



Secretaría  
Nacional de  
Ciencia y  
Tecnología



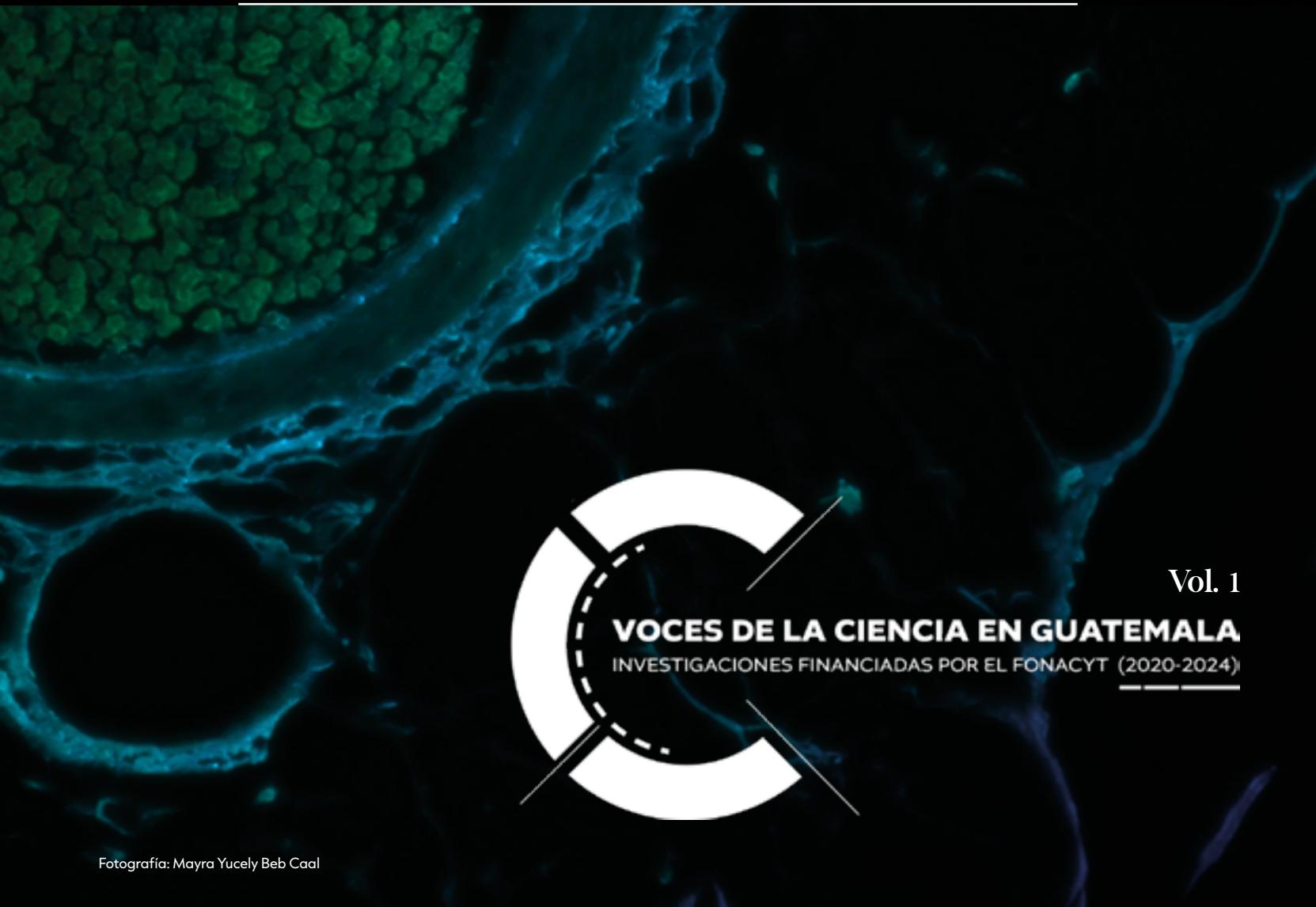
FONACYT  
Fondo Nacional de Ciencia y Tecnología



aecid  
cultura

Guatemala

OEI



Vol. 1

**VOCES DE LA CIENCIA EN GUATEMALA**  
INVESTIGACIONES FINANCIADAS POR EL FONACYT (2020-2024)

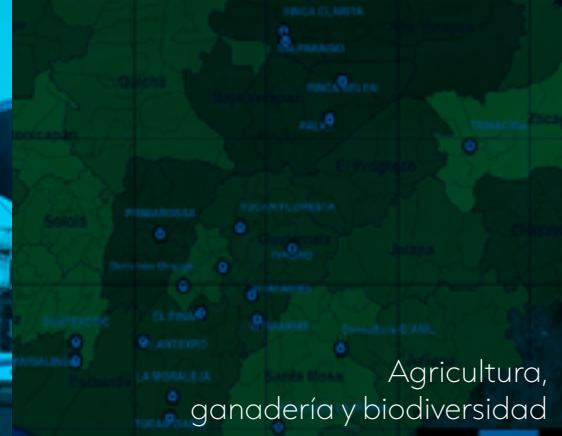




Salud  
y ciencias médicas



Educación y  
sociedad



Agricultura,  
ganadería y biodiversidad



# Voces de la ciencia en Guatemala:

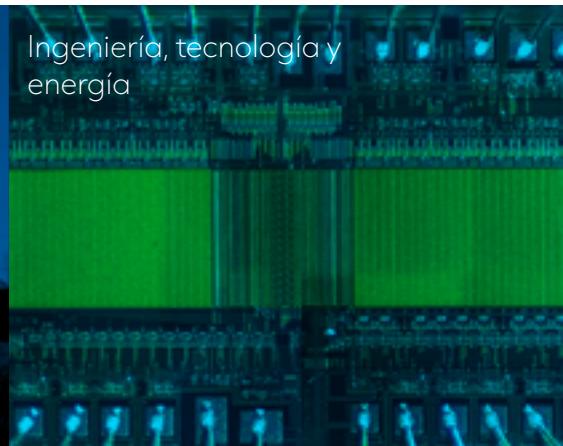
## Resultados de investigaciones financiadas por el Fondo Nacional de Ciencia y Tecnología (2020-2024)



Innovación y  
emprendimiento



Cambio climático,  
medio ambiente y agua



Ingeniería, tecnología y  
energía



ME/184

## SENACYT. VOCES DE LA CIENCIA EN GUATEMALA: RESULTADOS DE INVESTIGACIONES FINANCIADAS POR EL FONDO NACIONAL DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA (2020-2024)

ISBN: 978-9929-8407-1-3

- |   |                             |                         |                                     |  |                                |
|---|-----------------------------|-------------------------|-------------------------------------|--|--------------------------------|
| 1. AGRICULTURA, GANADERÍA Y BIODIVERSIDAD | 2. SALUD Y CIENCIAS MÉDICAS | 3. EDUCACIÓN Y SOCIEDAD | 4. INGENIERÍA, TECNOLOGÍA Y ENERGÍA | 5. CAMBIO CLIMÁTICO, MEDIO AMBIENTE Y AGUA | 6. INNOVACIÓN Y EMPRENDIMIENTO |
|---|-----------------------------|-------------------------|-------------------------------------|--|--------------------------------|

Esta publicación es propiedad de la Secretaría Nacional de Ciencia y Tecnología (Senacyt). Todas las investigaciones completas y su bibliografía que se resumen en este libro están disponibles para consulta en el repositorio virtual:  
<https://biblioteca.senacyt.gob.gt/opac/>

La gestión y producción de esta publicación fue realizada por:

**Dra. Gabriela Montenegro**

Secretaria Nacional de Ciencia y Tecnología

**Dr. Enrique Pazos**

Subsecretario Nacional de Ciencia y Tecnología

**Dirección de Popularización Científica y Tecnológica**

**Dirección de Generación y Transferencia de Conocimiento**

Para consultas comuníquese a:

directorios@senacyt.gob.gt

PBX: 2317-2600 ext. 169

@Senacytgt  
f X @ YouTube in d

Yecenia Enríquez Donis, directora de Popularización Científica y Tecnológica • David Morales, subdirector de Popularización Científica y Tecnológica • Andrea Pérez, jefe de Comunicación Social • Regina Rodriguez, diseñadora gráfica • Alicia López, jefe de Actividades y Eventos • Abelardo Viana, profesional de Directorios



**Dra. Karin Herrera**  
Vicepresidenta de la  
República de Guatemala

**La ciencia es esperanza,  
pero también es  
compromiso.  
Es el lenguaje común  
que puede unir  
voluntades para  
construir el desarrollo  
integral y sostenible que  
Guatemala merece.**

## Prólogo

Creo firmemente que la ciencia es una herramienta de transformación. No solo permite comprender el mundo que habitamos, sino también cuidarlo, mejorarlo y hacerlo más justo. En Guatemala, la ciencia cumple un papel esencial: ayuda a proteger la biodiversidad, a fortalecer la agricultura que alimenta a las comunidades, a garantizar la seguridad alimentaria y a impulsar la investigación médica que salva vidas, entre otros. La ciencia, la educación y la seguridad alimentaria son indispensables para el desarrollo integral y sostenible.

Cada decisión que se toma como país debería basarse en evidencia. Se necesitan datos, estudios y conocimiento generado desde la realidad nacional, con investigadores y científicas que comprendan los desafíos y las esperanzas del territorio. Impulsar la ciencia es una prioridad porque brinda autonomía, permite planificar con visión y prepara al país para enfrentar el cambio climático, las crisis de salud y los retos del desarrollo sostenible.

Avanzar en esa dirección exige invertir en ciencia. Es indispensable contar con fondos sostenibles que permitan desarrollar investigaciones sólidas y resultados verificables, que puedan compartirse con la sociedad y orientar la toma de decisiones. La difusión del conocimiento fortalece la transparencia, el aprendizaje colectivo y el impacto real de la ciencia en la vida cotidiana.

También creo que la ciencia debe democratizarse. No puede ser un espacio reservado para unos pocos; debe abrirse más a la niñez, jóvenes y comunidades cercanas o lejanas, vulnerables y con interés en aprender, investigar y proponer soluciones. Financiar la investigación, fortalecer la educación científica y crear puentes entre el conocimiento y la sociedad son pasos esenciales para construir un país más informado y resiliente.





**Dra. Gabriela Montenegro**  
Secretaria Nacional de  
Ciencia y Tecnología

En esta gestión reafirmamos nuestro compromiso con la promoción de la ciencia, la tecnología y la innovación, pero, sobre todo, con las personas que las hacen posible.

## Presentación

La investigación es un proceso que rara vez ofrece resultados inmediatos. Requiere tiempo, perseverancia y, sobre todo, pasión. Por ello, es fundamental reconocer y visibilizar a las personas que, a pesar de las dificultades, se dedican a investigar con el propósito de mejorar la calidad de vida de los guatemaltecos. Su labor, muchas veces silenciosa y poco comprendida, constituye una contribución esencial para el desarrollo del país y para la construcción de un futuro basado en el conocimiento.

Este libro reúne investigaciones que, aunque en ocasiones pasan desapercibidas, poseen un enorme potencial para generar impacto en nuestras comunidades. Son ejemplos concretos de cómo la ciencia puede ofrecer soluciones, abrir oportunidades y mejorar las condiciones de vida de las personas. En contextos donde la ciencia no siempre cuenta con el espacio ni el apoyo necesario, estas iniciativas adquieren un valor aún mayor, al demostrar que el compromiso y la vocación pueden superar las limitaciones.

Reconocerlas no es solo un acto simbólico, sino un paso hacia el fortalecimiento de la cultura científica nacional y la inspiración de nuevas generaciones para seguir este camino. En esta gestión reafirmamos nuestro compromiso con la promoción de la ciencia, la tecnología y la innovación, pero, sobre todo, con las personas que las hacen posible. Celebramos su dedicación, creatividad e incansable búsqueda de respuestas, porque detrás de cada avance científico hay una historia de esfuerzo, esperanza y amor por Guatemala, y una voz que merece ser escuchada para impulsar cambios duraderos y sostenibles.



