de Juárez. CIATEJ registró incidencia puntual en los municipios antes mencionados, además de realizar actividades en municipios de Oaxaca como San Juan del Río, Villa Sola de Vega y San Pedro Teozacoalco, en donde los productos se enfocaron en la valorización y el aprovechamiento agroindustrial del agave. Se realizaron talleres en las instalaciones de ADESUR/CEIBAAS enfocados en la obtención de fructanos de agave, planteándose como una alternativa económica y social para que los maestros mezcaleros conformen sus cooperativas y diversifiquen sus ingresos en épocas de crisis de mezcal.

En el café, el CICY tuvo presencia en los municipios cafetaleros de Atoyac de Álvarez, Iliatenco, Malinaltepec y San Luis Acatlán en el estado de Guerrero y La Concordia, en Chiapas, donde se generaron protocolos de propagación masiva por embriogénesis somática que permitieron la producción y entrega de 8 000 plantas de *Coffea* spp., además de realizar transferencia de plantas y realización de talleres en Acapulco de Juárez y Zihuatanejo de Azueta. Paralelamente, CIATEJ participó en ocho municipios de Guerrero, Oaxaca y Chiapas, específicamente en microorganismos antagonistas y en el uso de una formulación de quitosano disuelto en vinagre como control biológico de la roya del café, transfiriendo estas técnicas a los productores de estos estados. Además, se validó y transfirió a pequeños caficultores un prototipo de tostado en continuo en un sistema de lechos fuente en multietapa (SLFM) para agregar valor a su producción (Gschaedler, 2024a). Cabe resaltar que el CIAD participó en la capacitación técnica postcosecha en los tres estados, con temas de inocuidad y de procesamiento de café para mejorar los rendimientos.

En el cultivo de frijol, la incidencia territorial fue realizada, en su mayoría, por investigadores de CIATEJ, con presencia amplia en 18 municipios de Guerrero, 20 de Oaxaca y 18 de Chiapas. En estos lugares, predominantemente marginados, se recolectaron 56 accesiones de frijol criollo, las cuales fueron caracterizadas nutricionalmente y resguardadas en el Banco Nacional de Recursos Genéticos (Gschaedler, 2024a). Como estrategia para que se impulsara la apropiación social del conocimiento, se realizó y distribuyó un libro de divulgación sobre el frijol y su importancia altamente nutritiva, el cual fue traducido a la lengua indígena amuzga. Además, entre el CIAD y CentroGEO se realizó una plataforma geoweb para documentar la preservación de maíces y frijoles nativos frente a la presión de semillas híbridas,

la cual se realizó con datos de 354 agricultores de Chiapas y Oaxaca (Gschaedler, 2024). La extensión territorial de este cultivo en la región permitió la generación de un gran número de productos académicos, tesis de diferentes grados elaboradas por estudiantes de estas regiones, así como bases de datos y depósitos de semillas asociados a la agrobiodiversidad regional.

Para el caso del mango, el CIAD mostró la mayor incidencia territorial, especialmente en varios municipios costeros de Guerrero y Chiapas, con actividades orientadas al desarrollo de productos agroindustriales, como la elaboración de néctar por ultra alta presión, mermeladas sin conservadores a partir de pectinas naturales y barras nutritivas de mango con semillas. Además, se realizó un diagnóstico para mejorar la cadena productiva del mango en todo el Pacífico Sur; esto ayudó a la recuperación de 10 centros de acopio y empaque en Guerrero, así como a evitar los intermediarios, que afectan a las ventas del agricultor. Por parte de CIATEJ, las actividades se enfocaron en demostrar a las comunidades los beneficios de aprovechar los residuos agroindustriales del mango, como la cáscara y la almendra de la semilla del mango, utilizadas para encapsular microorganismos para la biorremediación de aguas contaminadas y la extracción de antimicrobianos contra bacterias dermatológicas (Gschaedler, 2024).

Para la tilapia, el CIAD lideró la incidencia en la región, a través de actividades relacionadas al desarrollo de fórmulas alimenticias utilizando insumos locales, como compuestos fenólicos de hojas de maíz, que ayudaron a abaratar los costos de producción de tilapia. Se impartieron 13 cursos para diagnosticar y mitigar enfermedades bacterianas y parasitarias en granjas de tilapia de los tres estados. También se aplicaron técnicas de extensionismo y análisis financiero en granjas de pequeña escala, mediante actividades participativas, así como la traducción de varios manuales financieros a la lengua mixteca, facilitando la transmisión de información (Gschaedler, 2024).

Por su parte, el CentroGeo realizó análisis espacial, socioeconómico y de vulnerabilidad de la región del Pacífico Sur mediante la delimitación de territorios funcionales, así como la caracterización de dinámicas poblacionales y productivas mediante una plataforma GeoWeb. Este instrumento integró información geoespacial, social, económica y ambiental para apoyar diagnósticos regionales y fortalecer la toma de decisiones sobre las cadenas productivas de café, frijol, mango, agave y tilapia.

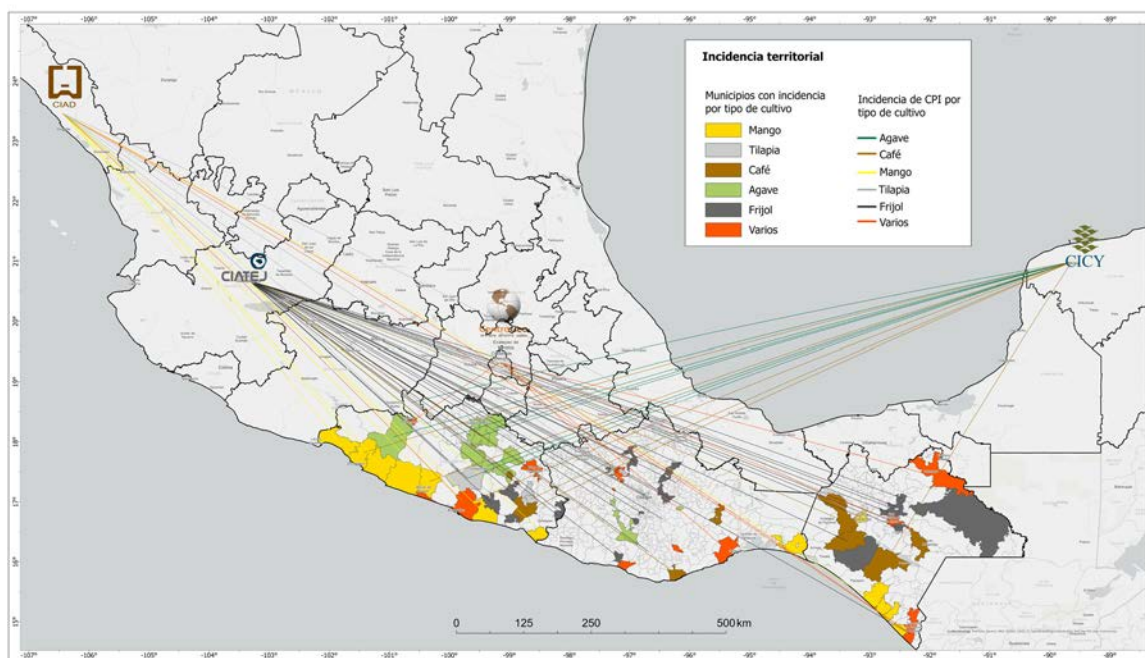


Figura 5: Incidencia territorial en el marco del proyecto FORDECYT No. 292474

Fuente: Informe final FORDECYT No. 292474 (Gschaedler, 2024)

Adaptabilidad, resiliencia y aprendizaje organizacional

Uno de los apartados a considerar dentro de los proyectos de investigación científica es la identificación de posibles riesgos que incidan en su ejecución. Este ejercicio permite construir escenarios posibles y así considerar formas de solución de problemas desde la etapa inicial. Sin embargo, cualquier análisis prospectivo muy estudiado no habría incorporado los elementos que sucedieron durante la ejecución del proyecto.

En el tema del riesgo del retraso o disminución del recurso financiero, se puede percibir como usual que los tiempos de la gestión financiera no coincidan con la ejecución técnica, por lo que un desfase en alguna ministración puede considerarse usual. En el caso del proyecto, existió el riesgo de no ejercer el recurso que se otorgó debido al retraso de la ejecución de las actividades por el periodo de confinamiento de la pandemia de COVID-19, pero fue la flexibilidad que otorgó el entonces CONAHCYT lo que permitió ejercer más eficientemente los fondos dentro de la prórroga otorgada.

En cuestiones de inseguridad, existieron estas situaciones que pudieron impedir el desarrollo en la ejecución del proyecto. Era natural que se considerara este factor dentro de los riesgos más relevantes. Durante el periodo de ejecución del proyecto persistieron distintos eventos asociados a enfrentamientos armados, bloqueos carreteros, extorsiones, interrupciones del transporte y situaciones de inseguridad

que afectaron diversas zonas de trabajo, particularmente en el estado de Guerrero. Estos escenarios impactaron tanto la movilidad como las actividades de campo, particularmente en momentos de alta tensión social y durante procesos electorales. Este factor fue una de las principales preocupaciones dentro de la responsabilidad del proyecto: muchos investigadores se desplazaban a distintas zonas de los estados de Guerrero y de Chiapas en sus vehículos o en transporte público a realizar entrevistas, trabajo de campo, investigaciones que se cancelaron y tuvieron que esperar a un momento más oportuno ante los eventos violentos presentados. La seguridad de las personas de las comunidades permanecía en alerta constante ante el riesgo elevado de encontrarse dentro de un evento de violencia en curso. Los estudiantes recolectaban muestras en el campo, con el riesgo biológico de COVID-19 y la incertidumbre sobre la seguridad. Sin embargo, la confianza, cercanía y adherencia a los objetivos motivaron a los participantes, investigadores, organizaciones y asociaciones a encontrar los modos de seguir participando en los eventos del proyecto, así como en los otros proyectos que surgieron y se albergaron en él. Igualmente, las distintas modalidades de interacción dieron adaptabilidad a los programas y cronogramas establecidos, y la motivación de los participantes no decayó.

Al inicio de la propuesta se planteó el riesgo de la falta de colaboración por parte de los productores integrantes de las cadenas de valor que impediría llevar a cabo el desarrollo óptimo del proyecto. En distintas zonas del Pacífico Sur es frecuente encontrar contextos donde la cultura de cooperación aún presenta limitaciones; este fenómeno puede verse influido tanto por dinámicas históricas regionales como por posturas institucionales o actores con peso político local que, en ocasiones, dificultan la construcción de acuerdos a largo plazo. Sin embargo, durante el desarrollo del proyecto también se identificaron comunidades y grupos con gran disposición para generar nuevas formas de colaboración. A lo largo de los seis ejes y en las distintas cadenas productivas se conformaron grupos de trabajo adaptativos que lograron mantener el avance de las actividades comprometidas, pese a contingencias ya comentadas, como la pandemia de COVID-19, el huracán Otis y el tema de la violencia regional. Pese a que el Pacífico Sur mostraba capacidades heterogéneas para la cooperación y el trabajo colectivo, tanto los grupos formales como los emergentes desarrollaron procesos significativos de apropiación del conocimiento, promovidos por las metodologías implementadas en el proyecto. Otro factor relevante fue la diversidad metodológica presente en los distintos ejes de trabajo, incluyendo aquellos orientados a la creación de plataformas tecnológicas y mecanismos de articulación, que facilitaron la integración del ámbito científico y tecnológico. Pese a que la falta de colaboración fue considerada como un riesgo dentro de la propuesta, quedó demostrado que el proyecto FORDECYT

No. 292474 promovió la cooperación entre actores tradicionales, al mismo tiempo generó espacios para la emergencia de nuevas formas de colaboración y el fomento de comunidades de práctica (Wenger et al. 2002).

El riesgo en el tema climático resultaba particularmente pertinente desde la formulación inicial de la propuesta. Entre 2018 y 2024, Guerrero, Oaxaca y Chiapas enfrentaron fenómenos hidrometeorológicos cada vez más intensos, asociados al incremento en la severidad de los huracanes en el Pacífico mexicano. Los huracanes Ágatha, Otis y John afectaron directamente zonas de trabajo del proyecto, provocando interrupciones en actividades de campo, daños a infraestructura, pérdida de comunicación terrestre y eléctrica, así como afectaciones sociales profundas en las comunidades participantes. El caso de Otis representó uno de los momentos más críticos para la operación del proyecto, particularmente por el impacto devastador sobre Acapulco y su infraestructura científica y logística. Sin embargo, la experiencia adquirida permitió fortalecer capacidades de respuesta y coordinación ante eventos posteriores, generando protocolos más adaptados para la protección de investigadores, equipos e instalaciones. Más allá de las afectaciones inmediatas, estos eventos evidenciaron la importancia de la cooperación interinstitucional, la comunicación constante entre grupos de trabajo y la necesidad de desarrollar mecanismos organizacionales flexibles frente a escenarios de alta incertidumbre.

En el tema del respaldo de las diferentes instancias gubernamentales para tener acceso a información clave para el proyecto, resultaba fundamental la colaboración de estas instituciones de Guerrero, Oaxaca y Chiapas para facilitar información estratégica, habilitar espacios de trabajo y favorecer la articulación con actores locales. Pese a que eventualmente surgieron intereses y tensiones locales vinculados a las dinámicas institucionales de cada región, en términos generales las instancias gubernamentales mostraron disposición, apertura y cercanía para establecer acuerdos, compartir información y construir agendas de trabajo conjuntas. Si bien existieron periodos en que esta interacción se vio limitada por contingencias como la pandemia de COVID-19, fenómenos meteorológicos o situaciones de inseguridad, dichos escenarios también propiciaron nuevas formas de coordinación y aprendizaje mutuo. La cooperación interinstitucional se convirtió así en una fuente relevante de información tanto para la continuidad operativa del proyecto como para el fortalecimiento de los vínculos entre las instituciones participantes y los distintos niveles de gobierno.

Los actores y su interacción

Un entramado metodológico, así como la búsqueda de herramientas de aprendizaje y cooperación para convertir el conocimiento tácito en conocimiento explícito (No-

naka & Takeuchi, 1995) fueron diseñados, utilizados, sintetizados y transformados en nuevo aprendizaje dentro de CIATEJ. Diversas disciplinas del ámbito social ya formaban parte de los objetivos de los proyectos del Centro desde al menos dos décadas. Metodologías cualitativas orientadas a la incubación de redes y al impulso de la cooperación entre actores directamente involucrados en las problemáticas regionales ya eran declaradas desde la construcción de algunas propuestas. Sin embargo, fue en el devenir del proyecto cuando la explicitación de este conocimiento, previamente tácito, se hizo más visible frente a las nuevas perspectivas institucionales del entonces CONAHCYT. La transición en el lenguaje institucional permitió a investigadores de CIATEJ y a los diversos participantes del proyecto hacer explícitas prácticas que subyacían en su quehacer científico. A lo largo de la ejecución del proyecto se articularon distintas formas de trabajo y marcos metodológicos que dieron lugar a resultados relevantes en términos de colaboración, generación de conocimiento y producción científica. Se construyeron nuevas formas de acción colectiva: vínculos, acuerdos y procesos no lineales, como las redes.

Otro factor significativo que demostró en tiempo real la capacidad de adaptación y resiliencia del proyecto fue la pandemia de COVID-19. A partir de esta contingencia surgieron nuevas formas de comunicación y de trabajo conjunto; la cooperación encontró nuevos caminos dentro de las interacciones mediadas por pantalla. En el retorno gradual y regulado de 2021, los investigadores y participantes del proyecto ya dominaban diversas plataformas de comunicación y retomaron actividades de campo dentro de sus agendas de investigación. El desfase de tres a seis años en el proyecto se debió, en parte, a este fenómeno tan complejo; sin embargo, también dejó una estela de aprendizaje que aún se percibe como un capital entre quienes tuvieron la oportunidad de participar en él. Desde el principio de variedad requerida de Ashby (1964), la comunidad del proyecto reconoció la necesidad de desarrollar mayores capacidades de comprensión, adaptación y respuesta frente a condiciones cambiantes y altamente inciertas.

Pese a circunstancias de impacto severo como la pandemia, el cumplimiento de los compromisos originales del proyecto no se vio sustancialmente mermado. Como parte de sus resultados, se produjeron 82 tesis, desde el nivel de licenciatura hasta el doctorado. De acuerdo con los datos presentados en el informe técnico del proyecto sobre estudiantes titulados, durante el periodo de pandemia (marzo de 2020 a diciembre de 2021) se concluyeron 53 tesis. Asimismo, durante el confinamiento estricto, CIATEJ destacó por una intensa actividad científica enfocada en el cultivo del frijol. Otro ejemplo fue el proyecto relacionado con tilapia, coordinado por CIAD, en el que también se logró una importante producción de tesis.

Siguiendo el planteamiento de Ashby, la adaptación y la resiliencia fueron factores fundamentales para alcanzar este tipo de logros. El adecuado manejo de la interacción a distancia y la descentralización jugaron un papel favorable en el cumplimiento de las metas en todos los ejes del proyecto. Existió una amplia capacidad de ajuste frente a condiciones cambiantes, sin perder de vista los objetivos iniciales.

La adaptabilidad también pudo observarse en las solicitudes de prórroga del proyecto, donde se percibe la confianza del entonces CONAHCYT, así como su capacidad para observar el sistema y la libertad otorgada a la responsabilidad técnica y financiera de CIATEJ en la ejecución de un proyecto tan diverso, correlacionado y amplio como el FORDECYT No. 292474. A lo largo de su desarrollo, el proyecto transitó por distintas orientaciones metodológicas, incluyendo propuestas de enfoques de investigación coordinadas directamente desde el entonces CONAH-CYT. Estas variaciones coexistieron con una dinámica de trabajo cooperativo que permitió la articulación, el ajuste y la construcción de acuerdos entre los distintos actores, haciendo posible la continuidad del proyecto y la obtención de resultados relevantes en distintos planos.

Los resultados alcanzados correspondieron, en gran medida, a los planteados originalmente, no como producto de una sola metodología en particular, sino de la coexistencia de prácticas, disciplinas, interacciones y ajustes de carácter transversal. Fue la convergencia de múltiples perspectivas la que permitió interpretar la complejidad del territorio del Pacífico Sur, al tiempo que abrió la posibilidad de interiorizar y hacer más explícita la capacidad de CIATEJ para articular la investigación científica con múltiples disciplinas y diversos actores.

Conclusiones

Apenas se han mostrado aquí algunas de las experiencias y aprendizajes que se obtuvieron a través de las experiencias metodológicas, científicas, políticas y de cambios estructurales que se vivieron a través de seis años del proyecto FORDECYT No. 292474. Destaca la producción científica, que fue vasta y el principal espíritu para impulsar la región del Pacífico Sur. Sin embargo, siempre es entre líneas donde se robustecen las ideas, los marcos conceptuales y las disciplinas, y se fortalece el factor humano en la ciencia. Fue necesario ser flexible para adaptarse a las condiciones que estableció la pandemia de COVID-19 o los eventos hidrometeorológicos. Fue necesario moldear o cambiar nuestros mapas mentales para poder atender en tiempo real las condiciones tan imperantes que se presentaron.

El aprendizaje organizacional se vio reflejado en dos lazos. El primero en ajustar procedimientos, estrategias, herramientas y modos operativos, modificar dinámicas

operativas por eventos sociales o naturales. Corrección adaptativa sin abandonar los objetivos centrales del proyecto. Un segundo lazo, más complejo, donde no solo se corrigen las acciones, sino que también se cuestionan y reorganizan los supuestos, las normas y los marcos interpretativos, e incluso la forma en que se comprendía la problemática del proyecto FORDECYT No. 292474. El encuentro con condiciones que volvieron insuficientes algunas formas previas de operación abrió espacios de reconfiguración, adaptación y resiliencia organizacional. En este nivel, la transición institucional entre CONACYT y CONAHCYT representó no solo un cambio administrativo o discursivo, sino también una transformación en los marcos desde los cuales se concebían la ciencia, el desarrollo regional y la relación entre el conocimiento científico, la incidencia territorial y el bienestar social.

A lo largo de su ejecución, el proyecto se convirtió en un espacio donde la capacidad de adaptación institucional, científica y humana pudo hacerse visible frente a escenarios altamente cambiantes. La experiencia acumulada durante el proyecto permitió no solo sostener los compromisos establecidos originalmente, sino también hacer más explícitas capacidades organizacionales que ya existían dentro de los grupos participantes: articulación interdisciplinaria, cooperación, aprendizaje colectivo y reorganización frente a la incertidumbre.

Conflicto de intereses

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

Financiamiento

El proyecto FORDECYT No. 292474, titulado “Estrategias multidisciplinarias para incrementar el valor agregado de las cadenas productivas del café, frijol, mango, agave mezcalero y productos acuícolas (tilapia) en la región Pacífico Sur”, fue una iniciativa financiada por el entonces CONACYT a través del programa FORDECYT (Fondo Institucional de Fomento Regional para el Desarrollo Científico, Tecnológico y de Innovación) en la que participaron cuatro Centros Públicos de Investigación.

Agradecimientos

La magnitud del proyecto Fordecyt 202474 dio la oportunidad de que participáramos con una gran red de personas, investigadores e investigadoras, instituciones, organizaciones y público en general a los cuales agradecemos todas sus aportaciones. El CIATEJ agradece al CIAD, al CICY y al CentroGeo el liderazgo y conocimiento aportados al proyecto, y a todas y todos los que dieron su valiosa aportación en

el conocimiento y las experiencias que pudieron generarse a lo largo de seis años de ejecución. Este tipo de experiencias persisten gracias a la confianza, cercanía y apoyo con el que todos contribuimos.

Referencias

- Abad-Rosales, S. M., Lozano-Olvera, R., Marrujo-López, F. I., Aguilar-Rendón, K. G., Medina-Guerrero, R. M., Morales-Serna, F. N., Fajer-Ávila, E. J., Soto-Rodríguez, S., & Chávez-Sánchez, M. C. (2024). Diagnóstico sanitario de tilapia cultivada en granjas rurales de Guerrero, Oaxaca y Chiapas. En A. C. Gschaedler Mathis, J. Pardo Núñez, I. C. Taddei Bringas, M. A. Saldívar Chávez, A.E. Mohar Ponce (Eds.), *Semillas de Cambio en la Región Pacífico Sur: Ciencia, Tecnología y Sociedad para el desarrollo local en las cadenas productivas principales en Guerrero, Oaxaca y Chiapas* (pp. 491-512). CIATEJ.
- Agencia Informativa Conacyt. (2017, septiembre 15). *Centros Conacyt integran Consorcio ADESUR*. CienciaMX. <https://www.cienciamx.com/index.php/centros-de-investigacion/centros-publicos-de-investigacion/15634-centros-conacyt-integran-consorcio-adesur>. Fecha de consulta: 9 de julio de 2026.
- Alcázar Valle, M., Fonseca Hernández, D., Contreras, J., Mojica Contreras, L., & Lugo Cervantes, E. (2024). Potencial nutracéutico y cosmeceútico del frijol criollo en la región Pacífico Sur de México. En A. C. Gschaedler Mathis, J. Pardo Núñez, I. C. Taddei Bringas, M. A. Saldívar Chávez, A. E. Mohar Ponce (Eds.), *Semillas de Cambio en la Región Pacífico Sur: Ciencia, Tecnología y Sociedad para el desarrollo local en las cadenas productivas principales en Guerrero, Oaxaca y Chiapas* (pp. 415-440). CIATEJ.
- Anzaldo Gómez, C. (2024). Delimitación y caracterización socioeconómica de territorios funcionales. En A. C. Gschaedler Mathis, J. Pardo Núñez, I. C. Taddei Bringas, M. A. Saldívar Chávez, A. E. Mohar Ponce (Eds.), *Semillas de Cambio en la Región Pacífico Sur: Ciencia, Tecnología y Sociedad para el desarrollo local en las cadenas productivas principales en Guerrero, Oaxaca y Chiapas* (pp. 15-55). CIATEJ.
- Argyris, C., Putnam, R., & McLain Smith, D. (1985). *Action science: Concepts, methods, and skills for research and intervention*. Jossey-Bass.
- Arriola Guevara, E., Barajas Baltazar, E., Urzúa Esteva, E., Ruiz Palomino Haro, P., Flores López, M. L., Corona González, R. I., Rodríguez González, E., & Guadalupe María Guatemala-Morales, G. M. (2024). Transformando cosechas: tostando café en lecho fuente para agricultores del suroeste. En A. C. Gschaedler Mathis, J. Pardo Núñez, I. C. Taddei Bringas, M. A. Saldívar Chávez, A. E. Mohar Ponce (Eds.), *Semillas de Cambio en la Región Pacífico Sur:*

- Ciencia, Tecnología y Sociedad para el desarrollo local en las cadenas productivas principales en Guerrero, Oaxaca y Chiapas* (pp. 337-360). CIATEJ.
- Ashby, W. R. (1964). *An introduction to cybernetics*. Methuen.
- Ayora Talavera, T., Villanueva Rodríguez, S. J., Guatemala Morales, G. M., Pacheco López, N. A., Cuevas Bernardino, J. C., Arriola Guevara, E., & Lugo Cervantes, E. (2024). El mango y sus subproductos: alternativas de aprovechamiento como posible fuente de compuestos bioactivos. En A. C. Gschaedler Mathis, J. Pardo Núñez, I. C. Taddei Bringas, M. A. Saldívar Chávez, A. E. Mohar Ponce (Eds.), *Semillas de Cambio en la Región Pacífico Sur: Ciencia, Tecnología y Sociedad para el desarrollo local en las cadenas productivas principales en Guerrero, Oaxaca y Chiapas* (pp. 465-490). CIATEJ.
- Cadena-Iñiguez, P., Ariza-Flores, R., Morales-Guerra, M., Rodríguez-Hernández, R., & Berdugo-Rejón, J. G. (2024). Rural development with agroecological emphasis for highly marginalized areas in Mexico: The bet for the paradigm change. *Brazilian Journal of Development*, 10(2). <https://doi.org/10.34117/bjdv10n2-01>
- Consejo Nacional de Población. (2011). *Índice de marginación por entidad federativa y municipio 2010*. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/53354/Indice_Marginacion_Municipal_2010.pdf
- Consejo Nacional de Población. (2021). *Índice de marginación por entidad federativa y municipio 2020*. https://www.gob.mx/conapo/documentos/indices-de-marginacion-2020-284372?utm_source=chatgpt.com
- García-Morales, S., Enríquez-Vara, J. N., Hernández-Soltero, M. F., Lugo Cervantes, E., & López-Gervacio, A. (2024). Diversidad del frijol criollo del Pacífico Sur: una aproximación agronómica, fitosanitaria y nutricional. En A. C. Gschaedler Mathis, J. Pardo Núñez, I. C. Taddei Bringas, M. A. Saldívar Chávez, A. E. Mohar Ponce (Eds.), *Semillas de Cambio en la Región Pacífico Sur: Ciencia, Tecnología y Sociedad para el desarrollo local en las cadenas productivas principales en Guerrero, Oaxaca y Chiapas* (pp. 383-407). CIATEJ.
- Gschaedler Mathis, A. C., Pardo Núñez, J., Taddei Bringas, I. C., Saldívar Chávez, M. A., & Mohar Ponce, A. E. (2024). *Semillas de Cambio en la Región Pacífico Sur: Ciencia, Tecnología y Sociedad para el desarrollo local en las cadenas productivas principales en Guerrero, Oaxaca y Chiapas*. Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco. <https://doi.org/10.5281/zenodo.13173230>
- Gschaedler, A. C. (2024). *Estrategias multidisciplinares para incrementar el valor agregado de las cadenas productivas del café, frijol, mango, agave mezcalero y productos acuícolas*

- (tilapia) en la región Pacífico Sur a través de la ciencia, la tecnología e innovación: Informe técnico final del proyecto FORDECYT No. 292474. Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco (CIATEJ).
- Guatemala-Morales, G. M., Lugo Cervantes, E., Padilla Camberos, E., Esquivel Solís, H., Arriola Guevara, E., Corona González, R. I., Granados Vallejo, M., Beltrán Medina, E. A., Mateos Díaz, J. C., & Castillo Herrera, G. A. (2024). Elaboración y validación de productos nutraceuticos a partir de café y sus subproductos. En A. C. Gschaedler Mathis, J. Pardo Núñez, I. C. Taddei Bringas, M. A. Saldívar Chávez, A. E. Mohar Ponce (Eds.), *Semillas de Cambio en la Región Pacífico Sur: Ciencia, Tecnología y Sociedad para el desarrollo local en las cadenas productivas principales en Guerrero, Oaxaca y Chiapas* (pp. 361-381). CIATEJ.
- Hernández, C., Sánchez Gutiérrez, E. Y., Lizárraga Velázquez, C. E., Flores Méndez, L. C., & Mesina Peña, A. (2024). Desarrollo de un alimento con insumos agrícolas y pesqueros de la región Pacífico Sur para aumentar la rentabilidad de los cultivos de tilapia. En A. C. Gschaedler Mathis, J. Pardo Núñez, I. C. Taddei Bringas, M. A. Saldívar Chávez, A. E. Mohar Ponce (Eds.), *Semillas de Cambio en la Región Pacífico Sur: Ciencia, Tecnología y Sociedad para el desarrollo local en las cadenas productivas principales en Guerrero, Oaxaca y Chiapas* (pp. 513-530). CIATEJ.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2023). *Censo Agropecuario 2022: Resultados definitivos*. <https://www.inegi.org.mx/programas/ca/2022/>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2024). *Encuesta Nacional de Ocupación y Empleo (ENOE), población de 15 años y más de edad*. <https://www.inegi.org.mx/programas/enoe/15ymas/>
- Lee-Cortés, J. V., & Delgadillo-Macías, J. (2018). Territorial Potential as Factor of Development: Rural Management Model. *Agricultura, sociedad y desarrollo*, 15(2), 191-213. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1870-54722018000200191&lng=es&tlng=en.
- Lugo Cervantes, E. del C., Gschaedler Mathis, A. C., Alcázar Valle, E. M., & García Morales, S. (Coords.). (2022). *Aprendiendo más sobre el frijol y su importancia en Xochistlahuaca, Guerrero*. Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco (CIATEJ).
- Martínez Cervantes, D., Mohar Ponce, A., Ramírez Jiménez, L., Lora Cabrera, Y., García-Alonso, D., & Murillo Gómez, E. Y. (2024). Identificación de territorios con vulnerabilidad. En A. C. Gschaedler Mathis, J. Pardo Núñez, I. C. Taddei Bringas, M. A. Saldívar Chávez, A. E. Mohar Ponce (Eds.), *Semillas de Cambio en la Región Pacífico Sur: Ciencia, Tecnología y Sociedad para el desarrollo local en las cadenas productivas principales en Guerrero, Oaxaca y Chiapas* (pp. 57-93). CIATEJ.

- Martínez Cordero, F. J., & Sánchez Zazueta, E. (2024). Incidencia social en micro y pequeños productores de tilapia en el Pacífico Sur: Manejo financiero en granja, socioeconomía y cambio climático. En A.C. Gschaedler Mathis, J. Pardo Núñez, I. C. Taddei Bringas, M. A. Saldívar Chávez, A.E. Mohar Ponce (Eds.), *Semillas de Cambio en la Región Pacífico Sur: Ciencia, Tecnología y Sociedad para el desarrollo local en las cadenas productivas principales en Guerrero, Oaxaca y Chiapas* (pp. 531-552). CIATEJ.
- Méndez-Hernández, H. A., Galaz-Ávalos, R. M., Quintana-Escobar, A. O., Pech-Hoil, R., Collí-Rodríguez, A. M., Salas-Peraza, I. Q., & Loyola-Vargas, V. M. (2024). Uso de biorreactores para el escalamiento en la producción de plántulas de *Coffea spp.* generadas mediante embriogénesis somática. En A.C. Gschaedler Mathis, J. Pardo Núñez, I. C. Taddei Bringas, M. A. Saldívar Chávez, A.E. Mohar Ponce (Eds.), *Semillas de Cambio en la Región Pacífico Sur: Ciencia, Tecnología y Sociedad para el desarrollo local en las cadenas productivas principales en Guerrero, Oaxaca y Chiapas* (pp. 269-298). CIATEJ.
- Muy Rangel, M. A., San Martín Hernández, C., Campos Saucedo, J. P., Quintana Obregón, E., Báez Sañudo, M. A., Pérez Rubio, V., Valenzuela Lagarda, J. L., Carrillo Facio, A., Basilio Heredia, J., Rubio Carrasco, W., Sánchez Valdez, E., & Conteras Martínez, R. (2024). Transformación e innovación tecnológica de procesos y productos a base de mango como alternativa comercial. En A.C. Gschaedler Mathis, J. Pardo Núñez, I. C. Taddei Bringas, M. A. Saldívar Chávez, A.E. Mohar Ponce (Eds.), *Semillas de Cambio en la Región Pacífico Sur: Ciencia, Tecnología y Sociedad para el desarrollo local en las cadenas productivas principales en Guerrero, Oaxaca y Chiapas* (pp. 435-464). CIATEJ.
- Nonaka, I., & Takeuchi, H. (1995). *The knowledge-creating company: How Japanese companies create the dynamics of innovation*. Oxford University Press.
- Ojeda, G., Monja Mio, K. M., Rescalvo Morales, A., Saldívar Chávez, M. A., & Sánchez Teyer, L. F. (2024). Establecimiento de un proceso de escalamiento de micropropagación de individuos élite de agaves mezcaleros. En A.C. Gschaedler Mathis, J. Pardo Núñez, I. C. Taddei Bringas, M. A. Saldívar Chávez, A.E. Mohar Ponce (Eds.), *Semillas de Cambio en la Región Pacífico Sur: Ciencia, Tecnología y Sociedad para el desarrollo local en las cadenas productivas principales en Guerrero, Oaxaca y Chiapas* (pp. 217-238). CIATEJ.
- Olvera-Vargas, L. A., Romero-Romero, Y., Sánchez-Gómez, J., Pardo Núñez, J. P., Sánchez Osorio, E., Rodríguez Peralta, C. M., & Aguilar Juárez, O. (2024). Inteligencia tecnológica para el desarrollo de las cadenas productivas de la región Pacífico Sur. En A.C. Gschaedler Mathis, J. Pardo Núñez, I. C. Taddei

- Bringas, M. A. Saldívar Chávez, A.E. Mohar Ponce (Eds.), *Semillas de Cambio en la Región Pacífico Sur: Ciencia, Tecnología y Sociedad para el desarrollo local en las cadenas productivas principales en Guerrero, Oaxaca y Chiapas* (pp. 577-594). CIATEJ.
- Page, M. J., McKenzie, J. E., Bossuyt, P. M., Boutron, I., Hoffmann, T. C., Mulrow, C. D., ... & Moher, D. (2021). El reporte PRISMA 2020: una guía actualizada para reportar revisiones sistemáticas. *Revista Española de Cardiología*, 74(9), 790-799. 10.1016/j.recesp.2021.06.016
- Qui-Zapata, J. A., Montero-Cortés, M. I., García-Morales, S., Espinosa-Andrews, H., Uc-Vázquez, A., Cano-Sosa, J., Enríquez-Vara, J. N., Ramos-Díaz, A. L., López-Velázquez, J. C., Leal-García, I., Cardoso-Magaña, A. J., & Falcón-Bautista, M. (2024). Estrategias biorracionales para el control de la roya del cafeto (*Hemileia vastatrix*). En A.C. Gschaedler Mathis, J. Pardo Núñez, I. C. Taddei Bringas, M. A. Saldívar Chávez, A.E. Mohar Ponce (Eds.), *Semillas de Cambio en la Región Pacífico Sur: Ciencia, Tecnología y Sociedad para el desarrollo local en las cadenas productivas principales en Guerrero, Oaxaca y Chiapas* (pp. 299-335). CIATEJ.
- Ramírez Romero, S., Figueroa Rodríguez, A. & Hernández Rosas, F. (2013). Relación entre la producción agrícola y marginación a nivel municipal para el Estado de Veracruz, México. *Revista Mexicana de Agronegocios*, Vol 33. <https://doi.org/10.22004/ag.econ.155129>
- Romero Romero, Y., Sánchez Gómez, J., & Olvera Vargas, L. A. (2024). Análisis de la pérdida de alimentos en la cadena de suministro. En C. Alvarado Osuna, E. Sánchez Osorio, M. L. Flores López, J. Sánchez Gómez, G. Valdivia Najar, & S. E. García Barrón (Coords.), *Aprendizajes en la ruta hacia el intercambio de saberes entre la comunidad y la academia en sistemas de producción de alimentos* (pp. 211–231). CIATEJ.
- Saldívar Chávez, M. A., Monja Mio, K. M., Ojeda, G., Rescalvo Morales, A., & Sánchez Teyer, L. F. (2024). El mezcal: voces, ciencia y bienestar. Una tradición milenaria fortalecida gracias a las comunidades de productores en el estado de Guerrero. En A.C. Gschaedler Mathis, J. Pardo Núñez, I. C. Taddei Bringas, M. A. Saldívar Chávez, A.E. Mohar Ponce (Eds.), *Semillas de Cambio en la Región Pacífico Sur: Ciencia, Tecnología y Sociedad para el desarrollo local en las cadenas productivas principales en Guerrero, Oaxaca y Chiapas* (pp. 597-622). CIATEJ.
- Sánchez Gómez, J., Olvera Vargas, L. A., Romero Romero, Y., Pardo Núñez, J., Sánchez Osorio, E., Rodríguez Peralta, C. M., & Aguilar Juárez, O. (2024). Panorama socioeconómico de las cadenas productivas de agave, mango, café y frijol en la región Pacífico Sur. En A.C. Gschaedler Mathis, J. Pardo Núñez, I. C. Taddei Bringas, M. A. Saldívar Chávez, A.E. Mohar Ponce (Eds.), *Semillas*

de Cambio en la Región Pacífico Sur: Ciencia, Tecnología y Sociedad para el desarrollo local en las cadenas productivas principales en Guerrero, Oaxaca y Chiapas (pp. 95-114). CIATEJ.

Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. (2024). *Annuario estadístico de la producción agrícola: Cierre de la producción agrícola*. Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. Recuperado el 20 de abril de 2026, de https://nube.agricultura.gob.mx/cierre_agricola/

Taddei Bringas, C., Preciado Rodríguez, M., & Robles Parra, J. (2024). Proyectos productivos factibles para la región Pacífico Sur de México. En A.C. Gschaedler Mathis, J. Pardo Núñez, I. C. Taddei Bringas, M. A. Saldívar Chávez, A.E. Mohar Ponce (Eds.), *Semillas de Cambio en la Región Pacífico Sur: Ciencia, Tecnología y Sociedad para el desarrollo local en las cadenas productivas principales en Guerrero, Oaxaca y Chiapas* (pp. 151-185). CIATEJ.

Trujillo Almeida, J., Murillo Gómez, E. Y., Mohar Ponce, A. E., Mejía Zuluaga, P. A., Paredes Camarillo, P., & Casillas Ximénez, C. (2024). Plataforma Geoweb Pacífico Sur. En A.C. Gschaedler Mathis, J. Pardo Núñez, I. C. Taddei Bringas, M. A. Saldívar Chávez, A.E. Mohar Ponce (Eds.), *Semillas de Cambio en la Región Pacífico Sur: Ciencia, Tecnología y Sociedad para el desarrollo local en las cadenas productivas principales en Guerrero, Oaxaca y Chiapas* (pp. 187-214). CIATEJ.

Wenger, E., McDermott, R., & Snyder, W. M. (2002). *Cultivating communities of practice: A guide to managing knowledge*. Harvard Business School Press.



**50 AÑOS DEL CIATEJ:
CIENCIA, TECNOLOGÍA Y SOCIEDAD**





Modelos educativos alternativos para la formación en agroecología y soberanía alimentaria: las Especialidades del CIATEJ

Alternative educational models in agroecology and food sovereignty: Specialization programs in CIATEJ

Alan Heinze¹, Georgina Alethia Sánchez Reyes^{1*}

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

* Autor de correspondencia: gsanchez@ciatej.mx

Palabras clave:

agroecología, educación a distancia, investigación acción participativa, transdisciplinariedad, posgrados

Keywords:

agroecology, distance education, participatory action research, transdisciplinarity, graduate programs

Resumen

Como parte de la política nacional hacia una ciencia abierta y de investigación científica y humanística en México a partir de 2018, el Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco (CIATEJ) se involucró en procesos de investigación colaborativa y de incidencia socioambiental para crear e impulsar programas de formación en agroecología y soberanía alimentaria bajo modelos educativos alternativos. Este artículo muestra dos programas emblemáticos: el Programa Interinstitucional de Especialidad en Soberanías Alimentarias y Gestión de Incidencia Local Estratégica (2021-2023) y su sucesor, la Especialidad Nacional en Bienestar Comunitario en Agroecologías y Soberanía Alimentaria (2024-2026). El objetivo es describir estas especialidades, resaltar algunas características innovadoras del modelo educativo y sus implicaciones operativas, y recuperar las experiencias de algunos de sus participantes. Las especialidades complementan y fortalecen la oferta de posgrados de CIATEJ. Fomentan la formación integral de las y los estudiantes, vinculando la academia y las comunidades, y estableciendo puentes con territorios rurales, urbanos y periurbanos.

Abstract

As part of Mexico's national policy toward open science and scientific and humanistic research since 2018, the Center for Research and Assistance in Technology and Design of the State of Jalisco (CIATEJ) engaged in collaborative research and socio-environmental advocacy processes to create and promote training programs in agroecology and food sovereignty using alternative educational models. This article describes two emblematic programs: the Interinstitutional Specialty Program in Food Sovereignities and Strategic Local Advocacy Management (2021-2023), and its successor, the National Specialty in Community Well-being in Agroecologies and Food Sovereignty (2024-2026). The aim is to present these specialty programs, highlight some innovative features of the educational model and its operational implications, and revisit the experiences of some of its participants. These specialties complement and strengthen the graduate programs offered at CIATEJ. They foster the integral education of students, linking academia and communities, and building bridges with rural, urban, and peri-urban territories.

Recibido: 09 de mayo 2026
Revisado: 27 de junio 2026
Aceptado: 01 de julio 2026
Publicado: 01 de agosto 2026



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

Como parte de la política y agenda nacional que a partir de 2018 se orientó hacia una ciencia abierta y enfocada en la incidencia social, el entonces Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología de México (Conacyt) promovió una investigación humanística y científica para afrontar problemáticas y desafíos de seguridad y soberanía alimentaria, particularmente en priorizar la producción agrícola local y las dietas tradicionales mexicanas, y garantizar a toda la población el acceso a suficientes alimentos sanos y sustentables (Conacyt, 2023). En aquel tiempo, México experimentaba una etapa de escalamiento agroecológico (de 2018 a 2023), precedida por una fase de expansión y multiplicación de experiencias agroecológicas en diversos ámbitos, que culminó en el decreto presidencial, a finales de 2020, para la sustitución y eliminación del herbicida glifosato. El decreto dio pie a varias iniciativas y acciones para proponer alternativas no solo al uso de agrotóxicos, sino también para promover transiciones agroecológicas y su escalamiento en los diversos territorios mexicanos (Toledo & Argueta, 2024). Aquí se recuperan dos iniciativas de formación y educación en agroecología del Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco (CIATEJ) derivadas de este impulso y contexto de cambios en la ciencia humanística de México.

Para CIATEJ, el punto de partida fue el Primer Simposio de Soberanía Alimentaria en la primavera de 2019, realizado en las instalaciones del Centro de Estudios e Investigación en Biocultura, Agroecología, Ambiente y Salud (CEIBAAS) Guerrero en Acapulco—en aquel entonces ADESUR—, y su segunda edición en otoño de 2020; ambos simposios se realizaron con el objetivo de reconocer y articular los proyectos de investigación e incidencia de la Región Pacífico Sur de México. En paralelo, se realizó el Primer Diplomado en Biotecnologías y Agroecologías del Bien Común (julio de 2019 a marzo de 2020), posteriormente renombrado como Diplomado en Agroecologías del Bien Común (el segundo, de septiembre de 2020 a marzo de 2021), y que hasta la fecha se encuentra ya en su sexta edición. Cabe destacar la participación clave de investigadores del CIATEJ en estos procesos, así como el fuerte apoyo al CEIBAAS Guerrero y la coordinación de estas acciones por parte de la Dirección Regional Centro del Conahcyt.

Fue en el seno de estos y otros procesos de investigación colaborativa y de incidencia socioambiental que se buscó crear e impulsar programas de formación en agroecología y soberanía alimentaria bajo modelos educativos alternativos, mismos que fueron acogidos y ofrecidos como posgrados en CIATEJ y en coordinación con otros centros públicos de investigación: el Programa Interinstitucional de Especialidad en Soberanías Alimentarias y Gestión de Incidencia Local Estratégica

(PIES AGILES) de 2021 a 2023, y su sucesor la Especialidad Nacional en Bienestar Comunitario en Agroecologías y Soberanía Alimentaria (ENBC-ASA), de 2024 a la fecha. El objetivo de ambas especialidades ha sido fortalecer las capacidades de las y los actores comunitarios con la finalidad de impulsar y construir participativamente sus propios modelos de bienestar comunitario, mediante la implementación de una formación educativa integral en conocimientos especializados que coincidan con las problemáticas de sus territorios y con sus formas de vida (PIES AGILES, 2021). Si bien estos programas compartieron la misma esencia en su modelo educativo y en el proceso de codiseño por un equipo interdisciplinario, existieron ciertas diferencias dadas por el contexto institucional y la reconfiguración del programa en su estructura, participación y evaluación, especialmente por parte de los mismos estudiantes (Tabla 1).

Tabla 1. Perfil de las Especialidades en Agroecología y Soberanía Alimentaria

Especialidad	PIES AGILES	ENBC-ASA
Periodo	2021-2023	2024-2026
Modalidad	5 trimestres (15 meses) + Prácticas Interinstitucionales de Inmersión Territorial - (9 meses)	4 semestres (24 meses)
Egresados	274 191 de las Prácticas	163 (por graduarse)
Perfil de estudiantes	54% mujeres, 46% hombres <1% otra identidad Sin datos adicionales	64% mujeres, 26% hombres, <1% otra identidad 38% perteneciente a grupo originario o étnico 24% hablante de lengua originaria
Organización regional de estudiantes	12 nodos regionales cubriendo 17 estados y CDMX	11 nodos regionales cubriendo 18 estados y CDMX
Cuerpo académico	Más de una docena de investigadores/as-docentes en múltiples roles: Coordinadores de nodos ('Tejedoras/es'), facilitadores de curso, y tutores (directores) de la investigación-acción y Plan de Acción / Trabajo final En las Prácticas se integran cientos de asesoras/es: 2-3 para cada Plan de Acción (2.ª vers.) En la coordinación y operación: Investigadoras/es de CIATEJ (también admin. y escolar), CIESAS, COLMICH, ECOSUR y Conahcyt; también se integran otros investigadores y profesionales (externos) en educación, comunicación y gestión de proyectos	Más de una docena de investigadores/as-docentes como coordinadores y múltiples roles, adicionalmente > 90 facilitadores de curso y tutores (directores) de la investigación-acción y Plan de Acción / Trabajo final En la coordinación y operación: Investigadoras/es de CIATEJ (también admin. y escolar), CIESAS, COLMICH, ECOSUR, INECOL, UIEPA y Secihti; se integran menos profesionales (externos) de otras áreas.

Fuente: elaboración propia a partir de registros administrativos y operativos de las Especialidades

Este artículo pretende describir las especialidades en agroecologías y soberanía alimentaria del CIATEJ (en adelante Especialidades ASA), resaltar las características innovadoras de su modelo educativo alternativo y sus implicaciones operativas, así como recuperar las voces y experiencias de algunas y algunos de sus participantes.

Métodos

En coherencia con el enfoque de investigación participativa que orientan las Especialidades ASA, para este artículo se realizó una sistematización de experiencias (Jara H., 2018) como proceso metodológico en el que los docentes/promotores de los programas educativos (ambos autores de este artículo) reflexionaron sobre su ejecución. Se realizó una reconstrucción ordenada de la práctica, provocando una mirada crítica de la experiencia formativa. El propósito de la sistematización fue comprender y así poder fortalecer los programas educativos, cuyo campo se delimita a la primera y única generación PIES AGILES (2021-2023) y la primera generación de la ENBC-ASA (2024-2026). Los aspectos centrales de esta experiencia se enfocaron en el modelo educativo y sus implicaciones operativas.

Las fuentes de información utilizadas para esta sistematización incluyeron: registros administrativos y operativos de las Especialidades ASA con los perfiles de personas e instituciones participantes; documentos curriculares, como la Síntesis del Diseño Curricular PIES ÁGILES (2021), así como las Guías de Estudio de los cursos en la plataforma virtual didáctica (<https://enbc.secihti.mx/agroecologia/>); instrumentos de evaluación, como el Reporte Estudiantil del curso Metodología de Investigación-Acción Participativa III y la Encuesta Estudiantil de Cierre ENBC-ASA 2026; y, finalmente, varios testimonios (comunicación personal) de participantes en los programas.

La mayoría de los testimonios se obtuvieron de entrevistas a participantes de las Especialidades ASA. Se realizó un muestreo intencional seleccionando deliberadamente a participantes según su experiencia en los distintos roles/funciones, incluyendo perfiles administrativos, técnicos y académicos-docentes. Para este último, se dio prioridad a facilitadores y tutores de los nodos regionales Jalisco-Nayarit y CDMX-Morelos que colaboraron con los autores.¹ La entrevista consistió en dos preguntas: ¿Qué significó para ti participar en las especialidades? ¿Cuáles fueron los mayores retos a los que te enfrentaste desde tu espacio de trabajo (administrativo, académico, etc.)? Los testimonios de dos estudiantes (con su consentimiento) provienen de su intervención en un panel del 3.er Foro Mexicano de Juventudes por la Agroecología, de la Universidad Autónoma Chapingo, Texcoco, México, en abril de 2026.

¹ Ambos autores de este artículo participaron como coordinadores regionales e integrantes del núcleo académico que diseñó, planeó y ejecutó las Especialidades ASA.

Modelo educativo alternativo

Las Especialidades ASA compartieron algunas características en su modelo educativo y su pedagogía que las distinguieron de otros programas de ciencia a nivel de posgrado. Aquí describimos brevemente tres rasgos distintivos: 1) su metodología basada en la investigación-acción participativa, 2) el aprendizaje situado y 3) la modalidad de educación a distancia y de aprendizaje mixto.

Investigación-Acción Participativa

La Investigación-Acción Participativa (IAP) es una corriente, metodología y forma de hacer investigación que se distingue por su compromiso con el cambio social y la participación de las personas que buscan mejorar sus condiciones de vida, así como las de su comunidad y su entorno. Se fundamenta en la investigación para estudiar y comprender algún aspecto de la realidad que se desea transformar, la participación e inclusión de personas como coinvestigadoras y sujetos colectivos que agencian su propio cambio, y la acción para llevar a la práctica actividades colectivas y su evaluación (Zapata & Rondán, 2016). La IAP, con un fuerte arraigo y tradición en América Latina, integra un enfoque de la educación emancipadora del pedagogo brasileño Paulo Freire, al reconocer al humano como un ser capaz de reflexionar críticamente sobre la realidad y de intervenir en ella para cambiarla (Freire, 2005a, 2005b); se trata de una investigación que combina procesos de análisis y reflexión colectivos con acciones concretas para la transformación hacia un futuro más justo, sano, pacífico y sostenible (Vilsmaier et al., 2024).

Cada proceso de investigación-acción en las Especialidades ASA fue conducido y llevado a cabo por un estudiante en una comunidad rural, periurbana o urbana, siguiendo el curso central de IAP a modo de seminario y con el acompañamiento de tutores tanto en lo académico como en el proceso participativo, comunitario y territorial. La IAP se organizó en cuatro fases secuenciales que, en el caso de la ENBC-ASA, correspondieron a los cuatro semestres del programa; también se consideran cuatro momentos de un ciclo que, a modo de espiral, se repiten e incluso se proyectan a continuar tras la finalización de los programas: i. Fundamentos, herramientas y caminos; ii. Diagnóstico, planes y estrategias; iii. Implementación, articulación y retroalimentación colectiva; iv. Evaluación participativa y devolución de aprendizajes (Albalat-Botana & Heinze, 2026).

La IAP se estableció como el curso rector y eje metodológico de las Especialidades ASA, pero, a su vez, dialogó y se entrelazó—a modo de un tejido curricular—con los demás cursos del programa: Agroecología; Biocultura, Territorio y Bienes Comunes; Agroecología Política; Rediseño de Agroecosistemas y Prácticas

de Innovación y Comunicación comunitaria. La interdisciplinariedad del currículo escolar y su proceso dialéctico fueron clave para el diseño, la planeación y la ejecución de las especialidades. Para Romeu Streck et al. (2024), la interdisciplinariedad desde Freire se entiende como un proceso de construcción del conocimiento por los diferentes sujetos (estudiantes), basados en sus relaciones con el contexto existencial, la realidad y su cultura, donde tienen lugar la problematización de la situación que devela la realidad y la sistematización de los conocimientos en forma integrada.

Para tener una idea de cómo se experimentó la IAP como una metodología alternativa de investigación en el CIATEJ, se presenta la perspectiva de una investigadora involucrada desde un inicio en los primeros simposios de soberanía alimentaria del CEIBAAS.

Significó un reto tanto para mí como para el CIATEJ. Yo soy biotecnóloga. Por mi perfil, la especialidad no corresponde a mi área de especialización, pero desde que tomé el Diplomado en Agroecologías del Bien Común durante la pandemia y mi primer acercamiento a la metodología de la investigación-acción participativa, me pareció una estrategia muy interesante que rompe muchos de los paradigmas de los investigadores “clásicos” como yo. Por mi experiencia previa de trabajar mucho con productores en diversos territorios de México, me pareció importante involucrarme en la especialidad y convencer a los directivos de aceptar la propuesta de que CIATEJ fuera el responsable del programa, a pesar de que la agroecología no es una línea de investigación del Centro. (Anne C. Gschaedler, Responsable Técnica de las Especialidades ASA, comunicación personal, 20 de abril de 2026)

Aprendizaje situado

Si bien la interdisciplinariedad se refiere, por lo general, a la integración de diferentes disciplinas, las prácticas de investigación transdisciplinaria atraviesan el orden disciplinar, buscando articular los conocimientos concretos y situados sobre casos o situaciones específicas con el conocimiento científico y el conocimiento ecológico local, reconociendo diferentes formas de generar conocimiento—y con ello ampliar el concepto de investigación—para entrelazar objetivos epistémicos y transformativos (Vilsmaier et al., 2024).

Proceso educativo situado

El programa se basó en un proceso educativo situado y contextualizado, lo que implicó concebir y diseñar un modelo de aprendizaje que facilitara el diálogo desde y con el territorio. Esto es una metodología activa que promovió la interacción del estudiante, su medio y contexto. Para llevarlo a cabo, se desarrolló una propuesta de carácter constructivista e inspirada en el aprendizaje basado en proyectos, siendo el

proyecto el conjunto de tareas y actividades articuladas entre sí en un plan de acción, un proyecto de aprendizaje y trabajo colaborativo para el bienestar comunitario, diseñado, planeado e implementado por cada estudiante (Sánchez Reyes et al., 2025).

La situacionalidad en la pedagogía de Freire enfatiza la experiencia subjetiva y vivida de las personas, la cual está integrada en la relación entre ellas y el mundo. Por lo tanto, se trata de ser consciente de la situación propia y la condición en que uno se encuentra, para descubrir su relación con el mundo y posibilitar la reflexión y la acción crítica (Vilsmäier et al., 2024). Es por ello por lo que fue importante que las y los estudiantes trabajaran en su territorio o cercano a él. En la formación de las especialidades se buscó que la persona estudiante aprendiera sobre su situación concreta y existencial, así como sobre su localidad y contexto, particularmente en torno a la agricultura, la diversidad biocultural y la soberanía alimentaria, y con ello pronunciarse y situarse en su territorio.

Aprendizaje colectivo

Durante el programa, las y los estudiantes conformaron, se integraron o fortalecieron una comunidad de aprendizaje (COA) que, bajo una perspectiva de educación e investigación transdisciplinarias (Merçon, 2021), puede entenderse como una agrupación de praxis colaborativa que construye relaciones solidarias y de aprendizaje colectivo por medio de la co-creación de conocimientos, para problematizar su situación y comprender la realidad de manera compleja y actuar en conjunto para transformarla. El propósito de las COA fue acompañar y participar en el proceso IAP que impulsaron las personas estudiantes en sus comunidades, con el objetivo general de impulsar transiciones agroecológicas, fortalecer la soberanía alimentaria y promover transformaciones de los sistemas agroalimentarios locales y regionales. En paralelo, el principal campo de interés de las y los integrantes de una COA, incluyendo al estudiante, fue fundamentalmente el aprendizaje colectivo y situado.

La importancia del aprendizaje colectivo y de la incidencia social en las comunidades cobra sentido cuando se considera el total de integrantes de las COA que, de manera directa o indirecta, participaron en los procesos de IAP y de formación de los programas: más de 3200 personas en el caso de la ENBC-ASA (según reporte estudiantil del curso Metodología de Investigación-Acción Participativa III, 3.^{er} semestre). Las COA reunieron a una diversidad de personas de distintos perfiles (Figura 1), comprometidas con el cambio social e interesadas en aprender y colaborar juntas. En varias COA participan niños y jóvenes, en gran parte porque varias de estas comunidades de aprendizaje se establecieron o incidieron en escuelas, bachilleratos e institutos técnicos de la localidad. Con la dirección, guía y/o acompañamiento

de los estudiantes, las COA organizaron toda clase de actividades: tareas y trabajos colectivos, encuentros e intercambios intergeneracionales, ferias y festivales comunitarios, así como cursos y talleres para formarse y compartir sus conocimientos y experiencias.² Las COA son fundamentales, ya que pueden abrir y facilitar el diálogo intercultural en programas agroecológicos; también se consideran una estrategia educativa que permite posibilitar el encuentro con sujetos territoriales, construir puentes con sabedores y portadores de otros sistemas de conocimiento y generar espacios de pluralismo epistemológico (Domené-Painenao, 2026).

Perfil de las Comunidades de aprendizaje (COA)

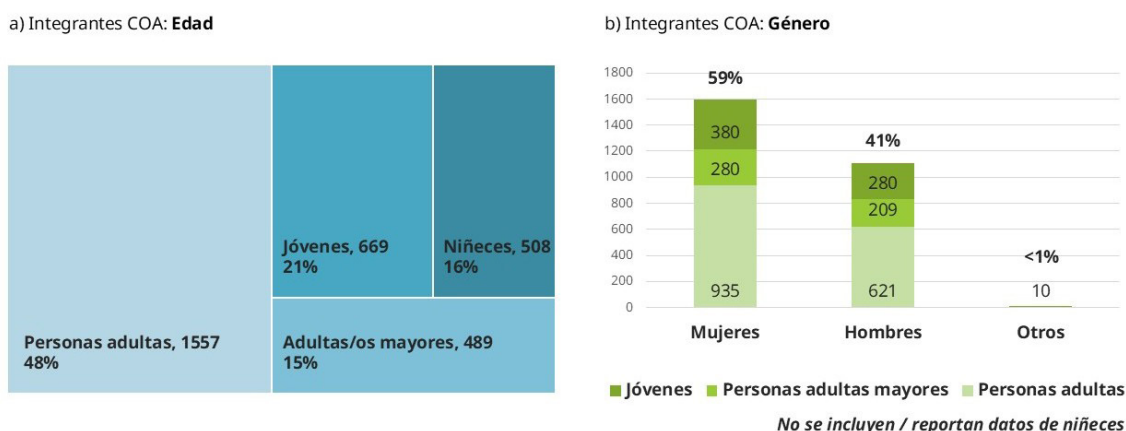


Figura 1. Perfil de los integrantes de las COA en la ENBC-ASA, un total de 3232 participantes distribuidos en 167 COA
Fuente: elaboración propia a partir del reporte estudiantil del curso Metodología de Investigación-Acción Participativa III (3.er semestre, julio de 2025)

Diálogo de saberes

Ante la necesidad de emprender luchas y estrategias conjuntas para revertir el deterioro del medio ambiente y la ruptura del tejido social—de cuidar la diversidad de la vida y de las culturas—emerge la noción de diálogo de saberes como: “un campo de trabajo, de reflexión y de acción que contribuya a encauzar las alianzas entre actores diversos para emprender proyectos orientados al bien común” (Pérez Ruiz & Argueta Villamar, 2025, p. 97). Esta propuesta ético-política busca involucrar a

² Algunos ejemplos se comparten en las siguientes notas informativas: ‘Hongos entomopatógenos, pequeños aliados del campo’ (<https://ciatej.mx/el-ciatej/comunicacion/Noticias/Hongos-entomopatogenos-pequenos-aliados-del-campo/465>); ‘Quinto Encuentro de Experiencias Territoriales de la ENBC-ASA Nodo Oaxaca’ (<https://ciatej.mx/el-ciatej/comunicacion/Noticias/Quinto-Encuentro-de-Experiencias-Territoriales-de-la-ENBC-ASA-Nodo-Oaxaca/491>); ‘Celebran la Primera Feria de Semillas en Espita, Yucatán’ (<https://www.ecosur.mx/celebran-la-primera-feria-de-semillas-en-espita-yucatan/>).

diversos actores sociales con intereses comunes, establecer formas respetuosas de colaboración y crear plataformas de intercambio recíproco y horizontal. El diálogo de saberes llama a una apertura a la pluralidad de saberes y formas de saber, a la diversidad de modos de comprender y de ser en el mundo, a la inclusión de otras dimensiones del vivir y a la consideración de las desigualdades y los retos inherentes al encuentro entre diferentes (Merçon et al., 2014).

Las Especialidades ASA tuvieron como base la diversidad de investigadores, docentes, estudiantes, comunidades de aprendizaje (Figura 1), actores locales y aliados territoriales para generar y facilitar espacios y plataformas de colaboración horizontal y de co-construcción de conocimientos, conscientes del desafío de alcanzar y sostener un genuino intercambio recíproco y de respeto epistémico y ontológico. La comunidad educativa puso en práctica el diálogo de saberes mediante la plataforma virtual didáctica (p. ej., foros de discusión y tareas conjuntas), encuentros territoriales, giras de intercambio de experiencias, el trabajo cooperativo de las y los estudiantes con sus COA, la participación en plataformas multiactor y la construcción de redes territoriales de colaboración para la implementación de los planes de acción. Tras dos generaciones y ciclos fomentando el diálogo de saberes en las especialidades, seguimos recordando las palabras de Paulo Freire (2010, p. 75): “Todos sabemos algo, todos ignoramos algo”. Por eso se aprende siempre (paráfrasis popular).

Uno de los aciertos del PIES AGILES fue haber incluido deliberadamente distintos perfiles de ingreso en su convocatoria, resultando en la elección de una mezcla de jóvenes recientemente graduados (49% de candidatos seleccionados), docentes de distintos planteles y niveles educativos (12%), promotores de agroecología (23%) y actores locales sin título académico/licenciatura, pero con una larga trayectoria y experiencia en territorio (16%) (Datos de registros administrativos PIES AGILES). La diversidad en la comunidad educativa propició intercambios interculturales y sustentó una pluralidad de miradas, perspectivas, identidades y posiciones que enriquecieron el programa y ofrecieron, en paralelo, diversas opciones de formación, no solo desde el ámbito de la educación formal. Por su parte, considerando la riqueza étnica y lingüística de México, el 38% de estudiantes de la primera generación de la ENBC-ASA se identificaba como parte de un pueblo originario o grupo étnico, dos tercios de los cuales hablaba una lengua originaria; esta representación también estuvo presente en más de la mitad (56%) de las COA, con participantes de los pueblos nahua, maya, purépecha y tzeltal en su mayoría, y una diversidad total de 20 pueblos originarios y grupos étnicos reportados (según reporte estudiantil del curso Metodología de Investigación-Acción Participativa III, 3.er semestre). La inclusión de diversos perfiles y la pluralidad de voces, expresiones y experiencias—

que propician diálogos de saberes—han sido una declaración e intención educativa de las Especialidades ASA.

Educación a distancia

Las Especialidades ASA se distinguieron por gestionar una modalidad de aprendizaje mixto (híbrido o semipresencial) particular que, según García Aretio (2020), cumple con las características distintivas de una educación a distancia:

- Hubo una separación física de los participantes en el espacio y durante el tiempo de formación. Las y los estudiantes trabajaron y, en la mayoría de los casos, residieron en su comunidad, en donde llevaron a cabo su investigación-acción; el territorio representó su base, entorno y espacio de aprendizaje.
- Las y los investigadores de los centros públicos de investigación y estudio, en conjunto con un grupo de educadores, planificaron, diseñaron y crearon recursos educativos y materiales didácticos y, a su vez, realizaron el seguimiento y la motivación del proceso de aprendizaje por medio de tutorías, evaluaciones y acreditaciones del aprendizaje.
- La comunicación e interacción (diálogo) fueron mediadas sincrónicamente y asincrónicamente entre la comunidad educativa, p. ej., entre docentes y estudiantes y entre sí. Para ello se construyó una plataforma virtual didáctica (*Moodle*), un entorno virtual de aprendizaje con un acompañamiento docente continuo, que también incluyó múltiples reuniones y sesiones virtuales, webinarios y conversatorios en línea, así como recursos digitales dinámicos.
- Se ofreció la posibilidad del estudio independiente en el que la persona estudiante gestiona su propio espacio, tiempo y ritmo de estudio y trabajo en campo y que, a su vez, se ajusta a cada comunidad y contexto local, con sus propios tiempos y ritmos, p. ej., de ciclos agrícolas, organización y festividades, y también de acceso a la tecnología y conexión a internet. Cabe señalar la compatibilidad con el aprendizaje basado en proyectos, que promueve el aprendizaje autónomo y responsable.

La combinación y secuencia de actividades virtuales y presenciales, sustentadas por un constructivismo pedagógico, dan lugar a espacios didácticos que fomentan el aprendizaje autónomo y coherente. Un entorno de aprendizaje mixto, con la flexibilidad que ofrece el trabajo en línea y su amplio abanico de aplicaciones didácticas, incluyendo las herramientas de colaboración y comunicación a disposición en la plataforma virtual, fomenta la interacción en la comunidad educativa y entre

participantes, y logra un escenario de aprendizajes motivadores y significativos (Trujillo et al., 2015).

El modelo de educación a distancia permitió establecer múltiples puentes entre los centros públicos de investigación y educación y los diversos territorios y sus comunidades; conectó a investigadores y académicos con cientos de grupos de investigación ‘en campo’, es decir, las y los estudiantes, facilitando e impulsando procesos de IAP junto con sus comunidades de aprendizaje. Este puente no solo fue importante para enlazar territorios rurales—alrededor de dos tercios de estudiantes realizaron su investigación en localidades rurales—sino también para detonar procesos de investigación participativa en comunidades periurbanas y urbanas. Cabe resaltar que la comunidad educativa también se reunió en persona en varias ocasiones; se realizaron múltiples encuentros, talleres y congresos en los territorios para conocerse, colaborar y convivir. La combinación de un entorno de aprendizaje virtual, territorial y presencial-relacional fue fundamental y parte del proceso formativo y comunitario de las especialidades. Entonces nos preguntamos: ¿Qué tan importante fue esta modalidad de aprendizaje mixto para poder cursar la especialidad? El 72% de los estudiantes de la primera generación ENBC-ASA consideró que fue determinante—no la habría cursado en modalidad presencial—y otro 24% la consideró importante (Encuesta estudiantil de cierre ENBC-ASA 2026). Complementamos esta afirmación con las declaraciones de dos graduados de las Especialidades ASA, realizadas durante el 3er Foro Mexicano de Juventudes por la Agroecología de la Universidad Autónoma Chapingo.

De pronto fue para mí un desafío [...] pero entendimos que había un equipo y una planeación anticipada bastante bien hecha, que al final resultó de una horizontalidad y democratización del conocimiento y del saber y del acceso hacia la formación profesional, que no siempre se tiene en comunidades alejadas de las ciudades o de los centros de investigación universitarios o academias, que suelen estar generalmente centralizadas en la capital del estado, o en la ciudad más grande de la región. Entonces, el hecho de poder conectarte desde tu rancho, desde el patio, desde abajo del árbol, desde el huerto, hacia este tipo de formación, pues resultaba, en cierta manera, algo que se les debía a las poblaciones históricamente subrepresentadas, que era el acceso a la formación profesional. Entonces, creo que PIES AGILES pudo incidir, penetrar en territorios a donde la profesionalización, la articulación y la posibilidad de vincularse a la academia para fortalecer el saber local, que de por sí se tiene, pues fue algo genial, y me parece tan bueno que lo veo en la Sierra de Manantlán, que es mi vecina. Lo veo con los compas del sur de Jalisco, Zapotitlán de Vadillo, o sea, gente y jóvenes que quizá económicamente no hubiésemos podido ir a la universidad; tuvimos este programa que nos potenció lo que ya sabíamos: la práctica agroecológica y la manera de incidir y escalarla. (Rodolfo González Figueroa, CASA Jalisco-Nayarit PIES AGILES, comunicación personal, 7 de abril de 2026)

Yo personalmente, como soy mamá, tengo otras ocupaciones y para mí la modalidad virtual estuvo excelente. En lo personal, el hecho de trabajar en mi territorio y también el tomar los cursos de manera virtual, que, claro, requiere cierto compromiso, pues me ha permitido un aprendizaje más autodidacta [...]. Es un programa con muchas disciplinas; el proceso es un proceso muy humanizado. Muchas veces escuchamos el concepto de virtual y decimos “pues es solo estar frente a una computadora”, pero esta especialidad tiene algo más, algo más humano, que te hace comprometerte más con el medio ambiente, con los sistemas alimentarios, y el hecho de trabajar con tu comunidad de aprendizaje con un plan de acción territorial, pues reafirma más ese compromiso. Yo quedé muy impresionada por esta modalidad y admiro muchísimo a mis compañeros que, tanto del norte, centro y sur de Veracruz, cada uno con sus diferentes habilidades y capacidades, han sumado a este proceso de la agroecología. (Génesis L. Mérida Sánchez, Nodo Veracruz ENBC-ASA, comunicación personal, 7 de abril de 2026)

Implicaciones operativas para la puesta en marcha de las especialidades

Contribuir al diseño, implementación y expansión de estas especialidades como modelos renovados de formación integral, abierta y mixta demandó un diseño operativo con dos vertientes: 1) Diseño curricular e instruccional y acompañamiento del diseño formativo, con tejedores, tutores y facilitadores (docencia); y 2) Gestión escolar y operación del entorno virtual de aprendizaje (Tabla 2).

