

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).

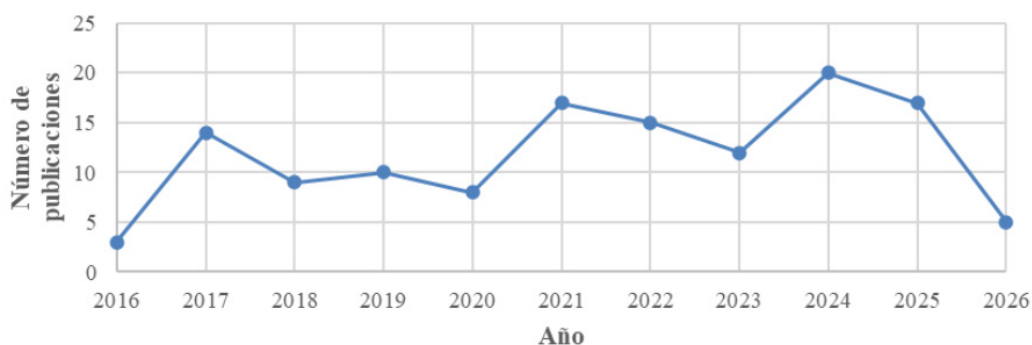


Figura 1. Sumatoria de la producción científica de las tres integrantes del proyecto “Fortalecimiento de capacidades científicas de biotecnología vegetal en fitoquímica y biocompuestos”

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).

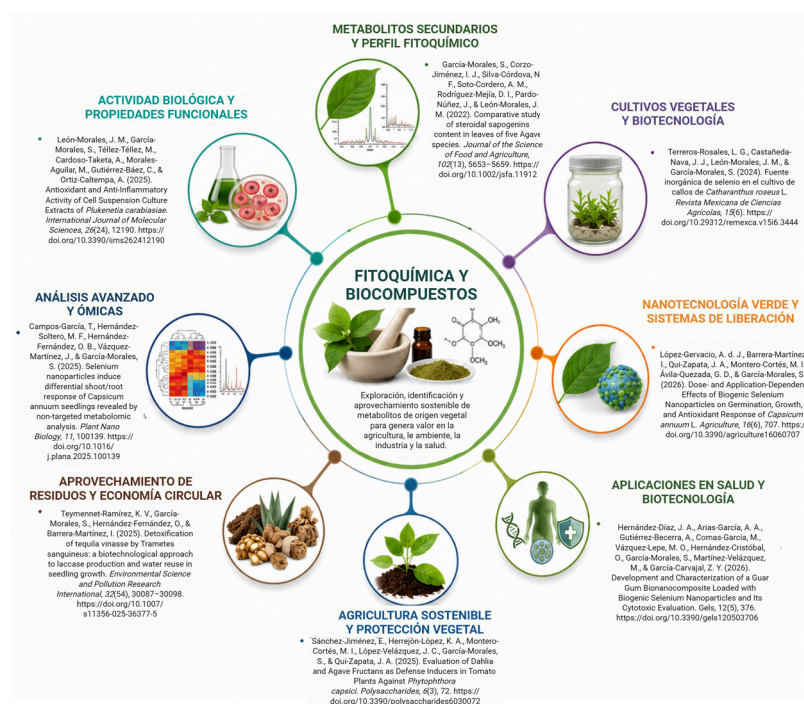


Figura 2. Integración de la producción científica en la línea de investigación en fitoquímica y biocompuestos con aplicaciones biotecnológicas, agrícolas y nutraceuticas

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.

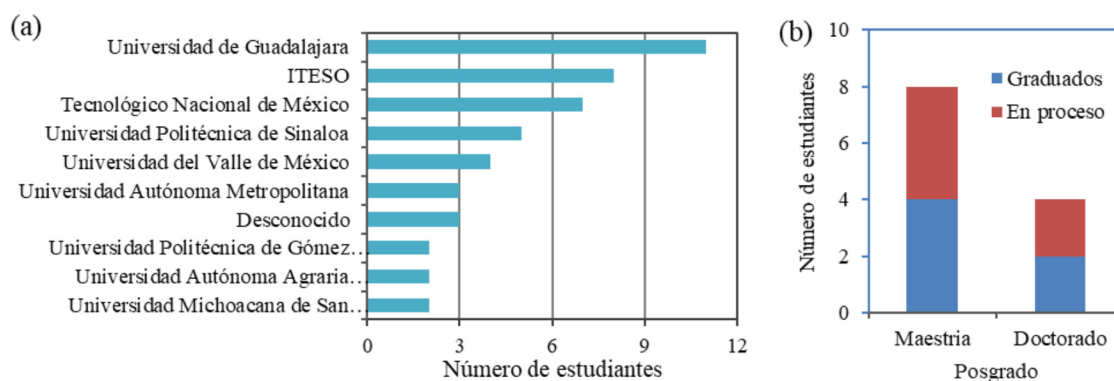


Figura 3. Estudiantes atendidos de enero de 2017 a mayo de 2026. (a) Número de estudiantes externos por institución. (b) Estudiantes de posgrados propios

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).

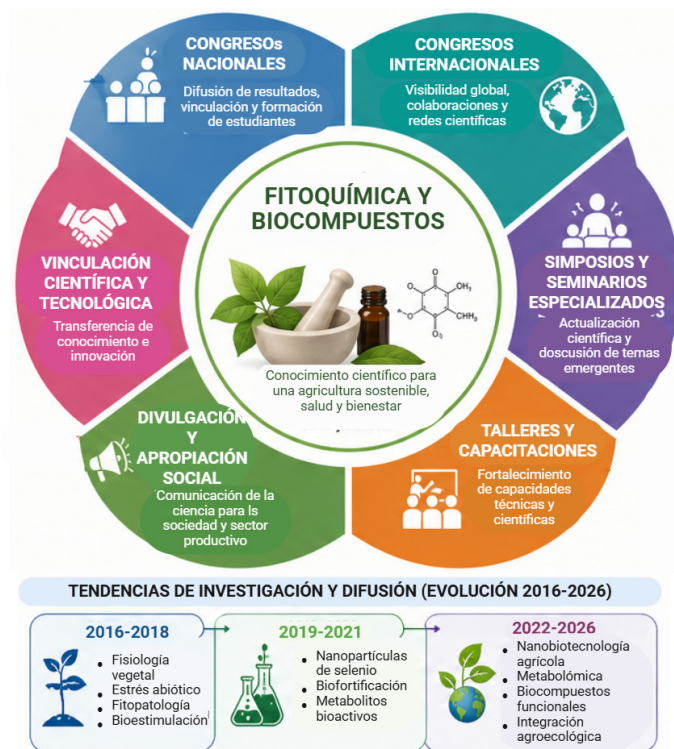


Figura 4. Eventos de difusión y divulgación científica para fortalecer la línea de investigación en fitoquímica y biocompuestos durante el periodo 2016–2026

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>