# Contenido

13

## Prefacio

15

Voces de la ciencia en Guatemala: Resultados de investigaciones financiadas por el Fondo Nacional de Ciencia y Tecnología (2020-2024)

17

## Agricultura, ganadería y biodiversidad

19

Programa asistencia técnica, implementación de planes de manejo integrado y capacitación para su ejecución en 14 cultivos de ornamentales de exportación en 20 unidades productivas / **Gustavo Adolfo Álvarez Valenzuela**

27

Combinación de especie 1 con especie 2 para el tratamiento de plaga café / **Gustavo Adolfo Álvarez Valenzuela**

33

Caracterización genética, rescate y conservación de la raza bovina, Barroso-Salmeco guatemalteca / **Raúl Jáuregui Jiménez**

41

Evaluación de la morfoestructura y productiva de las gallinas criollas de cuello desnudo de acuerdo con el cromotipo / **Raúl Jáuregui Jiménez**

51

Densidad de Quetzales (*Pharomachrus mocinno*) en áreas prioritarias para su conservación y estandarización de un protocolo de monitoreo para la especie en Guatemala / **Michelle Bustamante Castillo**

**57**

## **Salud y ciencias médicas**

**59**

Cognición y COVID-19 / **Álvaro Antonio Jerez Pietropaolo**

**64**

Innovación de equipo para el fortalecimiento de los procesos productivos y mejorar tiempos y capacidad de proceso de tratamiento desechos sólidos hospitalarios peligrosos del sector salud, con una tecnología inofensiva y de bajas emisiones al ambiente / **María Melissa del Rosario Calvo Samayoa de Knoepffler**

**69**

Determinación de mutaciones del gen CFTR en pacientes guatemaltecos diagnosticados con fibrosis quística. Bases para el diseño de un programa en farmacogenética en salud pública / **Lesly Yanira Xajil Ramos**

**74**

Alimento funcional complementario con probióticos obtenidos de alimentos autóctonos para poblaciones con alta prevalencia de desnutrición crónica y diarrea en Guatemala / **Manolo Adulfo Mazariegos Fernández**

**79**

Uso de piel de Tilapia como apósito biológico temporal para tratamiento de quemaduras en Guatemala / **Lourdes Irene Santisso Arroyo**

**83**

Evaluación de la actividad antibacteriana y composición química de hojas y flores de *Chiranthodendron pentadactylon* (kanak) para la propuesta de un producto alimenticio / **Sully M. Cruz**

**89**

Laboratorio de reproducción y desarrollo *In Vitro* / **Hugo Enrique Ortíz**

**97**

### **Educación y sociedad**

**99**

Aseguramiento de la calidad educativa en la modalidad virtual a nivel universitario. Caso de estudio: Facultad de Ingeniería, USAC / **Martha Guisela Gaitán Garavito**

**105**

### **Ingeniería, tecnología y energía**

**107**

Aplicación de realidad aumentada con tecnología 3D para apoyar a la industria turística de Guatemala / **Rafael Garrido Flores**

**111**

Aplicación TIANGUIS / **Manuel Ricardo Bolaños Menéndez**

**116**

Conversión de vehículo de gasolina a eléctrico / **Sergio Danilo Argueta Batres**

**121**

### **Cambio climático, medio ambiente y agua**

**123**

Determinación de la dinámica espacial del corredor seco de Guatemala durante el período 2000-2020 / **Alfredo Salvador Gálvez**

**128**

Estudio Hidrogeológico de la subcuenca del Río Teocinte para determinar las áreas principales de recarga hídrica y propuesta en alternativas de un plan de conservación / **Tomás Antonio Padilla Cámpara**

**134**

Aplicación de modelos matemáticos para explicar y proyectar escenarios futuros de las amenazas climáticas asociadas con el cambio climático en Guatemala / **William Adolfo Polanco Anzueto**

**142**

Humedales naturales para sistemas de tratamiento de aguas residuales / **Jorge Iván Cifuentes Castillo**

**149** Determinación de la estabilidad geotécnica del talud del deslizamiento del barrio El Centro, La Unión Zacapa / **Francis Emmanuel Salguero Díaz**

**153** Digitalización de infraestructura verde para la gestión sostenible de los recursos hídricos / **Jorge Iván Cifuentes Castillo**

**157** Red de sensores de bajo costo para monitoreo de calidad de aire - MONAIR / **Oscar Rolando Rodas Hernández**

**163** Aplicación de tecnología espacial radar para detectar zonas de riesgo a inundaciones por efectos de la variabilidad climática en la cuenca baja del río Motagua, Izabal / **Jeff Hendrik Taqué Aroche**

#### **169** **Innovación y emprendimiento**

**171** Fortalecimiento de capacidades de innovación de nuevos productos en Sacatepéquez #AntiguaNaranja a través de (CDE), Small Business Development Centers con especialidad naranja / **Cinthya María Sandoval Cuéllar**

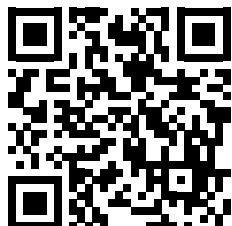
#### **177** **Fotocyt**

The background image shows a vast wetland area from an aerial perspective. The foreground is dominated by bright green, low-lying vegetation, likely algae or reeds, growing in patches of shallow, clear blue water. In the middle ground, a long, narrow body of water stretches across the frame, its surface reflecting the sky. The horizon is filled with a dense, dark green forest under a bright blue sky with scattered white clouds.

# Prefacio

La Secretaría Nacional de Ciencia y Tecnología (Senacyt) presenta esta obra para reconocer el talento que construye conocimiento en nuestro país, e invitar a las nuevas generaciones a continuar explorando, innovando y creando soluciones desde la ciencia guatemalteca.

Las investigaciones completas están disponibles en nuestro repositorio virtual:  
<https://biblioteca.senacyt.gob.gt/opac/>



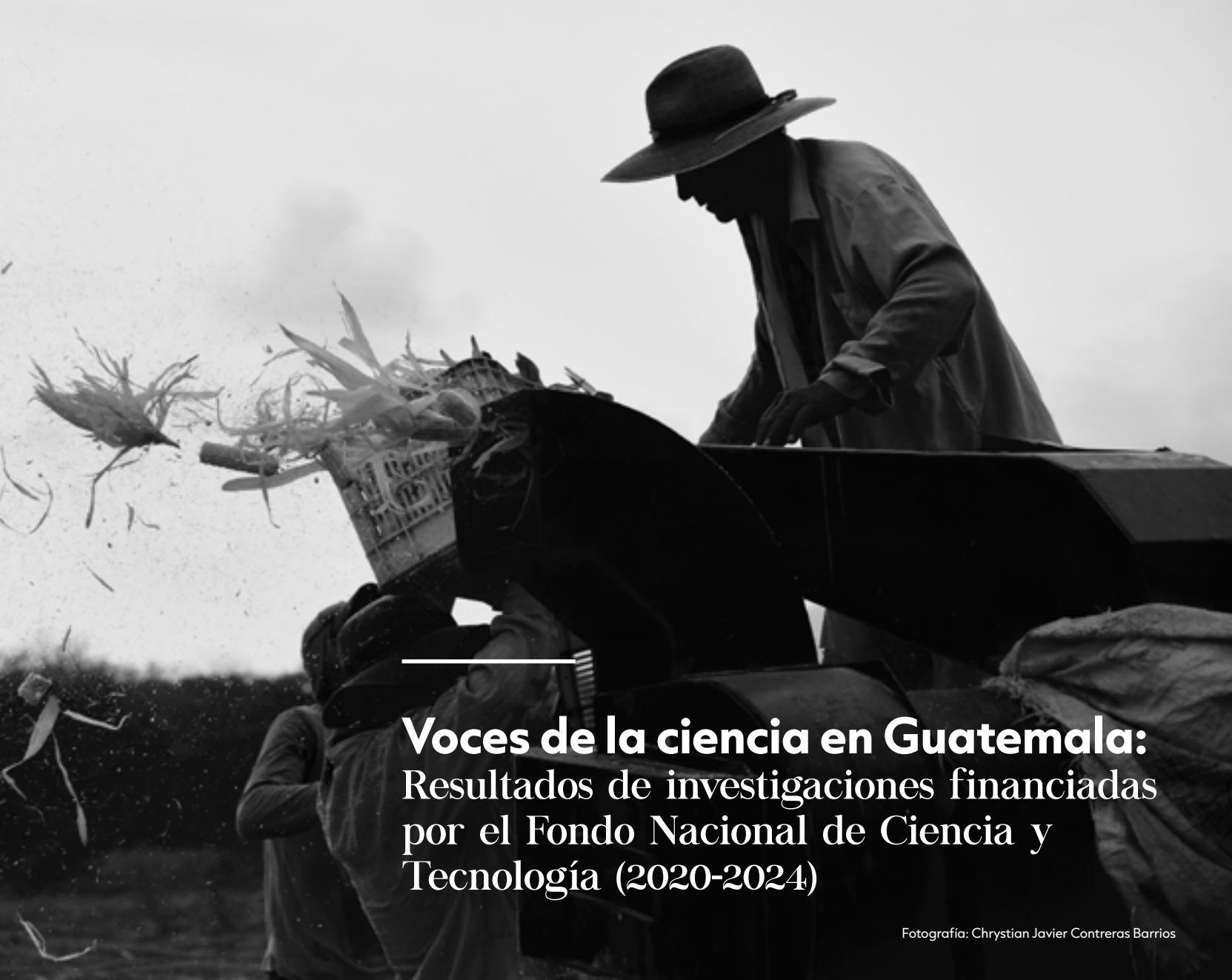
El conocimiento científico es una fuerza que impulsa el progreso nacional. En Guatemala, este principio se materializa gracias al trabajo constante de investigadoras e investigadores que, con rigor y compromiso, generan soluciones a los desafíos sociales, ambientales y económicos del país.

"Voces de la ciencia en Guatemala" es un testimonio de dicho esfuerzo. Este volumen compila los resúmenes de 25 investigaciones financiadas por el Fondo Nacional de Ciencia y Tecnología (Fonacyt) durante el período 2020–2024, mecanismo clave que promueve el desarrollo científico y tecnológico, brindando apoyo económico directo a proyectos que impactan en la actividad productiva nacional.

El objetivo primordial de esta publicación es doble: visibilizar la diversidad del pensamiento científico guatemalteco y subrayar el impacto positivo que las políticas de ciencia, tecnología e innovación tienen en la calidad de vida de las personas. Cada proyecto documentado se alinea con la Política Nacional de Desarrollo Científico y Tecnológico y con la visión de desarrollo sostenible plasmada en el Plan Nacional de Desarrollo K'atun 2032.

Esta edición agrupa las 25 investigaciones en seis áreas importantes para el desarrollo nacional: salud y ciencias médicas; educación y sociedad; agricultura, ganadería y biodiversidad; innovación y emprendimiento; cambio climático, medio ambiente y agua; e ingeniería, tecnología y energía.

Publicar y compartir estos resultados es un acto fundamental de democratizar la ciencia. Reconocemos que el conocimiento debe salir de los laboratorios para dialogar de manera abierta y constante con la ciudadanía, las instituciones y los territorios.



---

**Voces de la ciencia en Guatemala:**  
Resultados de investigaciones financiadas  
por el Fondo Nacional de Ciencia y  
Tecnología (2020-2024)

Fotografía: Chrystian Javier Contreras Barrios





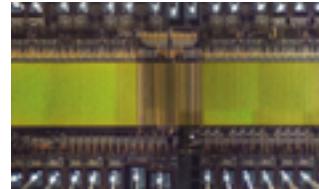
# Agricultura, ganadería y biodiversidad

## Financiamiento a proyectos y actividades de ciencia, tecnología e innovación

Los recursos del Fonacyt son concursables y no reembolsables. Nuestros programas y líneas de financiamiento se alinean con los cuatro ejes estratégicos de la Política Nacional de Desarrollo Científico y Tecnológico (2015-2032).