Diseño curricular e instruccional y acompañantes del proceso formativo

Se conformaron dos grupos de especialistas con diversos perfiles y con trayectoria en programas formativos (PIES AGILES, 2021) que, mediante una calendarización de entregables, trabajaron por comisiones, vocerías y reuniones semanales para ir tejiendo el diseño de las especialidades.

Diseño curricular e instruccional

Diseñadoras curriculares e instruccionales. Construyeron el diseño curricular tomando como eje articulador la IAP, como praxis colaborativa, a propósito de experiencias que fundamentan el abordaje multitemático e integral de autodiagnósticos agroecológicos. La teoría del aprendizaje constructivista que se enfoca en la comprensión del modo de vida, subjetividades, praxis del conocimiento local y sus tensiones con la hegemonía del conocimiento académico occidental. En sesiones de trabajo y diálogos colaborativos se establecieron puntos claves de esta metodología y su aplicación en los espacios formativos. Se delimitaron los objetivos, saberes, procesos de aprendizaje y resultados para mejorar continuamente las actividades, así como las habilidades a desarrollar a lo largo de la formación (Figura. 2). Motivaron y acompañaron el apren-

dizaje en plataforma y dieron forma a las actividades y metas propuestas por las y los tejedores. Como parte del diseño instruccional, se retomó el modelo de diseño instruccional ADDIE (Análisis, Diseño, Desarrollo, Implementación y Evaluación). Se definieron las unidades de aprendizaje, el diseño de las estrategias de aprendizaje, así como la redacción de las instrucciones para cada actividad.

Fue un reto no contar con un diseño curricular y coordinación académica que llevaran estos procesos desde el inicio. Profesionalmente, fue un reto diseñar desde cero un programa educativo sin precedentes, pero con una visión clara de a dónde quería llegar y con qué propósitos. La diversidad de ideas entre el grupo de trabajo, que en ocasiones dificultaba llegar a acuerdos en cuanto a los contenidos o líneas de aprendizaje. El tiempo limitado que se tenía destinado a la construcción del programa. La falta de conocimientos previos de la mayoría del equipo, incluso del equipo de tecnología y diseño gráfico sobre cómo hacer educación virtual. Personalmente, fue una experiencia enriquecedora por tener la oportunidad de trabajar con perfiles profesionales tan expertos en su área y con tantas ganas de entregar su conocimiento a estudiantes fuera de los ámbitos académicos. Tuve toda la oportunidad de regresar en mi experiencia profesional a la atención de estudiantes en zonas rurales o indígenas. (Yunuén Becerra Cortés, Diseñadora instruccional PIES AGILES, comunicación personal, 06 de mayo de 2026)

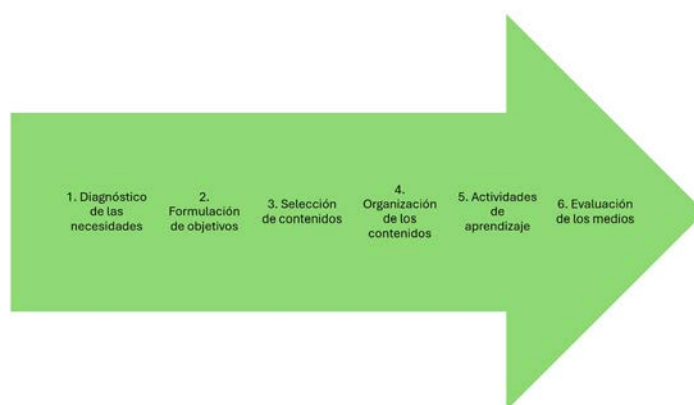


Figura 2. Pautas para el diseño curricular

Fuente: elaboración propia con base en registros operativos de las especialidades

Tejedores/as. Personas con conocimiento en temáticas clave para el desarrollo de la especialidad, sumándose a un curso de acuerdo con su experiencia y habilidad. Las y los tejedores con cierto conocimiento en programas formativos, experiencia en metodología constructivista, acciones territoriales situadas en el ámbito agroecológico, diseño de actividades, elementos de comunicación y desarrollo de materiales de

difusión y técnicas para la transición agroecológica. A partir de reuniones continuas, a modo de comisiones por curso, se construyeron las temáticas y el contenido de estas. Las y los tejedores tuvieron un acompañamiento con investigadoras e investigadores expertos en los temas, quienes les dieron un aporte sustancial a los contenidos y los encaminaron inicialmente en esta travesía. Cada comisión tiene una vocería rotativa, en la que las compañeras dialogan entre sí con las compañeras de diseño curricular para ir tejiendo las actividades entre cursos. En conjunto, mediante el diálogo, de forma virtual y presencial, ambos grupos trabajaron para la construcción de los contenidos generales en los cursos que se ofertaron. Los diálogos continuos favorecieron la validación de la pertinencia de las actividades y se buscó la articulación entre estas.

Como plan de especialización, se revisa y evalúa continuamente el diseño curricular a fin de mejorar continuamente en relación con la experiencia de las y los estudiantes y sus resultados en los territorios. Es clave evaluar si estos planteamientos curriculares respondieron a las necesidades de los estudiantes y sus problemáticas, además de incluir en una edición los nuevos conocimientos que pueden aportar a nuevos procesos participativos en la producción agroecológica (PIES AGILES, 2021). Una vez validados los documentos, se pasan al equipo de plataforma para que se coloquen en la plataforma Moodle y se lleve a cabo el pilotaje por parte de las comisiones (Figura 3).

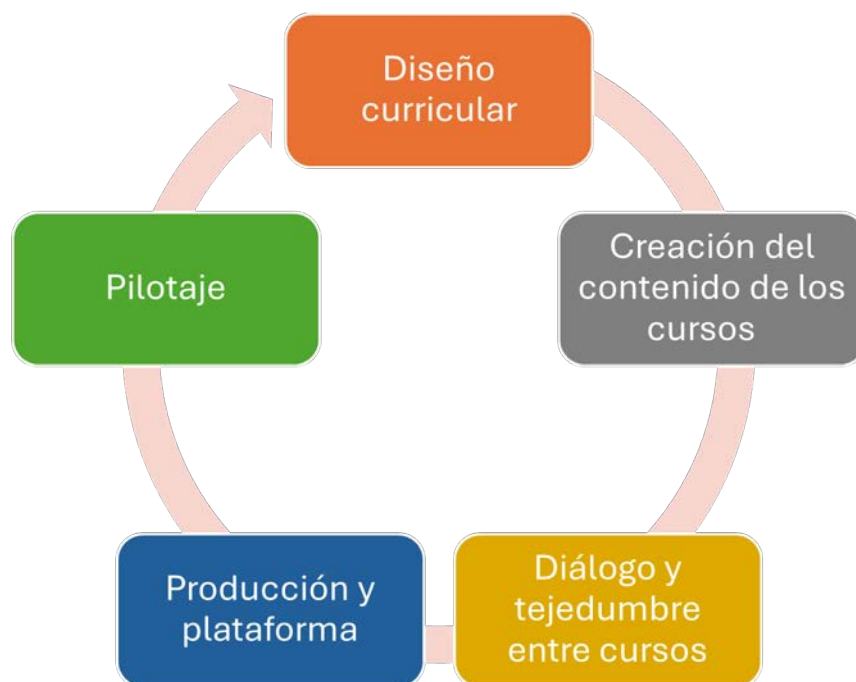


Figura 3. Proceso para el diseño de los cursos en plataforma
Fuente: elaboración propia con base en registros operativos de las especialidades

Acompañantes del proceso formativo

Al considerarse un programa educativo centrado en la persona estudiante, el acompañamiento fue constante, directo y empático tanto en plataforma como de forma sincrónica y presencial.

Tejedores. Las y los tejedores son investigadores, educadores y coordinadores del programa. Evalúan, dan seguimiento, acompañamiento, monitoreo y evaluación del estudiantado durante su proceso formativo, así como la logística operativa, ejecutiva y la sistematización de un nodo regional. Construyen estrategias de acompañamiento personalizadas y grupales. Retroalimentan en plataforma a los estudiantes (agrupados y organizados por nodo regional) y acompañan, sobre todo en territorio, a las y los estudiantes y sus comunidades de aprendizaje. Promueven las redes de colaboración organizando espacios virtuales y presenciales para el intercambio de experiencias con estudiantes, pero también con tutores y facilitadores. Comenzamos con 12 tejedores en PIES AGILES, uno en cada nodo regional, quienes continúan en el programa, sumaron esfuerzos con más colegas por algún tiempo y actualmente somos cerca de 18. Desde esta diversidad de haceres se pensó en la palabra tejedor como una persona que conecta, entrelaza desde su hacer y con otras personas más allá de la docencia y para un bien común que busca tender puentes entre la academia, las personas y el territorio. Para complementar esta descripción de actividades, se incluye el relato de un tejedor que ha participado desde un inicio, destacando los retos curriculares y de acompañamiento que, en su opinión, fueron comunes al equipo de tejedores.

Fue lo que viví y luego entendí como la praxis, de moverse entre teoría y práctica, acción y reflexión, este balance fue uno de los desafíos más demandantes para mí como tejedor. Por una parte, querer abarcar la teoría, desde una perspectiva pedagógica, contenida en los distintos cursos que diseñamos y facilitamos, y por otra sintetizar y aterrizarla en una propuesta educativa práctica y situada, incluidos sus recursos didácticos (¡qué reto diseñar una actividad clara, significativa y entretenida!), cuidando no saturar a los estudiantes sino nutriendo su curiosidad. A su vez, el deseo de seguir aprendiendo, profundizando y aplicando los mismos conocimientos que compartíamos en los cursos, incluyendo metodologías IAP, educación popular, transdisciplina, sistemas complejos, organización y comunicación comunitaria; realmente poder aplicar estos conceptos en nuestra labor diaria como investigadores, docentes y colegas de trabajo, en fin, mejorar nuestras prácticas colaborativas y relacionales. A esto le sumamos la premura y exigencia de un programa educativo en curso—el tren no paraba y había que echar los rieles sobre la marcha—por lo que el reto de promover la praxis se puso más interesante. (Alan Heinze, Tejedor Jalisco-Nayarit y Colima, comunicación personal, 06 de mayo de 2026)

Facilitadores y tutores. Acompañan al estudiantado en alguno de los cursos (facilitadores/as) y en sus procesos territoriales (tutores/as). Inicialmente eran solo las y los tejedores, pero, a modo de ampliar la red de colaboraciones, se extendió a otros colegas de los centros públicos de investigación involucrados y a otros espacios académicos para colaborar. Se presentan a continuación dos perspectivas de esta labor docente y de acompañamiento a estudiantes por parte de investigadores del CIATEJ que participaron y colaboraron en el programa.

PIES AGILES y la ENBC han sido interesantes para mí, un investigador que hace microbiología molecular bajo un esquema de investigación tradicional, porque me han obligado a pensar diferente. Ha sido una oportunidad para encontrarme con una manera diferente de ver, pensar y solucionar los problemas del mundo. También he vuelto consciente de algunas situaciones que antes ni siquiera había pensado, como tener consciencia de las ventajas/desventajas (realmente inconscientes) que te da el ocupar la posición profesional/social/sexual/geográfica/etc. La importancia de “devolver” algo a los que te acompañan en el proceso de investigación, pero también de “devolverse” como un acto de autorreconocimiento por el esfuerzo hecho. También me ha hecho recapacitar sobre el valor de lo tradicional, casi siempre visto de manera positiva y romántica, pero que también tiene mucho de injusto y obsoleto, y eso también hay que cuestionarlo y cambiarlo. (Jorge Verdín, Investigador CIATEJ, Biotecnología Industrial, Nodo CDMX-Morelos, comunicación personal, 15 de abril de 2026)

Me involucré desde PIES-AGILES y en la ENBC-ASA desde la selección de los participantes. Esta actividad fue muy interesante porque me permitió conocer las trayectorias de los aspirantes. Este involucramiento significó conectar de otra manera con el interés, las motivaciones, las acciones, los sueños e ilusiones que se materializan en el trabajo colectivo que han realizado en el terreno, a diferentes niveles, los estudiantes, tanto como gestores activos en procesos colectivos de organización como en proyectos materializados en prácticas agroecológicas. Participar en las especialidades fue muy enriquecedor porque evidenció la ruptura del papel tradicional de enseñanza hacia una relación más horizontal donde se compartieron conocimientos, experiencias, aprendizajes diversos. Esta horizontalidad significó verme como estudiante, como aprendiz además de facilitador. (Lourdes Flores, Investigadora CIATEJ, Tecnología Alimentaria, Nodo Jalisco-Nayarit, comunicación personal, 20 de abril de 2026)

Como tejedores, facilitadores y tutores, el reto era acompañar y retroalimentar en la plataforma y romper el diálogo de la distancia y generar encuentros virtuales, llamadas telefónicas y, en la medida de lo posible, asistir presencialmente a los territorios. Esto demandaba estar en campo, ausentarse de las oficinas y laboratorios; en ocasiones fue posible, pero en otras no tanto.

Operación del entorno virtual de aprendizaje, gestión escolar e institucional

Operación de entorno virtual de aprendizaje

La plataforma Moodle, utilizada en las especialidades, se construyó procurando ser lo más amable, clara y sencilla posible, contemplando la diversidad de contextos de las personas estudiantes, sobre todo de aquellas de zonas rurales con dificultad para la conectividad. Las actividades fueron asincrónicas en su mayoría y disponibles para su consulta en cualquier momento (se podían descargar); fueron puntuales y fueron acompañadas de recursos y otros materiales previamente diseñados. Algunas actividades fueron sincrónicas, p. ej., reuniones virtuales, a fin de promover el diálogo, la retroalimentación sobre el proceso y la integración de la comunidad. Todas las actividades fueron diseñadas para que la persona estudiante las realizara en campo y con su comunidad de aprendizaje. La plataforma virtual didáctica y su manejo técnico fueron un componente clave para la modalidad de aprendizaje mixto del programa; para ello, hubo un equipo profesional de soporte que también se adaptó y aprendió del proceso; a continuación, recuperamos la voz de una colaboradora y su experiencia desde el aspecto técnico.

Mi participación estuvo en la construcción y mantenimiento de la plataforma y para mí significó comprender que los espacios digitales y la tecnología también son herramientas pedagógicas. La plataforma no era solamente un medio técnico; era otro territorio más, un puente capaz de conectar los distintos mundos, las distintas realidades y los distintos ritmos de quienes participaban en las especialidades. Uno de los mayores retos fue pensar la accesibilidad desde una mirada situada. En los espacios digitales suele hablarse de accesibilidad como si todas las personas se conectaran desde el mismo territorio y con las mismas tecnologías. Fue necesario preguntarnos: ¿Desde dónde se conectan? ¿Con qué dispositivos se conectan? ¿Usan internet propio o compran claves con tiempo limitado? ¿Qué tan pesados pueden ser los materiales y archivos de consulta? Estas preguntas ayudaron a identificar las necesidades de la plataforma. Pensar en una navegación ligera, intuitiva, sencilla y humana se volvió parte fundamental. Repensar constantemente desde dónde sería vivida y consumida la plataforma fue un reto profundamente enriquecedor, porque obligó a comprender que toda tecnología educativa debe partir de la idea de diferentes realidades de las personas. (Natalia Viridiana Landa Sánchez, UX de la plataforma PIES AGILES, comunicación personal, 07 de mayo de 2026)

Gestión escolar

Con base en un calendario de la especialidad avalado ante la Secretaría de Educación Pública, se gestionó de manera integral y sistemática el ciclo de vida académico de cientos de estudiantes (Tabla 1), garantizando un acompañamiento personalizado

desde su inscripción hasta su titulación. Esta actividad fue sostenida por un equipo de CIATEJ y por el equipo de docencia (tejedores/as y facilitadores/as), cuya coordinación permitió implementar mecanismos de seguimiento continuo en cada etapa formativa. Con ello, se aseguró el cumplimiento de las disposiciones normativas establecidas por CIATEJ y se fortaleció la permanencia y el desempeño académico. De manera complementaria, se desarrollaron estrategias de atención focalizada para casos particulares, consolidando un enfoque centrado en el estudiante. Asimismo, se diseñaron, aplicaron y analizaron instrumentos de evaluación dirigidos a estudiantes y facilitadores/as, generando información clave para la mejora continua, la toma de decisiones y el fortalecimiento de la calidad educativa. Concluimos esta sección con un testimonio personal de una integrante del equipo administrativo del programa.

El mayor reto que enfrenté fue encontrar la sintonía del trabajo en conjunto, buscando cómo adaptar las líneas institucionales con la diversidad de entornos, con un gran contexto tanto en estudiantes, docentes, tejedores, etc., porque al final de todo, los estilos de trabajo son tan únicos como cada una de las personas y a veces resultaba un tanto complicado y más a larga distancia. Sin embargo, siempre se obtuvieron resultados favorables. Cuando tuve la oportunidad de conocer de tú a tú a cada uno de los que asistieron al congreso con el que cerramos la primera generación de la ENBC-ASA, me di cuenta de que la entrega, intención y amor en cada una de las cosas que hago en mi trabajo trascienden a través de las pantallas y los correos electrónicos, llamadas y una simple resoluta a cualquier solicitud. (Rosa María Olmos Rodríguez, Gestión escolar CIATEJ de Especialidades ASA, comunicación personal, 17 de abril de 2026)

Gestión Institucional

Conformado por el equipo núcleo que desarrolló la propuesta general de la especialidad y construyó el equipo de trabajo. Como dinamizadores, se articularon con actores externos para generar colaboraciones, pero también para coordinar todo el proceso del PIES AGILES.

Tabla 2. Participantes y sus funciones en las Especialidades ASA

Participantes	Funciones
Diseñadoras curriculares	• Diseño curricular
Diseñadoras instruccionales	• Diseño instruccional
Tejedores/as	• Diseño curricular e instruccional, • Acompañan a un NODO regional (estudiantes, facilitadores/as y tutores/as). • Facilitadores/as y tutores/as • Pilotaje en plataforma • Control escolar

Facilitadores/as y tutores/as	• Acompañan a las y los estudiantes en alguno de los cursos (facilitadores/as) y en sus procesos territoriales (tutores/as). Tiene contacto continuo con el/la tejedor/a del NODO
Equipo plataforma	• Construcción de la plataforma Moodle y su mantenimiento • Montaje de los documentos de los diseños curriculares e instruccionales
Equipo control escolar CIATEJ	• Calendario escolar • Inscripciones, títulos • Seguimiento a estudiantes • Construcción de instrumentos de evaluación
Equipo gestión institucional	• Diseño curricular e instruccional • Coordinación con equipo plataforma • Control escolar • Vinculaciones con actores clave • Logística operativa y ejecutiva

Fuente: elaboración propia a partir de registros administrativos y operativos de las Especialidades

La construcción del semestre siguiente, a la par del acompañamiento (presencial y virtual) y necesidades del semestre en curso, los diálogos continuos y prolongados (virtuales y presenciales) para llegar a acuerdos y organizarnos, el manejo de aulas virtuales para acercar a las personas de la ruralidad, el acercamiento a los territorios y las personas favoreció a construir otras formas de educación, cursos situados, acercamiento a personas de diversas regiones; sin embargo, detonó desafíos al interior del grupo. Multiplicidad de funciones, dedicación en tiempo y atención más allá de lo previsto, falta de tiempo para otras actividades esenciales como el programa Investigadoras e Investigadores por México y para la sistematización y evaluación del programa, así como complicaciones por conectividad y conocimiento incipiente de lo virtual generaron momentos de ansiedad, fatiga, salida de algunos/as integrantes y estrés crónico grupal. Esta situación también nos ha llevado a reconfigurar la propuesta pedagógica sin que pierda su esencia ni comprometa nuestra salud.

Conclusiones

Las Especialidades ASA del CIATEJ proponen un modelo educativo y de investigación con incidencia para afrontar las problemáticas socioambientales y los desafíos en seguridad y soberanía alimentaria de México. El desarrollo de una propuesta educativa transdisciplinaria—bastante innovadora para un centro de investigación en biotecnología y ciencia dura—presentó múltiples y considerables retos para el equipo interdisciplinario de académicos, administradores y profesionales. No obstante, tenemos la convicción de que estos modelos ‘alternativos’ de educación en agroecología y ciencia abierta pueden llegar a contribuir a la transformación de los sistemas agroalimentarios y al bienestar de las comunidades. Las especialidades buscan fomentar la formación integral—saber, hacer, ser y convivir—de las y los

estudiantes; creemos que pueden llegar a fortalecer la experiencia educativa, la formación científica y el alcance de las investigaciones. Considerando esto y que el nivel educativo de especialidad en CIATEJ fue algo sui géneris, las Especialidades ASA complementaron la oferta clásica de posgrados en CIATEJ, i.e., Ciencias en Innovación Biotecnológica.

Las especialidades como programas formativos en agroecologías y soberanía alimentaria les dieron continuidad y expansión a procesos comunitarios existentes que no se encontraban conectados entre sí y se articularon también con otros niveles de formación y organización (académica, organización civil, programas gubernamentales, etc.). Desde una plataforma común donde convergieron diversas comunidades educativas, se aportó a la formación abierta en lo rural, urbano y periurbano, desde las agroecologías, favoreciendo la permanencia de las personas en sus territorios sin tener que migrar.

Se buscó potenciar la investigación científica y humanística para la atención a problemáticas locales actuales, fortaleciendo las capacidades y conocimientos locales desde la pluralidad de disciplinas, saberes y formas de saber. Las metodologías implementadas permitieron generar planes de acción situados, alcanzables y apropiados territorialmente, porque se construyeron por las personas que los viven. Fue un aprendizaje autónomo.

La apertura del CIATEJ a distintas formas de investigación y vinculación promovió nuevos puentes entre campo y ciudad, territorios y academia, tecnologías apropiadas y biotecnologías científicas. Propició la transdisciplinariedad y expuso la necesidad del trabajo territorial sustancial por parte de sus investigadores e investigadoras para avanzar la investigación de incidencia. Se construyó un programa formativo desde cero a partir de la colaboración y un aprendizaje dialógico continuo: pusimos en marcha el aprender haciendo. Es, sin duda, una experiencia emblemática en la historia de nuestro Centro.

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 reconoce y agradece el apoyo económico a PIES AGILES de Conahcyt (Programa Presupuestario F003 de Programas Nacionales Estratégicos, Proyecto 318516 y 321324), así como las becas nacionales de posgrado otorgadas a las y los estudiantes de ambas Especialidades ASA.

Agradecimientos

Reconociendo que las Especialidades ASA son obra de un enorme equipo de trabajo colaborativo y comprometido, agradecemos a todas las personas involucradas, participantes y voluntarias/os que acompañaron con su experiencia, habilidad y afecto este proceso de aprendizaje colectivo, incluso desde la concepción y diseño inicial de los programas. En este camino de ya más de 5 años, reconocemos a quienes estuvieron presentes y quienes permanecen, todas/os aportando al proceso.

Al CIATEJ por confiar, permitir y apoyar al autor y a la autora para acompañar en el aula y en el campo a las y los estudiantes de los Nodos Jalisco-Nayarit-Colima y CDMX-Morelos que coordinan. También por apostar por esta iniciativa.

Finalmente, a las y los estudiantes que, desde la esperanza, la investigación y la acción, construyen, buscan y sostienen mundos posibles.

Referencias

- Albalat Botana, A., & Heinze, A. (2026). Investigación Acción Participativa en la formación en agroecología: una experiencia educativa situada. *Ciencia y Reflexión*, 5(2), 599–629. <https://doi.org/10.70747/cr.v5i2.1033>
- Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (Ed.). (2023). Soberanía Alimentaria [Número entero]. *Ciencias y Humanidades*, 3(6). Recuperado a partir de <https://conahcyt.repositorioinstitucional.mx/jspui/handle/1000/43>
- Domené-Painenao, O. (2026). Tsikbalo'ob yéetel puksi'ik'al: El caminar de experiencias educativas agroecológicas en la península de Yucatán, México. En A. M. Costa, C. Smet, C. Capela, C. A. Costa, I. Ribeiro, J. Pereira, J. Martin, R. Gillain, S. Fidalgo, & V. Delplancq (Eds.), *Línguas Estrangeiras. Património Linguístico e Cultural: Vitalidade e ameaças* (pp. 33-46). Instituto Politécnico de Viseu - Escola Superior de Educação. <https://doi.org/10.34633/978-989-36700-4-0>
- Freire, P. (2005a). *Pedagogía del oprimido* (2.ª ed.; J. Mellado, Trad.). Siglo XXI Editores. (Trabajo original publicado en 1970).
- Freire, P. (2005b). *¿Extensión o comunicación? La concientización en el medio rural* (2.ª ed.; L. Ronzoni, Trad.). Siglo XXI Editores. (Trabajo original publicado en 1973).
- Freire, P. (2010). *Cartas a quien pretende enseñar* (2ª ed.; S. Mastrangelo, Trad.). Siglo XXI Editores. (Trabajo original publicado en 1993).
- García Aretio, L. (2020). Bosque semántico: ¿educación/enseñanza/aprendizaje a distancia, virtual, en línea, digital, eLearning...? *RIED-Revista Iberoamericana de Educación a Distancia*, 23(1), 9–28. <https://doi.org/10.5944/ried.23.1.25495>
- Jara H., O. (2018). *La sistematización de experiencias: Práctica y teoría para otros mundos posibles*. Centro Internacional de Educación y Desarrollo Humano.

- Merçon, J., Camou-Guerrero, A., Núñez Madrazo, C., & Escalona Aguilar, M. A. (2014). ¿Diálogo de saberes? La investigación-acción participativa va más allá de lo que sabemos. *Decisio. Saberes para la acción en Educación de Adultos*, 38, 29–33.
- Merçon, J. (2021). Comunidades de aprendizaje transdisciplinarias: cuidando lo común. *DIDAC*, 78 JUL-DIC, 72-79. https://doi.org/10.48102/didac.2021..78_JUL-DIC.75
- Pérez Ruiz, M. L., & Argueta Villamar, A. (2025). Diálogo de saberes: desafíos y perspectivas en América Latina. En E. Leff (Coord.), *Diálogo de saberes: La transición histórica hacia la sustentabilidad de la vida* (95–133). Consejo Latinoamericano de Ciencias Sociales – CLACSO.
- Programa Interinstitucional de Especialidad en Soberanías Alimentarias y Gestión de Incidencia Local Estratégica. (2021). *Síntesis Diseño Curricular*. Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías – Gobierno de México.
- Romeu Streck, D., De Castro Pitano, S., & Stecanela, N. (2024). Pronunciar el mundo juntas(os): la conectividad, principio de investigación en Paulo Freire. En U. Vilsmaier, L. Hensler, J. Merçon, & G. Faschingeder (Eds.), *Aprendiendo de Paulo Freire para la investigación transdisciplinaria. Principios, métodos y experiencias* (pp. 71–97). Fondo de Cultura Económica, Conahcyt.
- Sánchez-Reyes, G. A., Domené-Painenao, O. E., Heinze Yothers, A., & Santiago Vera, T. J. (2025). Un aprendizaje situado, colectivo y mixto en diversos territorios: la experiencia de tejedoras/es en México. *Diálogos sobre Educación. Temas actuales en investigación educativa*, 16(32), 1–20. <https://doi.org/10.32870/dse.v0i32.1543>
- Toledo, V. M., & Argueta, Q. (2024). The evolution of agroecology in Mexico, 1920–2023. *Elementa: Science of the Anthropocene*, 12(1), 00092. <https://doi.org/10.1525/elementa.2023.00092>
- Trujillo, C., Pérez Cano, I., & Essenwanger, F. (2015). *El aprendizaje mixto (blended learning) o cómo potenciar el aprendizaje colaborativo entre los alumnos más allá de las clases presenciales*. Nordakademie – Hochschule der Wirtschaft, Elmshorn (Alemania). Recuperado a partir de https://cvc.cervantes.es/Ensenanza/biblioteca_ele/publicaciones_centros/PDF/estocolmo_2015/11_trujillo-perez-essenwanger.pdf
- Vilsmaier, U., Faschingeder, G., Merçon, J., & Hensler, L. (2024). Pronunciar, sistematizar y mover el mundo. Aportaciones de Paulo Freire a la investigación y la educación inter- y transdisciplinarias. En U. Vilsmaier, L. Hensler, J. Merçon, & G. Faschingeder (Eds.), *Aprendiendo de Paulo Freire para la investigación transdisciplinaria. Principios, métodos y experiencias* (pp. 19–46). Fondo de Cultura Económica, Conahcyt.

Zapata, F., & Rondán, V. (2016). *La Investigación Acción Participativa: Guía conceptual y metodológica del Instituto de Montaña*. Instituto de Montaña. Recuperado a partir de <https://mountain.pe/recursos/attachments/article/168/Investigacion-Accion-Participativa-IAP-Zapata-y-Rondan.pdf>





**50 AÑOS DEL CIATEJ:
CIENCIA, TECNOLOGÍA Y SOCIEDAD**





Prototipos de Investigación-Acción Comunitaria: experiencias de ciencia de incidencia con comunidades de Guerrero

Community Research- Action Prototypes: experiences of impact-oriented science with communities in Guerrero

Jesús Manuel Mancillas Paredes¹, Lizeth Nayeli Rodríguez Flores¹, Germán Bautista García¹, Román Alejandro Hernández Rivas², Martha Elena López Estrada³, Simón Cabello García¹, Georgina Alethia Sánchez-Reyes^{4*}

¹ Centro de Estudios e Investigación en Biocultura, Agroecología, Ambiente, Salud, CEIBAAS, SECIHTI-Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco, Acapulco, Guerrero, México.

² Doctorado en Ciencias en Agroecología, El Colegio de la Frontera Sur, San Cristóbal de las Casas, Chiapas, México.

³ Dirección General de Educación Tecnológica Agropecuaria y Ciencias del Mar, Centro de Bachillerato Tecnológico Agropecuario, No. 315. Tepecoacuilco de Trujano, Guerrero, México.

⁴ Unidad de Biotecnología Industrial, Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco, Zapopan, México.

* Autor de correspondencia: gsanchez@ciatej.mx

Palabras clave:

comunidades de aprendizaje,
agroecologías, maíces, frijoles,
redes colaborativas

Keywords:

learning communities, agroecology,
native maize, native beans,
collaborative networks

Resumen

Contribuir a la autosuficiencia alimentaria de maíces y frijoles nativos, desde un modelo formativo sustentado en las redes de colaboración y los Prototipos de Investigación Acción Comunitaria (PIAC), es el objetivo del proyecto PEE-2025-G-540 implementado en Guerrero. En su primera etapa, desde ciclos de IAP, reuniones continuas y trabajo en campo, se desarrolló la secuencia metodológica: 1) Identificación de experiencias agroecológicas; 2) Articulación e integración de las CATA; y 3) Codiseño de los PIAC. Se consolidaron cinco Comunidades de Aprendizaje en Transición Agroecológica y desde sus necesidades se sentaron las bases de los PIAC. Esta secuencia metodológica promovió un proceso transdisciplinario mediante la integración de sistemas de conocimiento y la consolidación de un modelo formativo situado, orientado a la producción y conservación de maíces y frijoles, la soberanía alimentaria, la investigación orientada al impacto y el fortalecimiento de redes de colaboración.

Abstract

Contributing to food self-sufficiency in native maize and beans, through a training model based on collaborative networks and Community Action Research Prototypes (PIACs), is the objective of the PEE-2025-G-540 project implemented in Guerrero. In its first stage, through participatory action research (PAR) cycles, ongoing meetings, and fieldwork, the following methodological sequence was developed: 1) Identification of agroecological experiences; 2) Articulation and integration of the Community Action Research Groups (CATA); and 3) Co-design of the PIACs. Five Agroecological Transition Learning Communities were consolidated, and their needs formed the basis for the PIACs. This methodological sequence promoted a transdisciplinary process through the integration of knowledge systems and the consolidation of a situated training model focused on the production and conservation of maize and beans, food sovereignty, impact-oriented research, and the strengthening of collaborative networks.

Recibido: 19 de mayo 2026
Revisado: 20 de junio 2026
Aceptado: 30 de junio 2026
Publicado: 01 de agosto 2026



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 el estado de Guerrero existe una diversidad de variedades nativas de maíces y frijoles (Reza-Solís et al., 2024) ancladas a la cultura, los alimentos y la agrobiodiversidad. Fortalecer la producción y conservación de estas variedades, desde la transición agroecológica¹, demanda de la construcción participativa de propuestas de largo aliento, sostenibles y situadas y, sobre todo, de redes de colaboración locales como espacios formativos.

En el tiempo, en distintos ámbitos y con capacidad institucional, se han gestado diversas propuestas pedagógicas que, desde el aprendizaje por proyecto, posibilitan el codiseño de alternativas colectivas para la resolución de problemáticas vivenciales como los Prototipos de Investigación Acción Comunitaria (PIAC). Estos se definen como iniciativas de fortalecimiento de las ciencias campesinas y de colaboración transdisciplinaria que emanan de experiencias colectivas, desde procesos educativos y la IAP. Abordan la comprensión y la resolución de prioridades territoriales, con el fin de incidir socialmente, a corto plazo, en experiencias situadas (Flores et al., 2021).

Su impacto en las comunidades, vivido desde las y los integrantes proyecto “Redes de colaboración transdisciplinaria en procesos de formación e incidencia científica-tecnológica para la autosuficiencia alimentaria de maíces y frijoles en comunidades rurales de Guerrero” con número de clave PEE-2025-G-540 (en adelante llamaremos: proyecto redes), motivó a que se fundamentara en la propuesta metodológica PIAC. Teniendo como propósito consolidar un modelo de formación agroecológica que contribuya a la autosuficiencia alimentaria de maíces y frijoles (nativos) en comunidades rurales de Guerrero a partir de la gestión de redes de colaboración transdisciplinaria y sociotécnica.

Este artículo tiene por objetivo evidenciar los avances (noviembre de 2025-marzo de 2026) que han sentado las bases para consolidar el modelo de formación desde los PIAC, el cual se implementará en la segunda fase del proyecto (junio de 2026-marzo de 2027). Primero abordaremos los elementos claves de reorientación de la política de ciencia en relación con proyectos de investigación. Posteriormente, el proyecto redes como una propuesta de continuidad y así como los avances y resultados de esta primera etapa. Finalmente, cerramos con una reflexión sobre cómo esta experiencia aporta a la integración y funcionamiento de comunidades de aprendizaje, así como a la articulación y dinamización de redes de colaboración orientadas a la autosuficiencia de maíces y frijoles.

¹ Caporal y Costabeber (2004) plantean la transición agroecológica como: “procesos de cambio multidiversos, graduales, continuos y no siempre progresivos”.

Antecedentes que cimentaron las bases del PIAC en Guerrero

A partir de 2019, a nivel federal se facilitaron los mecanismos para propuestas de incidencia y escalamiento agroecológico por parte de algunos centros de investigación. Con la coyuntura política nacional inició el proceso de reorientación de la ciencia en Guerrero, donde diversos actores, desde el diálogo y las articulaciones, construyeron espacios para promover la Soberanía Alimentaria. Así se organizó el Primer Simposio de Soberanía Alimentaria, el Diplomado en Agroecologías del Bien Común (Diplomado ABC), con un total de cinco ediciones, el proyecto Tejidos Común Alimentario (TECUANI), el proyecto Tejidos Locales Agroalimentarios en Red (TELAR) y el Programa Interinstitucional de Especialidad en Soberanías Alimentarias y Gestión de Incidencia Local Estratégica (PIES AGILES), ahora Especialidad Nacional en Bienestar Comunitario en Agroecologías y Soberanía Alimentaria (ENBC-ASA). En el marco de estas iniciativas se construyeron, implementaron y evaluaron en las comunidades de Guerrero los PIAC. Cabe resaltar que el Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco A.C. (CIATEJ) participó de manera sustancial en todos los procesos.

Proyecto formativo para el mejoramiento de cultivos de maíces y frijoles nativos

México es centro de diversidad de frijoles y maíces nativos, actualmente se tiene el registro de 58 especies de frijoles y 59 razas nativas² de maíces (CONABIO, 2018). En Guerrero se reconocen al menos 18 variedades de maíces nativos, distribuidas en: **región cálida**: tepecintle, vandeño, tuxpeño, olotillo, zapote grande, conejo, tuxpeño norteño; **región semicálida**: pepitilla, ancho bolita, cónico norteño, elotes occidentales, reventador, celaya y tabancillo; y **región fría**: cónico, chalqueño, elotes cónicos, mushito, olethón (Cortez, 2022). En Xochistlahuaca se han registrado al menos siete variedades de frijol, clasificándolas por su hábito y forma de crecimiento en: de arbusto/mata, el de temporada de lluvia, los de vainas largas, enredaderas, los que se siembran junto al maíz, los de semillas redondas y los de semillas blancas (Lugo et al., 2022). Esto da cuenta de la vasta riqueza biocultural asociada a la agrobiodiversidad y, por tanto, a la alimentación de la población local. Sin embargo, la diversidad de semillas nativas ha disminuido debido a: “la introducción de semillas mejoradas, cambios en las tecnologías de cultivo, el mercado, las preferencias culturales y la urbanización” (Cowan, 2019, citado por Reza-Solis et al., 2024). En municipios como Acapulco, Ometepepec y Xochistlahuaca, aunque hay

² Las semillas nativas: “son aquellas que se han conservado por la práctica de selección de semillas que realizan los agricultores año con año, [...] tienen un gran potencial para brindar información útil que contribuye a enfrentar el cambio climático” (SADER, 2024).

propuestas agroecológicas de base, se reconoce una disminución en el consumo de algunas semillas nativas de maíces y frijoles, así como una dependencia de insumos externos comprados.

Los procesos formativos desde la perspectiva de educación popular bajo una comunidad de aprendizaje, ciclos de IAP y redes colaborativas propician espacios cíclicos de reflexión acción donde se dé el aprendizaje situado a partir de la práctica para la acción transformadora y el movimiento social (Fals-Borda, 1985; Lave y Wenger, 1991; Torres- Carrillo, 2007). Como estrategia de investigación e incidencia comunitaria, el proyecto redes se basa en comprender las experiencias agroecológicas situadas, identificar los dolores-problemas prioritarios y resolver o aportar a problemas y necesidades puntuales vividas por grupos de personas que conforman las Comunidades de Aprendizaje en Transición Agroecológica (CATA). Esta es una forma de organización donde se plantea un propósito común y responsabilidad compartida basada en la horizontalidad y el diálogo de saberes; se intercambian ideas, conocimientos y prácticas para desarrollar e implementar las iniciativas del PIAC con incidencia hacia la agroecología y la autosuficiencia alimentaria. Desde estos espacios se construyen relaciones solidarias y de aprendizaje mutuo y significativo con un enfoque transdisciplinario para comprender y transformar la realidad (Merçon, 2022).

Materiales y Métodos

La identificación de actores locales clave se hizo mediante técnicas de mapeo de vínculos y análisis de redes sociales (Lugo, 2011). Mediante un taller de diagnóstico con integrantes del equipo de investigación registramos actores y vínculos de reconocimiento y colaboración a partir de indagar experiencias previas de colaboración con actores vinculados a la autosuficiencia de maíces y frijoles. El análisis de la información se realizó mediante el software Ucinet (Borgatti et al., 2002) y Gephi (Bastian et al., 2009), lo que permitió medir centralidad de grado, densidad de la red y tipología de actores.

El análisis de redes permitió identificar actores clave que dinamizan la red y cuyas acciones y vínculos tienen mayor alcance. Este análisis permitió identificar grupos de actores con experiencias en diferentes procesos de formación agroecológica, quienes prácticamente ya funcionaban como Comunidad de Aprendizaje. Se identificaron cinco experiencias agroecológicas vinculadas por lo menos a cuatro procesos de formación en transición agroecológica: Sembrando Vida, Cosechando Soberanía, Centro de Bachillerato Tecnológico Agropecuario No. 222 y el PIES AGILES. Se estableció comunicación con ellos, se les consultó si podríamos acompañar su

experiencia con esta propuesta metodológica y mediante acuerdos de colaboración se conformaron cinco CATAs.

Secuencia didáctica - metodológica del modelo de formación

El proceso metodológico incluye seis fases, para esta primera etapa del proyecto redes se avanzó en tres fases: Conformación de CATAs, Autodiagnóstico y Codiseño del PIAC (Figura 1).



Figura 1. Secuencia didáctica - metodológica del modelo de formación

Fuente: Elaboración propia

Con cada una de las CATA se realizaron talleres, reuniones, sesiones de trabajo continuas y metodologías participativas (telaraña de problemas, ríos de vida, matriz de priorización, huentle (ofrenda), intercambio de semillas, entrevistas, recorridos y trabajo en las parcelas), el diagnóstico amplio enfocado al agroecosistema, el diagnóstico temático (para conocer la situación actual de los cultivos de maíces y frijoles nativos e identificar problemáticas asociadas) y el plan de acción (a partir de una problemática construir una propuesta de acción para resolver), un componente del codiseño del PIAC (Figura 2).



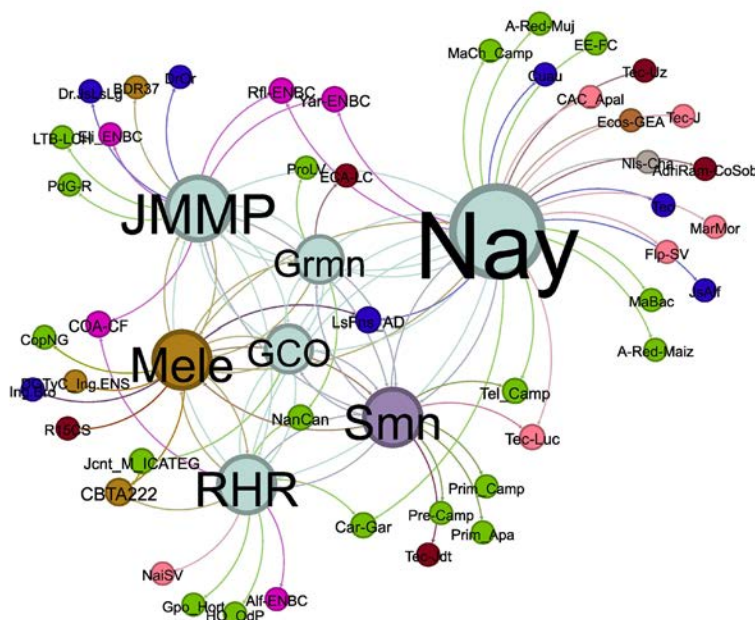
Figura 2. Metodologías participativas para la reflexión crítica de la problemática y de los procesos de cambio
Fuente: Fotografía propia

Como parte del cierre de la primera etapa se organizó el Primer Encuentro entre CATAs, donde cada una de ellas, en conjunto con el equipo de investigación y técnicos, sentó las bases para la construcción de los PIACs.

Resultados y Discusión

Identificación de experiencias agroecológicas y sus redes de colaboración

Se identificó una red de experiencias agroecológicas y sus relaciones de colaboración alrededor de la agroecología. Desde esta red, cinco grupos CATA se conformaron (Figura 3). Es una red articulada desde distintos espacios formativos y organizativos, consta de 53 nodos y tiene apenas 96 vínculos establecidos, equivalente a una densidad del 4%. La red está conformada principalmente por actores comunitarios (33.96%), seguido de actores vinculados al programa Sembrando Vida (SV) (13.21%), actores vinculados a Instituciones de Educación Superior (IES) (15.10%), a la ENBC - ASA (9.43%) y en menor medida a Centros Públicos de Investigación (CPI), el programa Cosechando Soberanía (COSOB), Instituciones de Educación Media Superior (IEMS), Sociedad Civil (SC), y al PIES AGILES (PIESA).



ción aportan capacidades científicas y metodológicas que fortalecen los procesos de co-innovación y aprendizaje colectivo. Su participación favorece el intercambio de conocimientos entre la ciencia y los saberes locales, elemento fundamental dentro de los enfoques transdisciplinarios de IAP.

En este sentido, la red observada constituye un espacio de coproducción de conocimiento más que un mecanismo de transferencia tecnológica unidireccional. La incorporación de instituciones de educación media superior, organizaciones de la sociedad civil y programas como Cosechando Soberanía, ENBC-ASA y PIES AGILES muestra que la transición agroecológica involucra una diversidad de actores con funciones complementarias. Esta heterogeneidad incrementa la capacidad de la red para movilizar recursos, facilitar procesos de aprendizaje y responder a las necesidades específicas de cada comunidad.

Conformación de Comunidades de Aprendizaje en Transición Agroecológica (CATA)

Las cinco Comunidades de Aprendizaje en Transición Agroecológica (CATA) para el codiseño e implementación de los PIAC son: **Apalani y Campanario**, pertenecientes a los bienes comunales de Cacahuatpec, municipio de Acapulco; **Crucero de Camino y Guadalupe Victoria**, en el municipio de Xochistlahuaca y el **CBTA 222** de Cochoapa, municipio de Ometepec. En las CATA se refleja una diferencia en términos de vinculación con actores; en Acapulco colaboran con el programa Sembrando Vidas; en Xochistlahuaca, con Cosechando Soberanía y en Ometepec es una escuela de corte agropecuario.

La conformación de las cinco CATA confirma que la metodología de IAP favoreció la articulación de actores con diferentes capacidades, experiencias y funciones dentro de cada uno de los territorios, ya que promovió espacios de diálogo, intercambio de saberes, reconocimiento de las experiencias previas y toma de decisiones compartidas, fortaleciendo la construcción de redes de colaboración entre comunidades, instituciones educativas y programas gubernamentales. Las diferencias observadas entre las CATA reflejan la capacidad de la IAP para adaptarse a las condiciones y actores presentes en cada contexto. En este sentido, la vinculación con programas como Sembrando Vida, Cosechando Soberanía y el CBTA 222 demuestra que la metodología permitió aprovechar las fortalezas locales para impulsar procesos de aprendizaje colectivo y transición agroecológica, en concordancia con los principios de la transdisciplina.

Autodiagnóstico

Cada CATA se diferencia en su origen y vinculación con actores; tiene proyectos de base agroecológica con trayectorias variables y, de manera general, identifica problemáticas regionales que se expresan a continuación.

CATA CBTA 222 Cochoapa municipio de Ometepec

La comunidad de aprendizaje CBTA 222 se ubica en Cochoapa, municipio de Ometepec, Gro., y está conformada por estudiantes del cuarto semestre y docentes de los módulos profesionales del perfil de Técnico Agropecuario. Identificaron como problemática: pérdida de semillas nativas, la contaminación de agua y suelo, el uso excesivo de agroquímicos en la producción agrícola, plagas y enfermedades en los cultivos, la falta de concientización por la preservación de la biocultura y el no arraigo al campo por parte de las juventudes. El CBTA motiva al cultivo de maíces desde la agroecología.

CATA Apalani Bienes comunales de Cacahuatpec, municipio de Acapulco

Formó parte de la comunidad de PIES AGILES. Se trata de un grupo de 15 personas: mujeres (nueve) y hombres (seis). Algunos de ellos participan en la Comunidad de Aprendizaje Campesino (CAC) “Nueva Vida” del programa Sembrando Vida (SV). Identificaron como problemática: introducción de maíces híbridos y disminución de usos de variedades de maíces y de alimentos vinculados a estos, plagas, uso de agroquímicos y monocultivos. Implementan prácticas agroecológicas mediante el establecimiento de sistemas agroforestales y prácticas agroecológicas.

CATA Crucero de Camino municipio de Xochistlahuaca

El grupo “Crucero de Camino” se integró en octubre de 2025 por iniciativa de un profesor. El grupo se conformó entre vecinos y familiares para sembrar hortalizas de cilantro, rábano, pepino, ejote, maíz para autoconsumo y venta a nivel local. Dentro de las problemáticas mencionadas está la disminución de variedades de maíces y frijoles, pero también de cacao y arroz. El uso de maíz mejorado, las plagas y la dependencia agroquímicos.

CATA El Campanario Bienes comunales de Cacahuatpec, municipio de Acapulco

A través de su integración en el Programa de Sembrando Vida, conformado por 34 mujeres y dos hombres, quienes denominaron su grupo de trabajo CAC “Nueva Generación”. En el diagnóstico amplio participativo se identificaron varios pro-

blemas, entre ellos: monocultivos, disminución de cultivos de algunas semillas de maíces y frijoles, contaminación del agua, deforestación, pérdida de flora y fauna local, incendios forestales, manejo de residuos y uso de agroquímicos. Se encuentran en proceso de transición agroecológica con la elaboración de bioinsumos.

CATA Guadalupe Victoria, municipio de Xochistlahuaca

La CATA Guadalupe Victoria la conforman 15 mujeres y hombres, en su mayoría mujeres y adultos mayores de 50 años. Se dedican a la producción de maíz, frijol y calabaza. La problemática identificada en la producción es el daño en los cultivos de frijol causados por el exceso de lluvia durante las temporadas de huracanes. El grupo trabajará en la producción de maíz-frijol-calabaza haciendo uso de microorganismos benéficos para la agricultura, elaborados por el grupo en su propia casa productora de bioinsumos.

Variedades de maíces y frijoles en las CATA

Se registraron las variedades de semillas de maíces y frijoles nativos que las CATA siembran y han dejado de sembrar (Tabla 1). Se observan similitudes, pero también diferencias en las variedades presentes en cada CATA y es solo en las CATAs de Acapulco donde no mencionaron variedades que hayan dejado de sembrar.

Tabla 1. Variedades de maíces y frijoles que se siembran en las CATA

CATA	Maíces	Frijoles	Variedades que han dejado de sembrar
Apalani	Olotillo, morado, toro y conejo	Blanco, ejote, comba, negro y de palo.	Frijoles: rojo, pinto, mongo y cuita de chivo
CBTA 222	Blanco toro, amarillo tecomache, rojos y morados	Blanco bolita y frijol negro nativo	Chile: cochoapeño Maíz: tecomache
El Campanario	Toro, elotillo y morado	Comba y frijol blanco ejotero	Maíz: conejo y sapo Frijol: negro "chaparro"
Crucero de Camino	Tecomache y olotillo	Chaparro, ejotero, negro, "cuita de chivo"	
Guadalupe Victoria	Morado, olotillo, amarillo cuarenteño, rojo macho y, sapo y olotillo	Negro "chaparro", frijol vara, negro cuita de chivo, blanco, pinto, chaparro, ejotero y rojo	

Fuente: Elaboración propia

La diversidad de variedades de maíces y frijoles registradas en las cinco CATAs evidencia que estos territorios constituyen reservorios de agrobiodiversidad, donde aún se conservan materiales nativos adaptados a las condiciones ambientales y

culturales de cada región. La coexistencia de variedades con diferentes características sugiere que las prácticas tradicionales de selección e intercambio de semillas continúan desempeñando un papel fundamental en la conservación de los recursos fitogenéticos. Por otra parte, el registro de variedades que han dejado de sembrarse representa un proceso de erosión genética, posiblemente asociado a cambios en los sistemas productivos, la disponibilidad de semillas comerciales, la disminución de intereses por ciertas variedades. Esta pérdida representa un riesgo para la resiliencia de los agroecosistemas al reducir la diversidad genética disponible.

Co-diseño de los PIAC

En marzo se llevó a cabo el Primer Encuentro entre CATAS en el CBTA 222 en Cochoapa. Se realizaron actividades para conocernos, dialogar, intercambiar semillas y asentar las bases para la construcción de los PIACs y que atenderán a una problemática reconocida (Tabla 2).

Tabla 2. Problemática abordada desde el PIAC

CATA	Nombre del PIAC	Problemática abordada	Propuesta del PIAC
Apalani	Parcela de milpa demostrativa "Los Carrizos"	Monocultivos	Recuperación del sistema milpa
El Campanario	"El Manguito" MIAF	Monocultivos	Maíz y frijol intercalado con frutales, es decir, en un sistema Milpa Intercalada con Árboles frutales
CBTA 222	Preparando surcos agroecológicos para el maíz y frijol nativo	Uso excesivo de agroquímicos Semillas nativas en riesgo de desaparecer	Cultivo maíz-frijol con semillas nativas
Crucero de Caminos	Parcela experimental para la liberación agroecológica del maíz y frijol nativo	Limitada diversificación de cultivos nativos	Producción diversificada de hortalizas, maíz y frijol nativo, así como en el manejo agroecológico de plagas y enfermedades.
Guadalupe Victoria	Tman Nan CannTsu	Afectaciones al cultivo del frijol	Centro de bioinsumos

Fuente: Elaboración propia

Los PIAC demuestran que la metodología de IAP permitió identificar problemáticas específicas de cada CATA y codiseñar propuestas acordes con las necesidades y recursos locales. La diversidad de los PIAC refleja que la transición agroecológica no responde a un modelo homogéneo, sino que requiere soluciones construidas

de manera participativa a partir de las condiciones ecológicas, productivas y socio-culturales de cada territorio.

Las problemáticas identificadas, como la pérdida del sistema milpa, el uso intensivo de agroquímicos, el riesgo de desaparición de semillas nativas y las afectaciones al cultivo del frijol, muestran desafíos comunes para la sostenibilidad de los agroecosistemas. No obstante, las propuestas desarrolladas como la recuperación del sistema milpa, el establecimiento de sistemas MIAF, la conservación de semillas nativas, la diversificación de cultivos y la producción de bioinsumos incorporan principios agroecológicos orientados a fortalecer la biodiversidad, reducir la dependencia de insumos externos y aumentar la resiliencia de los sistemas de producción.

La construcción participativa de los PIAC fortaleció el diálogo entre campesinos, campesinas, investigadores e investigadoras e instituciones, favoreciendo la integración de conocimientos científicos y saberes locales. En este sentido, los resultados muestran que la metodología de IAP facilitó la generación de soluciones contextualizadas y el fortalecimiento de capacidades locales para impulsar procesos de transición agroecológica.

Conclusiones

La secuencia didáctica propuesta posibilitó la integración de saberes y conocimientos provenientes de diferentes onto-epistemologías, y con ello, la consolidación de comunidades de aprendizaje diversas en sus contextos, pero que atienden necesidades vividas en función de los cultivos de maíces y frijoles nativos que se fortalecen desde las redes de colaboración con diversos actores. El modelo de formación en manejo agroecológico de maíces y frijoles se ha ido construyendo por un conjunto de experiencias vividas, retoma las narrativas y vivencias de quienes integran las CATAS. Las herramientas participativas han facilitado este proceso, dando prioridad al sujeto colectivo en la toma de decisiones y otorga la flexibilidad para adecuarse a los contextos. La pertinencia de ajustar y flexibilizar metodologías participativas desde la co-construcción de un modelo de formación, entendido como un programa orientado al codiseño de agroecosistemas de maíces y frijoles nativos facilita la apropiación de herramientas, técnicas, modelos y metodologías para la transformación de problemáticas situadas, así como para la creación de propuestas de solución con pertinencia biocultural.

Como integrantes del equipo de investigación, ha representado un desafío amalgamar los puntos de intersección y colaboración desde los recursos disponibles, los conocimientos locales, el tiempo, las dinámicas académicas desfasadas de las dinámicas territoriales, los sentipensares, lo que les motiva a mejorar y/o potenciar, pero

ha sido la flexibilidad, disposición, entrega y capacidad del equipo para responder a las necesidades desde el apoyo. Con este objetivo alcanzado en la segunda fase del proyecto (11 meses) se concretará, implementará y sistematizará el PIAC.

Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener conflictos de intereses asociados a relaciones comerciales, financieras o de otra índole que pudieran influir en los resultados de la investigación.

Financiamiento

El presente trabajo fue desarrollado como parte del proyecto “Redes de colaboración transdisciplinaria en procesos de formación e incidencia científica-tecnológica para la autosuficiencia alimentaria de maíces y frijoles en comunidades rurales de Guerrero”, ejes estratégicos PEE-2025-G-540. Este proyecto es financiado mediante la convocatoria Ejes Estratégicos 2025 de la SECIHTI, bajo la responsabilidad técnica de la Dra. Georgina Alethia Sánchez Reyes.

Agradecimientos

Se agradece profundamente a las y los integrantes de las CATA de Apalani y Campanario de Acapulco de Juárez, Crucero de Camino y Guadalupe Victoria en Xochistlahuaca; así como de la comunidad del CBTA 222 de Cochoapa, Ometepec, Guerrero. Además, se expresa un especial agradecimiento a las y los técnicos agroecológicos del programa Sembrando Vida y Producción para el Bienestar.

Referencias

- Altieri, M., & Nicholls, C. (2007). Conversión agroecológica en sistemas convencionales de producción: teoría, estrategias y evaluación. *Ecosistemas*, 16 (1), 6-11.
- Bastian, M., Heymann, S., & Jacomy, M. (2009). Gephi: An Open Source Software for Exploring and Manipulating Networks. *Proceedings of the International AAAI Conference on Web and Social Media*, 3(1), 361–362. <https://doi.org/10.1609/icwsm.v3i1.13937>
- Borgatti, S. P., Everett, M. G., & Freeman, L. C. (2002). *Ucinet for Windows: Software for Social Network Analysis*. Analytic Technologies.
- Caporal, R. F., & Costabeber, J. A. (2004). *Agroecología: alguns conceitos e princípios*. MDA/SAF/DATER-IICA.
- Comisión Nacional para el Conocimiento y el Uso de la Biodiversidad. (2011). *Proyecto global de maíces nativos*. Consultado el 1 de julio de 2027. <https://www.biodiversidad.gob.mx/diversidad/proyectoMaices>

- Cortez-Bacilio, M., (2022). Guerrero: centro de origen de maíces nativos y biodiversidad. *La jornada del campo*. <https://www.jornada.com.mx/2022/03/19/delcampo/articulos/guerrero-origen-maices.html>
- Fals- Borda, O. (1985). *Conocimiento y poder popular* (1a). Siglo XXI Editores.
- Flores Castro, A., Corrales-Pablo, N., Redondo-Godínez, C., Bolito-González, A., Hernández-Tapia, M., Hernández-Tapia, V., Lucas-Bartolo, S..... Brito-Millán, M. (2021). Escuchando los ECCCOS. Sabiduría antigua para la resiliencia socioambiental. En Rivera-González, I. & Pardo-Núñez, J. (Coord). *Caminando en la Montaña de Guerrero. Soberanía hidroagroecológica desde la economía social* (pp. 15-40). Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías y Fondo de Cultura Económica. <https://doi:10.5281/zenodo.15014925>
- Lave, J., & Wenger, E. (1991). *Situated Learning: Legitimate Peripheral Participation*. Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511815355>
- Lugo Cervantes, E., Gschaedler- Mathis, A., Alcázar-Valle, M., García-Morales, S., Sánchez-Orsorio, E., Mojica-Contreras, L., ... Flores-López, M. (2022). El frijol en Xochistlahuaca Guerrero. En E. Sánchez-Orsorio, S. García-Morales & M. Alcázar-Valle (Eds), *Aprendiendo más sobre el frijol y su importancia en xochistlahuaca*. Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco A.C. <https://conahcyt.repositorioinstitucional.mx/jspui/handle/1000/54>
- Lugo-Morin, D. R. (2011). Análisis de redes sociales en el mundo rural: Guía inicial. *Revista de Estudios Sociales*, (38), 1–27.
- Merçon, J. (2022). Investigación transdisciplinaria e investigación-acción participativa en clave decolonial. *Utopía y Praxis Latinoamericana*, 27(98), 1-18. <https://doi.org/10.5281/zenodo.6614174>
- Reza-Solis, I. J., Romero-Rosales, T., Hernández-Galeno, C. D. Á., Lagarda, J. L. V., & Lobato, V. J. (2024). Saberes tradicionales en el cultivo de maíces nativos. *Revista Biológico-Agropecuaria Tuxpan*, 12(1), 167-178. <https://doi:10.47808/revistabioagro.v12i1.55>
- Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. (2024). *Maíces nativos: de semilla a artesanía*. Gobierno de México. https://www.gob.mx/agricultura/articulos/maices-nativos-de-semilla-a-artesania?utm_source=chatgpt.com
- Torres- Carrillo, A. (2007). *Educación popular: Trayectoria y actualidad*. Universidad Pedagógica Nacional.



**50 AÑOS DEL CIATEJ:
CIENCIA, TECNOLOGÍA Y SOCIEDAD**





Aportes de la antropología social a los sistemas alimentarios: una trayectoria de investigación desde el CIATEJ

Contributions of social anthropology to food systems: a research trajectory from CIATEJ

María de Lourdes Flores López^{1*}

¹ Investigadora por México. SECIHTI-CIATEJ, Guadalajara, México.

*Autor de correspondencia: María de Lourdes Flores López, mlflores@secihtl.mx

Palabras clave:

prospectiva, sistemas alimentarios, interdisciplina

Keywords:

foresight, food systems, interdisciplinarity

Resumen

Se presenta la trayectoria de investigación realizada como parte de los proyectos del programa Investigadores por México desarrollados en el CIATEJ, a partir de la participación en el Laboratorio de Prospección Tecnológica en alimentos y alimentación. La aproximación metodológica fue la etnografía con un enfoque interpretativo. Se desarrollan, en términos narrativos, los aportes de la antropología a los sistemas alimentarios y se reflexiona sobre la importancia de la interdisciplina para la construcción del conocimiento y la generación de posibilidades de transformación social.

Abstract

This paper presents the research trajectory undertaken as part of the “Researchers for Mexico” program projects at CIATEJ, stemming from participation in the Laboratory for Technological Foresight in Food and Nutrition. The methodological approach employed was ethnography with an interpretive focus. The contributions of anthropology to food systems are discussed narratively, and the importance of interdisciplinarity in constructing knowledge and generating possibilities for social transformation is examined.

Recibido: 15 de mayo 2026
Revisado: 25 de junio 2026
Aceptado: 30 de junio 2026
Publicado: 01 de agosto 2026



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/>

La alimentación como fenómeno complejo

Los seres humanos necesitamos alimentarnos para la reproducción social y biológica de la especie. La alimentación trasciende el simple hecho nutricional y constituye un complejo sistema cultural y social que determina lo comestible y lo consumible para cada grupo social. En este sentido, la complejidad alimentaria involucra una serie de procesos y dinámicas que se entretajan para que los individuos puedan alimentarse. La forma en la que nos alimentamos se inserta en un contexto determinado que es influenciado por múltiples factores. En la prehistoria, conseguir alimentos era la parte fundamental de la existencia y supervivencia: a través de la caza o recolección. Actualmente, ya no cazamos ni recolectamos alimentos; el acceso a los alimentos se despliega en una sociedad donde la comida es indispensable, pero la forma en la que accedemos a ella ha cambiado (Flores, 2012).



Figura 1. Comida en Oaxaca

Fuente: Foto propia, trabajo de campo, 2018



Figura 2. Mercado San Gabriel, Puebla

Fuente: Foto Ana Bertha García Bravo, trabajo de campo, 2023

La organización social se ha segmentado de tal manera que un sector produce alimentos, otro los procesa y los distribuye para llegar al consumidor. Sin embargo, no es tan simple como parece; en todas estas dimensiones que involucran los sistemas alimentarios se complejizan los procesos. Por ejemplo, la producción de alimentos está condicionada por factores históricos, políticos y económicos; podemos mencionar el caso mexicano: actualmente la producción de alimentos y granos básicos ha disminuido y se depende de la importación de granos para solventar la demanda. Se puede observar que la producción está enfocada en la exportación de alimentos, como el aguacate o los frutos rojos, los cuales se producen de forma intensiva en nuestro país, pero el consumo es limitado, dado que la mayoría de la producción se exporta a otros países (Rubio, 2009).



Figura 3. Mercado 16 de marzo, Tehuacán, Puebla
Fuente: Foto Ana Bertha García Bravo, trabajo de campo, 2025

Si hablamos de las preferencias y gustos alimentarios, están modulados por los factores antes mencionados. Por ejemplo, la expansión de la industria alimentaria con la industrialización en el siglo XIX, derivada del proceso de enlatado, y en el siglo XX con la congelación de alimentos y la producción de ultraprocesados. Actualmente, ha desplazado el consumo de ciertos alimentos y delineado los paladares para favorecer el uso y consumo de sus productos ultraprocesados, en particular en niños y adolescentes (Figuras 1-3). Según datos de la Encuesta Nacional de Salud y Alimentación, aproximadamente el 67% de niños y adolescentes consumen azúcares añadidos por encima de las recomendaciones; a su vez, la prevalencia del consumo de productos ultraprocesados es del 75%. Si bien la tecnología en alimentos ha tenido un papel importante en la oferta de alimentos, garantizando la conservación y el acceso a alimentos en zonas donde no se tiene, ha jugado un papel crucial al modelar las preferencias y gustos alimentarios. Esto va más allá del hecho nutricional, como lo evidencian las altas prevalencias de sobrepeso y obesidad que afectan al 40% de la población adolescente y al 70% de los adultos (Encuesta Nacional de Salud y Alimentación, 2024). Las nuevas generaciones se relacionan de manera diferente con los alimentos y las comidas.

Estos son algunos ejemplos de la complejidad alimentaria, dotada de aspectos sociales, económicos, políticos y culturales (Figura 4). La mirada de la antropología ayuda a comprender cómo se despliegan estos aspectos, los componentes históricos que los determinan, así como los efectos que tienen en una población específica,

con la intención no solo de comprender estos fenómenos, sino también de buscar propuestas para posibles soluciones.



Figura 4. Altar, la Casa del Maíz, San Juan Evangelista
Fuente: Foto propia, trabajo de campo, 2023

En este sentido, en este documento queremos esbozar cómo se desarrolló la experiencia de investigación de la antropología social respecto a la complejidad alimentaria inserta en el Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco (CIATEJ), en el marco de un proyecto denominado Laboratorio de Prospección Tecnológica interregional para el desarrollo innovador de alimentos y alimentación (PROTEA)¹ derivado de los primeros proyectos que encabezaron el Programa Cátedras del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), ahora llamado Investigadores por México de la Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación (SECIHTI). Este proyecto se propuso como tema del Programa Especial de Ciencia y Tecnología (PECiTI) sobre desarrollo sustentable bajo el reto de Estudios de Política Pública y de prospectiva.

Inicio del proyecto prospectivo desde la antropología

El proyecto proponía conformar un grupo de trabajo conjuntando especialistas que abonaran a desarrollar aspectos prospectivos y de política pública respecto al tema

¹ Proyecto No,948 propuesto por el Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco para el Desarrollo de capacidades científicas, tecnológicas y de innovación en la modalidad de Cátedras CONACYT.

alimentario. El grupo de trabajo se integró por dos sociólogos, un economista, un administrador de empresas y una antropóloga. Se debe mencionar que ninguno de los convocados era especialista en el área de prospección tecnológica; nos aproximábamos desde nuestras especialidades para comprender los fenómenos que se despliegan en diversos territorios y espacios sociales respecto al tema alimentario. Esta inexperiencia, que parecería jugar en contra, fue más bien favorable para empezar a estudiar el tema. Los cuestionamientos surgían de cómo integrar la prospección como un elemento que pudiese detonar el desarrollo tecnológico en la alimentación.

Lo anterior remite a introducir una amplia discusión y debates respecto a la postura epistemológica sobre la incursión de la antropología social cuando inicia una investigación. El planteamiento es: ¿cómo acercarse a la realidad social sin distorsionarla mediante categorías previas que pueden ser sumamente rígidas? En términos de la tradición malinowskiana (Malinowski, 1986), se observa el fenómeno para identificar cómo se despliega cierta realidad social, donde el trabajo de campo en el territorio es el espacio de producción del conocimiento social. Geertz (2003) plantea que la realidad es una red de significados entrelazada por los seres humanos y enraizada en las prácticas sociales; por tanto, la interpretación de la red no es a través de verificar leyes generales o supuestos teóricos, sino interpretar la red desde dentro: una visión interpretativa de la realidad social donde la etnografía, la observación y el trabajo de campo son elementos cruciales. Desde una visión estructuralista-funcionalista, Radcliffe-Brown (1975) alude al método inductivo que plantea la propuesta de supuestos o hipótesis que deben ser verificables. Podemos plantear una dialéctica entre ambas posiciones, particularmente considerando que no investigamos pueblos ajenos a nuestra propia realidad; somos parte de esos pueblos y comunidades, por lo que los dispositivos epistemológicos y metodológicos deben estar presentes constantemente (Guber, 2011).

El trabajo de campo como fuente de conocimiento estratégico

Incorporar la prospectiva al tema alimentario desde la antropología implicó la comprensión de la realidad en y desde el terreno. Estas primeras aproximaciones permitieron incorporar los aspectos epistemológicos para comprender el fenómeno alimentario desde la noción de sistemas, es decir, desde la producción de alimentos, atravesando la transformación, distribución, comercialización y consumo de alimentos. Uno de los ejes transversales del proyecto aludía a trabajar en las regiones que tienen aún altos índices de pobreza: los estados de Guerrero, Oaxaca y Chiapas. El trabajo de campo fue un elemento central para empezar a reconstruir el diagnóstico sociocultural que nos permitiera entender la situación que estos estados atraviesan particularmente en

la producción de alimentos. Dado que no solo tienen como característica los altos índices de pobreza, sino también, paradójicamente, son los estados con mayores recursos bióticos, biodiversos y agrodiversos, así como bioculturales, que, en teoría, deberían potenciar en todos los aspectos las condiciones de vida de sus pobladores.