**Formación de capital humano de alto nivel**



**Innovación y transferencia de tecnología**



**Popularización científico-tecnológica**



**Investigación basada en demandas sociales y productivas**



**Programa asistencia técnica, implementación de planes de manejo integrado  
y capacitación para su ejecución en 14 cultivos de ornamentales de  
exportación en 20 unidades productivas**

**FINDECYT/TransfiereCTi No. 01-2021**

Gustavo Adolfo Álvarez Valenzuela  
Investigador principal

Karla Maribel López de Méndez  
Investigadora asociada

Paola Alejandra Muñoz Castañeda  
Investigadora asociada

## Introducción

El sector de plantas ornamentales de exportación representa un componente relevante en la economía agrícola guatemalteca, generando empleo y divisas. No obstante, enfrenta desafíos relacionados con el manejo fitosanitario, el uso responsable de insumos y la adopción de prácticas sostenibles. El proyecto TRANSFIERECTi No. 01-2021 tuvo como objetivo fortalecer las capacidades técnicas de productores mediante asistencia directa, transferencia de conocimientos y aplicación de planes de manejo integrado en unidades productivas de exportación.

## Objetivos

Implementar planes de manejo integrado de plagas y enfermedades en catorce cultivos ornamentales de exportación, capacitando al personal técnico y a los productores para la adopción de buenas prácticas

agrícolas, reducción del impacto ambiental y mejora de la calidad sanitaria de las plantas exportadas.

## Metodología

- Se realizaron visitas técnicas a veinte unidades productivas distribuidas en diferentes departamentos del país, priorizando zonas con alto potencial exportador.
- El equipo interdisciplinario evaluó las condiciones fitosanitarias, elaboró diagnósticos específicos y diseñó planes de manejo integrado adaptados a cada cultivo.
- Se impartieron talleres teórico-prácticos sobre identificación de plagas, uso racional de agroquímicos, control biológico y manejo del suelo. La ejecución se realizó con participación activa de los productores, bajo un enfoque de aprendizaje participativo.

## Resultados

El proyecto permitió fortalecer las capacidades técnicas de más de 200 productores y trabajadores agrícolas. Se implementaron con éxito planes de manejo integrado que redujeron la incidencia de plagas clave en ornamentales como *anthurium*, *dracaena*, *schefflera* y *ficus*.

Además, se promovió el uso de controladores biológicos y prácticas sostenibles, mejorando la eficiencia productiva y la inocuidad de las exportaciones.

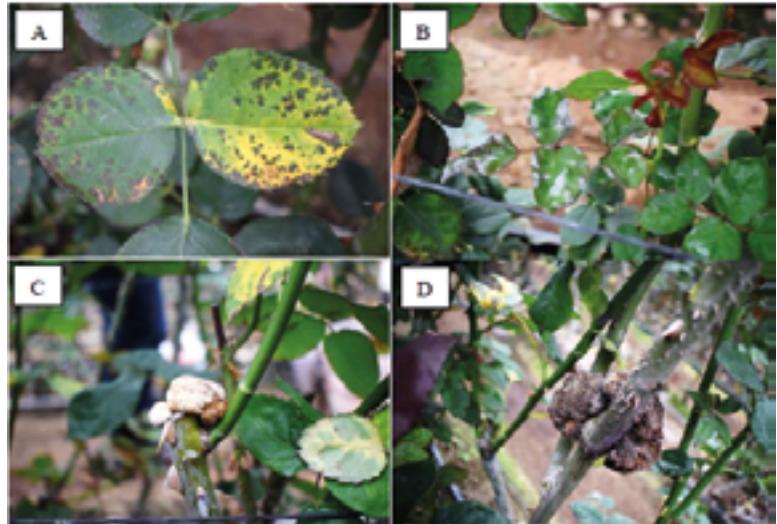
Los resultados evidenciaron la importancia de la vinculación entre la academia, la industria y los programas de innovación tecnológica para garantizar la competitividad del sector ornamental guatemalteco.

**Figura 1: Mapa de distribución de las 20 empresas participantes en el proyecto TRANSIERE/CTI No. 01-2021**



Localización geográfica de las unidades productivas que fueron objeto de estudio para la implementación de planes de manejo integrado en catorce especies de plantas ornamentales. Las empresas se encuentran distribuidas en los departamentos de Guatemala, Sacatepéquez, Escuintla, Santa Rosa, Zacapa y Alta Verapaz, cubriendo diferentes zonas agroecológicas. El mapa refleja la amplitud territorial y diversidad de condiciones climáticas abordadas durante el periodo de marzo de 2021 a marzo de 2022, lo que permitió validar las estrategias de manejo en distintos contextos productivos del sector ornamental de exportación.

**Figura 2:** Síntomas de las enfermedades encontradas en la unidad productiva de *Rosa sp.* A. Manchas necróticas debido a la presencia de *Phragmidium sp.* B. Capa polvorienta color blanco harinoso en las hojas por la presencia de *Oidium sp.* C y D. Tumores provocados por *Agrobacterium sp.*



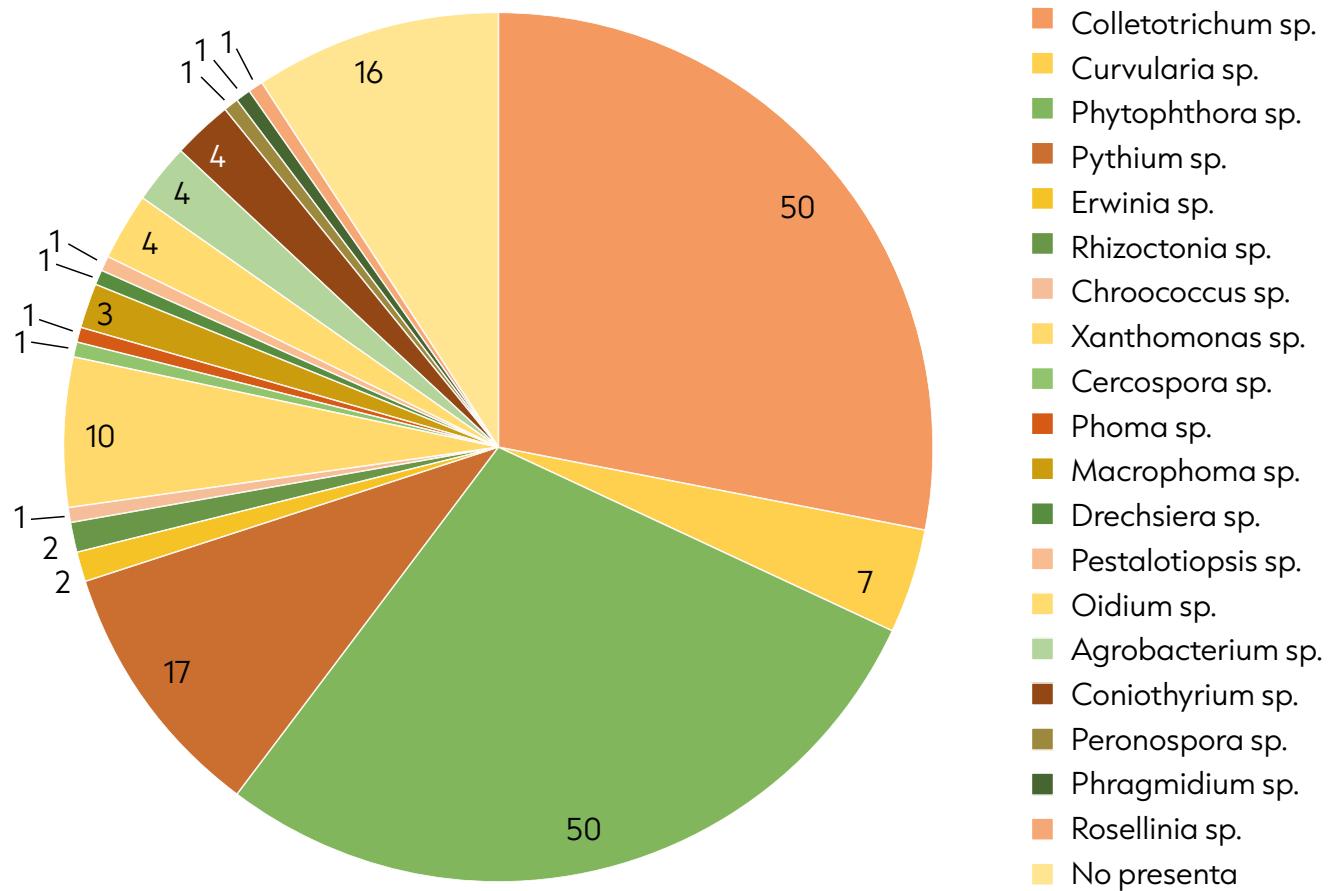
## Conclusiones

El proyecto demostró que la implementación de programas de asistencia técnica y manejo integrado de plagas en ornamentales de exportación genera beneficios económicos, sociales y ambientales. El fortalecimiento de capacidades locales, la adopción de buenas prácticas agrícolas y el acompañamiento técnico permanente consolidan la sostenibilidad y competitividad del sector a largo plazo.

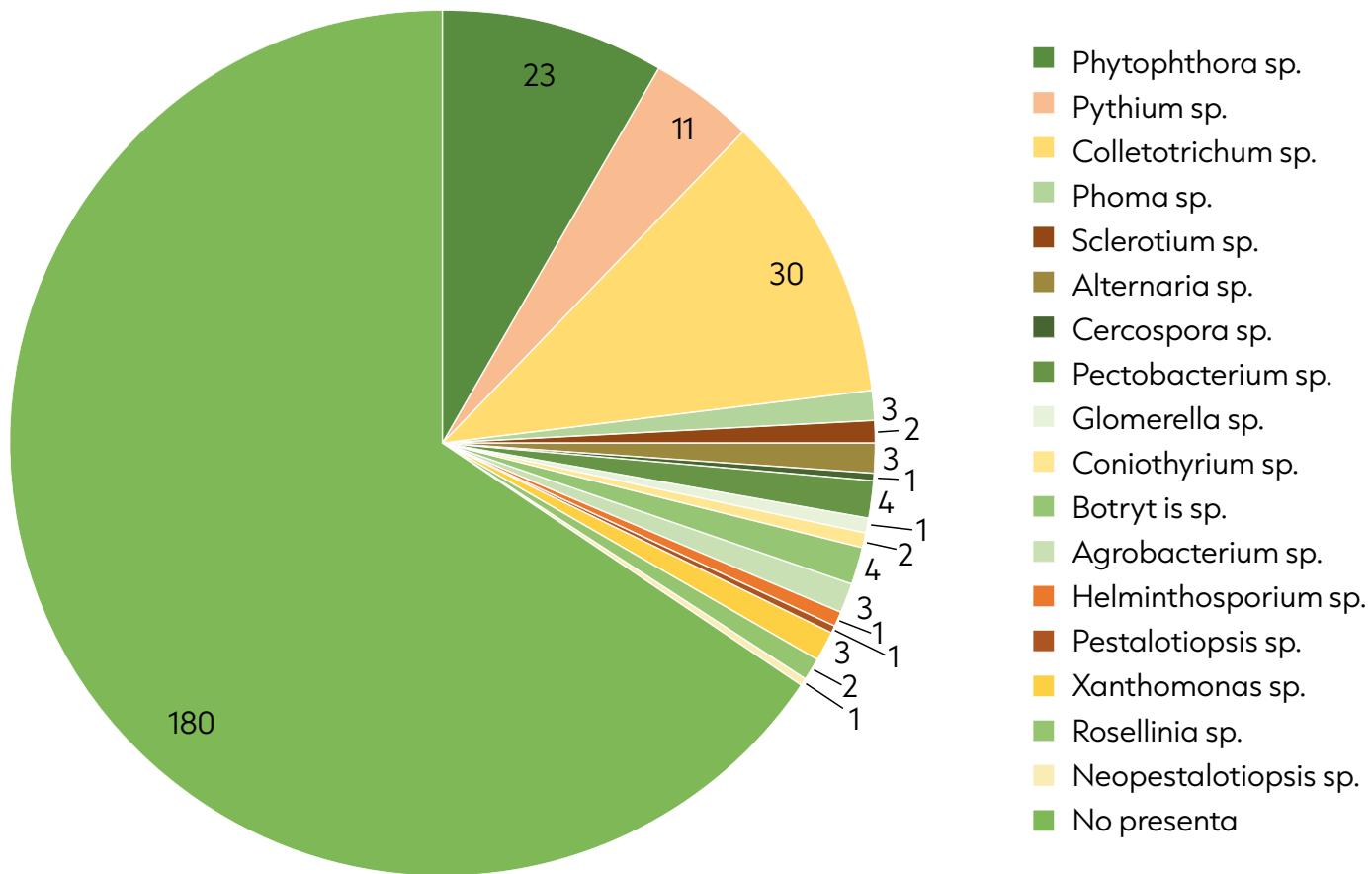


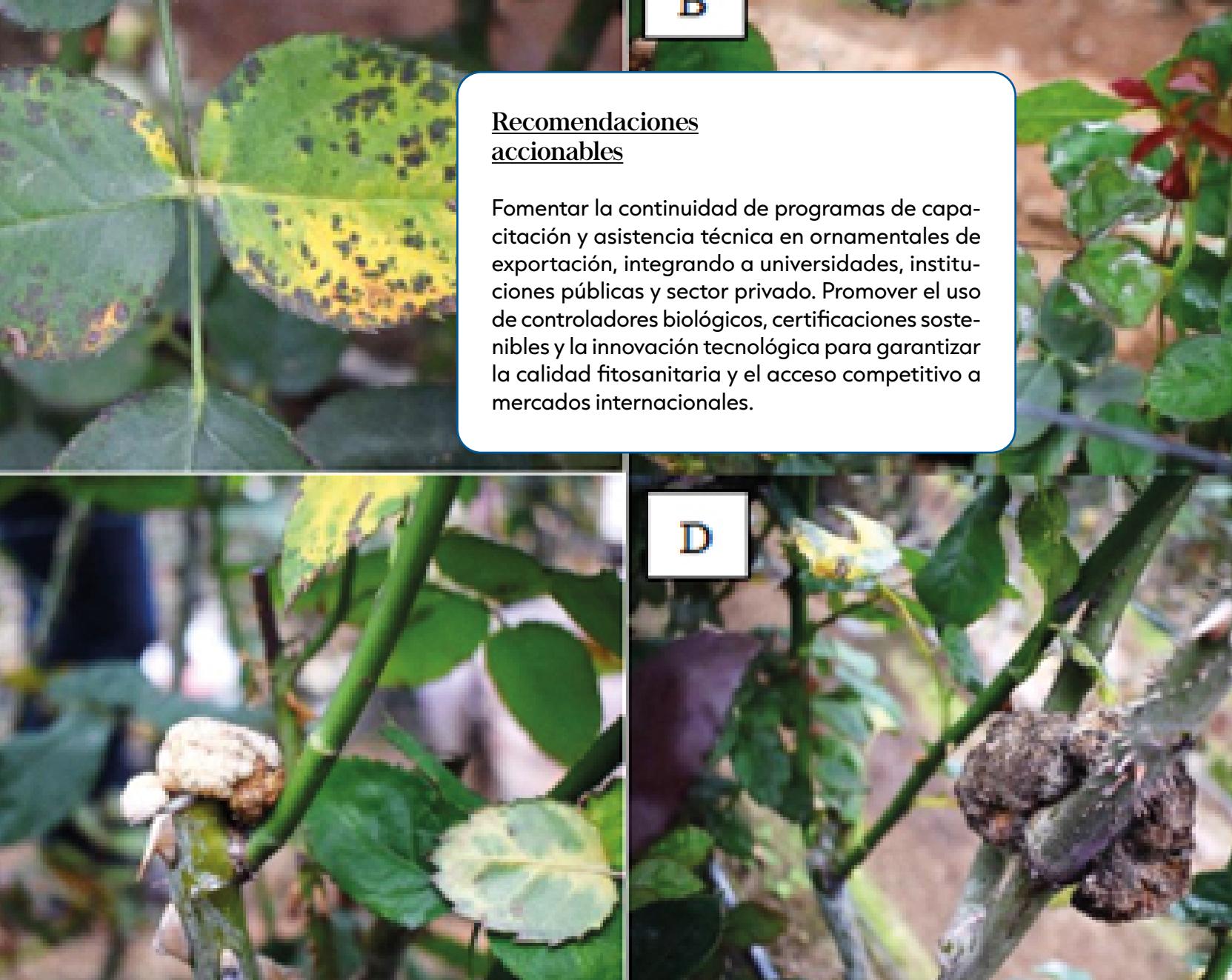
**Figura 3:** Sintomatología foliar se observan daños causados por el complejo fitopatológico conformado por *Colletotrichum sp.* y *Pectobacterium carotovorum*. El hongo *Colletotrichum sp.* provoca lesiones circulares con anillos necróticos en las hojas, mientras que la bacteria *P. carotovorum* ocasiona podredumbre blanda en tejidos basales y foliares. Los síntomas se manifiestan como áreas hundidas, marchitez y necrosis progresiva del follaje.

**Gráfica 1:** Frecuencia de detección de agentes fitopatógenos en 177 muestras colectadas, determinados durante el muestreo en las 20 unidades productivas en los 14 cultivos de ornamentales de exportación en la fase de verano.



**Gráfica 2: Frecuencia de detección de agentes fitopatógenos en 275 muestras colectadas, determinados durante el muestreo en las 20 unidades productivas en los 14 cultivos de ornamentales de exportación en la fase de invierno.**





### Recomendaciones accionables

Fomentar la continuidad de programas de capacitación y asistencia técnica en ornamentales de exportación, integrando a universidades, instituciones públicas y sector privado. Promover el uso de controladores biológicos, certificaciones sostenibles y la innovación tecnológica para garantizar la calidad fitosanitaria y el acceso competitivo a mercados internacionales.

# Equipo de investigación

Gustavo Adolfo Álvarez Valenzuela  
Investigador principal

Karla Maribel López de Méndez  
Investigadora asociada

Paola Alejandra Muñoz Castañeda  
Investigadora asociada

El equipo de investigación se compone de profesionales con amplia trayectoria en el ámbito agronómico y una visión unificada hacia la sostenibilidad y competitividad del sector ornamental de exportación en Guatemala. El Ing. Agr. Gustavo Adolfo Álvarez Valenzuela, investigador principal y docente titular de la Facultad de Agronomía de la Usac, aporta más de tres décadas de experiencia en fitopatología, nematología y microbiología agrícola, habiendo liderado proyectos nacionales financiados por la DIGI y el Fonacyt, enfocados en control biológico y transferencia tecnológica. A él se suma la Ing. Agr. Karla Maribel López de Méndez, investigadora asociada con una destacada labor técnica y docente en la subárea de Protección de Plantas, especializada en asesoría directa a productores. Finalmente, la Ing. Agr. Paola Alejandra Muñoz Castañeda representa la nueva generación, aportando innovación en la ejecución de planes de manejo y el seguimiento técnico en campo. En conjunto, esta combinación de experiencia probada y visión renovada fortalece la articulación efectiva entre la investigación científica y el sector productivo nacional.

Correo electrónico:  
[gusialvarez@yahoo.com](mailto:gusialvarez@yahoo.com)

## Institución aval

La Facultad de Agronomía de la Universidad de San Carlos de Guatemala (FAUSAC) promueve la investigación aplicada y la asistencia técnica a los sectores productivos del país; por medio del Centro de Diagnóstico Parasitológico (CDP) impulsa programas de capacitación, control biológico y manejo integrado de plagas en cultivos agrícolas y ornamentales. / Asociación Guateleoteca de Exportadores, AGEXPORT.



## Combinación de especie 1 con especie 2 para el tratamiento de plaga café

**FINDECYT / GeneraCyT No. 01-2021**

Ing. Agr. Gustavo Adolfo Álvarez  
Investigador principal

Ing. Agr. Karla Lizbeth Chinchilla  
Investigadora asociada

P. Agr. José Miguel Escobar  
Investigador asociado



Fotografía: Mariana Rimola

## Introducción

La roya del café (*Hemileia vastatrix*) es una de las principales amenazas para la caficultura guatemalteca, afectando la productividad y sostenibilidad económica de miles de familias. Los altos costos de los fungicidas químicos y su impacto ambiental han impulsado la búsqueda de alternativas ecológicas. Este estudio evaluó el uso combinado de dos hongos nativos, *Lecanicillium lecanii* y *Digitopodium hemileiae*, como agentes de control biológico para el manejo sostenible de la roya del café.

## Objetivos

Evaluar la efectividad de la aplicación simple y combinada de *Lecanicillium lecanii* y *Digitopodium hemileiae* como biocontroladores de *Hemileia vastatrix*, bajo diferentes condiciones climáticas, determinando la sinergia o antagonismo, persistencia y eficiencia en campo durante dos épocas del año.

## Metodología

La investigación se realizó en fincas cafetaleras de las regiones de Villa Canales y Sacatepéquez entre 2021 y 2023. Las cepas de los biocontroladores fueron cultivadas en medios sólidos (maíz amarillo quebrado y arroz blanco) y aplicadas en suspensiones conidiales homogéneas en proporción 1:1. Se evaluaron variables de incidencia, severidad y desarrollo de pústulas, comparando los tratamientos individuales y combinados en época seca y lluviosa.

## Resultados

*Lecanicillium lecanii* mostró mayor efectividad durante la época lluviosa, reduciendo hasta un 60% la severidad de la roya, mientras que *Digitopodium hemileiae* destacó en condiciones secas, limitando la esporulación de la roya. La combinación de ambos en partes iguales presentó un efecto sinérgico, reduciendo la

incidencia de la enfermedad de forma sostenida. Los resultados demostraron que la aplicación alternada de los dos hongos ofrece una alternativa ecológica viable y económica para el control de la roya del café, adaptable a diferentes microclimas.

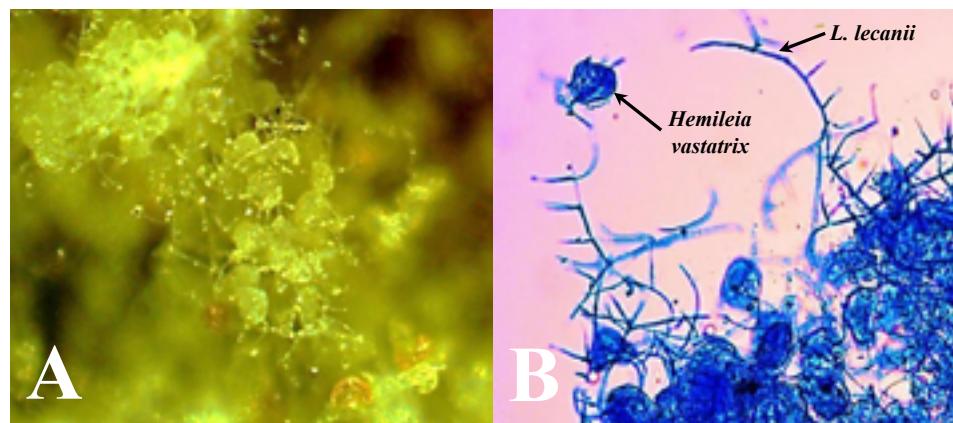
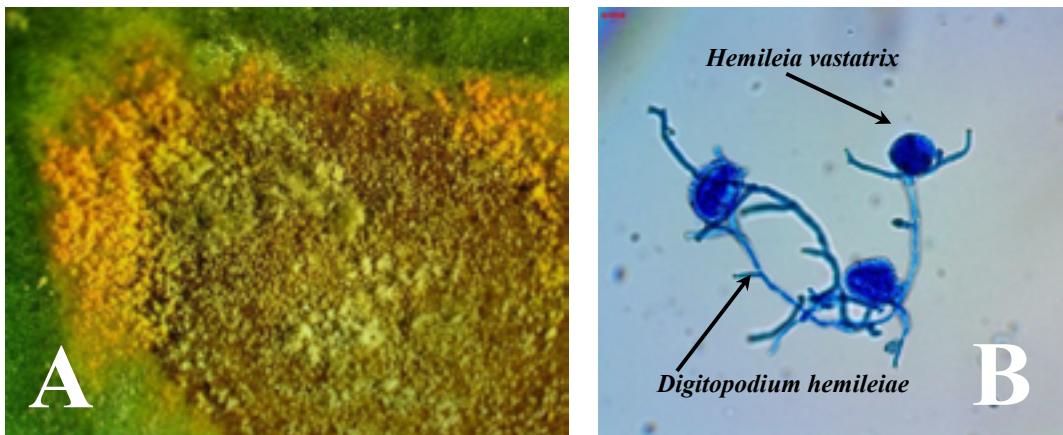
## Conclusiones

El uso alterno de *Lecanicillium lecanii* y *Digitopodium hemileiae* representa una estrategia innovadora y sostenible para el manejo de *Hemileia vastatrix*. Su aplicación práctica en campo favorece la reducción del uso de agroquímicos, la protección ambiental y el fortalecimiento de la caficultura nacional. El enfoque participativo del proyecto demuestra la capacidad de la ciencia guatemalteca para generar soluciones locales con impacto nacional.