El trabajo de campo intenso se realizó bajo el amparo de varios proyectos de investigación que se impulsaron desde el laboratorio. Cinco proyectos específicos fueron claves para este diagnóstico: a) proyecto Fortalecimiento de la infraestructura para el desarrollo tecnológico y la innovación de la actividad agroalimentaria del estado de Chiapas², b) Producción y aprovechamiento del café. Prospección sistémica de la cadena de valor en los estados de Chiapas, Oaxaca y Guerrero³, c) Proyecto Sistema de Inteligencia estratégica y su articulación para el impulso del desarrollo regional de las cadenas a través del uso de conocimiento tradicional y tecnología de vanguardia⁴, d) Protección, sustentabilidad y aprovechamiento del ecosistema en la biodiversidad del agave: la cadena productiva del mezcal en el estado de Aguascalientes, los municipios de Pinos y Villa Hidalgo, Zacatecas, y el estado de Oaxaca⁵ y e) Entornos de aprendizaje, capacitación y análisis para el fortalecimiento de las cadenas de valor a partir del trabajo con maestras mezcaleras en Oaxaca y Guerrero⁶. Estos proyectos fueron gestionados y financiados con recursos del Consejo de Ciencia y Tecnología, donde se incorporó la perspectiva de la antropología social para construir elementos de diagnóstico que nos permitieran comprender la realidad social respecto a la producción de café, frutales, hortalizas, agave y la elaboración del mezcal (Figuras 5 y 6).



Figura 5. San Juan del Río Oaxaca
Fuente: Foto propia, trabajo de campo, 2019



Figura 6. Planta de café, La Concordia, Chiapas
Fuente: Foto propia, trabajo de campo, 2017

² FOMIX Chiapas No. de proyecto: 274425

³ Fondo de Problemas Nacionales. No. de proyecto 2015-01-1011

⁴ Fondo de Problemas Nacionales FORDECYT-ADESUR. No. de proyecto: 50294. Realizado de 2016-2020.

⁵ Proyecto financiado por el Fondo de Problemas Nacionales 2015. 2015-01-1406.

⁶ Proyecto financiado por el Fondo de problemas nacionales. No. de proyecto: 6590. Realizado de 2018-2020.

Hubo una interrupción del trabajo de campo en estas regiones que obedeció a la incursión de la pandemia de COVID-19, lo cual limitó en gran medida el desarrollo del trabajo de campo. No obstante, a pesar de las limitaciones de movilidad, se mantuvo la colaboración en la zona amuzga de Guerrero mediante dos proyectos realizados en esta zona (Figura 7), donde se abordaron aspectos vinculados a documentar las diversas formas de cuidado a través de la medicina tradicional, la importancia de la alimentación y los retos que se enfrentaron respecto a la propia pandemia⁷.



Figura 7. Xochistlahuaca, Guerrero
Fuente: Foto propia, trabajo de campo, 2021

Si bien la pandemia limitó la movilidad en el sureste, se reorientó el trabajo etnográfico en la región de occidente, la zona conurbada de Guadalajara y algunos municipios de Jalisco. Se realizaron colaboraciones documentando los aspectos sociales, culturales y ambientales de la laguna de Atotonilco. La colaboración en un proyecto sobre prevención y cuidados de la salud ósea; otro proyecto fue sobre panificación y los aspectos sociales involucrados⁸. Se colaboró en la creación del NODESS en soberanía alimentaria con productores de La Barranca, en Zapopan, quienes tienen una actividad productiva con el nopal, y también se colaboró en un proyecto con productores de queso en Zapotlanejo, Jalisco.

En resumen, el trabajo etnográfico se desarrolló en el estado de Chiapas, en la Región Frailesca, Los Altos y el Soconusco; en el estado de Guerrero, en la Región Amuzga, Costa Chica, en comunidades productoras de café y mango (Costa Gran-

⁷ De este proyecto se coordinaron dos libros: 1) *Los Nn'anncue Ñomndaa (Amuzgos) de Guerrero frente a la COVID-19: Subjetividades, resistencias y cotidianidad*; además de la coordinación, se desarrolló un capítulo de libro titulado "Médicos tradicionales en Xochistlahuaca y los retos ante la COVID-19"; 2) *Rompiendo Fronteras. El mundo biomédico y la medicina tradicional Nn'anncue Ñomndaa (amuzgos) de Guerrero ante la emergencia sanitaria causada por la COVID-19*; finalmente otro artículo publicado respecto a los retos del sector salud en la atención de la COVID-19 en la región amuzga Costa Chica de Guerrero, México

⁸ Se generó material de divulgación: un capítulo sobre Caracterización socioeconómica de la Cuenca Laguna de Atotonilco. Un artículo de divulgación: Cómo volvernos irrompibles: el cuidado a la salud ósea y Una mascota inusual.

de, Atoyac de Álvarez). En Oaxaca, en comunidades mezcaleras de San Juan del Río, Tlacolula, entre otras (Figura 8). En Aguascalientes y Zacatecas se trabajó en comunidades donde se desenvuelve la cadena agave-mezcal. En el estado de Jalisco, se trabajó en Zapotlanejo con productores de queso; en la Laguna de Atotonilco, en comunidades de la Barranca en Zapopan. Así como en la zona conurbada de Guadalajara con movimientos relacionados con la agricultura urbana.



Figura 8. Siembra intercalada de maíz y agave, Oaxaca
Fuente: Foto propia, trabajo de campo, 2018

Esta aproximación etnográfica en la región del sureste se sumó a los estudios de índole social que se han desarrollado en estas zonas. Convergen en identificar el peso histórico que implicó la colonización de los territorios para despojarlos de sus bienes comunes, una forma de extractivismo en términos de Grosfoguel (2016), que alude no solo a los recursos biodiversos de la región, sino también a un despojo cultural civilizatorio que tiene grandes repercusiones en la vida actual de la región. Compartimos el planteamiento de Gudynas (2015) sobre el extractivismo de la colonización, expresado a través del saqueo y la apropiación colonial que permitieron la expansión europea desde 1492 (Acosta, 2004). Colocando a los países de la América Latina como países periféricos (Wallerstein, 2016), donde la explotación agrícola, así como la de otros recursos como la minería y la pesca, deriva en beneficio de los países centrales o metropolitanos (Svampa, 2019), también se expresa en la explotación de los cuerpos-territorios mediante la precarización laboral y la migración forzada (Sassen, 2013).

Evidenciamos el empobrecimiento de la población agrícola, bajos salarios, la falta de infraestructura en lo rural, condiciones laborales precarizadas y explotación desmedida de los recursos agrícolas; por ejemplo, el café orgánico producido en Oaxaca y Guerrero se exporta; no se consume en México; el precio del café al productor

es injusto (Flores et al., 2019; Flores & Solís, 2025). Lo mismo pasa con el mezcal. Los pequeños productores no pueden competir con los grandes monopolios que manejan el mercado de las bebidas espirituosas (Flores & Sánchez, 2020; Flores et al., 2018). En el caso de las frutas tropicales, también se insertan en la exportación, donde los monopolios transnacionales se ven beneficiados. Se pudo documentar el desplazamiento en la producción de granos básicos por monocultivos que también son objeto de extractivismo agrícola en el caso de Chiapas (Flores, 2018). Se documentó el papel que tienen los pequeños transformadores y las resistencias respecto a la comercialización de quesos artesanales (Flores et al., 2024).

La prospectiva, la soberanía alimentaria, justicia social y derecho a la alimentación: conceptos que orientan la investigación

Esta aproximación etnográfica ayudó a la comprensión de los procesos complejos que se insertan en las diferentes dinámicas de los sistemas alimentarios en algunas regiones de la República Mexicana. A su vez, contribuyó a dar paso a los siguientes objetivos del proyecto sobre los aspectos prospectivos y las propuestas de políticas públicas (Figura 9). La prospectiva forma parte de las disciplinas de las ciencias sociales; se enmarca en la arena de las ciencias políticas y de los estudios de los futuros. La prospectiva, en términos teóricos, es la forma en la que se plantea, planifica y construye, aquí y ahora, el futuro que se anhela a través de acciones precisas. En nuestra aproximación de la prospectiva, partimos de cuestionar quién o quiénes, por qué, para qué y cómo se plantea o planifica y construye el futuro. La importancia de considerar la perspectiva del actor y el papel central que tiene en la construcción de otros futuros fue un elemento central al abordar estas dimensiones.



Figura 9. Rueda del Futuro. Trabajo de campo Jalisco
Fuente: Foto propia, trabajo de campo, 2023

Se mencionan a continuación algunos ejemplos que recuperamos a partir de la investigación antropológica orientada al rediseño de políticas públicas alimentarias basadas en justicia social, soberanía alimentaria y derecho a la alimentación a partir de los propios sujetos sociales que viven cotidianamente prácticas, problemas, retos respecto a los procesos involucrados en algunos de los sistemas alimentarios.

El papel de las mujeres en los sistemas alimentarios, la visibilización de las mujeres en los procesos de producción, organización, comercialización y resistencia social son elementos tangibles de procesos prospectivos; lo observamos en el papel que juegan las mujeres no solo en la producción, sino en la comercialización del agave-mezcal (Flores et al., 2022), una labor invisibilizada pero relevante para la economía familiar y de cuidados (Figuras 10 y 11).



Figura 10. Fábrica de Mezcal, Guerrero
Fuente: Foto propia, trabajo de campo, 2019



Figura 11. Mujeres resguardando semillas
Fuente: Foto propia, trabajo de campo, 2022

En el caso de los productores de queso artesanal, las tensiones con la agroindustria lechera, que han complejizado la obtención de materia prima básica para la elaboración de queso, dejan de forma secundaria los aspectos relacionados con el uso del suero de leche, pero no por falta de conciencia sino por priorización de problemáticas (Figura 12). El género, la economía rural, familiar y de cuidados permiten incorporar procesos de innovación social, incorporando otras formas y vías de hacer que se integran para la reproducción social de las familias, comunidades y pueblos. Estos elementos son vitales para replantear las políticas públicas en términos alimentarios.



Figura 12. Queserías en Santa Fe, Jalisco
Fuente: Foto propia, trabajo de campo, 2022

Los mercados tradicionales, como expresiones y espacios de resistencia social y comunitaria ante el comercio corporativo, permiten dar cuenta del sostenimiento de prácticas históricas y culturales que han permitido la reproducción social de las comunidades. Estas formas de vida sostienen la biodiversidad alimentaria local y regional y también contribuyen a la salud comunitaria, a la defensa de los territorios, a la continuidad de prácticas agroecológicas y procesos de soberanía alimentaria (Solís et al., 2024a; 2004b).

Los aspectos prospectivos y la construcción de otros futuros alimentarios, desde la perspectiva de las comunidades, se materializaron en un ejercicio metodológico a partir del proyecto de Ciencia Básica y Frontera en su modalidad de Paradigmas de la Ciencia, aprobado⁹ por la SECIHTI. Esto permitió ampliar y condensar de una manera más concreta aspectos vinculados a la propuesta de políticas públicas para configurar el sistema alimentario en México en voz de las comunidades y actores involucrados en dichos sistemas. Este proyecto implicó incorporar prospectiva crítica latinoamericana (Milkos, 2007; Aguilar, 2018; Vitale, 2016; Baena, 2016, 2021) entretejiendo los aspectos de políticas públicas y el papel del Estado para el cumplimiento del derecho humano a la alimentación, mediante las propuestas sobre construcción de escenarios bajo y con la mirada de las comunidades, productores y actores locales, que imaginan y recrean otros sistemas alimentarios más justos y sostenibles (Flores y Solís, 2024)

A su vez, permitió el análisis de las políticas públicas en términos alimentarios, el papel del Estado como garante de la alimentación y la necesidad de incorporar en los aspectos prospectivos a los actores políticos y gubernamentales como parte del ecosistema alimentario, indispensable para favorecer y garantizar el derecho humano a la alimentación.

⁹ Proyecto de Ciencia Básica y Frontera. Paradigmas y Controversias de la Ciencia. No. 31922. Responsable técnica

Reflexiones finales

Mi participación como antropóloga en el proyecto PROTEA ha implicado la reflexión sobre el papel de la interdisciplina, no solo como un puente entre diversas áreas del conocimiento, sino como una articulación necesaria que permita la coconstrucción de condiciones que favorezcan el bienestar comunitario de una manera integral y holística, superando la hiperespecialización, fragmentación del conocimiento y descontextualización del entorno social.

¿Cuáles son los aportes de la ciencia, desde la antropología, para enfrentar los retos a los que se enfrenta como país a nivel de la alimentación? Los aportes no pueden observarse si no existe una interacción y un diálogo con las disciplinas sociales y tecnológicas. La resolución de problemas complejos como la alimentación debe poner en marcha todas las capacidades no solo institucionales, sino también de las diversas disciplinas, incorporando a los actores involucrados. El papel de los actores es central para construir de manera conjunta posibles caminos que nos permitan transitar a mejores condiciones de vida. Esta experiencia deja como aprendizaje que la ciencia debe dialogar con quienes viven cotidianamente las prácticas, problemáticas y retos alimentarios. En este sentido, la interdisciplina es indispensable para que la investigación científica y tecnológica genere posibilidades de transformación.

Referencias

- Aguilar Torrico, T., Papagno, S., Mariano, R., Vitale, J., & Aceituno, P. (2018). Hacia una prospectiva latinoamericana: un abordaje desde lo agrícola y lo alimentario. *Revista de Estudios Políticos y Estratégicos*, 6(2), 184–192.
- Acosta, A. (2024). *Deuda externa y extractivismos, dos caras de una misma medalla... colonial*. CADTM. <https://www.cadtm.org/Deuda-externa-y-extractivismos-dos-caras-de-una-misma-medalla-colonial>
- Baena, G. (2016). *La narrativa del futuro... Introducción a la prospectiva*. Facultad de Ciencias Políticas y Sociales, UNAM.
- Baena, G., Bustamante, H., Baena, P., Montero, S., & Mohammad, P. (2021). Sistema de innovación para estar en el futuro de manera anticipada. Propuesta para una metodología de capacidades anticipatorias. *Seminario de estudios prospectivos*. http://investigacion.politicas.unam.mx/semprospectiva/?page_id=133
- Flores López, M. L. (2012). Entre lo biológico y lo social: aproximación socioantropológica al estudio de la alimentación en el caso de la epidemia de la obesidad como forma de medicalización. *Revista Alter, Enfoques Críticos*, 3, 45-55.
- Flores López, M. L., Pardo Núñez, J., & Sánchez Osorio, E. (2019). Dilemas de la producción orgánica del café en Chiapas: El papel de las certificadoras.

- En D. I. Contreras Medina, J. Pardo Núñez & E. Sánchez Osorio (Coords.), *Producción y aprovechamiento del café: prospección sistémica de la cadena de valor en los estados de Chiapas, Oaxaca y Guerrero* (Cap. 7, pp. 199-218). Juan Pablos Editor.
- Flores López, M. L., & Solís López, M. K. (2025). Transformaciones en las cadenas del café orgánico: Perspectiva de los cafeticultores en La Frailesca, Chiapas. *Chakiñan, Revista de Ciencias Sociales y Humanidades*, 27, 97-117. <https://doi.org/10.37135/chk.002.27.05>
- Flores López, M. L., & Sánchez Osorio, E. (2020). La maquila del mezcal en Oaxaca: El caso de los mezcaleros en San Juan del Río. En A. Vázquez Elorza, E. Sánchez Osorio, & J. de J. Hernández López (Eds.) *Protección, sustentabilidad y aprovechamiento en la cadena productiva agave-mezcal* (pp. 133-147). El Colegio de Michoacán.
- Flores, M. L., Sánchez Osorio, E., & Pardo Núñez, J. (2018). Las tensiones en la denominación de origen del mezcal en Oaxaca. *Revista Tlamanti*, 9(2), 32-36.
- Flores López, M. L. (2018). La vocación agrícola en la región chiapaneca desde la mirada de productores primarios. En M. L. Flores López, E. Sánchez Osorio, & R. Prado Ramírez (Coords.), *Cadenas de valor en el sistema agroalimentario de Chiapas. Necesidades, retos y perspectivas* (Cap. 4, pp. 79-96). Juan Pablo Editor.
- Flores López, M. L. (2019). Los alcances en la producción agrícola chiapaneca. Una reflexión sobre la soberanía alimentaria en la región. *Región y Sociedad*. <https://doi.org/10.22198/rys2019/31/1177>
- Flores López, M. L., Solís López, M. K., Chombo Morales, M. P., & Suárez Jacobo, A. (2024). Los desafíos de la producción artesanal de quesos y uso del lactosuero en Zapotlanejo, Jalisco, México. *Revista de El Colegio de San Luis*. <https://doi.org/10.21696/rcsl142520241594>
- Flores, L.M. L., Hernández, R. P. O., & Sánchez, E. (2022). Las mujeres en la producción del agave-mezcal y su importancia en los sistemas alimentarios. *Regiones y Desarrollo Sustentable*, 22(43)
- Flores, M. L. & Solís, M. K. (2024) *Visiones de los futuros: escenarios y prospectiva en la reconfiguración de los sistemas alimentarios en México. Contribuciones para las políticas públicas*. CIATEJ. <https://doi.org/10.5281/zenodo.15058218>
- Geertz, C. (2003). *La interpretación de las culturas*. Gedisa.
- Grosfoguel, R. (2016). Del extractivismo económico al extractivismo epistémico y ontológico. *Revista Internacional de Comunicación y Desarrollo*, 1(4), 33–45. <http://dx.doi.org/10.15304/ricd.1.4.3295>
- Gudynas, E. (2015). *Extractivismos. Ecología, economía y política de un modo de entender el desarrollo y la naturaleza*. CEDIB.

- Guber, R. (2011). *La etnografía: Método, campo y reflexividad*. Siglo XXI Editores.
- Malinowski, B. (1986). *Los argonautas del Pacífico occidental*. Planeta-Agostini.
- Milkos, T., & Tello, M. E. (2007). *Planeación prospectiva*. Centro de Estudios Prospectivos. Fundación Javier Barros Sierra, Limusa.
- Othón, D. E. D. (2024). *Ciencia y Tecnología de los alimentos a lo largo de la historia*. <https://www.ciad.mx/ciencia-y-tecnologia-de-alimentos-a-lo-largo-de-la-historia/>
- Radcliffe-Brown, A. R. (1975). *El método de la antropología social*. Anagrama.
- Rubio, B. (2009). *Explotados y excluidos: Los campesinos latinoamericanos en la fase agroexportadora neoliberal*. Universidad Autónoma Chapingo; Plaza y Valdés Editores.
- Solis, L. M. K., Flores, L. M. L., & Neri-Suárez, M. (2024a). Los mercados y tianguis en el abasto de alimentos como pilares en la soberanía alimentaria en México. *Revista agroalimentaria*, 30(58), 87-113.
- Solis, L. M. K., Flores, L. M. L., & Neri-Suárez, M. (2024b). Mercados y tianguis como oasis alimentarios frente al comercio corporativo y sus repercusiones en la salud. *Regions and Cohesion*, 14(1), 61-82. <https://doi.org/10.3167/reco.2024.140104>
- Svampa, M. (2019). *Las fronteras del neoextractivismo en América Latina. Conflictos socioambientales, giro ecoterritorial y nuevas dependencias*. UNSAM.
- Svampa, M. (2013). Consenso de los commodities y lenguajes de valoración en América Latina. *Nueva Sociedad*, 244. <https://nuso.org/articulo/consenso-de-los-commodities-y-lenguajes-de-valoracion-en-america-latina/>
- Vitale, J., Pascale, C., Barrientos, M. J., & Papagno, M. (2016). *Guía de prospectiva para el ordenamiento territorial rural de la Argentina a nivel municipal*. INTA, Ministerio de Agroindustria. https://repositorio.inta.gob.ar/xmlui/bitstream/handle/20.500.12123/9012/INTA_CRMendoza-SanJuan_Vitale-Gutierrez_JA_Guia_prospectiva_ordenamiento_territorial_rural_Argentina.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Wallerstein, I. (2016). *El moderno sistema mundial I: La agricultura capitalista y los orígenes de la economía-mundo europea en el siglo XVI* (A. Resines Rodríguez, Trad.; 2ª ed.). Siglo XXI Editores.



**50 AÑOS DEL CIATEJ:
CIENCIA, TECNOLOGÍA Y SOCIEDAD**





Urdimbre territorial: diagnóstico participativo de los sistemas agroalimentarios en comunidades zapotecas de Oaxaca

Territorial weaving: a participatory diagnosis of agri-food systems in Zapotec communities of Oaxaca

Gricelda Juárez-Luis^{1*}

¹ Investigadora por México, Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación (SECIHTI) / Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco.

* Autor de correspondencia: gricelda.juarez@secihtl.mx

Palabras clave:

sistemas agroalimentarios,
patrimonio biocultural, semillas
nativas, comunidades zapotecas,
diagnóstico participativo

Keywords:

agri-food systems, biocultural
heritage, native seeds,
Zapotec communities,
participatory diagnosis

Resumen

El objetivo de este artículo es presentar el diagnóstico participativo de los sistemas agroalimentarios, abordados desde una perspectiva territorial y biocultural, construido durante la primera etapa de un proyecto de investigación humanística en comunidades zapotecas de los Valles Centrales de Oaxaca. Esta etapa, nombrada como “urdimbre territorial”, permitió el reconocimiento del territorio y la construcción de vínculos comunitarios. Se empleó un enfoque participativo con técnicas etnográficas y actividades comunitarias, incluyendo recorridos bioculturales, observación participante, entrevistas, talleres y un encuentro comunitario. Los resultados muestran la persistencia de componentes vinculados con los sistemas agroalimentarios locales y el patrimonio biocultural, entre ellos, semillas nativas, milpa, plantas medicinales y saberes alimentarios, así como procesos colectivos relacionados con el cuidado de las semillas y la organización comunitaria. Se identificaron tensiones relacionadas con la expansión del cultivo de maguey, la variabilidad climática y el debilitamiento de la transmisión intergeneracional. Esta etapa no solo aportó información diagnóstica, sino que también sentó bases sociales, metodológicas y comunitarias para las siguientes fases del proyecto.

Abstract

The objective of this article is to present the participatory diagnosis of agro-food systems, approached from a territorial and biocultural perspective, developed during the initial stage of a humanities research project in Zapotec communities of the Central Valleys of Oaxaca. This stage, referred to as “territorial weave,” enabled both the recognition of territory and the strengthening of community relationships. A participatory approach was employed, combining ethnographic techniques and community activities, including biocultural walks, participant observation, interviews, workshops, and community gathering. The results show the persistence of components linked to local agri-food systems and biocultural heritage, including native seeds, the milpa system, medicinal plants, and food-related knowledge, as well as collective processes related to seed care and community organization. Tensions associated with the expansion of maguey cultivation, climate variability, and the weakening of intergenerational transmission were identified. This stage not only provided diagnostic information but also laid the social, methodological, and community foundations for the subsequent phases of the project.

Recibido: 15 de mayo 2026
Revisado: 26 de junio 2026
Aceptado: 07 de julio 2026
Publicado: 01 de agosto 2026



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

A 50 años de su creación, el Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco (CIATEJ) ha contribuido al desarrollo científico y tecnológico del país mediante investigaciones en áreas como biotecnología, salud, alimentación y medio ambiente. En los últimos años, estos esfuerzos se han ampliado hacia enfoques que reconocen la importancia de los territorios, los conocimientos locales y la participación comunitaria en la construcción de alternativas frente a problemáticas relacionadas con la alimentación, la conservación biocultural y el bienestar comunitario. La crisis agroalimentaria actual y la pérdida de patrimonios bioculturales requieren atención de la academia. Frente a estos problemas, es necesario desarrollar investigaciones más cercanas a los territorios y que consideren los conocimientos locales.

En los territorios indígenas de México, los sistemas agroalimentarios articulan prácticas productivas, conocimientos tradicionales, identidad cultural y biodiversidad (Boege, 2008; Toledo & Barrera-Bassols, 2008). En las comunidades zapotecas de los Valles Centrales de Oaxaca, la milpa, las semillas nativas, las plantas medicinales y los saberes alimentarios continúan presentes en la vida cotidiana de muchas familias. En las últimas décadas, estas comunidades han experimentado transformaciones asociadas a la expansión del cultivo de maguey, la variabilidad climática y los procesos de migración, que inciden en las formas de producción y en la transmisión intergeneracional de conocimientos (Antonio & Smith, 2012; González-Venegas et al., 2023). Desde la agroecología, estos cambios no significan que los sistemas campesinos desaparezcan, pero sí se transforman. Las comunidades encuentran formas de mantener las prácticas tradicionales y su relación con la tierra. Por eso, fortalecer los sistemas agrícolas tradicionales es clave para sostener la alimentación y el patrimonio biocultural de los territorios indígenas (Altieri, 2004). En ese sentido, hace falta trabajar de cerca con las comunidades y abrir espacios de diálogo sobre los problemas que enfrentan para construir alternativas colectivas.

El objetivo de este artículo es presentar, desde una perspectiva territorial y biocultural, el diagnóstico participativo de los sistemas agroalimentarios construido durante la primera etapa del proyecto de investigación humanística IH-2025-I-652 en comunidades zapotecas de los Valles Centrales de Oaxaca. El diagnóstico se centró en semillas nativas, milpa, plantas medicinales, saberes alimentarios y prácticas comunitarias, y permitió reconocer actores, formas de organización y dinámicas locales relacionadas con la soberanía alimentaria y el bienestar comunitario. En el marco del 50 aniversario del CIATEJ, esta experiencia forma parte de las investigaciones con enfoque territorial y acompañamiento comunitario desarrolladas desde el Centro.

Esta etapa nació bajo la metáfora de la urdimbre para retomar el proceso de tejido de los textiles zapotecos. Representa la construcción colectiva de relaciones y acuerdos comunitarios indispensables para el desarrollo del proyecto. En el telar tradicional, la urdimbre sostiene y da forma al tejido final. Con esta misma lógica, este periodo funcionó como soporte del proceso de investigación-incidencia para las siguientes etapas del proyecto. Durante el trabajo de campo hubo acercamiento con comunidades, familias, escuelas y autoridades del territorio.

Desde esta perspectiva, el proyecto también refleja una de las formas en que el CIATEJ ha ampliado sus agendas de investigación durante los últimos años. Esto ha incluido incorporar trabajo territorial, enfoques participativos y diálogos de saberes para atender las problemáticas vinculadas con los sistemas agroalimentarios y el bienestar comunitario.

Marco conceptual

Sistemas agroalimentarios, soberanía alimentaria y patrimonio biocultural

Malassis (1979) definió el sistema agroalimentario como el conjunto de actividades que intervienen en la producción, transformación, distribución y consumo de alimentos en una sociedad determinada. Este concepto entiende los sistemas agroalimentarios más allá de la producción agrícola e incorpora dimensiones sociales, económicas, culturales y ambientales.

En territorios indígenas, estos sistemas relacionan conocimientos, prácticas culturales y biodiversidad. El concepto de patrimonio biocultural permite comprender esta relación. De acuerdo con Boege (2008), el patrimonio biocultural se expresa en agroecosistemas, semillas nativas, plantas medicinales, conocimientos, prácticas alimentarias y formas simbólicas con las que los pueblos se apropian de su entorno.

Los sistemas agroalimentarios indígenas conservan conocimiento y prácticas que se transmiten de generación en generación. Toledo y Barrera-Bassols (2008) utilizan el concepto de memoria biocultural para referirse al conjunto de conocimientos ecológicos acumulados históricamente por las comunidades sobre su entorno, como el manejo de semillas y suelos, ciclos agrícolas, clima y biodiversidad. Esta memoria también incluye saberes alimentarios y usos de plantas medicinales.

En Oaxaca, los pueblos indígenas mantienen conocimientos y prácticas relacionadas con el manejo de semillas, plantas y otros recursos del territorio (Rangel-Landa et al., 2016). Muchas de estas prácticas continúan presentes en la milpa, donde se combinan distintos cultivos, principalmente maíz, y formas de trabajo comunitario.

La diversidad genética del maíz es resultado del trabajo realizado por generaciones de familias campesinas que han conservado, seleccionado e intercambiado semillas en las milpas (Casas et al., 2007; Ibarrola-Rivas et al., 2020). Estas prácticas también incluyen formas de almacenamiento y reproducción de semillas adaptadas a las condiciones del territorio. Gracias a ello, muchas variedades nativas continúan sembrándose y conservándose en las comunidades (Badstue et al., 2007; Bellon et al., 2011; Perales et al., 2005).

Sin embargo, la expansión de monocultivos de agave mezcalero ha desplazado gradualmente a la agricultura tradicional (Antonio & Smith, 2012; González-Venegas et al., 2023). El clima incierto y las crisis económicas también reducen la diversidad de cultivos y debilitan la conservación de las semillas nativas.

Ante esto, la soberanía alimentaria emerge como una bandera de resistencia. Defiende el derecho colectivo de los pueblos para decidir sobre sus propios sistemas alimentarios, semillas y formas de producción (La Vía Campesina, 1996; Patel, 2009). Desde la agroecología, la milpa y otros sistemas agrícolas tradicionales siguen siendo importantes para la autonomía y resistencia comunitaria (Altieri, 2004). Estos enfoques permiten comprender los sistemas agroalimentarios más allá de la producción de alimentos. Ayudan a reconocer las relaciones entre territorio, conocimientos locales, organización y bienestar comunitario.

En este estudio los sistemas agroalimentarios se abordan desde una perspectiva territorial y biocultural. El diagnóstico participativo realizado no tuvo como propósito caracterizar exhaustivamente los procesos de producción, transformación, distribución y consumo de alimentos. Buscó reconocer aquellos componentes, actores y prácticas que sostienen los sistemas agroalimentarios locales y orientan las siguientes fases de investigación en territorio.

Materiales y Métodos

La primera etapa del proyecto se desarrolló desde un enfoque cualitativo, utilizando la investigación-acción participativa (IAP) como marco metodológico. En el marco de la IAP, esta primera etapa consistió en la construcción de un diagnóstico participativo orientado al reconocimiento de los sistemas agroalimentarios locales desde una perspectiva territorial y biocultural. Para ello, se recurrió a un enfoque etnográfico y se emplearon herramientas como recorridos bioculturales, observación participante, entrevistas, talleres y espacios de diálogo con actores comunitarios.

El trabajo de campo se llevó a cabo en comunidades zapotecas de los Valles Centrales de Oaxaca, en el distrito de Tlacolula, en el área conocida como Caminos del Mezcal. Se incluyeron los municipios de San Jerónimo Tlacoahuaya, Teotitlán

del Valle, Tlacolula de Matamoras, San Pablo Villa de Mitla y Santiago Matatlán. En cada municipio se realizaron actividades en al menos una comunidad, conforme al diseño del proyecto (Figura 1).

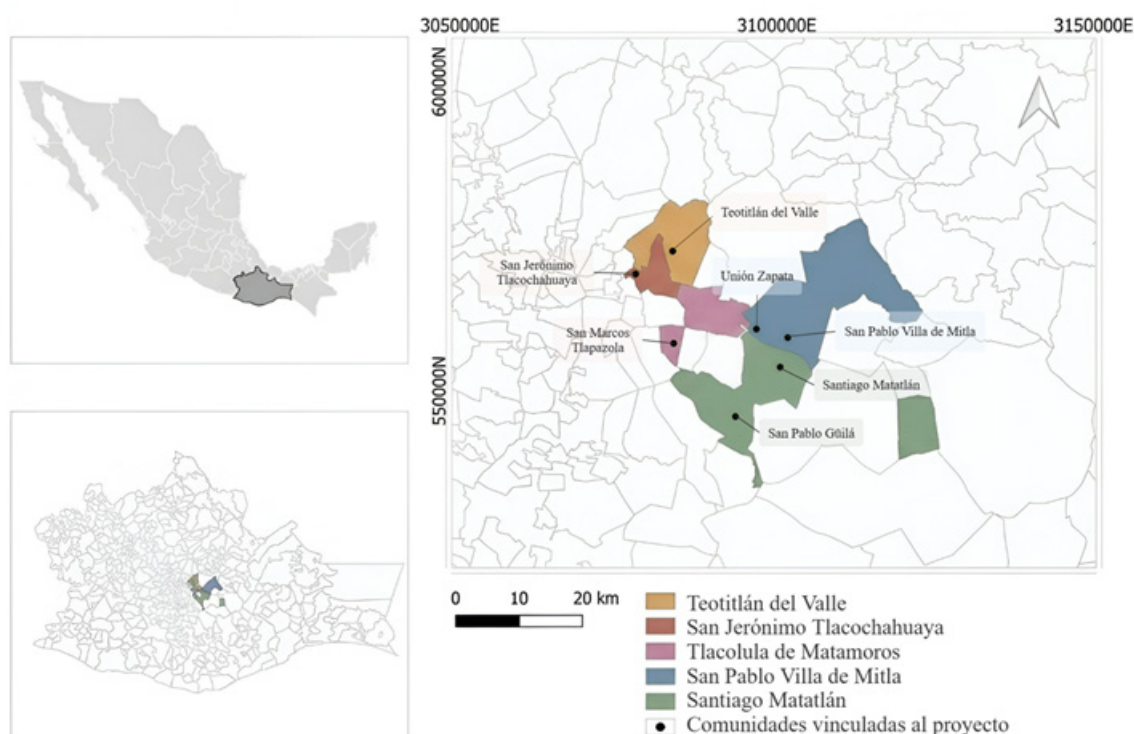


Figura 1. Municipios y comunidades participantes en el proyecto IH-2025-I-652 en los Valles Centrales de Oaxaca

Fuente: Elaboración propia

El enfoque etnográfico permitió el acercamiento a los territorios y actores comunitarios para documentar prácticas agrícolas, semillas nativas, uso de plantas medicinales y saberes alimentarios. La IAP permitió generar espacios de reflexión colectiva para reconocer problemáticas y posibles líneas de acción relacionadas con la soberanía alimentaria y el bienestar comunitario (Figura 2).



Figura 2. Actividades participativas desarrolladas durante el trabajo territorial. El diálogo colectivo y la cartografía social permitieron identificar problemáticas y saberes locales

Fuente: Elaboración propia

La construcción de vínculos de confianza y colaboración con actores comunitarios fue central en el trabajo metodológico. Se socializó el proyecto con autoridades, familias, colectivos y comunidades educativas. Esto permitió conformar espacios de participación y comunidades de aprendizaje y tomar acuerdos iniciales para seguir trabajando en las siguientes etapas del proyecto.