**Figura 1:** Síntomas de la roya del café (*Hemileia vastatrix*) en hojas de *Coffea arabica* L. Se observan lesiones cloróticas iniciales en el haz (manchas amarillentas irregulares) y pústulas pulverulentas de color anaranjado en el envés, características de la fase uredosporáctica del hongo. Las imágenes ilustran diferentes grados de severidad de la enfermedad en plantas ubicadas en fincas cafetaleras de Villa Canales y Sacatepéquez, Guatemala. Se observa la presencia de *Lecanicillium lecanii* y *Digitopodium hemileiae* parasitando *Hemileia vastatrix* en hojas de café, evidenciando la acción de hiperparasitismo de estos hongos nativos como agentes de control biológico dentro del sistema cafetalero.



**Figura 2:** A. Interacción entre *Hemileia vastatrix* y su hiperparásito *Digitopodium hemileiae*. B. Observación microscópica del hiperparásito *Digitopodium hemileiae* colonizando uredosporas de *Hemileia vastatrix*, evidenciando el mecanismo natural de control biológico. Las imágenes ilustran la relación antagonista que constituye la base del uso combinado de hongos nativos como alternativa ecológica para el manejo de la enfermedad.



**Figura 3:** A. Relación antagonista entre *Lecanicillium lecanii* y *Hemileia vastatrix*. Colonias del hongo *Lecanicillium lecanii* desarrolladas sobre uredosporas de *Hemileia vastatrix* en tejido foliar de café. B. Observación microscópica que muestra la germinación de conidios de *L. lecanii* atravesando y parasitando esporas del patógeno. Esta interacción confirma el potencial de este hongo como biocontrolador efectivo de la roya del café, destacando su acción complementaria a *Digitopodium hemileiae* en la reducción de la incidencia y severidad de la enfermedad.



### Recomendaciones accionables

Impulsar la producción local y artesanal de biocontroladores nativos mediante la capacitación de técnicos y caficultores en su uso adecuado. Paralelamente, integrar estas alternativas biológicas en los programas de extensión agrícola y las políticas públicas, con el objetivo de fomentar la innovación tecnológica sostenible en el manejo integral de enfermedades del café.

## Equipo de investigación

Ing. Agr. Gustavo Adolfo Álvarez  
Investigador principal

Ing. Agr. Karla Lizbeth Chinchilla  
Investigadora asociada

P. Agr. José Miguel Escobar  
Investigador asociado

El equipo de investigación está formado por profesionales comprometidos con el desarrollo científico y la sostenibilidad agrícola guatemalteca. El Ing. Agr. Gustavo Adolfo Álvarez Valenzuela (investigador principal y docente de la Usac) aporta más de tres décadas de experiencia en fitopatología, nematología y microbiología agrícola, destacando por liderar proyectos de control biológico y bioprospección de hongos nativos financiados por la Dirección General de Investigación y el Fondo Nacional de Ciencia y Tecnología. Lo complementan la Ing. Agr. Karla L. Chinchilla P. (investigadora asociada), quien refuerza la visión del grupo con su liderazgo y experticia en microbiología agrícola y biocontrol, y el Ing. Agr. José M. Escobar S. (investigador asociado), cuya sólida experiencia en control biológico, manejo de plagas, diseño experimental y diagnóstico de laboratorio garantiza la conexión entre la ciencia y la producción sostenible.

Correo electrónico:  
[gusialvarez@yahoo.com](mailto:gusialvarez@yahoo.com)

## Institución aval

La Facultad de Agronomía de la Universidad de San Carlos de Guatemala (FAUSAC) impulsa la investigación científica aplicada, especialmente a través del Centro de Diagnóstico Parasitológico (CDP). Su misión es generar soluciones sostenibles en fitopatología, control biológico y manejo integrado de plagas para el fortalecimiento del sector agrícola nacional./ Asociación de Reservas Naturales Privadas de Guatemala, ARNPG.



## Caracterización genética, rescate y conservación de la raza bovina, Barroso-Salmeco guatemalteca

**Findecyt / GeneraCyT No. 04-2022**

Raúl Jáuregui Jiménez  
Coordinador e investigador principal

Merlin Wilfrido Osorio López  
Investigador asociado

Oscar Edmundo Solís Guerra  
Investigador asociado

## Introducción

Las razas bovinas criollas poseen características genéticas de alto valor, entre ellas una notable resistencia a plagas y enfermedades tropicales, y una tolerancia al calor facilitada por genes específicos como *slick* y *Hsp70*. Adicionalmente, estos bovinos destacan por la producción de leche A2, una cualidad atribuida a variantes genéticas singulares presentes en las poblaciones criollas.

En 2013, se puso en marcha la iniciativa de rescate de la raza Barroso-Salmeco, un proyecto liderado por el CUNORI/USAC con el cofinanciamiento del Fonacyt. Esta acción estratégica está orientada a agregar valor a la raza y mantenerla vigente bajo un enfoque clave de conservación mediante el uso, manejo y aprovechamiento de razas locales.

Actualmente, la población de Barroso es reducida, estimada

en -aproximadamente 150 a 200 ejemplares-, y enfrenta un riesgo real de extinción debido a la erosión genética provocada por la introducción de genes foráneos. Por ello, la investigación busca caracterizar la raza exhaustivamente —morfológica, faneróptica y genéticamente—, establecer su patrón racial, fundar el libro genealógico y, fundamentalmente, resguardar este recurso genético de valor estratégico para el futuro de la ganadería nacional.

## Objetivo

Caracterizar genotípicamente y fenotípicamente la población bovina Barroso-Salmeco disponible, para determinar un patrón genético de comparación permanente con respecto a otras influencias raciales.

## Metodología

La investigación se desarrolló en los departamentos de Jutiapa, Santa Rosa, Escuintla y Chiquimula, donde se localizaron bovinos de la raza Barroso. El estudio se centró en la caracterización genotípica, morfométrica (zoometría e índices corporales) y fenotípica de la población, con el propósito de determinar un patrón genético y establecer el libro genealógico de la raza.

Para la caracterización genética, se utilizó una batería de microsatélites recomendada por la FAO e ISAG, la cual se aplicó a muestras de pelo. El universo para el muestreo genético fue de 156 animales con características fenotípicas representativas de la raza. De este universo, el Laboratorio de Genética Molecular Aplicada seleccionó 52 bovinos adultos. Finalmente, 46 de estos bovinos (35 hembras y 7 machos)

## Resultados

se utilizaron para la caracterización morfoestructural.

Las variables de estudio incluyeron medidas corporales, índices corporales y rasgos fanerópticos, además de parámetros de diversidad genética intra e interracial y la estructura genética general. Se empleó un software de registro genealógico para documentar la identificación única, el control de consanguinidad, los rendimientos, pesos, nacimientos y fotografías de los animales.

Finalmente, cada ejemplar fue evaluado mediante una boleta de valoración morfológica que calificó nueve regiones del cuerpo; solo los animales que alcanzaron los valores mínimos establecidos fueron inscritos en el libro genealógico.

El análisis genético realizado mediante marcadores microsatélites recomendados por FAO e ISAG, confirmó que los animales evaluados corresponden a la raza bovina Barroso-Salmeco de origen guatemalteco, evidenciando una población homogénea, diferenciada y única, ubicada dentro del grupo de razas criollas americanas. La caracterización morfoestructural de hembras ( $n=35$ ) y machos ( $n=7$ ) mostró animales pesados, con caja torácica amplia y pelvis apta para reproducción; las hembras presentaron amplitud del canal pélvico y aptitud lechera, mientras que los machos exhibieron robustez y aptitud de doble propósito.

Fenotípicamente se identificaron rasgos característicos que incluyen cuernos color ámbar, capa Barroso (gris-verde), piel arrugada en cara y cuello y cola fina o "cola de ratón". Como resultado, se inició la

fundación del Libro Genealógico de la raza con el registro de 86 bovinos pertenecientes a 16 ganaderías, estableciendo los criterios morfológicos y de valoración necesarios para la inscripción de animales representativos de la raza en Guatemala.

## Conclusiones

El estudio permitió establecer que el bovino Barroso de Guatemala constituye un recurso genético único del país, con una identidad propia dentro del conjunto de razas criollas americanas. Esto evidencia su importancia estratégica tanto para la ganadería nacional como para la conservación de la biodiversidad doméstica.

La definición precisa de su patrón genético, morfoestructural y fenotípico hizo posible generar un criterio técnico sólido para el reconocimien-

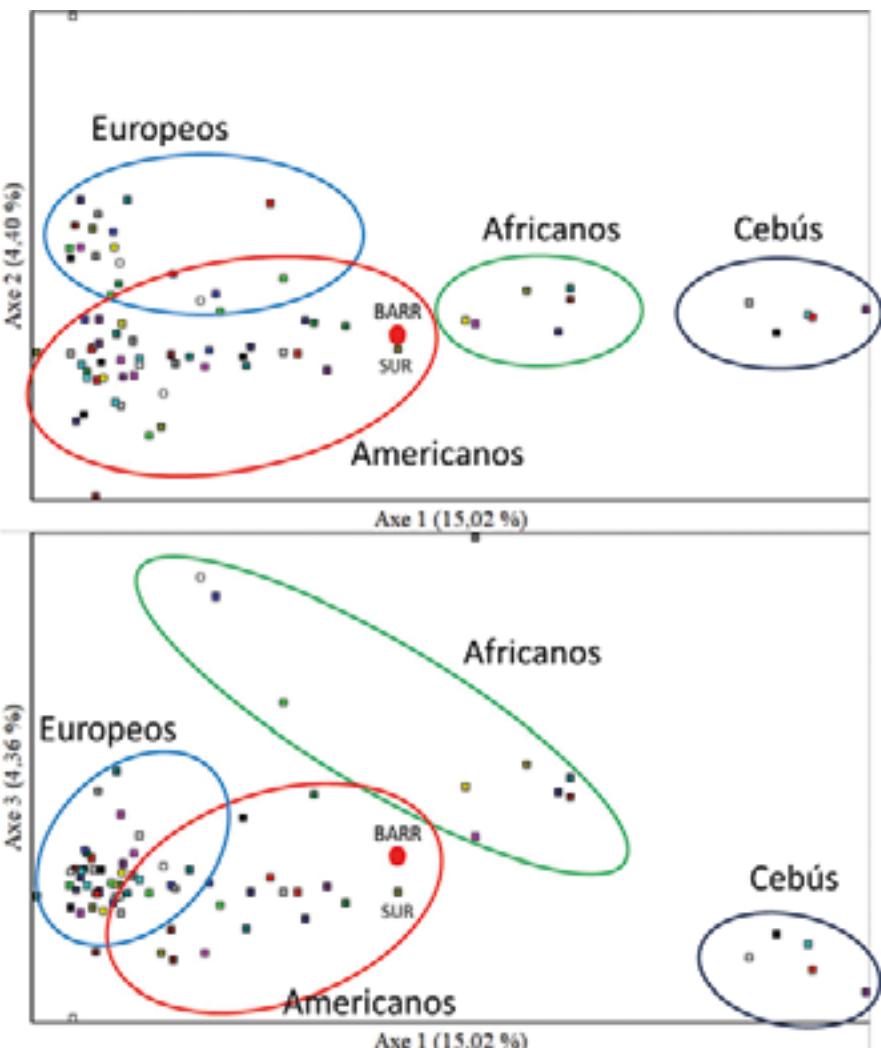
to de ejemplares representativos de la raza y su diferenciación de otras poblaciones. Sobre esta base científica, se procedió a la fundación del Libro Genealógico de la raza Barroso en Guatemala. Este texto representa el primer mecanismo oficial establecido para su protección, seguimiento y conservación, asegurando que únicamente los animales que cumplen con los estándares definidos puedan ser registrados.

El estudio sienta las bases para la preservación de esta raza criolla frente al riesgo de erosión genética y una potencial extinción. De esta manera, se aporta evidencia para su valorización, uso y su continuidad en futuros programas nacionales de conservación y mejoramiento genético.



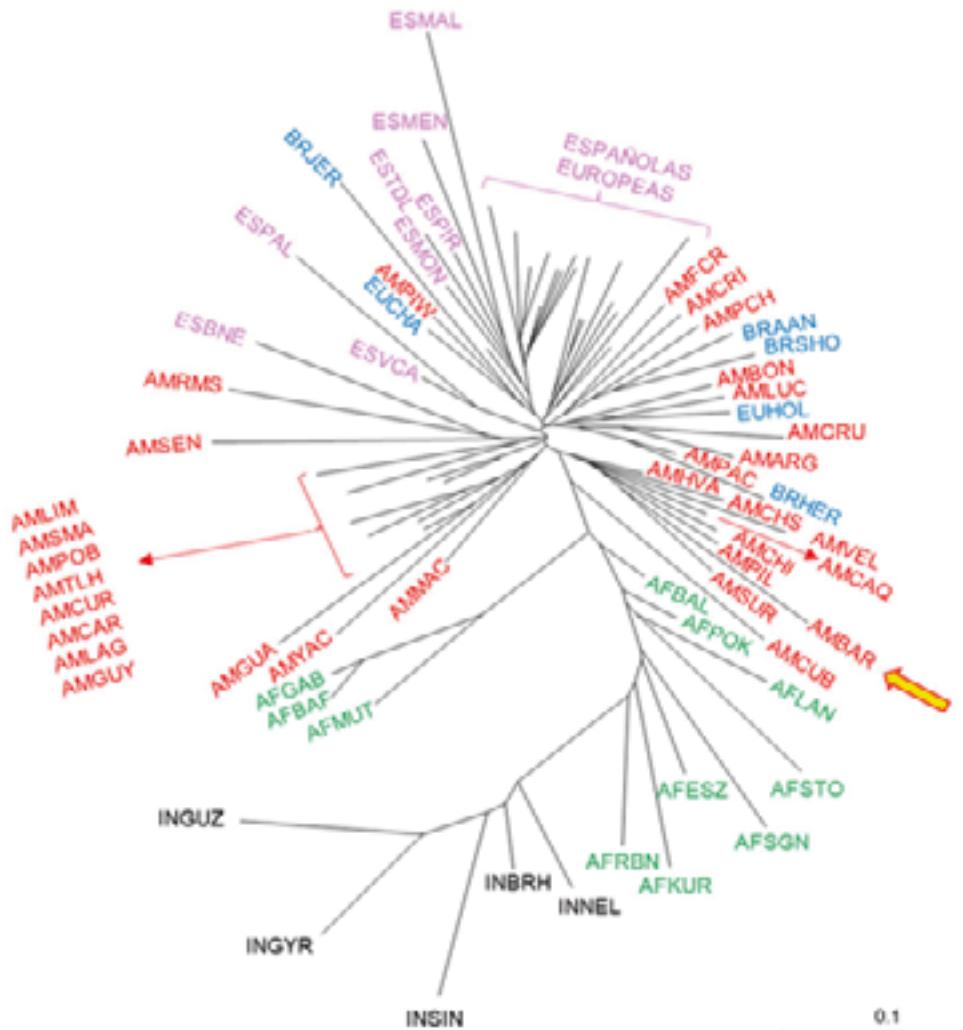
Don Salvador Melgar Colón y su hijo Víctor Manuel Melgar Dávila en una exposición ganadera de la ciudad de Chiquimulilla, Santa Rosa en los años 70.

Ilustración No. 1: Análisis factorial de correspondencia de 79 razas bovinas.



El análisis factorial de correspondencia muestra que el Eje 1 diferencia a algunas razas africanas y a los cebuinos (muestreados en Brasil y México). No obstante, este eje no separa a las razas europeas de las españolas o de las criollas americanas. En el Eje 2, es posible diferenciar ciertas razas europeas del conjunto; mientras que el Eje 3 solo permite distinguir a algunas razas africanas de las demás.

**Ilustración No. 2: Dendrograma Neighbor-Joining de las distancias DA entre 79 razas de bovinos.**



El árbol de distancias genéticas (DA) entre pares de razas. El Barroso es un bovino criollo que está en el mismo clúster que otros bovinos de la zona tropical como el bovino de Surinam y otros bovinos de Colombia o el criollo de Chiapas mexicano. Las razas genéticamente más próximas al bovino Barroso fueron el criollo de Surinam, con un valor de distancia genética de 0,190, y otros criollos.

Las razas más distantes del bovino Barroso son los cebús mestreados en Brasil y México (Guzerat, Gyr, Sindi, Brahman y Nelore).

## Recomendaciones accionables

Se recomienda utilizar estos resultados como base científica para el reconocimiento oficial, la conservación y el mejoramiento genético de la raza Barroso en Guatemala, asegurando su protección con respaldo estatal. Se sugiere establecer un programa nacional de recuperación racial que incluya: la creación de la Asociación de Criadores, la definición formal de un estándar racial y la conformación de un Comité Técnico especializado. Finalmente, consolidar el Libro Genealógico, promoviendo su inscripción formal en el Registro Genealógico Bovino del Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación (MAGA).



VALORACIÓN MORFOLÓGICA		
Criterio para evaluar (0-10)	Indicador	Indicador
Aspecto general y fielidad racial	10	1
Piel, pelo y mucosas	10	1.1
Cabeza y cuello	10	1.1
Crista, dorso y lomo	10	1
Pecho, espalda y tiras	10	1.2
Grupa, muslos y nalgas	10	1.3
Extremidades y apéndices	10	1.3
Órganos sexuales	10	1.5
Cola	10	0.5
Total, valoración	99	10

Datos identificativos del animal

Exploración	LA GUARDIANA
Identificación	CM-108
Sexo (M/H)	HOMBRE
Padre	
Madre	
Fecha de Nacimiento	01/01/2018



VALORACIÓN MORFOLÓGICA		
Criterio para evaluar (0-10)	Indicador	Indicador
Aspecto general y fielidad racial	10	1
Piel, pelo y mucosas	10	1.1
Cabeza y cuello	10	1.1
Crista, dorso y lomo	10	1
Pecho, espalda y tiras	10	1.2
Grupa, muslos y nalgas	10	1.3
Extremidades y apéndices	10	1.3
Órganos sexuales	10	1.5
Cola	10	0.5
Total, valoración	100	10

Datos identificativos del animal

Exploración	LA GUARDIANA
Identificación	CM-1028
Sexo (M/H)	HOMBRE
Padre	
Madre	
Fecha de Nacimiento	01/01/2018

# Equipo de investigación

Raúl Jáuregui Jiménez  
Coordinador e investigador principal

Merlin Wilfrido Osorio López  
Investigador asociado

Oscar Edmundo Solís Guerra  
Investigadora asociada

---

Raúl Jáuregui Jiménez es médico veterinario con maestría en ciencias en sanidad animal, profesor titular de las carreras de medicina veterinaria y zootecnia del Centro Universitario de Oriente de la Universidad de San Carlos de Guatemala, investigador de líneas temáticas sobre la conservación y utilización de los recursos zoogenéticos locales y sanidad animal.

Correo electrónico:  
[rjauregui@cunori.edu.gt](mailto:rjauregui@cunori.edu.gt)

## Institución aval

**Centro Universitario de Oriente de la Universidad de San Carlos de Guatemala.**



## Evaluación de la morfoestructura y productiva de las gallinas criollas de cuello desnudo de acuerdo con el cromotipo

**Findecyt / GeneraCyT No. 02-2021**

Raúl Jáuregui Jiménez  
Coordinador e investigador principal

Carlos Roberto Lorenzo Machorro  
Investigador asociado

Blanca Suzeth Pérez Cardona  
Investigadora asociada

## Introducción

En las zonas rurales, las gallinas de traspasio que predominan son las denominadas "criollas". La gallina Peluca es una raza criolla aún no reconocida, propia de las zonas rurales de Guatemala, sobre todo en la región Chortí, en el oriente del país. Los estudios preliminares han tenido la finalidad de poder mostrar que la gallina Peluca es un ave adaptada a la región e importante para la seguridad alimentaria.

Las gallinas de cuello desnudo del Centro Universitario de Oriente de la Universidad de San Carlos de Guatemala (CUNORI) son un material genético ex situ in vivo local que se ha utilizado para repoblar la región Chortí del departamento de Chiquimula y otras regiones del país donde este tipo de gallina criolla se adapta perfectamente a su ambiente por lo cual fue importante establecer sus parámetros productivos.

## Objetivo

Evaluar la morfoestructura y productiva de gallinas criollas de cuello desnudo de acuerdo con el cromotipo (marrón, pinta, habada, gris, negra) de la 9 a la 38 semana de edad bajo las mismas condiciones de manejo.

## Metodología

El estudio se realizó en la granja experimental del CUNORI, se trabajó en base a los cromotipos (marrón, pinta, habada, gris, negra), prevaleció la genética NaNa y Nana.

En las instalaciones hubo equipo básico bebederos automáticos, comederos tipo tolva y dos nidales plásticos, así mismo, se ejecutó un plan profiláctico.

Se utilizó un diseño de bloques completamente al azar, con 5 tratamientos y 3 bloques, en donde cada cromotipo fue un tratamiento, la unidad experimental fueron 10

gallinas para un total de 150 aves.

Se midió y evaluó la zometría, índices corporales, faneropicias y parámetros productivos (pesos y porcentaje de postura) sometidos a un Análisis de Varianza y una prueba de comparación de medias LSD, con el paquete estadístico INFOSTAT.

## Resultados

Dentro de los resultados relevantes, su morfoestructura los cromotipos fueron similares en sus fases productivas (Tabla No 1).

El cromotipo gris presentó los mejores pesos corporales (Tabla No 2); el cromotipo no incide en el consumo de alimento y postura (Tabla No3), sin embargo, en la fase de postura media todos los cromotipos expresaron su mejor rendimiento productivo (Tabla

No 4). La clueques es evidente de manera cíclica. El cromotipo pinto fue el más armónico corporalmente. El índice morfológico del huevo fue óptimo (Tabla No 5) y el color de cascara predominante fue el marrón claro (Ilustración No 1).

## Conclusiones

En términos generales, fue en la fase de postura media, es decir entre las 33 a las 45 semanas de edad, en donde los distintos cromotipos obtuvieron sus mejores promedios en cuanto a sus medidas zoométricas e índices corporales y expresaron su mejor funcionalidad o rendimiento productivo.