Durante el trabajo de campo se realizaron recorridos bioculturales para reconocer el territorio e identificar especies de importancia alimentaria, medicinal y cultural. Se realizaron observación participante, entrevistas y conversaciones con productores, autoridades, docentes, estudiantes y familias sobre las semillas nativas y la alimentación; también, talleres y encuentros comunitarios para recuperar saberes locales y propiciar la reflexión colectiva.

Resultados

El diagnóstico participativo permitió identificar componentes y procesos que, desde una perspectiva territorial y biocultural, permitieron caracterizar los sistemas agroalimentarios locales en las comunidades de estudio. Para facilitar su análisis, se

presentan cuatro apartados: semillas nativas, plantas medicinales y salud comunitaria, saberes alimentarios y patrimonio biocultural, y procesos comunitarios y formación.

Semillas nativas

Se documentaron 18 variedades de cultivos de importancia agroalimentaria, principalmente maíces y frijoles criollos conservados por productores locales. Este registro es una caracterización inicial de la diversidad de semillas del territorio. Se encontraron maíces criollos blancos, amarillos, rojos, negros y azules, con denominaciones locales como bolita, arrocillo, tehuacanero y belatove rosita. También se registraron frijoles de diversas formas y colores como negro, bayo y pinto. Estas semillas forman parte de sistemas de milpa y se cultivan principalmente para autoconsumo (Figura 3).



Figura 3. Algunas variedades de semillas nativas documentadas durante el trabajo en campo

Fuente: Elaboración propia

Estas semillas no están presentes en todo el territorio de estudio. En San Marcos Tlapazola, municipio de Tlacolula de Matamoros, se registró una mayor presencia

de variedades de semillas y de prácticas agrícolas tradicionales. Algunos productores no identifican las variedades de maíz y las nombran de manera general como “maíz criollo” o únicamente por el color. Esto puede estar relacionado con cambios en la transmisión de conocimientos sobre la diversidad de semillas y las formas locales de reconocerlas. Las familias conservan sus semillas mediante la selección cuidadosa durante la cosecha. Resguardan sus semillas para próximas siembras y realizan intercambios entre productores.

Diversos actores del territorio señalaron que las superficies destinadas a la milpa se han reducido y los cultivos con fines comerciales, particularmente el maguey, han ganado terreno. Estos cambios han modificado el uso del suelo y las formas de producción de las familias. Algunos productores han tenido que ajustar sus prácticas agrícolas debido a las condiciones económicas, pero también al retraso de las lluvias y a la menor precipitación registrada en los últimos años. Los productores también mencionaron que algunas variedades ya se siembran menos o han dejado de sembrarse.

Antes todos sembrábamos maíz (nativo), pero ahora mucha gente ya cambió a maguey. Más antes sí sembré una hectárea, pero antes también llovía; ahorita ya es una aventura el campo: si llueve da y si no se perdió, pero con la familia sí seguimos sembrando, aunque poquito para nosotros, y así hay gente que tiene su milpa. (Productor local, San Marcos Tlapazola, Tlacolula, 2025).

Además de documentar semillas nativas, el trabajo de campo permitió identificar actores comunitarios y espacios de conservación clave para la conservación e intercambio de semillas. Se realizó la colecta de las semillas para su reproducción en milpas y huertos agroecológicos y su conservación en un banco comunitario de semillas en etapas posteriores del proyecto. También se trabajó con el banco comunitario “El Jaguar”, ubicado en la agencia de Unión Zapata, San Pablo Villa de Mitla. Este espacio refleja el interés de las comunidades por conservar e intercambiar semillas nativas. Los hallazgos muestran que, aun en medio de los cambios, las comunidades siguen conservando prácticas y conocimientos relacionados con el manejo de semillas nativas.

Plantas medicinales y salud comunitaria

Durante el trabajo de campo se documentó el uso de plantas medicinales, tanto especies silvestres como plantas cultivadas en huertos de traspatio. Entre los usos más frecuentes se mencionaron malestares digestivos, afecciones respiratorias y dolores musculares. En las familias, estos conocimientos forman parte de las prácticas cotidianas de cuidado que conviven con otros servicios de salud.

Se observó que estos saberes se encuentran principalmente en personas mayores, quienes conocen las propiedades de las plantas y sus formas de preparación. Algunos participantes señalaron que las generaciones jóvenes muestran poco interés en estas prácticas, lo que pone en riesgo su continuidad. Varias de estas plantas se utilizan tanto en la alimentación como en las prácticas de cuidado. Esto muestra la relación que existe entre la salud, la alimentación y el territorio.

Las plantas siempre se han ocupado en la casa para remedios. En el cerro también hay muchas plantas que sirven para remedio y para limpiar el cuerpo, y los abuelos nos dicen para qué sirve y cuándo se ocupan. Hay plantas que en otro lado son como si fueran oro porque no en cualquier lado se dan, pero nosotros les hacemos el feo porque no conocemos o no platicamos sobre ellas a los hijos. (Participante comunitario, Teotitlán del Valle, 2025).

En las actividades participativas realizadas en esta etapa, varias personas expresaron su interés por fortalecer y recuperar los conocimientos sobre plantas medicinales.

Saberes alimentarios y patrimonio biocultural

En las comunidades de estudio, la mesa mantiene una relación cercana con la milpa, las semillas nativas y los conocimientos alimentarios que se han transmitido entre generaciones. Con el trabajo de campo se documentaron prácticas relacionadas con la preparación de alimentos elaborados con maíces criollos, frijoles, calabazas, quelites y otros productos locales. Se registraron alimentos y formas de preparación asociados a festividades, ciclos agrícolas y actividades o festividades comunitarias. Los recorridos y actividades participativas permitieron compartir experiencias sobre la alimentación local y generar acercamientos entre los participantes del proyecto.

Las personas coincidieron en que las formas de alimentación están cambiando. En todas las comunidades se mencionó que existe un mayor consumo de productos que no se cultivan dentro del territorio y que la producción para autoconsumo ha disminuido. Los hábitos en la alimentación también han cambiado reemplazando alimentos de la parcela por productos industrializados. A pesar de estos cambios, muchas prácticas y conocimientos relacionados con la alimentación tradicional continúan presentes en las comunidades. En las actividades participativas de esta etapa del proyecto, los participantes expresaron su interés en recuperar recetas tradicionales y consumir productos locales. En las comunidades de estudio, los saberes alimentarios siguen presentes en la vida cotidiana y en las prácticas vinculadas a la milpa y al patrimonio biocultural del territorio.

Procesos comunitarios y formación

Durante la primera etapa del proyecto se realizaron actividades colectivas para promover el diálogo y la formación, entre las que destaca un encuentro comunitario. El encuentro se realizó en San Pablo Villa de Mitla el 6 de febrero de 2026 y reunió a más de 120 participantes, incluyendo estudiantes de educación primaria, docentes, madres y padres de familia, estudiantes de posgrado e integrantes del equipo de investigación. Las infancias participaron en talleres formativos sobre el cuidado del agua, la diversidad de semillas, el suelo y los polinizadores (Figura 4). Con las personas adultas, se trabajaron espacios de diálogo para la recuperación de conocimientos asociados al uso de plantas medicinales y a la alimentación local.



Figura 4. Actividades de formación y aprendizaje colectivo desarrolladas con comunidades educativas
Fuente: Elaboración propia

Las actividades permitieron tejer vínculos con actores comunitarios, de donde surgieron acuerdos para dar continuidad a las acciones del proyecto. Entre estos acuerdos destaca la disposición para crear un banco comunitario de semillas nativas, que se concretó con la asignación de un espacio físico en San Pablo Villa de Mitla. Esto refleja el interés local por fortalecer estrategias comunitarias para la conservación y manejo de la agrobiodiversidad, particularmente de las semillas nativas que forman parte de los sistemas agroalimentarios locales. Los acuerdos alcanzados durante esta etapa evidencian que la vinculación comunitaria fue más allá de la socialización inicial del proyecto.

A veces pensamos que ya a nadie le importa la milpa, el maíz, lo que era nuestro pueblo porque nomás amanece y todo es trabajo. Pero cuando nos reunimos, como ahora, vemos que sí hay personas que en el fondo nos preocupamos, porque si no, ¿qué le vamos a dejar a nuestros hijos? No todo es lo material. Hay que querer a nuestro pueblo y organizarnos para ver qué podemos hacer juntos. (Participante del encuentro comunitario, San Pablo Villa de Mitla, 2026).

Discusión

Los hallazgos identificados durante el trabajo territorial permitieron reconocer relaciones entre componentes bioculturales, metodologías participativas y distintos procesos comunitarios. La Figura 5 sintetiza esta urdimbre territorial construida durante la etapa 1 del proyecto.

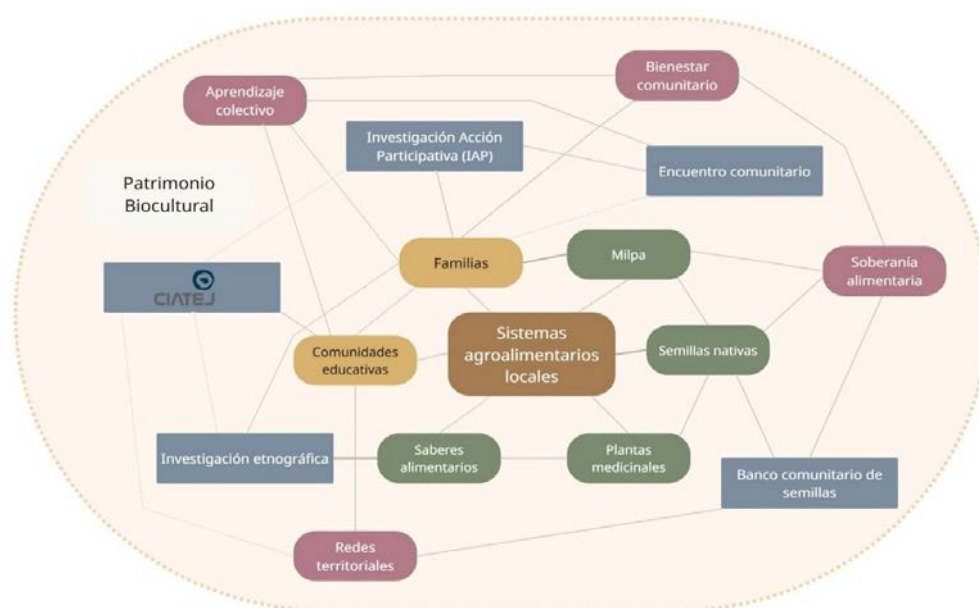


Figura 5. Urdimbre territorial de los sistemas agroalimentarios locales. La figura muestra relaciones entre componentes bioculturales, actores comunitarios, metodologías y procesos territoriales desarrollados durante la etapa 1 del proyecto IH-2025-I-652

Fuente: Elaboración propia

El trabajo de campo mostró que los sistemas agroalimentarios del territorio están cambiando. Aun así, muchas familias siguen sembrando milpa, conservando semillas nativas y manteniendo conocimientos relacionados con la alimentación y las plantas medicinales. Todas estas prácticas siguen formando parte de la vida cotidiana y del patrimonio biocultural del territorio. El cambio que más salta a la vista es la expansión del cultivo de maguey para la producción de mezcal. Esta situación ha modificado el uso del suelo y reducido los espacios destinados a la milpa y a otros cultivos tradicionales. Esto hace que en las comunidades convivan prácticas productivas orientadas al mercado con formas de producción para autoconsumo y

el intercambio local. Diversos estudios han analizado cómo las prácticas campesinas conviven y se transforman frente a nuevos modelos de producción agrícola (Altieri, 2004; Cusworth, 2024; Gliessman, 2015). En las comunidades estudiadas, los cambios productivos influyen en la conservación de las semillas nativas y la milpa.

Las semillas nativas son importantes para las familias. Además de su uso agrícola, mantienen la diversidad genética y reducen la dependencia de insumos externos (Bellon et al., 2011). En muchas comunidades, la milpa sigue sosteniendo prácticas agrícolas, conocimientos locales y formas de organización comunitaria (Pizaña Vidal et al., 2026; Toledo & Barrera-Bassols, 2008).

La disminución de la milpa, los cambios en la alimentación y las dificultades para transmitir conocimiento entre generaciones representan retos para la continuidad de los sistemas agroalimentarios. El trabajo de campo permitió observar que las comunidades siguen desarrollando formas de resguardo de sus semillas, conocimientos y prácticas alimentarias locales. La continuidad de estas prácticas es fundamental para la continuidad de la milpa y de los sistemas agroalimentarios locales. La urdimbre territorial identificada durante el diagnóstico ofrece una base para orientar las siguientes etapas del proyecto. Más que proponer soluciones predeterminadas, permitió reconocer actores, saberes, espacios comunitarios y acuerdos desde los cuales pueden construirse participativamente estrategias para fortalecer los sistemas agroalimentarios locales.

El trabajo etnográfico y participativo también permitió identificar conocimientos, prácticas y formas de organización que continúan presentes en las comunidades. Estos espacios de trabajo colectivo ayudarán a dar continuidad al trabajo previsto para las siguientes etapas del proyecto.

Además de los hallazgos específicos del territorio, esta experiencia demuestra la pertinencia de fortalecer enfoques de investigación que articulen capacidades científicas con procesos comunitarios. La colaboración entre el equipo de investigación y las comunidades participantes mostró que este tipo de procesos puede abrir caminos para la conservación del patrimonio biocultural y el fortalecimiento de iniciativas construidas desde los propios territorios. En el marco del 50 aniversario del CIATEJ, el proyecto presenta una experiencia de trabajo territorial donde la investigación no se limita a la generación de conocimiento. También busca contribuir a la construcción colectiva de alternativas relacionadas con la soberanía alimentaria, la conservación biocultural y el bienestar comunitario.

Conclusiones

La etapa 1 del proyecto IH-2025-I-652 permitió documentar semillas nativas, prácticas agrícolas, saberes alimentarios, plantas medicinales y procesos comunitarios en co-

comunidades zapotecas de los Valles Centrales de Oaxaca. El trabajo realizado permitió reconocer cambios importantes en los sistemas agroalimentarios, particularmente por la expansión del cultivo de maguey mezcalero y las transformaciones del campo. A pesar de estos cambios, las comunidades siguen conservando la milpa, las semillas nativas y los conocimientos vinculados con la alimentación y el cuidado local de la salud.

La urdimbre construida durante esta etapa también fortaleció la colaboración y los acuerdos con las comunidades participantes. El diagnóstico participativo permitió identificar intereses y acuerdos comunitarios que orientaran las siguientes etapas del proyecto, entre ellos el fortalecimiento de los conocimientos sobre plantas medicinales mediante la implementación de farmacias vivientes, así como acciones para la conservación de semillas nativas y el fortalecimiento de procesos comunitarios vinculados con los sistemas agroalimentarios locales. Estos acuerdos constituyen la base territorial para dar continuidad al proceso de investigación-incidencia construido con las comunidades durante la primera etapa.

Conflicto de intereses

La autora declara 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 fue desarrollado como parte del proyecto “Sistemas agroalimentarios locales y patrimonio biocultural: estrategias colectivas para la soberanía alimentaria, salud y bienestar comunitario de los pueblos zapotecas del estado de Oaxaca”, de la Convocatoria de Investigación humanística 2025 con clave IH-2025-I-652. Este proyecto es financiado por la SECIHTI, cuya responsable técnica es la Dra. Gricelda Juárez Luis.

Agradecimientos

Se agradece a las comunidades zapotecas de los Valles Centrales de Oaxaca, así como a las y los actores locales, por su disposición, confianza y valiosa colaboración en el desarrollo de la Etapa 1 (urdimbre–planificación) del proyecto.

Referencias

- Altieri, M. A. (2004). Linking ecologists and traditional farmers. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 2(1), 35-42. <https://doi.org/10.2307/3868293>
- Antonio, B., & Smith, M. A. (2012). Sustentabilidad y agricultura en la “región del mezcal” de Oaxaca. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 3(1), 5-20.

- Badstue, L. B., Bellon, M. R., Berthaud, J., Ramírez, D. A., & Juárez, X. (2007). The dynamics of farmers' maize seed supply practices in the Central Valleys of Oaxaca, Mexico. *World Development*, 35(9), 1579–1593. <https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2006.06.018>
- Bellon, M. R., Hodson, D., & Hellin, J. (2011). Assessing the vulnerability of traditional maize seed systems in Mexico to climate change. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 108(33), 13432–13437. <https://doi.org/10.1073/pnas.1103373108>
- Boege, E. (2008). *El patrimonio biocultural de los pueblos indígenas de México: Hacia la conservación in situ de la biodiversidad y agrodiversidad en los territorios indígenas*. INAH / CDI.
- Casas, A., Otero-Arnaiz, A., Pérez-Negrón, E., & Valiente-Banuet, A. (2007). In situ management and domestication of plants in Mesoamerica. *Annals of Botany*, 100(5), 1101–1115. <https://doi.org/10.1093/aob/mcm126>
- Cusworth, G. (2024) Agroecological transitions: reading, writing, and thinking across disciplinary divides. *Frontiers in Agronomy*, 6, 1281393. <https://doi.org/10.3389/fagro.2024.1281393>
- González-Venegas, S. E., Tapia-Guerrero, L. A., Martínez Gutiérrez, G. A., & Toledo-López, A. (2023). Resiliencia agrícola en los pequeños productores de agave en Oaxaca. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 14(2), 197-209.
- Ibarrola-Rivas, M. J., Castillo, G., & González, J. (2020). Social, economic and production aspects of maize systems. *Investigaciones Geográficas*, 102, e60009. <https://doi.org/10.14350/rig.60009>
- La Vía Campesina. (1996). *Declaración de Roma de La Vía Campesina que define por primera vez la soberanía alimentaria*. <https://viacampesina.org/es/1996-declaracion-de-roma-de-la-via-campesina-que-define-por-primera-vez-la-soberania-alimentaria/>
- Malassis, L. (1979). *Économie agro-alimentaire*. Cujas.
- Patel, R. (2009). Food sovereignty. *The Journal of Peasant Studies*, 36(3), 663-706. <https://doi.org/10.1080/03066150903143079>
- Perales, H., Benz, B., & Brush, S. (2005). Maize diversity and ethnolinguistic diversity in Chiapas, Mexico. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 102(3), 949–954. <https://doi.org/10.1073/pnas.0408701102>
- Pizaña Vidal, H. A., Caballero Salinas, J. C., & González Cabañas, A. A. (2026). El maíz y la milpa: diseño de agroecosistemas campesinos en Cintalapa, Chiapas. *Revista Pueblos y Fronteras Digital*, 21, e-806. <https://doi.org/10.22201/cimsur.18704115e.2026.v21.806>
- Rangel-Landa, S., Casas, A., Rivera-Lozoya, E., Torres-García, I., & Vallejo-Ramos, M. (2016). Ixcatec ethnoecology: Plant management and biocultural heritage

in Oaxaca, Mexico. *Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine*, 12, 30. <https://doi.org/10.1186/s13002-016-0101-3>

Toledo, V. M., & Barrera-Bassols, N. (2008). *La Memoria Biocultural. La importancia ecológica de las sabidurías tradicionales*. Icaria.





**50 AÑOS DEL CIATEJ:
CIENCIA, TECNOLOGÍA Y SOCIEDAD**





BIOTALLER ¡A conciencia!: proyecto emblemático de divulgación científica del CIATEJ

BIOTALLER ¡Consciously!: emblematic science outreach project of CIATEJ

Jesús Fuentes González^{1*}

¹ Oficina de Difusión y Divulgación, Dirección Adjunta de Desarrollo Institucional, Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco, Guadalajara, Jalisco, México.

* Autor de correspondencia: jfuentes@ciatej.mx

Palabras clave:

divulgación científica, apropiación social del conocimiento, BIOTALLER, CIATEJ, vocaciones científicas

Keywords:

Science outreach, social appropriation of knowledge, BIOTALLER, CIATEJ, scientific vocations

Resumen

La divulgación científica es un componente estratégico para fortalecer el vínculo entre los centros públicos de investigación y la sociedad. En el marco del 50 aniversario del Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco, A.C. (CIATEJ), este artículo presenta la experiencia del proyecto BIOTALLER ¡A conciencia!, coordinado por la Oficina de Difusión y Divulgación en 2017 con apoyo del entonces Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), hoy Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación (SECIHTI). Mediante talleres de ciencia recreativa dirigidos a niñas, niños y jóvenes, el proyecto promovió la apropiación social del conocimiento a partir de las cinco líneas de investigación del CIATEJ. Entre 2017 y 2024, la iniciativa evolucionó hacia nuevos formatos presenciales y digitales, amplió su alcance a miles de participantes y se consolidó como una estrategia institucional para acercar la ciencia, fomentar vocaciones científicas y fortalecer la relación entre investigación y sociedad.

Abstract

Science communication is a strategic component for strengthening the relationship between public research centers and society. As part of the 50th anniversary of the Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco, A.C. (CIATEJ), this article presents the experience of the BIOTALLER ¡Consciously! project, coordinated by the Office of Outreach and Science Communication in 2017 with support from the former National Council of Science and Technology, now the Ministry of Science, Humanities, Technology and Innovation (Secihti). Through hands-on science workshops for children and young people, the project promoted the social appropriation of knowledge based on CIATEJ's five research areas. Between 2017 and 2024, the initiative evolved into new in-person and digital formats, expanded its reach to thousands of participants, and became an institutional strategy for bringing science closer to society, fostering scientific vocations, and strengthening the connection between research and the public.

Recibido: 15 de mayo 2026
Revisado: 01 de julio 2026
Aceptado: 07 de julio 2026
Publicado: 01 de agosto 2026



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 Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco, A.C. (CIATEJ), fundado en 1976, ha consolidado, a lo largo de cinco décadas, una trayectoria orientada a la generación de conocimiento científico, al desarrollo tecnológico y a la formación de recursos humanos altamente especializados. Desde sus orígenes, la institución ha mantenido una estrecha relación con las necesidades del entorno productivo y social, contribuyendo al desarrollo de soluciones en áreas como la biotecnología, los alimentos, la salud, el medio ambiente y la sustentabilidad.

En este contexto, la divulgación científica ha adquirido un papel estratégico como mecanismo para acercar el conocimiento generado en los laboratorios a públicos no especializados, promover la apropiación social del conocimiento y fortalecer el vínculo entre la ciencia y la sociedad. Más allá de transmitir información, la divulgación busca despertar la curiosidad, fomentar el pensamiento crítico y mostrar que la ciencia forma parte de la vida cotidiana.

Como parte de este compromiso institucional, el CIATEJ ha desarrollado y consolidado diversas estrategias de comunicación pública de la ciencia. En este contexto, a partir del proyecto Biotaller, se impulsó la participación del Centro en el Festival Papirolas, organizado anualmente por la Universidad de Guadalajara y reconocido como un espacio multicultural, educativo e innovador destacado en el occidente de México. Desde 2018, este festival ha constituido un escenario fundamental para que el Centro acerque el trabajo de sus líneas de investigación a miles de niñas, niños y jóvenes mediante experiencias interactivas y participativas.

El presente artículo tiene como objetivo describir y analizar la experiencia de BIOTALLER ¡A conciencia!, un proyecto de ciencia recreativa impulsado por el CIATEJ en 2017 y concebido como una estrategia institucional para acercar el quehacer científico y tecnológico del Centro a niñas, niños y jóvenes mediante actividades lúdicas, experimentales y participativas. Asimismo, se examina su consolidación como base metodológica de la participación institucional en el Festival Papirolas y su evolución hacia BIOTALLER ¡Quédate en casa!, desarrollado en 2020 para responder a las restricciones derivadas de la pandemia por COVID-19.

La divulgación científica como parte de la misión del CIATEJ

En los inicios del CIATEJ, la divulgación de la ciencia se veía como algo complementario, pero con el paso del tiempo se ha consolidado como un pilar estratégico dentro de las actividades del Centro. Si bien la misión del CIATEJ versa sobre impulsar el desarrollo sostenible de la sociedad mediante la generación de conocimiento de vanguardia, formación de talento especializado y aplicación innovadora de la ciencia

y la tecnología, también se ha ido reconociendo la importancia de compartir con la sociedad el conocimiento que se genera y que se apropie de él.

El CIATEJ ha buscado traducir la información que genera desde sus líneas de investigación mediante productos como conferencias, visitas guiadas, talleres, materiales didácticos, exposiciones y medios digitales para llegar a públicos diversos. Este trabajo, a cargo del personal científico y tecnológico, en conjunto con la Oficina de Difusión y Divulgación del Centro, que supervisa la forma de transmitir el mensaje, por lo menos en cuanto a actividades de divulgación, ayuda a que la sociedad reconozca el impacto de la ciencia en su vida diaria.

En este escenario nace BIOTALLER ¡A conciencia! Un proyecto que, por primera vez en la historia institucional, articuló a gran escala al personal científico y tecnológico de las cinco líneas de investigación, bajo la coordinación de la Oficina de Difusión y Divulgación y diversos aliados estratégicos, todo bajo una narrativa orientada a despertar el interés por la ciencia y la biotecnología en niñas, niños y jóvenes. Esta experiencia permitió establecer una dinámica de trabajo interdisciplinaria y dejó un precedente para futuras iniciativas y actividades de comunicación pública de la ciencia en el CIATEJ.

Diseño conceptual y articulación institucional

BIOTALLER ¡A conciencia! se desarrolló en 2017 con apoyo del entonces Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), ahora SECIHTI, a través de la Convocatoria de Apoyo a Proyectos de Comunicación Pública de la Ciencia, la Tecnología y la Innovación (proyecto número 283104). El objetivo de este proyecto fue acercar la ciencia y, sobre todo, la biotecnología a niñas, niños y jóvenes mediante actividades recreativas que combinaran el juego, la experimentación y la participación activa. El proyecto surgió del trabajo conjunto entre la Oficina de Difusión y Divulgación y el personal científico y tecnológico del Centro, quienes aportaron su experiencia científica y académica para diseñar talleres alineados con las cinco líneas de investigación: Tecnología Alimentaria, Tecnología Ambiental, Biotecnología Vegetal, Biotecnología Industrial y Biotecnología Médica y Farmacéutica.

Uno de los elementos distintivos del proyecto fue la creación de un universo narrativo propio, en el que cada línea de investigación fue representada por personajes ilustrados con identidad visual y rasgos asociados a su área de conocimiento, por ejemplo, sus nombres: Tanino Manzano (Tecnología Alimentaria), Geo Aguaslimpias (Tecnología Ambiental), Fer Fermento (Biotecnología Industrial), Dan Ribo (Biotecnología Médica y Farmacéutica) y Flora Huerta (Biotecnología Vegetal). Estos personajes actuaron como mediadores entre el lenguaje científico y las y los participantes, facilitando la comprensión de conceptos complejos y fortaleciendo la conexión emocional con los contenidos (Figura 1).



Figura 1. Personajes ilustrados creados para representar las cinco líneas de investigación del CIATEJ dentro del universo narrativo de BIOTALLER ¡A conciencia!

Fuente: propia

Desde la Oficina de Difusión y Divulgación se coordinaron la adaptación del lenguaje, el diseño del material didáctico y la vinculación entre el personal científico del Centro y los proveedores creativos del proyecto. Esta labor permitió integrar información científica, diseño gráfico, pedagogía y comunicación institucional en una estrategia atractiva para el público. El proyecto contó con la colaboración de instituciones académicas, dependencias gubernamentales y empresas, como la Secretaría de Innovación, Ciencia y Tecnología de Jalisco, el Centro Interdisciplinario de Investigaciones para el Desarrollo Integral Regional del Instituto Politécnico Nacional, Unidad Michoacán, la empresa Colibrí 3D, Pequeños Emprendedores, la Red Temática AGARED y el Museo de Paleontología de Guadalajara.

Metodología, talleres y públicos atendidos

La metodología del proyecto BIOTALLER se basó en el aprendizaje y la experiencia de las y los usuarios, con la premisa de que la ciencia se comprende mejor cuando se participa de forma directa. Todas las actividades fueron diseñadas para que las y los participantes realizaran experimentos, resolvieran retos y relacionaran ciertos fenómenos científicos con su vida cotidiana.

Los talleres combinaron experimentación práctica, dinámicas lúdicas, juegos de mesa y recorridos por los laboratorios y las instalaciones del CIATEJ. Este enfoque permitió que niñas, niños y jóvenes no solo adquirieran conocimientos, sino que también desarrollaran curiosidad, pensamiento crítico y habilidades de observación y resolución de problemas. Las actividades se realizaron durante cinco jornadas, dos en la sede Guadalajara y tres en la subsede Zapopan, con la participación de 14 instituciones educativas y un total de 763 asistentes de entre 10 y 15 años de edad (Figura 2).



Figura 2. Actividad de divulgación científica en el marco del proyecto Biotaller. Recorrido guiado a una escuela visitante en la subsede Zapopan del CIATEJ, coordinado por la Oficina de Difusión y Divulgación (6 de octubre de 2017)

Fuente: propia

Se impartieron 14 talleres distribuidos entre las cinco líneas de investigación del Centro, abordando temas como germinación de semillas, neurogénesis, células madre, microbiología de alimentos, separación de residuos, rescate del agua, producción de aromas y colorantes naturales, entre otros. Cada taller fue concebido como una experiencia que mostraba de forma tangible la utilidad de la ciencia para comprender y transformar el entorno.

La diversidad temática y metodológica de los talleres permitió evidenciar la amplitud del trabajo científico desarrollado en el CIATEJ y ofreció a las y los par-

participantes una visión integral de la biotecnología y sus aplicaciones en la salud, la alimentación, el ambiente y la producción sustentable (Figura 3).



Figura 3. Niña participante observa una muestra al microscopio durante una actividad del taller de la Unidad de Biotecnología Industrial (6 de octubre de 2017)

Fuente: Propia

Productos generados y resultados del proyecto

BIOTALLER ¡A conciencia! trascendió la realización de talleres presenciales y dio origen a un conjunto de materiales y recursos que ampliaron su alcance y fortalecieron su impacto educativo. Como parte del proyecto se desarrollaron una aplicación móvil, manuales digitales de experimentos, materiales didácticos, recursos promocionales, así como memorias gráficas y audiovisuales que documentaron todas las actividades del proyecto.

Entre los resultados del proyecto destaca la publicación del libro *La biodiversidad: una aventura científica*, concebido como una propuesta de divulgación para niñas, niños y jóvenes. A través de actividades prácticas, basadas en los personajes creados para el proyecto, especialmente en Adry, una niña curiosa que guía a las y los lectores en la realización de experimentos. Además, esta obra busca acercar de manera atractiva conceptos relacionados con la biodiversidad y la biotecnología (Figura 4).



Figura 4. Portada del libro *La biodiversidad: una aventura científica*
Fuente: Propia

Asimismo, se elaboraron presentaciones multimedia, carteles, banners, un manual de identidad gráfica y un dossier informativo. Como parte del cierre del proyecto, se realizó una presentación general de resultados en las instalaciones del Museo de Paleontología de Guadalajara, con la presencia de Estrella Burgos, editora y reconocida escritora de ciencia, galardonada con el Premio Nacional de Divulgación de la Ciencia 2017.

BIOTALLER también tuvo presencia en foros de gran alcance, entre ellos la Feria Internacional del Libro de Guadalajara, donde los talleres permitieron acercar la ciencia a nuevos públicos (Figura 5). De esta manera se dio a conocer el CIATEJ y este proyecto de divulgación, el cual podía adaptarse a diferentes espacios o temáticas.



Figura 5. Presentación del biotaller Células madre de súper dientes, de la Unidad de Biotecnología Médica y Farmacéutica del CIATEJ en el stand del entonces Conacyt durante la 31ª edición de la Feria Internacional del Libro de Guadalajara (3 de diciembre de 2017).
Fuente: Propia

En conjunto, estos productos y acciones consolidaron a BIOTALLER ¡A conciencia! como un parteaguas en la historia de la divulgación científica del CIATEJ, al demostrar que la investigación puede traducirse en experiencias educativas atractivas y socialmente relevantes.

Consolidación de BIOTALLER en el Festival Papirolas

Uno de los legados más importantes de BIOTALLER ¡A conciencia! fue su consolidación como estrategia permanente de divulgación científica a través de la participación del CIATEJ en el Festival Papirolas, evento organizado anualmente por la Universidad de Guadalajara y reconocido como uno de los encuentros de divulgación y creatividad más importantes del occidente de México. Desde 2018, el CIATEJ ha participado de manera continua en este festival mediante la implementación de biotalleres de ciencia recreativa desarrollados con la colaboración del personal científico, técnico y estudiantil de las cinco líneas de investigación del Centro. Estas actividades han permitido traducir conceptos científicos complejos en experiencias prácticas y accesibles, orientadas a despertar la curiosidad, fomentar la experimentación y promover la apropiación social del conocimiento entre niñas, niños y jóvenes. En cada edición, los talleres han incorporado temáticas alineadas tanto con las líneas de investigación institucionales como con el eje conceptual propuesto por el festival, lo que ha permitido renovar continuamente las experiencias de aprendizaje y mantener la pertinencia de los contenidos presentados (Figura 6).

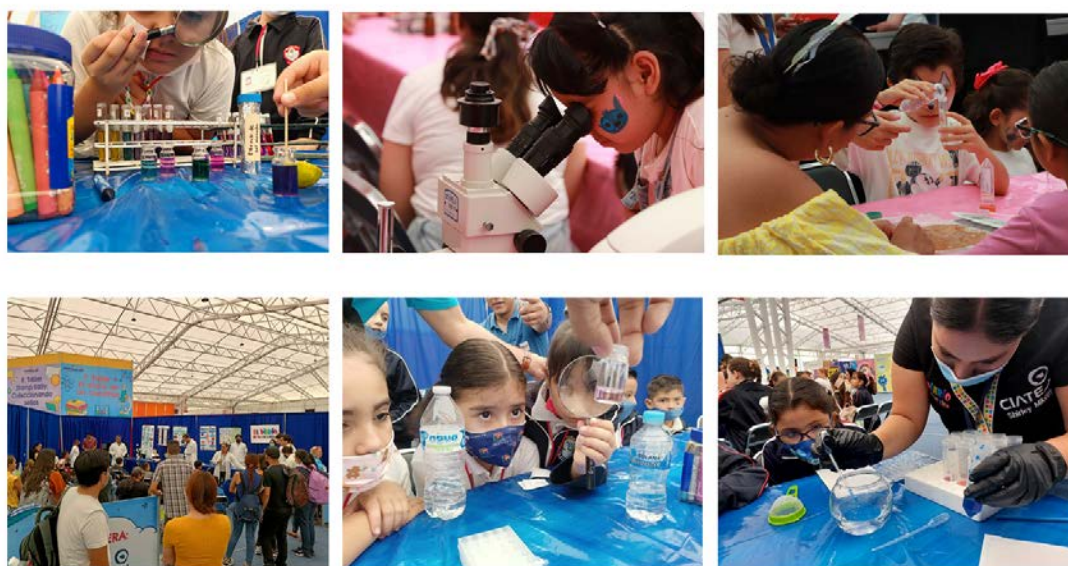


Figura 6. Fotografías de la participación del CIATEJ en distintas ediciones del Festival Papirolas, donde se observa la implementación de biotalleres de ciencia recreativa dirigidos a niñas, niños y jóvenes

Fuente: Propia

A lo largo de ocho ediciones consecutivas, el CIATEJ ha atendido a un total de 15,745 personas, cifra que refleja la continuidad y el crecimiento de esta iniciativa de divulgación científica. En distintas ocasiones las encuestas aplicadas por el propio festival y la cobertura de medios de comunicación han ubicado a los talleres del CIATEJ entre los mejor evaluados por las y los asistentes, particularmente por el carácter interactivo de sus actividades. La permanencia del CIATEJ en este festival permite observar cómo BIOTALLER dejó de ser únicamente un proyecto financiado para integrarse en las actividades institucionales de divulgación. Con el paso de los años, esta iniciativa ha permitido ampliar la presencia del Centro en diferentes espacios y mantener un vínculo constante con niñas, niños y jóvenes y público general, ayudando a fomentar el interés por la ciencia y la apropiación social del conocimiento.

Reconocimiento al impacto del proyecto

El proyecto BIOTALLER ¡A conciencia! fue reconocido en 2019 con el Premio Estatal de Innovación, Ciencia y Tecnología Jalisco, en la categoría de Divulgación, otorgado por la Secretaría de Innovación, Ciencia y Tecnología del Estado de Jalisco (Figura 7).



Figura 7. Equipo ganador del Premio Estatal de Innovación, Ciencia y Tecnología Jalisco 2019, en la categoría de Divulgación (26 de noviembre de 2019)

Fuente: Propia

La distinción constituyó un reconocimiento al trabajo colaborativo entre el personal científico, técnico y de divulgación, así como a la capacidad del proyecto para acercar el conocimiento científico a la sociedad mediante estrategias creativas y participativas. Este premio confirmó que la divulgación científica puede alcanzar altos niveles de calidad e impacto cuando se integra de manera sistemática a la labor institucional y cuando se establecen puentes efectivos entre la investigación y los distintos sectores de la sociedad.

BIOTALLER ¡Quédate en casa!: divulgación científica en tiempos de pandemia

En 2020, frente a las restricciones derivadas de la pandemia por COVID-19, el CIATEJ desarrolló BIOTALLER ¡Quédate en casa!, iniciativa apoyada por la Convocatoria de Acceso Universal al Conocimiento ante la Emergencia COVID-19 del entonces CONACYT (Figura 8).



Figura 8. Captura de pantalla del sitio web BIOTALLER ¡Quédate en casa! (www.biotaller.mx), desarrollado por el CIATEJ en 2020

Fuente: Propia

El proyecto dio origen al sitio web www.biotaller.mx, en el que se pusieron a disposición del público 12 talleres diseñados para realizarse en casa con materiales accesibles. Diez de estos talleres se basaron en el libro *La biodiversidad: una aventura científica*, mientras que dos fueron desarrollados en colaboración con el Museo de Paleontología de Guadalajara. La plataforma permitió ampliar significativamente el alcance de la iniciativa al registrar visitas de usuarios en México y en países como Estados Unidos, China, Argentina, Ecuador, Colombia, Perú, Canadá y Reino Unido.

Uno de los momentos de mayor impacto ocurrió durante la edición virtual del Festival Papirolas 2020, cuando el portal registró más de 100 000 visitas en una sola semana. La sección de talleres fue la más consultada, lo que evidenció el interés del público por contenidos científicos accesibles y participativos. La experiencia de BIOTALLER ¡Quédate en casa! demostró que la divulgación científica puede adaptarse a contextos de emergencia y aprovechar las tecnologías digitales para mantener el acceso al conocimiento, ampliar audiencias y fortalecer la presencia institucional del CIATEJ en entornos virtuales.

Discusión

A partir de la experiencia desarrollada en BIOTALLER ¡A conciencia!, fue posible apreciar que las actividades de divulgación favorecen el acercamiento entre el conocimiento científico generado en los laboratorios y los públicos que habitualmente tienen pocas oportunidades de interactuar con este tipo de contenidos. Uno de los aspectos que caracterizaron a BIOTALLER fue la participación conjunta de personal científico y tecnológico de las cinco líneas de investigación del CIATEJ, coordinada por la Oficina de Difusión y Divulgación. Este trabajo permitió adaptar contenidos especializados de la biotecnología a formatos dirigidos a niñas, niños y jóvenes, procurando mantener un equilibrio entre el rigor científico y la construcción de experiencias atractivas para el público.

Por otro lado, la interacción entre el personal de investigación, el técnico y el especialista en comunicación pública de la ciencia favoreció la creación de actividades, materiales y narrativas acordes con las características de los distintos públicos. Más que simplificar los contenidos, el reto fue transformarlos en experiencias accesibles y significativas, conservando su sustento científico.

La participación constante del CIATEJ en el Festival Papirolas permitió dar seguimiento y continuidad a las actividades desarrolladas originalmente en BIOTALLER. Lo que inició como un proyecto financiado encontró en este espacio la oportunidad para mantenerse vigente e incorporar gradualmente nuevos temas y formatos vinculados con las cinco líneas de investigación del Centro. La atención

brindada a más de 15 000 personas a lo largo de ocho ediciones da cuenta de la pertinencia de estas actividades y de la posibilidad de sostenerlas más allá de los periodos originalmente planteados.

La obtención del Premio Estatal de Innovación, Ciencia y Tecnología Jalisco 2019, en la categoría de Divulgación Científica, constituyó un reconocimiento al trabajo realizado durante los primeros años del proyecto. Más allá del galardón, este tipo de distinciones contribuyen a visibilizar las actividades de comunicación pública de la ciencia y ponen de manifiesto la importancia de fortalecer espacios de interacción entre las instituciones de investigación y la sociedad.

Finalmente, las condiciones impuestas por la pandemia de COVID-19 representaron un reto para las actividades presenciales. Ante este escenario, BIOTALLER ¡Quédate en casa! Permitió explorar alternativas digitales y mantener la participación en el Festival Papirolas durante 2020. La experiencia mostró que las plataformas virtuales pueden complementar las actividades presenciales y ampliar el acceso a contenidos de divulgación científica para públicos ubicados fuera del área de influencia habitual del Centro.

Conclusiones

La trayectoria del proyecto BIOTALLER, desde su concepción en 2017 hasta su consolidación en plataformas digitales y foros de alto impacto como el Festival Papirolas, demuestra que la divulgación científica institucional adquiere mayor relevancia cuando se gestiona con enfoques metodológicos estructurados, interdisciplinarios y sostenibles. El éxito de esta iniciativa no radicó únicamente en la simplificación de conceptos complejos de la biotecnología, sino también en la capacidad de articular un universo narrativo propio que sirvió de puente cognitivo y emocional entre el personal científico y los públicos jóvenes.

Asimismo, la evolución del proyecto ante escenarios restrictivos, como la crisis sanitaria derivada del COVID-19, evidencia la capacidad de adaptación de los modelos de comunicación pública de la ciencia basados en la interactividad. La transición hacia entornos virtuales expandió las fronteras geográficas tradicionales del CIATEJ, transformando una intervención local en una estrategia de alcance internacional.

A 50 años de la creación del CIATEJ, la trayectoria de BIOTALLER permite apreciar cómo las actividades de divulgación han pasado a formar parte de las tareas cotidianas del Centro. La experiencia acumulada durante todo este tiempo muestra que la comunicación pública de la ciencia requiere constancia, trabajo colaborativo y la capacidad de adaptación a contextos cambiantes, manteniendo siempre el interés por acercar el conocimiento científico a diferentes sectores de la población.

Conflicto de intereses

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

Financiamiento

Este trabajo se deriva de dos proyectos de comunicación pública de la ciencia desarrollados por el Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco, A.C. (CIATEJ), con financiamiento del entonces Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (Conacyt, actualmente Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación, Secihti). El proyecto BIOTALLER ¡A conciencia! fue apoyado mediante la Convocatoria de Apoyo a Proyectos de Comunicación Pública de la Ciencia, la Tecnología y la Innovación 2017, con el número de proyecto 283104. Posteriormente, el proyecto BIOTALLER ¡Quédate en casa! recibió financiamiento a través de la Convocatoria de Acceso Universal al Conocimiento ante la Emergencia COVID-19 2020, con el número de proyecto 313920.

Agradecimientos

Agradecemos a toda la comunidad del CIATEJ, cuyo compromiso y entusiasmo han hecho posible el desarrollo y la consolidación de BIOTALLER, se reconoce la valiosa participación del personal científico, tecnológico, técnico, administrativo y de la Oficina de Difusión y Divulgación, así como de las y los estudiantes que, a lo largo de los años, han contribuido con su conocimiento, creatividad y dedicación al diseño e implementación de talleres, materiales y actividades de comunicación pública de la ciencia. Su pasión por acercar el conocimiento científico a niñas, niños y jóvenes ha sido fundamental para convertir a BIOTALLER en una estrategia institucional de divulgación científica y en un proyecto emblemático del CIATEJ.

Referencias

- Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología. (2017). *Convocatoria de apoyo a proyectos de comunicación pública de la ciencia, la tecnología y la innovación*.
- Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología. (2020). *Convocatoria de acceso universal al conocimiento ante la emergencia COVID-19*.
- Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco, A.C. (2017). *Informe técnico del proyecto BIOTALLER ¡A conciencia!* Documento interno.
- Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco, A.C. (2020). *Informe técnico del proyecto BIOTALLER ¡Quédate en casa!* Documento interno.

Rodríguez Domínguez, J. M. (2017). *La biodiversidad: una aventura científica*. Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco, A.C.



50 AÑOS DEL CIATEJ: CIENCIA, TECNOLOGÍA Y SOCIEDAD





Del laboratorio a la innovación: el licenciamiento que abrió puerta al talento joven

From the laboratory to innovation: the licensing that opened the door to young talent

Sara Berenice Sánchez Soto¹, Carlos Omar Aguilar Navarro², Alejandra Navarro Hurtado³, Norma Morales Hernández⁴, Evaristo Javier Urzúa Esteva⁵, Manuela González^{6*}

¹Gestión de la Responsabilidad Social, Dirección Adjunta de Vinculación y Transferencia de Tecnología, Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco.

²Especialista en propiedad intelectual, Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco.

³Directora Adjunta de Vinculación y Transferencia de Tecnología, Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco.

⁴Tecnología Alimentaria, Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco, Zapopan, Jalisco, México.

⁵Titular de la Oficina de Vinculación, Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco.

⁶Estudiante del doctorado en Ciencias en Innovación Bioteconómica y licenciataria de la tecnología.

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

Palabras clave:

biotecnología alimentaria,
transferencia de tecnología,
licenciamiento de propiedad
intelectual, vinculación
academia-industria

Keywords:

food biotechnology,
technology transfer, intellectual
property licensing, academia
industry collaboration

Recibido: 16 de mayo 2026
Revisado: 09 de junio 2026
Aceptado: 29 de junio 2026
Publicado: 01 de agosto 2026



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 el marco del 50 aniversario del CIATEJ, este artículo documenta un caso emblemático de transferencia de tecnología: el licenciamiento de una innovación alimentaria a una estudiante de doctorado, constituyendo el primer antecedente institucional de este tipo. El estudio tiene como objetivo visibilizar el proceso de vinculación, el acceso a la propiedad intelectual y el papel del talento joven en la valorización del conocimiento. La metodología fue cualitativa, basada en la revisión documental y en entrevistas semiestructuradas a la estudiante, lo que permitió reconstruir su trayectoria en el CIATEJ y la adopción de una ruta emprendedora. Los resultados evidencian el fortalecimiento de capacidades científicas y emprendedoras, así como el impacto del acompañamiento institucional. Este caso representa un modelo innovador de transferencia tecnológica que articula la formación doctoral, la innovación y el emprendimiento con enfoque de impacto social.

Abstract

In the framework of the 50th anniversary of CIATEJ, this article documents an emblematic case of technology transfer: the licensing of a food innovation to a doctoral student, constituting the first institutional precedent of its kind. The study aims to highlight the process of engagement, access to intellectual property, and the role of young talent in the valorization of knowledge. The methodology was qualitative, based on a documentary review and semi-structured interviews with the student, which enabled the reconstruction of her career trajectory at CIATEJ and her adoption of an entrepreneurial pathway. The results evidence the strengthening of scientific and entrepreneurial capacities, as well as the impact of institutional support. This case represents an innovative model of technology transfer that integrates doctoral training, innovation, and entrepreneurship with a focus on social impact.

Introducción

Durante 50 años CIATEJ ha sido un faro de la ciencia y tecnología en México, y hoy ese faro ilumina un nuevo horizonte, pues una de sus patentes ha cruzado la puerta del laboratorio hacia el mercado de la mano de una de sus estudiantes.

Estos 50 años también son, más o menos, una eternidad, gastronómicamente hablando. Esperar durante años para que la ciencia bendijera nuestras canastas con un pan saludable ha requerido la paciencia de un monje tibetano; bueno, de un monje tibetano, pero con mucha hambre. Amamos con locura al pan, pero ¿cuánto nos duele al subirnos a la báscula? Y es que, al pasar cierta edad, uno termina resignándose a que le restrinjan alimentos que le gustan: el azúcar, el picante y, por su puesto, el pan. Pero ¿por qué el bienestar tiene que castigar al placer? Esta pregunta se resolvió con un trío de patentes:¹ MX 402483, MX 420967 B y MX/a/2022/014997 (Espinosa Andrews & Morales Hernández, 2025; Morales Hernández et al., 2022, 2023) que, a través del producto Nutridion®, introducen un ingrediente proteico funcional mediante un proceso biotecnológico de vanguardia. Este desarrollo eleva el valor nutricional del pan al sustituir grasa y aumentar su contenido de proteína, sin sacrificar el sabor ni la textura. Y pronto estarán salvando la mantecada de la abuela y las tardes amenas que acompañan el rico pan.

Este artículo nos presenta la historia de cómo esta tecnología logró romper el cascarón académico. Nuestra protagonista: una estudiante del CIATEJ quien, al decidir continuar con el doctorado, planteó la posibilidad de integrar, además de su línea de investigación, el componente comercial y de mercado. La estudiante se transformó de investigadora a empresaria y, con esa valentía que caracteriza a los pioneros, ahora le da frescura al CIATEJ. Ella comprendió que el verdadero éxito y la verdadera innovación ocurren cuando el desarrollo tecnológico puede resolver problemas del mundo real.

¿Qué hace tan especial a esta innovación?

Imagina ese pan de cada día, pero transformado para alimentar mejor a México. El pan dejará de ser un pecado dietético para convertirse en una fuente de energía. Está reducido en grasas y dentro de su masa contiene un gel generado a base de proteína vegana y fibra; lo mejor es que tus papilas gustativas ni siquiera notarán la diferencia. Se trata, orgullosamente, de tecnología desarrollada por CIATEJ, que

¹ MX 402483 B - Proceso de obtención de matriz techno-funcional para uso en alimentos - Norma Morales Hernández, Hugo Espinosa Andrews, Carmen Oliva Salazar Pérez. MX 420967 B - Proceso de obtención de base proteica para aplicación en alimentos - Norma Morales Hernández, Hugo Espinosa Andrews. MX/a/2022/014997 - Producto de panificación funcional - Norma Morales Hernández, Pavel Alejandro Prieto Vázquez del Mercado, Luis Alfonso Mojica Contreras, Marisela González Ávila, Ana Luisa Gutiérrez Salomón.

encontró la combinación perfecta para llegar a las familias mexicanas a través del licenciamiento a Manuela González Hurtado, mejor conocida como Manu.

Hito emblemático, el licenciamiento a una estudiante

Durante los últimos 50 años, no existía un camino para que un estudiante accediera a un licenciamiento: había miedos y estructuras rígidas. Por ejemplo, en las décadas de 1980 y 1990 la legislación mexicana no era clara y castigaba más bien el riesgo que la inacción. A ello se sumaba el temor al “conflicto de interés” y a que los funcionarios públicos fueran señalados por favorecer a un particular si cedía tecnología. Tuvieron que transcurrir algunas décadas para pasar de la cultura de registrar patentes para luego comenzar a licenciarlas, pero mayormente fue para empresas que podían pagar licencias millonarias. Los centros públicos tecnológicos se acostumbraron a ver al estudiante como un aprendiz de temporada; no lo veían como un potencial socio comercial. Las políticas de propiedad intelectual preferían que una patente caducara en el olvido antes de confiarla a un joven audaz y emprendedor, pero sin historial crediticio.

Manu nos cuenta que su conocimiento sobre esta tecnología comenzó cuando se incorporó a la maestría en Ciencias en Innovación Biotecnológica en el CIATEJ en el año 2022. Ahí conoció a la Dra. Norma Morales Hernández de Tecnología Alimentaria, con quien colaboró bajo su dirección; en ese entonces, la tecnología denominada “Producto de panificación funcional” se encontraba en solicitud de patente y ya había sido probada a nivel de laboratorio.

La llegada de Manu al CIATEJ coincidió con el inicio de la implementación de esta tecnología a nivel piloto, lo cual formó parte central de su proyecto de tesis titulada *Desarrollo de un pan artesanal elaborado a partir de consorcios microbianos definidos incorporando un ingrediente rico en proteína y evaluación del potencial postbiótico*. Manu nos confiesa que, desde siempre, tuvo el interés de que su trabajo trascendiera el laboratorio y pudiera evolucionar hacia un producto con potencial de aplicación real en la industria alimentaria o, incluso, hacia un producto alimentario terminado, como fue su proyecto. Ella comprendió que la investigación no terminaba con su tesis, y su interés por tener un impacto real en la nutrición de las personas se fortaleció cuando se incorporó, a invitación de la Dra. Morales, al programa *De la Ciencia al Mercado*² 2022³, donde el propósito era incrementar el nivel de madurez de la tec-

² De la Ciencia al Mercado es un programa activo en Jalisco, México, que busca transformar investigaciones científicas y tecnológicas en productos, servicios o empresas. Facilita la transferencia tecnológica, el licenciamiento de patentes y el emprendimiento de base científica (CONVOCATORIA “DE LA CIENCIA AL MERCADO” 2022, 2022).

³ Solicitud número 10423. Proyecto “FORTALECIMIENTO DEL PROCESO DE OBTENCIÓN DE BASE PROTEICA A NIVEL PILOTO COMO INGREDIENTE LISTO PARA USARSE”, monto de apoyo \$684,000.00 (COECYTJAL, 2023).

nología (TRL⁴), pues para ese momento tenía un nivel de TRL 4. Ahí comenzó su comprensión sobre el valor estratégico de una investigación aplicada y su potencial de transferencia hacia el sector productivo.

Manu nos cuenta que, mientras avanzaba en la caracterización y eficiencia del ingrediente proteico a nivel piloto desde una perspectiva científico-técnica, también inició su acercamiento con el sector productivo, incluyendo la socialización de la tecnología en panaderías, la realización de pruebas de validación en contextos reales y la presentación de este desarrollo en ferias, congresos y espacios enfocados en la innovación.

Cada una de estas actividades le dio mayor evidencia técnica y, desde luego, lo más valioso: la retroalimentación directa de los posibles usuarios finales. Sin duda alguna, el factor determinante fue el creciente entusiasmo del gremio panadero que, después de conocer la tecnología, manifestaba su interés en adoptarla e incorporarla en sus procesos productivos y pedían ingredientes funcionales que les permitieran vender un pan nutritivo sin que el precio o el sabor fueran limitantes. Para este momento, Manu ya tenía muy bien identificado el potencial:

- En México existen aproximadamente 59,881 panaderías tradicionales y cerca de 56,000 expendios y panificadoras, lo que representa un mercado superior a 115,000 unidades económicas (Instituto Nacional de Estadística y Geografía, 2023).
- Las PyMEs representan alrededor del 97 % del sector panadero nacional (Instituto Nacional de Estadística y Geografía, 2019).
- La industria panificadora mexicana genera ventas anuales superiores a \$180 mil millones de pesos, posicionándose entre las más importantes del sector alimentario. (Secretaría de Economía (SE), 2017).
- El consumo per cápita de pan en México oscila entre 33 y 35 kg por persona al año.
- La incorporación del ingrediente proteico Nutridion® permite reducir hasta 65 % del contenido de grasa en formulaciones panificables, dependiendo del producto, generando productos con mayor valor agregado y diferenciación comercial (Prieto-Vázquez del Mercado et al., 2025).
- Los resultados de estudios de mercado y avances del proyecto realizado por el equipo de trabajo evidenciaban que la tecnología:

⁴ TRL son los Niveles de Madurez Tecnológica (TRL, por sus siglas en inglés: Technology Readiness Level), son una escala del 1 al 9 utilizada para evaluar la madurez de una tecnología, desde la idea inicial (TRL 1) hasta su implementación y comercialización exitosa (TRL 9).

- Podía incrementar el contenido proteico hasta un 70% y el contenido de fibra hasta un 30%, generando productos con mayor valor agregado y diferenciación comercial.
- Más del 60 % de los consumidores mexicanos manifestaban interés en adquirir productos más saludables.
- La reformulación puede realizarse sin incrementar el costo de producción de los productos de panificación, permitiendo mantener precios competitivos para las panaderías.
- Los productos saludables se comercializan con un sobreprecio de entre 10 y 25%, lo que mejora el margen de contribución.
- Una PyME panadera podría incrementar sus ventas y su posicionamiento al incorporar líneas saludables diferenciadas.
- El uso de Nutridion® podría reducir tiempos de desarrollo de nuevos productos al tratarse de una solución lista para usarse con tres beneficios en uno.

Manu se dio cuenta de que el sector panadero mostraba una demanda real por la tecnología, aun cuando esta no se encontraba disponible comercialmente, por lo que la investigación no debía quedarse en un librero; la necesidad estaba ahí afuera y lo estaba pidiendo a gritos.

Con esa inquietud quemándole las manos, es cuando paralelamente viene una gran decisión para Manu. Tenía muy claro que quería hacer su doctorado, pero no quería seguir una ruta tradicional. Entonces, un día, rompiendo el protocolo de que “el estudiante solo estudia”, envió un mensaje a la Dra. Norma Morales para contarle su idea. Al día siguiente se reunieron y Manu tuvo la oportunidad de platicar abiertamente sobre lo que ella buscaba: un enfoque híbrido entre ciencia y negocios. Recuerda que, cuando se planteó su propuesta, hubo unos segundos de silencio y suspenso. Entre ambas se cruzaron miradas de curiosidad y expectativa. Su propuesta sí reunía los requisitos académicos, pero Manu estaba presentando con ello también un plan de vida. Las dos se quedaron pensando y procesando la posibilidad. ¿Era viable construir algo así dentro de un programa doctoral?

Manu nos cuenta, a manera de anécdota, que después de esa propuesta tan osada, la Dra. Norma Morales hizo algunas llamadas, contactó al personal de la Dirección Adjunta de Investigación y Posgrado (DAIP) y de la Dirección Adjunta de Vinculación y Transferencia de Tecnología (DAVYTT). En cuestión de minutos, recibió retroalimentación positiva: se formaría el comité académico y se estructuraría así su proyecto. Lo que hace diez minutos sonaba muy arriesgado, de pronto ya contaba con el respaldo de tantas personas.

Ese día comprendí el valor de contar con mentores que no solo escuchan tus ideas, sino que deciden impulsirlas contigo. Guardo ese momento con enorme gratitud, emoción y cariño, porque marcó el verdadero inicio de esta trayectoria y fue, sin duda, uno de esos días que cambian el rumbo de todo lo que viene después. (Manuela González Hurtado, 2026, entrevista)

El salto de la fe académica: el licenciamiento

Ese preciso instante en el que Manu dejó la seguridad de su laboratorio para lanzarse al vacío del mercado, claro, confiando en su propio trabajo, fue un acto de valentía que el CIATEJ no esperaba, y que obligó a la institución a dar una respuesta que nunca antes había dado.

Una vez que Manu y la Dra. Norma Morales se acercaron a la DAVYTT manifestando el interés de emprender con esta tecnología, se desencadenó una serie de reuniones en las cuales se revisó el modelo de negocios planteado por Manu y los hitos comprometidos con CIATEJ para la comercialización de la tecnología. Dentro de estas reuniones se fue afinando el modelo y los compromisos para que se pudiera presentar al Comité de Innovación el licenciamiento propuesto. Dicho Comité se pronunció a favor del licenciamiento y se procedió a licenciar las tres tecnologías asociadas.

Manu se convirtió en la primera estudiante de doctorado en recibir un licenciamiento de tecnología desarrollada en CIATEJ. Eso le implicó asumir un rol activo en áreas como la vinculación, la comercialización y la toma de decisiones, que desde luego le ha requerido desarrollar habilidades adicionales.

La firma de este instrumento marca un antes y un después en la historia institucional del CIATEJ, pues por primera vez en medio siglo la propiedad intelectual del CIATEJ se transfiere directamente a una de sus estudiantes para fundar una empresa propia; es, pues, un mensaje contundente. El CIATEJ se moderniza y es flexible; es una institución que confía plenamente en el talento que forma y la tecnología que desarrolla, y con ello estamos demostrando que la transferencia tecnológica superó la idea de un muro infranqueable y ahora es una puerta abierta para quienes se atreven a innovar.

Los retos siguieron para Manu y la Dra. Morales; uno de ellos es continuar con el incremento del nivel de madurez tecnológica (TRL), y se trabaja en la definición de estrategias que permitan una implementación efectiva y sostenible en el sector productivo. En el aspecto técnico, se han enfrentado retos relacionados con la consistencia del producto, la reducción de costos y la eficiencia del proceso, los cuales se han abordado mediante ajustes y optimizaciones, y se están logrando avances importantes hacia su estandarización. Con este licenciamiento, Manu pudo

solicitar como emprendedora el apoyo de la Convocatoria de Ciencia al Mercado para pasar de TRL 6 a las primeras ventas del producto. Actualmente se encuentra en ejecución este proyecto.

En el aspecto comercial, Manu precisa que uno de los principales retos ha sido la definición del modelo de negocio y la adquisición de experiencia en estrategias de comercialización, considerando la diversidad y amplitud del sector panadero. Esto la ha llevado a plantear esquemas que puedan adaptarse a distintos tipos de clientes, y claro que también ha sido necesario desarrollar habilidades de comunicación para hacer comprensibles estos temas para los potenciales usuarios. En este proceso, también se ha reconocido que la etapa comercial y de mercado es tan relevante como la técnica para lograr una transferencia tecnológica exitosa. Manu nos comenta:

En este camino, ha sido fundamental el acompañamiento del área de vinculación de CIATEJ, a quienes deseo expresar un especial agradecimiento, particularmente a la Mtra. Alejandra Navarro y al Mtro. Evaristo Urzúa por su constante asesoría, disposición y apoyo a lo largo de todo el proceso. Su guía ha sido clave para transitar esta experiencia que, si bien ha implicado retos importantes e incluso miedo, también ha sido sumamente gratificante. Gracias a su respaldo, el proceso se ha sentido más claro, estructurado y con el soporte institucional necesario para avanzar con mayor confianza. De igual manera, continúo reconociendo y agradeciendo profundamente el acompañamiento de la Dra. Norma Morales, quien ha estado presente en cada etapa de este proceso. Su apoyo continuo ha sido esencial para consolidar esta iniciativa y fortalecer su proyección. Finalmente, reitero mi agradecimiento a la Dra. Lorena Amaya Delgado por ser la primera directora de CIATEJ en impulsar el emprendimiento por parte de los estudiantes y al Dr. Gustavo Adolfo Castillo Herrera, así como a toda la Unidad de Tecnología Alimentaria, subsele Zapopan, por su gran apoyo en el desarrollo de este proyecto. (Manuela González Hurtado, 2026, entrevista)

Manu también dedica unas palabras a la Dra. Norma Morales:

quien no solo impulsó el desarrollo del proyecto más allá de los esquemas tradicionales de investigación, sino que también fomentó activamente mi interés por explorar áreas que, aunque no siempre forman parte del enfoque convencional de los programas de posgrado, resultan fundamentales para la transferencia tecnológica y la innovación. Su disposición para ampliar los límites de su propia línea de investigación y acompañarme en este proceso es clave para orientar mi formación hacia una visión más integral. Este acompañamiento ha sido no solo determinante en mi desarrollo académico y profesional, sino también profundamente significativo a nivel personal, por lo que le guardo un especial agradecimiento y reconocimiento (Manuela González Hurtado, 2026, entrevista).

La gratitud de Manu es también nuestra. Su historia resonó en CIATEJ e inauguró un precedente. Con la calidez de esta certeza veremos de cerca su crecimiento; es la prueba viviente de que el conocimiento está listo para salir y alimentar el país.

Tu turno en la historia

No podemos decir que este caso de éxito es un punto final; más bien lo estamos pensando como la primera pieza de un efecto dominó. A cincuenta años de la creación del CIATEJ, queremos que este caso sea un catalizador que inspire a más estudiantes, que su meta sea trascender innovando. Durante todos estos años, CIATEJ ha construido un prestigio basado en el rigor, la disciplina y la generación de conocimiento; pero con este caso queremos marcar una ruta para que México deje de ser un espectador y se modifique la percepción de que los perfiles científicos no pueden liderar procesos de emprendimiento.

Han sido cinco décadas de construcción paciente, pero hoy, mientras esta tecnología sale del laboratorio y entra en la cadena de producción, pues la innovación es una alternativa real para nuestros nuevos investigadores e investigadoras, que les permite insertarse en la vida económica convirtiéndose en emprendedores y emprendedoras con CIATEJ como socio tecnológico, creando un círculo virtuoso; la gran pregunta ahora no es qué más se está cocinando en CIATEJ, sino ¿quién será el siguiente estudiante en tomar la estafeta?

Agradecimientos

Las y los autores agradecen de manera especial a la Mtra. Manuela González Hurtado y la Dra. Norma Morales Hernández, quienes compartieron su testimonio y experiencia sobre el licenciamiento de la patente. Su recorrido nos permitió documentar este importante hito de vinculación tecnológica con jóvenes promesas.

Asimismo, se reconoce y agradece el consentimiento expreso otorgado por la Mtra. Manuela González Hurtado para el uso de su información y datos personales con fines exclusivamente de divulgación científica y tecnológica, en estricto apego a los principios de legalidad, confidencialidad y protección de datos personales aplicables.

Referencias

- COECyTJAL. (2023). *Resultados de la Convocatoria “De la Ciencia al Mercado” 2022*. https://l.coecytjal.org.mx/storage/resultados/resultado_18.pdf
- CONVOCATORIA “DE LA CIENCIA AL MERCADO” 2022 (2022). https://l.coecytjal.org.mx/storage/convocatoria/doc/convocatoria_doc_25_511.pdf
- Espinosa Andrews, H., & Morales Hernández, N. (2025). *Patente de Invención MX 420967 B - Proceso de obtención de base proteica para aplicación en alimentos* (Patent MX 420967 B).
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2019). *Censos Económicos 2019: Industria manufacturera alimentaria*. <https://www.inegi.org.mx/programas/ce/2019/>

- Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2023). *Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas (DENUE)*. <https://www.inegi.org.mx/app/mapa/denue/>
- Morales Hernández, N., Espinosa Andrews, H., & Salazar Pérez, C. O. (2023). *Patente de Invención MX 402483 B - Proceso de obtención de matriz tecno-funcional para uso en alimentos* (Patent MX 402483 B).
- Morales Hernández, N., Prieto Vázquez Del Mercado, P. A., Mojica Contreras, L. A., González Ávila, M., & Gutiérrez Salomón, A. L. (2022). *Solicitud de patente MX/a/2022/014997- PRODUCTO DE PANIFICACION FUNCIONAL* (Patent Solicitud MX/a/2022/014997).
- Prieto-Vázquez del Mercado, P., Mojica, L., González-Ávila, M., Espinosa-Andrews, H., Alcázar-Valle, M., & Morales-Hernández, N. (2025). Pea protein – gum Arabic gel addition as ingredient to increase protein, fiber and decrease lipid content in muffins without impair the texture and intestinal microbiota. *Food Chemistry*, 463, 141305. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2024.141305>
- Secretaría de Economía (SE). (2017). *Conoce más sobre la industria panificadora en México*. <https://www.gob.mx/se/articulos/conoce-mas-sobre-la-industria-panificadora-en-mexico>.





**50 AÑOS DEL CIATEJ:
CIENCIA, TECNOLOGÍA Y SOCIEDAD**





La transdisciplina del laboratorio a las comunidades

Transdisciplinarity from Laboratory Settings to Local Communities

Joaliné Pardo-Núñez¹, Natasha Mylena Quevedo-Castañón^{2*}

¹ Investigadora por México, Secihti-UAGro, Facultad de Derecho Acapulco, Universidad Autónoma de Guerrero, Acapulco de Juárez, Guerrero, México.

² Centro de Ciencias de Desarrollo Regional-UAGro, Acapulco, Guerrero, México.

* Autor de correspondencia: nmquevedo@uagro.mx

Palabras clave:

ADESUR, CEIBAAS, TELAR,
Diplomado ABC, transdisciplina

Resumen

La implementación del proyecto ADESUR por parte del CIATEJ permitió documentar una serie de procesos participativos que transformaron los métodos tradicionales de la institución para transitar a una praxis transdisciplinaria directamente en las comunidades, fuera de los laboratorios, para aprender y desaprender formas de plantear problemas y resolverlos con tecnologías asequibles a las localidades. Los proyectos derivados de ADESUR, TELAR y Diplomados ABC promovieron la escucha, el acompañamiento, el diálogo y acciones enfocadas al alivio de problemas locales por medio de la espiral metodológica y reflexiva de la investigación-acción participativa. Esto, en conjunto con la sistematización de la práctica institucional de ADESUR, demuestra que el laboratorio adquiere viabilidad, pertinencia y arraigo social cuando se democratiza y se teje directamente con la comunidad. El objetivo de este artículo es documentar y reflexionar, desde la experiencia institucional de los investigadores en el territorio, sobre las etapas y las evoluciones epistemológicas de ADESUR.

Abstract

ADESUR stands as a start project of CIATEJ, whose trajectory uniquely documents the transformative participatory processes required to disrupt the traditional “academic nest.” Historically, this conventional paradigm fostered scholarly isolation within the confines of the laboratory; however, ADESUR successfully catalyzed a transition toward a transdisciplinary praxis engaged directly with communities for mutual learning and unlearning. The TELAR and ABC Diploma initiatives represent formative, participatory projects grounded in deep listening, active accompaniment, dialogue, and targeted actions aimed at alleviating local problems through the reflexive methodological spiral of participatory action-research. Serving as a testament to the success of these territorial processes, the systematization of ADESUR’s institutional practice demonstrates that the scientific laboratory acquires true viability, relevance, and social rootedness only when it is democratized and woven directly into the community fabric. Therefore, the objective of this article is to document and reflect, from the institutional experience of researchers in the field, on the epistemological stages and evolutions of ADESUR.