**Tabla No. 1:** Resultados de las medidas corporales de los distintos cromotipos de acuerdo con la fase productiva de la gallina de cuello desnudo.

Fase	Cromotipo	Diámetros			Perímetro	Alzada	Peso (kg)
		DDE	DB	DL			
Crecimiento (9 a las 15 semanas de edad)	Negro	9.04	4.21	11.21	24.70	21.50	0.72
	Habado	8.71	4.19	10.98	23.91	21.12	0.69
	Gris	9.16	4.41	11.55	25.05	22.34	0.67
	Pinto	8.85	4.27	10.88	24.43	21.14	0.66
	Marrón	9.02	4.32	11.32	24.74	22.17	0.71
Desarrollo (16 a las 20 semanas de edad)	Negro	11.04	4.92	14.33	29.98	27.25	1.27
	Habado	10.92	4.88	14.41	29.73	27.81	1.26
	Gris	11.23	4.91	14.54	31.05	28.13	1.26
	Pinto	11.04	4.92	14.19	29.67	27.38	1.26
	Marrón	11.05	5.01	14.17	30.06	27.89	1.31
Prepostura (21 a las 25 semanas de edad)	Negro	11.39	5.82	14.71	31.12	29.38	1.62
	Habado	11.35	5.90	14.86	31.35	29.60	1.63
	Gris	11.54	5.72	14.92*	31.94	30.05*	1.65
	Pinto	11.43	5.99	14.64	31.54	29.58	1.66
	Marrón	11.57	5.95	14.85	31.72	29.51	1.65
Postura máxima (26 a las 32 semanas de edad)	Negro	11.49	6.01	14.85	31.68	29.44	1.80
	Habado	11.53	6.08	14.93	31.76	29.70	1.82
	Gris	11.80	6.07	15.11	32.22	30.00	1.84
	Pinto	11.58	6.12	14.73	31.91	29.79	1.84
	Marrón	11.76	6.16	14.94	32.28	29.66	1.86
Postura media (33 a las 45 semanas de edad)	Negro	11.51	5.99	14.87	31.74	29.55	1.84
	Habado	11.59	6.09	14.90	31.74	29.75	1.91
	Gris	11.88	6.16	15.16	32.39	30.10	1.99
	Pinto	11.62	6.20*	14.83	31.71	29.84	1.90
	Marrón	11.75	6.13	14.94	32.44	29.82	1.97

DDE=Diámetro dorso esternal; DB= Diámetro bicostal; DL= diámetro longitudinal; PT= Perímetro Torácico; AC= Alzada a la cruz; PV= Peso vivo. (\*diferencias significativas). Esto implica que los cromotipos gris y marrón son los de mayor tamaño y peso vivo a lo largo de las distintas fases.

**Tabla No 2:** Resultados de las variables peso vivo acumulado de acuerdo con el cromotipo y fase productiva de la gallina de cuello desnudo.

Variable	Tratamiento Fase	T1 (negro)	T2 (habado)	T3 (gris)	T4 (pinto)	T5 (marrón)
Peso vivo acumulado (g)	Crecimiento	1159.53ab	1121.27c	1234.03a	1139.63b	1207.4ab
	Desarrollo	1492.50	1505.83	1591.67	1499.01	1566.63
	Prepostura	1753.47	1809.27	1828.83	1777.23	1848.70
	Postura máxima	1763.34	1855.17	1920.53	1847.07	1878.60
	Postura media	1977.98	2007.80	2115.90	2031.70	2028.37

Es importante explicar que de acuerdo con el análisis estadístico se observó que el tratamiento correspondiente al cromotipo gris presento el peso acumulado significativo, que es de 1234.03 g; sin embargo, el tratamiento correspondiente al cromotipo marrón estadísticamente es similar al tratamiento gris y presenta un peso acumulado de 1208.40 g (Letras diferentes existe diferencia significativa).

**Tabla No 3:** Resultados de la variable porcentaje de postura de acuerdo con el cromotipo y fase productiva de la gallina de cuello desnudo.

Variable	Tratamiento Fase	T1 (negro)	T2 (habado)	T3 (gris)	T4 (pinto)	T5 (marrón)
Porcentaje de postura	Prepostura	21.75	27.14	22.86	24.92	19.43
	Postura máxima	58.62	65.24	66.67	61.43	67.62
	Postura media	57.67	57.14	59.05	54.29	64.06

Los porcentajes de postura promedio desde la semana 26 hasta la semana 45 de edad con un promedio total para todos los cromotipos de 56.52%.

**Tabla No. 4:** Resultados de las variables conversión alimenticia, conversión del huevo y peso acumulado del huevo de acuerdo con el cromotipo y fase productiva de la gallina de cuello desnudo.

Variable	Tratamiento Fase	T1 (negro)	T2 (habado)	T3 (gris)	T4 (pinto)	T5 (marrón)
Conversión alimenticia	Crecimiento	3.56	3.63	3.51	3.58	3.58
	Desarrollo	2.31	2.29	2.20	2.21	2.29
	Prepostura	2.20	2.22	2.16	2.18	2.24
	Postura máxima	2.01	1.97	2.04	2.24	2.06
	Postura media	1.87	1.83	1.82	1.88	1.94
Conversión del huevo	Prepostura	14.3	6.00	4.67	15.30	7.00
	Postura máxima	2.01	1.97	2.04	2.24	2.06
	Postura media	1.87	1.82	1.83	1.88	1.94
Peso acumulado del huevo (g)	Prepostura	682.54	760.62	929.61	442.34	775.97
	Postura máxima	3023.44	3046.24	3324.15	2739.94	3127.73
	Postura media	8010.27	7642.9	8347.78	7515.16	8085.26

**Tabla No. 5:** Resultados de las medias, mínimos y máximos, desviación estándar (DE) y coeficiente de variación (CV) del índice morfológico (%) del huevo de acuerdo con el cromotipo y la fase productiva de la gallina de cuello desnudo.

Fase	Cromotipo	Media	(DE)	Min	Max	CV
Prepostura	Negro	74.37	2.57	66.90	79.32	3.46
	Habado	74.65	3.54	65.20	85.84	4.75
	Gris	74.08	3.18	61.85	86.44	4.29
	Pinto	74.82	2.79	66.05	82.69	3.73
	Marrón	75.32	3.57	63.83	86.85	4.73
Postura máxima	Negro	75.62	3.02	63.51	93.86	3.99
	Habado	74.40	3.33	62.30	90.48	4.48
	Gris	75.55	3.28	62.45	85.63	4.34
	Pinto	75.79	3.02	64.66	90.16	3.98
	Marrón	75.98	3.11	64.61	85.82	4.09
Postura media	Negro	74.84	3.00	62.81	86.00	4.01
	Habado	73.98	3.27	59.55	85.00	4.42
	Gris	74.58	3.42	61.92	92.48	4.58
	Pinto	74.68	2.91	64.47	86.86	3.90
	Marrón	75.69	2.87	62.12	87.93	3.80
Promedio	Negro	75.08	3.01	62.81	93.86	4.01
	Habado	74.14	3.31	59.55	90.48	4.46
	Gris	74.81	3.40	61.85	92.48	4.54
	Pinto	75.02	2.98	64.47	90.16	3.97
	Marrón	75.76	2.98	62.12	87.93	3.93

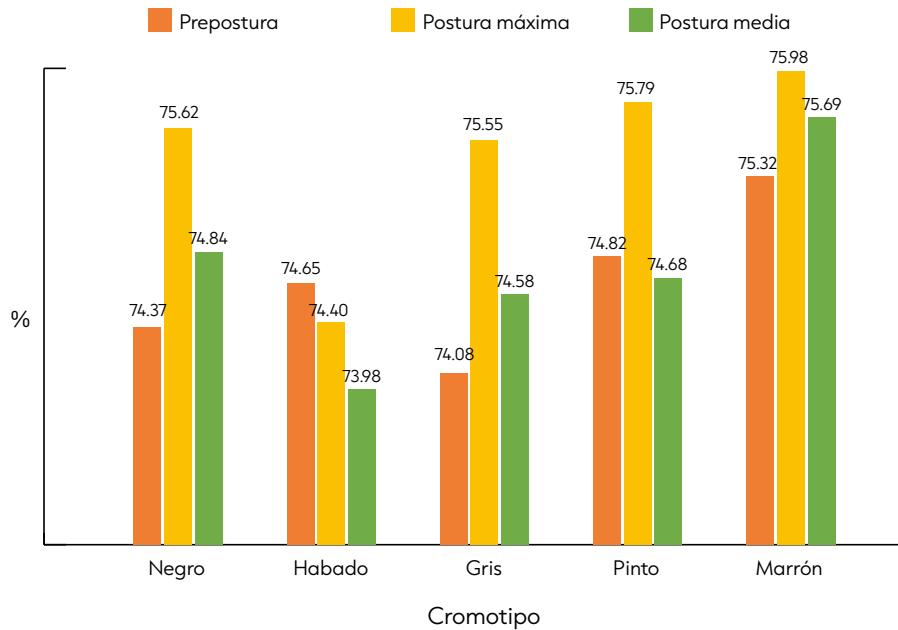
La tendencia fue que en la fase de postura máxima se presentaron los más altos índices en todos los cromotipos a excepción del cromotipo habado que lo obtuvo en la fase de prepostura.

**Ilustración No. 1:** Colores de la cáscara del huevo verde (1), cremoso (2), marrón claro (3) y marrón (4) de la gallina de cuello desnudo.



El 54.72% fueron de color de cáscara marrón claro, el 21.05% de color marrón y el 19.02% de color verde.

#### Índice morfológico del huevo



**Figura No. 1:** Resultados del índice morfológico del huevo de acuerdo con el cromotipo y la fase de postura de las gallinas de cuello desnudo.



**Fotografía No. 1:** Cromotipo negro de la gallina de cuello desnudo de la granja del CUNORI. (Fuente Raúl Jáuregui, Cunori Chiquimula, 2022)



**Fotografía No. 2:** Cromotipo habado de la gallina de cuello desnudo de la granja del CUNORI. (Fuente Raúl Jáuregui, Cunori Chiquimula, 2022)



**Fotografía No. 3:** Cromotipo gris de la gallina de cuello desnudo de la granja del CUNORI. (Fuente Raúl Jáuregui, Cunori Chiquimula, 2022)



**Fotografía No. 4:** Cromotipo pinto de la gallina de cuello desnudo de la granja del CUNORI. (Fuente Raúl Jáuregui, Cunori Chiquimula, 2022)



**Fotografía No. 5:** Cromotipo marrón de la gallina de cuello desnudo de la granja del CUNORI. (Fuente Raúl Jáuregui, Cunori Chiquimula, 2022)



### Recomendaciones accionables

Estas gallinas representan un germoplasma avícola que evidencia un potencial para producciones extensivas en el traspaso resiliente de las comunidades rurales para lo cual es necesario edificar centros genéticos en cada región.

## Equipo de investigación

Raúl Jáuregui Jiménez  
Coordinador e investigador principal

Carlos Roberto Lorenzo Machorro  
Investigador asociado

Blanca Suzeth Pérez Cardona  
Investigadora asociada

---

Raúl Jáuregui Jiménez es médico veterinario con maestría en ciencias en sanidad animal, profesor titular de las carreras de medicina veterinaria y zootecnia del Centro Universitario de Oriente de la Universidad de San Carlos de Guatemala, investigador de líneas temáticas sobre la conservación y utilización de los recursos zoogenéticos locales y sanidad animal.