Keywords:

ADESUR, CEIBAAS, TELAR, ABC
Diploma, transdisciplinarity

Recibido: 21 de mayo 2026
Revisado: 28 de junio 2026
Aceptado: 07 de julio 2026
Publicado: 01 de agosto 2026



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

Guerrero es uno de los estados con mayor diversidad biocultural del país y, al mismo tiempo, uno de los que históricamente han contado con la menor infraestructura científica pública. Hasta 2018, ningún centro público de investigación del entonces Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) tenía sede en la entidad. La mayor producción científica orientada a sus territorios y comunidades se generaba desde instituciones externas: investigadores que entraban, levantaban datos y volvían a sus centros de adscripción, reproduciendo lo que Boaventura de Sousa Santos (2019) denomina extractivismo epistémico.

La Alianza Estratégica para el Desarrollo Sustentable de la Región Pacífico Sur (ADESUR) surgió desde una perspectiva centrista del conocimiento y se transformó en un centro transdisciplinario apoyándose en la investigación-acción participativa que, como menciona Merçon (2022), surge de la necesidad de unir esfuerzos entre actores diversos en un dialogo de saberes para no solo documentar y conocer la realidad territorial, sino transformarla, así como a la construcción de métodos orientados a reunir, en un mismo proceso, una comunidad de aprendizaje con una diversidad de conocimientos y acciones. Estas perspectivas no habían sido implementadas en el estado, por lo que ADESUR, junto con los proyectos participativos transdisciplinarios que se ejecutaron en el mismo periodo, representa un cambio de paradigma para muchos equipos de trabajo de CIATEJ, pues aunque ya se perfilaba como un detonador de investigación regional, tuvo resultados profundos en las formas de hacer ciencia para el Centro y en el estado. El presente artículo pretende documentar y reflexionar, desde la experiencia institucional de los investigadores en el territorio, sobre las diferentes etapas y evoluciones epistemológicas que han tenido el proyecto ADESUR y proyectos hermanos, así como sus legados para el trabajo territorial de CIATEJ.

El punto de partida: ADESUR como consorcio académico-tecnológico

ADESUR derivó del FORDECYT Cadenas ADESUR (proyecto 292474): Estrategias multidisciplinarias para incrementar el valor agregado de las cadenas productivas del café, frijol, mango, agave mezcalero y productos acuícolas (tilapia) en la región Pacífico Sur que fue constituida el 20 de enero de 2015 en respuesta a una iniciativa presidencial del 27 de noviembre de 2014 a favor de una mejor atención a los estados del Pacífico Sur (ADESUR, 2026; CIAD, 2018). La integraban cuatro centros públicos de investigación: el Centro de Investigación en Ciencias de Información Geoespacial (CentroGeo), el Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo (CIAD), el Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco (CIATEJ) y el Centro de Investigación Científica de Yucatán

(CICY), institución coordinadora. Su objetivo era potenciar las cadenas productivas del café, frijol, agave mezcalero, mango y productos acuícolas (tilapia) en la región, alineándose con las cinco líneas estratégicas entonces definidas por el Consejo para la región Sur-Sureste. La elección de Guerrero como sede atendió a que el estado era el principal productor nacional de coco y mango y el segundo de agave mezcalero, además de uno de los tres estados mexicanos sin presencia de un Centro Público de Investigación (CPI) en su territorio. En 2016 el proyecto FOMIX Guerrero “Fortalecimiento y consolidación de un consorcio de innovación y desarrollo tecnológico para el impulso de las capacidades científicas en las áreas de Biotecnología agrícola, sustentabilidad alimentaria y turismo sustentable”, bajo la responsabilidad técnica del CICY, comenzó con la construcción de las instalaciones físicas en Acapulco que albergaría laboratorios, cubículos, aulas de trabajo, sala de exposición y espacios de usos múltiples compartidos por todos los Centros Públicos de Investigación (CPI).

ADESUR surgió con la idea de ser un consorcio de investigación académico-tecnológico que potenciara las capacidades de los CPI que lo conformaban, mediante la colaboración en proyectos de investigación y transferencia de tecnología a lo largo de la región. Su modelo operativo era el de un consorcio sin personalidad jurídica propia para el que cada institución enviaba investigadores a Guerrero; los subproyectos se ejecutaban en campo y los entregables se producían en los centros de adscripción, sin un componente de incidencia social. Esta estructura tenía ventajas administrativas, pero continuaba con la desvinculación académica-social que no generaba arraigo de los CPI o de sus investigadores. De alguna forma, se seguía practicando la ciencia de forma jerárquica y vertical, donde la academia decidía qué era importante para las comunidades sin salir del laboratorio (Gibbons et al., 1994).

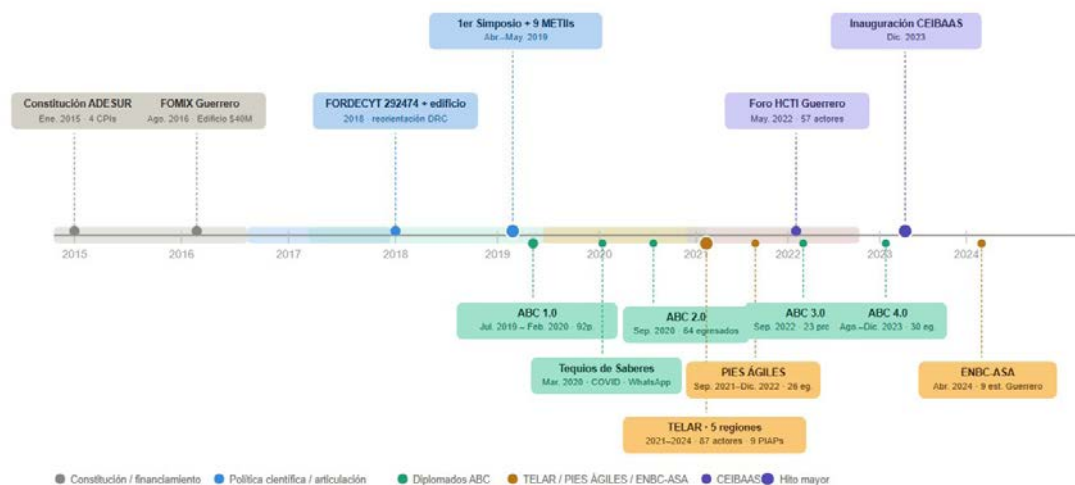


Figura 1. Línea de tiempo: ADESUR · TELAR · CEIBAAS (2014-2024)

Fuentes: ADESUR (s.f.) · CIAD (2018) · Dictamen Carta editorial (3 jul. 2026) · Documentos de trabajo TELAR/CEIBAAS 2019-2024

Para 2018, el FORDECYT ADESUR articulaba siete proyectos de investigación y 31 subproyectos asociados, con un financiamiento que se extendería hasta 2024 (ver Figura 1). Los proyectos operaban en paralelo, con lógicas disciplinarias distintas y escasa articulación entre sí y entre los CPI que tenían comunicación en términos científicos y administrativos exclusivamente, pero no de planeación regional o territorial. Los resultados circulaban en revistas científicas y en la plataforma geoweb de planeación territorial liderada por Centro Geo para consolidar la información y orientada principalmente a tomadores de decisiones, no a los productores y a las organizaciones que participaban en los talleres que nutrían informes, productos científicos y proyectos. Eran las formas tradicionales de la vieja ciencia vertical de ejecutar los proyectos “territorialmente anclados”.

Rompiendo las paredes del laboratorio rumbo a las comunidades

La transformación llegó con el cambio de administración federal en 2018 y la reorientación de la política científica nacional, que pasó de priorizar la transferencia tecnológica hacia el sector productivo a impulsar una ciencia con enfoque humanista, orientada al cierre de brechas territoriales y a la incidencia social, donde se devolvían las miradas al territorio. El CONACYT se transformaría en el CONAHCYT (Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías), incorporando las humanidades como eje programático en lo que buscaba ser una reorientación del sistema de ciencia, pasando de la producción de conocimiento para el mercado a la producción de conocimiento para el bienestar de las comunidades (Colegio de la Frontera Norte, 2017). En ese contexto, se inauguró el centro físico llamado ADESUR, que administrativamente dependía del CICY, pero operativamente del CIATEJ, una articulación que exigía comunicación constante y colaboración, tanto administrativa como académica.

La Dirección Regional Centro del CONAHCYT (DRC) planteó formalmente la necesidad de reorientar los objetivos del consorcio para alinearlos con los principios del nuevo Consejo y del Plan de Ciencia y Tecnología del sexenio. La pregunta con la que CIATEJ estuvo de acuerdo pasó de ser: ¿cómo hacer más subproyectos? a ¿cómo hacer que los existentes tuvieran mayor impacto social? Ese replanteamiento abrió un proceso de reorientación que implicó nuevas formas de vinculación, de trabajo en campo, de concebir la participación territorial y también de las relaciones entre el CONAHCYT y los CPI ejecutores, pues la DRC tendría una participación importante en los procesos de planeación y supervisión para la ejecución.

El 23 de abril de 2019, en las instalaciones de ADESUR Acapulco, se realizó el Primer Simposio de Soberanía Alimentaria, en el que participaron 35 investigadores representando 28 investigaciones de los cuatro CPI fundadores y los responsables

técnicos de tres subproyectos. Este simposio constituyó el primer ejercicio colectivo de diagnóstico y de intercambio de experiencias, donde los investigadores de distintos centros se actualizaban mutuamente sobre lo que se hacía y buscaban una orientación común y trabajo territorialmente coordinado. El simposio produjo cuatro reconocimientos que marcaron la agenda siguiente: una memoria de las intervenciones científicas en Guerrero, una radiografía de los proyectos activos, un modelo de diálogo para la concertación de acuerdos y una figura interinstitucional para operarlo. Los Micro Equipos de Trabajo Interdisciplinario e Interinstitucional (Metii) que caminarían juntos para resolver los subproyectos de ADESUR, conjuntando capacidades y metodologías de trabajo en campo, profundizando el diálogo entre centros y sus investigadores. En total, se conformaron nueve Metii a lo largo de 2019, siendo estos el primer paso para salir del laboratorio a las comunidades en equipos de trabajo conformados por personas de distintos centros.

Los diplomados ABC como infraestructura formativa

La siguiente acción en la reorientación hacia la transdisciplina fue la puesta en marcha del Diplomado de Agroecologías para el Bien Común (ABC) como programa de formación y vinculación con el territorio. La serie de diplomados fue ideada entre el equipo del CIATEJ y la DRC con la investigación colaborativa y el anclaje territorial al centro de su intención. En su primera edición participaron 20 investigadores e investigadoras de los CPI, junto a productoras y productores de comunidades de Guerrero, generando ideas de proyectos escalables, pero territorialmente situados, llamados prototipos agroecológicos.

Este primer ABC, realizado entre julio de 2019 y febrero de 2020, reunió en total a 92 participantes. Desde el inicio, el modelo del diplomado fue considerado desde una perspectiva activa-participativa, pues cada módulo combinaba formación teórica con diseño de propuestas de investigación-acción participativa para ir elaborando el prototipo de manera colaborativa entre actores de distinto tipo en equipos (lo que llamamos multiactor). Cada equipo generó un proyecto de intervención territorial basado en necesidades identificadas colectivamente; estos prototipos eran iniciativas a escala de lo que podía hacerse con colaboración transdisciplinaria, diseñados con posibilidad de escalamiento a mediano o largo plazo. Al menos 40 personas concluyeron el proceso y diseñaron propuestas de incidencia, lo que fortaleció el plan de dinamizar el territorio mediante la capacitación para crear una “ciencia viva” en tanto que era cambiante y siempre con posibilidades de expandirse a otros territorios o actores.

La pandemia de Covid-19 puso a prueba este modelo que dependía del encuentro presencial, por lo que se implementaron Tequios de Saberes virtuales, con sesiones

sobre investigación-acción participativa, educación intercultural y estrategias agroalimentarias ante el Covid, teniendo en mente también el promover la comunicación para evitar el aislamiento y la depresión a través de compartir sentires y posibilidades de superación. La plataforma de comunicación fue grupos de WhatsApp, uno por cada región del estado, donde se compartían los pesares y retos territoriales, así como reflexiones sobre alternativas, principalmente en materia de salud y alimentación. Los investigadores del CIATEJ respondieron en esos espacios a las dudas más frecuentes sobre el virus, sus causas y consecuencias, transfiriendo conocimiento científico en formatos accesibles a las redes que ya existían. Los tequios derivaron en diagnósticos agroalimentarios regionales, con mayor actividad en el nodo Montaña. Así nació el ABC 2.0, realizado en modalidad virtual-semipresencial, que ajustó el perfil de los destinatarios a docentes de la Unidad de Educación Media Superior Tecnológica Agropecuaria y Ciencias del Mar, apostando por extender las posibilidades de colaboración en investigación participativa al tiempo que se promovían vocaciones científicas entre sus estudiantes. Egresaron 64 actores de perfiles diversos que implementaron cerca de 60 proyectos de soberanía alimentaria en diferentes regiones de Guerrero y Puebla. La serie continuó con el ABC 3.0, coordinado directamente por el equipo del proyecto de Tejidos Locales Agroalimentarios en Red (TELAR), entre septiembre de 2022 y marzo de 2023, que incorporó cuatro ejes temáticos: agroecología y soberanía alimentaria, salud y toxicidad, feminismos populares y territorio y bioculturalidad. El ABC 4.0, realizado en modalidad híbrida, con más de 60 participantes de distintos perfiles. Estas dos ediciones operaron en articulación directa con los tejidos-nodos regionales que el TELAR construía en paralelo, siendo el vínculo concreto entre la infraestructura formativa y el despliegue territorial.

Esta serie de procesos fue construyendo algo que no aparece en los indicadores convencionales de los proyectos de la época y que sentó bases para que el CIATEJ cambiara formas de trabajo en territorio de manera radical. Esto es: redes temáticas con presencia regional sostenida y actores ya formados en metodología de Investigación-Acción, siendo semilleros de capacidades locales, distribuidos en cinco regiones del estado. Esa base posibilitó el proyecto Tejidos Locales Agroalimentarios en Red y sus experiencias y aprendizajes.

TELAR-ADESUR como laboratorios sin paredes

El proyecto “Impulso a redes de colaboración social-científico-tecnológica en el Estado de Guerrero, mediante el fortalecimiento de nodos regionales de incidencia socioambiental” recibió el nombre de Tejidos Locales Agroalimentarios en Red (TELAR) y fue financiado por el Fondo Mixto CONAHCYT-Gobierno del Estado

de Guerrero (GRO-2019-01-218213). Se ejecutó entre 2021 y 2024, bajo responsabilidad técnica del CIATEJ, con un equipo de incidencia territorial multidisciplinario con arraigo en el estado, egresado principalmente del Diplomado ABC 1.0.

TELAR llegó en un momento de transición del ADESUR a ser un Centro de Estudios e Investigación en Biocultura, Agroecología, Ambiente y Salud (CEIBAAS). Los investigadores, integrantes del proyecto y los actores locales provenían de procesos ya consolidados con aprendizajes de los proyectos que los antecedieron, respaldados por la coordinación de un CIATEJ que valoraba las nuevas formas de trabajo territorial, desde una apertura institucional que reflejaba el interés por conocer el estado de Guerrero, no solo por ejecutar proyectos en el mismo.

Los actores del territorio, ante esta apertura, se mostraron comprometidos desde el inicio, aun con posibilidades particulares a veces acotadas, pero con dolores compartidos y sueños para subsanarlos, orientados a transitar hacia la soberanía alimentaria, energética, hídrica, salud comunitaria y economía social y solidaria (Rivas et al., 2025). Contar con promotores territoriales de las líneas de acción de sus nodos, que fueron los coordinadores regionales egresados del ABC 1.0, facilitó la logística, la comunicación horizontal y el conocimiento de los tiempos y formas de interacción propias de cada región.

La espiral reflexiva para aprender, desaprender y transformar en el territorio

La transdisciplina, entendida como la coproducción de conocimiento entre actores científicos y no científicos para abordar problemas complejos con pertinencia social y ambiental (Gibbons et al., 1994; Merçon, 2022), fue la orientación que guio la propuesta metodológica del TELAR. El enfoque metodológico de TELAR, la Investigación Acción Participativa (IAP), tiene sus orígenes en la educación popular (Freire, 1970) y en la investigación-acción participativa latinoamericana (Fals Borda, 1987), así como en el reconocimiento de las subjetividades, valores, motivaciones y actitudes que dan sentido al accionar humano. La IAP es una columna vertebral que propicia la participación, la creatividad y el aprendizaje social a partir de generar procesos de diálogo, práctica y reflexión con tintes emancipatorios que retoman sueños latentes, ayudan a la colectivización de los mismos y a instalar, como práctica cotidiana, diálogos de saberes para la resolución de los problemas que se van percibiendo como comunes.

La secuencia metodológica se visualiza como una espiral de ciclos continuos de acción (A) y reflexión (R). Cada ciclo comienza con una reflexión basada en una experiencia práctica cuyos resultados se reflexionan en colectivo antes de emprender

un nuevo ciclo. El primer momento implica un diagnóstico amplio que identifica el dolor común y una primera ruta de acción, lo que gradualmente, tras la reflexión y la acción, conduce a la formación de comunidades de aprendizaje. En el segundo ciclo se profundiza en el diagnóstico y se elabora un plan de acción, incluyendo su implementación y la conexión con actores, instituciones o procesos comunitarios. El tercer ciclo, para el proyecto TELAR, implicó el diseño y la activación de prototipos y espacios demostrativos físicos a escala, acompañados de reflexiones sobre los desafíos encontrados, los cambios significativos y las lecciones aprendidas. Esta secuencia permitió un proceso continuo de aprendizaje donde cada ciclo informó y enriqueció los siguientes. ADESUR, pero más aún CIATEJ, como institución responsable, actuaron como catalizadores, brindando el espacio físico y el soporte institucional que permitieron que esos ciclos cobraran vida en el territorio; ese gran proyecto fue la base de operaciones administrativas, logísticas y semillero de acciones con actores variados.

Un componente metodológico fundamental fue el análisis de redes, utilizado para monitorear la estructura y las dinámicas internas, identificar aciertos y áreas de oportunidad, tipificar la identidad de las redes de colaboración y entender los distintos roles dentro de la red, incluyendo dinamizadores y periféricos, niveles de involucramiento y comunidades emergentes (Wasserman & Faust, 1994). La densidad de la red, la cantidad de relaciones entre nodos, la cohesión y la identificación de subcomunidades se documentaron en diferentes fases para monitorear la evolución del tejido colectivo; esto permitió ver la estabilidad de la red aun sin la presencia del proyecto o de la institución como dinamizadores.

Las comunidades de aprendizaje, denominadas tejidos en el proyecto, fueron el actor colectivo clave habiendo uno por cada región en la que se trabajó: Centro, Norte, Montaña, Costa Grande y Costa Chica. Los tejidos fueron los nodos de articulación que funcionaron como puntos de encuentro y desarrollo de experiencias. Integraron a promotores y expertos locales, instituciones y programas de gobierno, docentes y estudiantes, organizaciones sociales, instituciones de formación y núcleos agrarios en entornos donde se compartían conocimientos, experiencias, saberes, materiales e infraestructura.

Entre esa infraestructura estuvieron el edificio y los laboratorios de ADESUR, permitiendo que la academia y la comunidad aprendieran la una de la otra, sin tecnicismos ni egos que intimidaran el diálogo, sino con una mirada horizontal, donde todas las voces tenían el mismo peso. El pensamiento sistémico de la academia ayudó a mapear las causas y los efectos, pero los actores comunitarios les pusieron rostro, historia y urgencia a esos datos. Para el TELAR y para las actividades de ADESUR, a partir de la era CEIBAAS, no se iba al territorio con un proyecto cerrado, sino a escuchar y, en el proceso, se identificaban las problemáticas sistémicas de la región.

Del entramado al territorio: los tres ciclos del TELAR como práctica de ADESUR

El primer ciclo del TELAR permitió construir un sistema abierto donde ADESUR (edificio y equipo en Guerrero, constituido por investigadores de CIATEJ y del CICY) era un nodo más del tejido, desde el cual se dio acompañamiento y asesoría. ADESUR, que fue detonante, dejó de ser el centro jerárquico del proceso para convertirse en uno más de los actores de la red, con su infraestructura y capacidades científicas disponibles para las comunidades y los tejidos regionales.

El segundo ciclo fue muy dinámico para promover la interrelación entre nodos, lo que nutría los procesos individuales de cada uno y propiciaba sinergias en la evolución del proyecto. Actores de diferentes regiones comenzaron a retroalimentarse mutuamente, compartiendo estrategias, aprendizajes y metodologías que habían funcionado en sus territorios. La ciencia iba al campo, pero el campo también llegaba al laboratorio del ADESUR para aprender y enriquecer con técnicas de cromatografía de Pfeiffer para el análisis de suelos, análisis de bioles, cultivo de hongos y monitoreo de calidad del agua, que se convirtieron en actividades realizadas por las propias comunidades.

El tercer ciclo fue la consolidación de espacios demostrativos y de líneas IAP a escala internodal. En este ciclo, ADESUR se convirtió en sede de los encuentros regionales y en centro de planeación del equipo TELAR. En sus laboratorios se dio seguimiento a trabajos colectivos de los tejidos en torno a microbiología y calidad del agua, volviéndose un lugar de puertas abiertas, un laboratorio sin paredes, cumpliendo el objetivo con el que fue montado para atender los problemas y necesidades de la región. Los participantes del TELAR se integraban al espacio, se apropiaban de las dinámicas y técnicas de medición de parámetros fisicoquímicos y contaminantes con la colaboración de los investigadores. Los actores locales se convirtieron en los generadores de sus propios datos, acortando la distancia laboratorio-comunidad, que Von Foerster (1992) señala como condición necesaria para que el pensamiento sistémico deje de ser un mapa abstracto y se convierta en un territorio vivo. CIATEJ tuvo la sensibilidad para permitir que, en ADESUR, el proyecto hermano TELAR transformara el laboratorio tradicional en un nodo de resonancia comunitaria.

Herramientas, resultados y evidencia de sostenibilidad

Las principales herramientas del modelo TELAR fueron los talleres temáticos, los diagnósticos y la sistematización de experiencias (Matías & Pardo, 2024). Los talleres respondían a las necesidades e intereses de los actores locales y se recomendó que fueran facilitados por los propios integrantes de la comunidad de aprendizaje. Los diagnósticos generaron líneas base para la toma de decisiones en proyectos IAP, el

desarrollo de prototipos y la generación de planes de corto, mediano y largo plazo, haciendo uso de mapeo territorial, árbol de problemas, matriz de priorización y mapeo de actores. La sistematización fue participativa porque cada participante aportó desde su experiencia individual para construir saberes de una visión colectiva, generando documentos de divulgación como infografías, memorias, manuales, dossiers y cápsulas de radio.

Los resultados de TELAR mostraron las posibilidades de la colaboración transdisciplinaria y la voluntad institucional en cinco comunidades de aprendizaje, 87 actores participantes, 18 líneas de acción, cinco epicentros demostrativos, nueve proyectos de investigación-acción participativa, ocho convenios de colaboración, 16 manuales y folletos y más de 50 eventos públicos. Pero los números importan menos que la estructura que revelan. Cada proyecto IAP emanaba de una comunidad de aprendizaje; cada comunidad de aprendizaje conectaba a técnicos, productores, estudiantes e investigadores en un mismo proceso de diagnóstico y acción en interacciones para las que la academia proveía metodología y acceso a la información, mientras que las comunidades proveían el conocimiento territorial acumulado y las redes organizativas para la implementación.

Uno de los indicadores más significativos de sostenibilidad proviene del propio análisis de redes. Al eliminar al actor TELAR de la ecuación, los indicadores de densidad y centralidad muestran cambios mínimos en la estructura de las relaciones, que fluyen sin necesidad de los y las gestores/as en cada tejido. La selección de los espacios demostrativos a ser equipados implicó un mapeo de actores clave, dinamizadores con proyectos y disposición real para el trabajo y para llevar adelante ideales en la transición agroecológica. Quienes iniciaron como sujetos individuales y finalizaron como parte de sujetos colectivos demostraron compromiso real con el proyecto, que se observa en sus trayectorias posteriores: dos personas ingresaron a un posgrado con el proyecto colectivo como propuesta de trabajo. Tres colectivos ingresaron a convocatorias de financiamiento con programas de gobierno. Al menos uno obtuvo apoyo municipal para reforzar programas afines, en el marco de Producción para el Bienestar-CICA Costa Grande, a partir de continuar con su prototipo agroecológico.

Las dos estrategias de articulación permanente que definieron el modelo TELAR, el programa de formación continua a través del Diplomado ABC y el despliegue territorial mediante los tejidos-nodos, resultaron entrelazadas e indisolubles, dejando ver que la formación sin el anclaje territorial produce conocimiento abstracto; el despliegue territorial sin formación produce acción sin reflexión. La combinación de ambas generó las condiciones para que los actores locales desarrollaran capacidades

de gestión, organización y colaboración que trascienden la duración del proyecto. Los diplomados ABC y TELAR, como lo indicaba Elinor Ostrom (2000), no entregan títulos nobiliarios individuales para la academia, sino que construyen un bien común que se ve reflejado en capacidades colectivas.



Figura 2. Memoria Fotográfica de encuentros entre diferentes actores ADESUR · TELAR · CEIBAAS (2014-2024)
Fuentes: Elaboración Propia

Bajo los aprendizajes adquiridos por el trabajo participativo y territorialmente definido, uno de los aprendizajes fue que la comunidad académica no es la dueña ni productora única del conocimiento, ni la comunidad es una cliente, proveedora de información o estadística; más bien, el conocimiento generado en el TELAR y procesos afines es un recurso compartido que se gestiona y nutre colectivamente y, aún a la fecha el remanente de ADESUR, tanto en su actual modalidad CEIBAAS como en las nuevas formas institucionales de ver el trabajo en territorio, permanece ejecutando intervenciones científico académicas que reflejan los aprendizajes de ambos procesos.

De ADESUR a CEIBAAS

Hacia principios de 2022, el equipo de CIATEJ, con presencia en Acapulco, comenzó a trabajar en una propuesta de metamorfosis institucional, preguntándose: ¿qué tipo de institución necesitaba Guerrero para sostener a largo plazo el modelo de ciencia con incidencia territorial que los diplomados, TELAR y los proyectos de la Mon-

taña habían construido? Esto respondía también a un interés propio del CIATEJ, enfocado en mejorar sus capacidades teóricas y metodológicas para intervenciones territoriales basadas en problemas sociales manifestados por las comunidades.

En mayo de 2022 se realizó el Foro Virtual “Hacia la Concertación y Construcción de una Agenda Científica HCTI en el Estado de Guerrero”, con 57 participantes y 46 investigadores de instituciones estatales y nacionales. El foro articuló a representantes de la Secretaría de Salud, la Secretaría de Educación, la UAGro, el Instituto Estatal de Cancerología y el Laboratorio Estatal de Salud Pública. Los ejes temáticos que emergieron de ese foro —salud, género, educación, agroecología y sistemas socioecológicos— prefiguran directamente las cuatro líneas de investigación del CEIBAAS, en un proceso de construcción de la agenda que partió del análisis intersectorial y participativo de problemáticas concretas que requerían un abordaje integral entre actores estratégicos. Este fue inaugurado el 13 de diciembre de 2023 por la directora general del CONAHCYT y la gobernadora del Estado y funciona como subsede del CIATEJ y del CICY, en una sinergia que le otorga personalidad jurídica y respaldo administrativo sin perder su orientación territorial. La conformación del equipo actual del CEIBAAS es, en sí misma, un resultado de los procesos de cambio de visión sobre el trabajo territorial por parte de CIATEJ.

Durante la etapa ADESUR-TELAR, la presencia institucional permanente del CIATEJ en el espacio era de una sola investigadora por México, una investigadora posdoctoral y un investigador asociado; el proyecto TELAR fue la responsabilidad técnica de la primera, y el programa de especialidad Programa Interinstitucional de Especialidad en Soberanías Alimentarias y Gestión de Incidencia Local Estratégica (PIES-AGILES), que inició en el mismo periodo, de la Dra. Anne Gschaedler, también responsable del componente operativo del FORDECYT ADESUR. Entre esos dos programas se definieron, en la práctica, los ejes temáticos que el CEIBAAS formalizaría. Cuando TELAR concluyó y Pies Ágiles se convirtió en la Especialidad Nacional para el Bienestar Comunitario en Agroecologías y Soberanías Alimentarias (ENBC-ASA), se incorporaron cuatro investigadores por México adicionales, uno de ellos era el investigador asociado que ya formaba parte del espacio; los demás habían participado de alguna forma en los procesos de transición, por lo que ninguno era ajeno a lo que se había construido. ADESUR-CIATEJ, también, fue parte medular en la participación, construcción y consolidación del Doctorado Nacional en Agroecología (DNA) en el periodo activo de los proyectos ADESUR, TELAR y Pies Ágiles, pues fueron estos los que dieron una identidad particular al CIATEJ en el colectivo de nueve centros que trabajaron en el DNA, posicionando las líneas tradicionales del Centro pero desde un espíritu interno de colaboración para

aterrizar los contenidos de esas líneas en trabajos territoriales socialmente anclados. Con esto se consolidó la fusión del equipo CIATEJ en Guerrero con los equipos de trabajo de CIATEJ Jalisco que se desarrollan actualmente.

Conclusiones

La trayectoria de ADESUR como proyecto transdisciplinario, colaborativo y de edificio-laboratorio que transitó a ser CEIBAAS no es una historia de éxito lineal, sino el registro de un proceso de aprendizaje institucional con avances reales y tensiones sin resolver, siendo el TELAR y Pies Ágiles (motivo de otro artículo) momentos clave para la articulación y la documentación de las transiciones epistemológicas y metodológicas aplicadas en territorio por CIATEJ.

Antes de 2019, ADESUR era un consorcio cuyos subproyectos operaban en paralelo sin incidencia social. En la actualidad, CEIBAAS es capaz de convocar a investigadores de múltiples instituciones en torno a agendas concretas, con organizaciones y comunidades formadas como interlocutoras activas, no como beneficiarias pasivas. Esa red no se construyó por decreto: se construyó a través de encuentros, diplomados, talleres, diagnósticos y proyectos de acción participativa que acumularon confianza entre actores heterogéneos, creando una comunidad de saberes compartidos donde ADESUR fue un actor y componente del engranaje metodológico. La transición de ADESUR a CEIBAAS, con TELAR como su momento más denso y articulado, muestra que es posible construir, en un estado históricamente excluido del sistema científico mexicano, una infraestructura de investigación con arraigo territorial genuino.

Los principales obstáculos observados en el proceso fueron administrativos, y esto no solo toca al proceso de CIATEJ de ADESUR a CEIBAAS, sino que corresponde a un proceso de incongruencia institucional con el territorio, que generan incertidumbre financiera, incapacidad de desarrollar proyectos a largo plazo con incidencia territorial, incompatibilidad con los instrumentos de evaluación y productividad del proyecto y de los investigadores ante instancias como el Sistema Nacional de Investigadoras e Investigadores (SNII) y los indicadores de Secihti que miden publicaciones, impacto de citas y formación de recursos humanos convencionales desmotivando el desarrollo de la transdisciplina y la IAP, aun cuando se está demostrando que estas generan alianzas territoriales con mayor incidencia político, social y económicas que las métricas académicas.

Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses, ya sea de carácter financiero, personal o profesional, que pudiera haber influido en el diseño, desarrollo

o presentación de los resultados expuestos en este manuscrito como un potencial conflicto de interés.

Financiamiento

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

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

Agradecimientos

A la Dra. Anne Gschaedler, por su brillante y cálido acompañamiento en el proceso ADESUR y TELAR, así como a las y los investigadores del CIATEJ que se acercaron y aportaron en los distintos momentos de los proyectos territorialmente anclados en Guerrero.

Referencias

- ADESUR. (2026). *Consortio agroalimentario*. Recuperado de <http://www.Adesur.mx/>
- El Colegio de la Frontera Norte. (2017). *Fortalece CONACYT colaboración institucional mediante taller de trabajo a sus centros de investigación*. El Colef. <https://www.colef.mx/noticia/fortalece-conacyt-colaboracion-institucional-mediante-taller-de-trabajo-a-sus-centros-de-investigacion/>
- Capilla, R. (2018). *Consortio ADESUR para el desarrollo sustentable*. Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo. <https://www.ciad.mx/consorcio-Adesur-para-el-desarrollo-sustentable/>
- Fals Borda, O. (1987). The application of participatory action-research in Latin America. *International Sociology*, 2(4), 329-347. <https://doi.org/10.1177/026858098700200401>
- Freire, P. (1970). *Pedagogía del oprimido*. Siglo XXI Editores.
- Gibbons, M., Limoges, C., Nowotny, H., Schwartzman, S., Scott, P., & Trow, M. (1994). *La nueva producción del conocimiento: la dinámica de la ciencia y la investigación en las sociedades contemporáneas*. Sage Publications, Inc.
- Matías Arcos, M. E. y Pardo Núñez, J. (2024). *Modelo de gestión de redes para la incidencia socioambiental y el fortalecimiento de capacidades*. TELAR. CONAHCYT/CIATEJ/CEIBAAS Guerrero.

- Meneses, M. P., Nunes, J. A., Añón, C. L., Bonet, A. A., & Gomes, N. L. (2019). Las ecologías de saberes. En *Boaventura de Sousa Santos: Construyendo las Epistemologías del Sur Para un pensamiento alternativo de alternativas, Volumen I* (pp. 229–266). CLACSO. <https://doi.org/10.2307/j.ctvt6rmq3.9>
- Merçon, J. (2022). Investigación transdisciplinaria e investigación-acción participativa en clave decolonial. *Utopía y Praxis Latinoamericana*, 27(98), 1-19. <https://doi.org/10.5281/zenodo.6327336>
- Ostrom, E. (2000). *El gobierno de los bienes comunes: La evolución de las instituciones de acción colectiva*. Fondo de Cultura Económica.
- Pardo Núñez, J., Sánchez Gómez, J. & Serafín Castro, A. M. (Coords.). (2025). *Redes de colaboración agroecológica en Guerrero: una apuesta de convergencia social, científica y tecnológica*. Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco (CIATEJ). https://libros.ciatej.mx/index.php/libros_ciatej/catalog/book/21
- Rivas, R. A., Serafín Castro, M., Pardo Núñez, J., Matías Arcos, M. E. & Ochoa Acosta, J. C. (2025). Dolores comunes y sueños colectivos: la experiencia metodológica de una red de tejidos locales agroalimentarios en Guerrero. *Enfoques Transdisciplinarios: Ciencia y Sociedad*, 1(1), 95-107. <https://revistaenfoques.ciatej.mx/index.php/revistaenfoques/article/view/12>
- Von Foerster, H. (1992). Ética y cibernética de segundo orden. *Cibernética y conocimiento humano*, 1(1), 40-46.
- Wasserman, S. & Faust, K. (1994). *Social Network Analysis: Methods and Applications*. Cambridge University Press.