Correo electrónico:  
[rjauregui@cunori.edu.gt](mailto:rjauregui@cunori.edu.gt)

## Institución aval

**Centro Universitario de Oriente de la Universidad de San Carlos de Guatemala.**



# Densidad de Quetzales (*Pharomachrus mocinno*) en áreas prioritarias para su conservación y estandarización de un protocolo de monitoreo para la especie en Guatemala

**FINDECYT / GeneraCyT No. 02-2022**

Dra. Michelle Bustamante Castillo  
Investigadora principal

Biol. Diego Lima  
Investigador asociado

Dra. Linnea Hall  
Investigadora asociada

Biol. Bianca Bosarreyes  
Investigadora asociada

Dra. Gabriela Armas  
Investigadora asociada

MsC. José Luis Echeverria Tello  
Investigador asociado

Dr. Pablo Bolaños  
Investigador asociado

Biol. Rene Corado  
Investigador asociado

## Introducción

El quetzal (*Pharomachrus mocinno*) es una de las especies animales más importantes de Guatemala, tanto por su valor ecológico, cultural y social. Considerado un símbolo nacional, su presencia en los ecosistemas refleja la salud ambiental de los bosques nubosos.

Sin embargo, a nivel regional, la especie muestra un marcado declive poblacional y una reducción de su área de distribución, atribuida principalmente a la pérdida y fragmentación del hábitat, el cambio climático y las presiones antrópicas.

## Objetivos

Estimar la densidad poblacional de quetzales en áreas prioritarias para su conservación y estandarizar un protocolo de monitoreo biológico para la especie a nivel nacional.

## Metodología

El estudio se desarrolló en seis sitios de muestreo seleccionados estratégicamente por su relevancia ecológica y su designación previa como áreas prioritarias para la conservación del *P. mocinno*. La elección se basó en criterios de representatividad de hábitat, conectividad ecológica y presencia histórica de poblaciones de quetzal.

Adicionalmente, se incorporaron nuevos sitios tras una reunión técnica con administradores y propietarios de áreas protegidas, tanto públicas como privadas, con el fin de garantizar una cobertura geográfica representativa de las principales zonas de distribución de la especie.

En cada sitio se establecieron transectos lineales de muestreo, donde se realizaron conteos visuales y auditivos siguiendo metodologías de detección por puntos y estimación de densidad. Se registraron

variables ambientales como tipo de vegetación, altitud, cobertura arbórea, disponibilidad de alimento, temperatura y humedad relativa, con el objetivo de correlacionarlas con las densidades observadas.

Se implementó un sistema de monitoreo acústico pasivo, marcando el primer estudio acústico de quetzales en Guatemala. Este método permitió registrar vocalizaciones de la especie mediante dispositivos automáticos, mejorando la detección en áreas de difícil acceso y en horarios donde la observación directa es limitada.

Los resultados obtenidos sirvieron como base para la elaboración de un protocolo estandarizado de monitoreo, el cual incluye recomendaciones para su aplicación en diferentes

tipos de hábitat y condiciones geográficas.

## Resultados

Los resultados mostraron variaciones significativas en la densidad poblacional de quetzales entre las distintas áreas de estudio. La Reserva Natural Privada Quetzal-Juyú presentó la densidad más alta, con 68 individuos por kilómetro cuadrado, lo que sugiere condiciones óptimas de hábitat y disponibilidad de recursos.

En contraste, el Parque San Marcos mostró la densidad más baja, con 4 individuos por kilómetro cuadrado, posiblemente debido a la fragmentación del bosque y la presión humana.

Estas diferencias reflejan la influencia de factores ambientales y de manejo sobre las

poblaciones, como la calidad del hábitat, la conectividad ecológica y la intensidad de las amenazas locales.

Al comparar los datos con otras áreas de conservación en Centroamérica, se observó que las densidades estimadas son consistentes con estudios previos en regiones de características similares.

Además, el uso del monitoreo acústico demostró ser una herramienta eficaz, complementando los métodos tradicionales de observación y aumentando la detección de individuos. Este enfoque permitió registrar patrones de actividad y presencia en zonas donde el avistamiento directo era limitado.

## Conclusiones

- Los resultados mostraron variaciones en la densidad poblacional de quetzales entre las distin-

tas áreas. La Reserva Natural Privada Quetzal-Juyú presentó la densidad más alta, con 68 individuos por km<sup>2</sup>, lo que sugiere condiciones óptimas de hábitat y disponibilidad de recursos. En contraste, el Parque San Marcos mostró la densidad más baja, con 4 individuos por km<sup>2</sup>.

- Al comparar los datos con otras áreas de conservación en Centroamérica, se observó que las densidades estimadas son consistentes con estudios previos en regiones de características similares. Este hallazgo refuerza la validez de las estimaciones y destaca la importancia de las áreas prioritarias para la conservación.
- El estudio permitió la elaboración de un protocolo estandarizado de monitoreo del Quetzal para Guatemala. La implementación de este protocolo es fundamental, ya que permiti-

rá generar datos poblacionales comparables en espacio y tiempo, lo que facilitará la evaluación de la efectividad de las acciones de conservación a lo largo de las áreas de distribución del ave en el país. Asimismo, el trabajo demuestra la utilidad del monitoreo acústico para los quetzales, detallando sus posibles usos y las ventajas que este tipo de muestreo ofrece para el estudio de la especie.

**Figura 1:** Mapa de distribución de las subespecies de *P. mocinno* en Mesoamérica. Mapa e ilustración de elaboración propia.



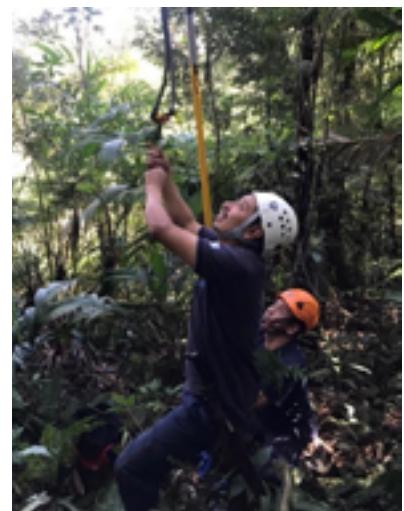
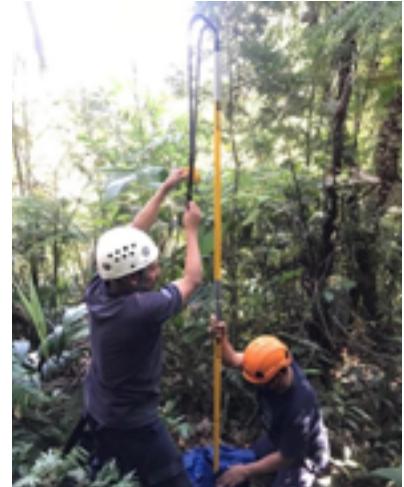
## Recomendaciones accionables

Se recomienda priorizar la conservación y manejo en áreas con mayor densidad de quetzales, como la RNP Quetzal-Juyú, por ofrecer condiciones óptimas para la especie.

En zonas con densidades bajas, como Las Nubes y el Parque San Marcos, es necesario ampliar el número de sitios y períodos de muestreo, así como realizar estudios adicionales sobre la calidad del hábitat, la disponibilidad de recursos y las presiones antropogénicas.

Además, es fundamental mantener el monitoreo regular de las poblaciones de quetzales en todas las áreas estudiadas. Esto permitirá detectar cambios poblacionales a lo largo del tiempo, evaluar la efectividad de las acciones de conservación implementadas y ajustar las estrategias según las necesidades detectadas.

**Figura No. 2:** Uso de la resortera, el peso y la línea de cuerda para subir las grabadoras autónomas de sonido a los árboles de interés para realizar monitoreo acústico de quetzales en el marco del proyecto Findecyt/GeneraCYT 02-2022.



## Equipo de investigación



Dra. Michelle Bustamante Castillo  
Investigadora principal

Dr. Pablo Bolaños  
Investigador asociado

Biol. Diego Lima  
Investigador asociado

Dra. Gabriela Armas  
Investigadora asociada

Biol. Bianca Bosarreyes  
Investigadora asociada

Biol. Rene Corado  
Investigador asociado

Dra. Linnea Hall  
Investigadora asociada

MsC. José Luis Echeverria Tello  
Investigador asociado

Correo electrónico:  
[michelle.amazilia.bustamante@gmail.com](mailto:michelle.amazilia.bustamante@gmail.com)

Es bióloga guatemalteca con maestría en investigación y doctorado en Ciencias Biológicas por la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). Su trabajo de investigación se centra en la ecología de aves, la conservación de la biodiversidad y la salud ambiental, con especial énfasis en el monitoreo y conservación del quetzal (*Pharomachrus mocinno*). También estudia la dinámica de procesos ecológicos como la polinización y la dispersión en ecosistemas de bosques secos y nubosos. Actualmente se desempeña como investigadora del Instituto de Investigaciones del Centro Universitario de Zacapa de la Universidad de San Carlos de Guatemala, donde también es docente e imparte cursos en las áreas de biología, estadística e investigación.



# Salud y ciencias médicas



Son comunidades de aprendizaje impulsadas por la Senacyt, cuyo objetivo es fomentar la curiosidad, el pensamiento crítico y la creatividad. Estos espacios ofrecen experiencias prácticas, conversatorios y la mentoría de científicos y científicas. De esta forma, se busca generar en la niñez y las juventudes comprender, innovar y contribuir al desarrollo de Guatemala a través de la ciencia.





## Cognición y COVID-19

**FINDECYT/GeneraCyT No. 02-2023**

Lic. Alvaro Antonio Jerez Pietropaolo  
Investigador principal

Dr. Alvaro Antonio Jerez Magaña  
Subinvestigador

Licda. Alejandra Beatriz Castañeda Toca  
Coordinadora de investigación

Licda. Rosa Anaite Garzaro Anleú  
Coordinadora de investigación

Lic. Luis Pedro Gómez Morales  
Asistente de investigación

Lic. Diego Giancarlo Palencia Zamora  
Asistente de investigación

## Introducción

Desde marzo de 2020, Guatemala registra más de 1,247,621 casos COVID-19. Aunque el 98% se recuperó de la fase aguda, muchos reportan secuelas cognitivas persistentes ("niebla mental").

Este estudio es la primera investigación sistemática guatemalteca sobre deterioro cognitivo post-COVID-19, evaluando múltiples dominios de funciones cerebrales en personas recuperadas.

## Objetivos

Determinar si existe deterioro cognitivo después de un diagnóstico positivo de COVID-19 en la población guatemalteca.

## Metodología

Estudio con 100 participantes (50H/50M) de 20-45 años, COVID-19 confirmado por RT-PCR. Evaluación mediante batería CNS

Vital Signs midiendo 14 dominios: memorias verbal/visual, velocidad de procesamiento, atención, funciones ejecutivas, flexibilidad cognitiva, tiempo de reacción, razonamiento y cognición social.

Excluidos pacientes con enfermedades degenerativas previas.

## Resultados

Los hallazgos revelan un panorama preocupante:

### **Índice neurocognitivo general:**

- 0% alcanzó rendimiento superior al promedio
- 47% se ubicó en el promedio
- 53% obtuvo resultados por debajo del promedio (28% promedio bajo, 6% bajo, 19% muy bajo)

### **• Dominios más afectados:**

- **Tiempo de reacción:** 86% por debajo del promedio (39% bajo, 25% muy bajo).
- **Flexibilidad cognitiva:** 63% por debajo del promedio (33% muy bajo).
- **Velocidad de procesamiento 68% por debajo del promedio.**
- **Funciones ejecutivas:** 64% por debajo del promedio (32% muy bajo)

### **• Dominios mejor preservados:**

- **Cognición social:** 85% en rango promedio o superior.
- **Atención simple:** 73% en rango promedio o superior.
- **Atención sostenida:** 74% en rango promedio o superior.

## Conclusiones

Este estudio demuestra deterioro cognitivo significativo post-COVID-19 en población guatemalteca de 20-45 años, independiente de la gravedad de la infección. Las áreas más afectadas son velocidad de procesamiento, flexibilidad cognitiva, tiempo de reacción y funciones ejecutivas, fundamentales para el desempeño laboral y cotidiano.

Los hallazgos evidencian la urgencia de implementar programas de detección temprana, rehabilitación cognitiva y seguimiento a largo plazo, representando una “segunda ola” pandémica que compromete la calidad de vida y productividad poblacional.

## Gráficos representativos

**Tabla: Resultados del índice neurocognitivo**

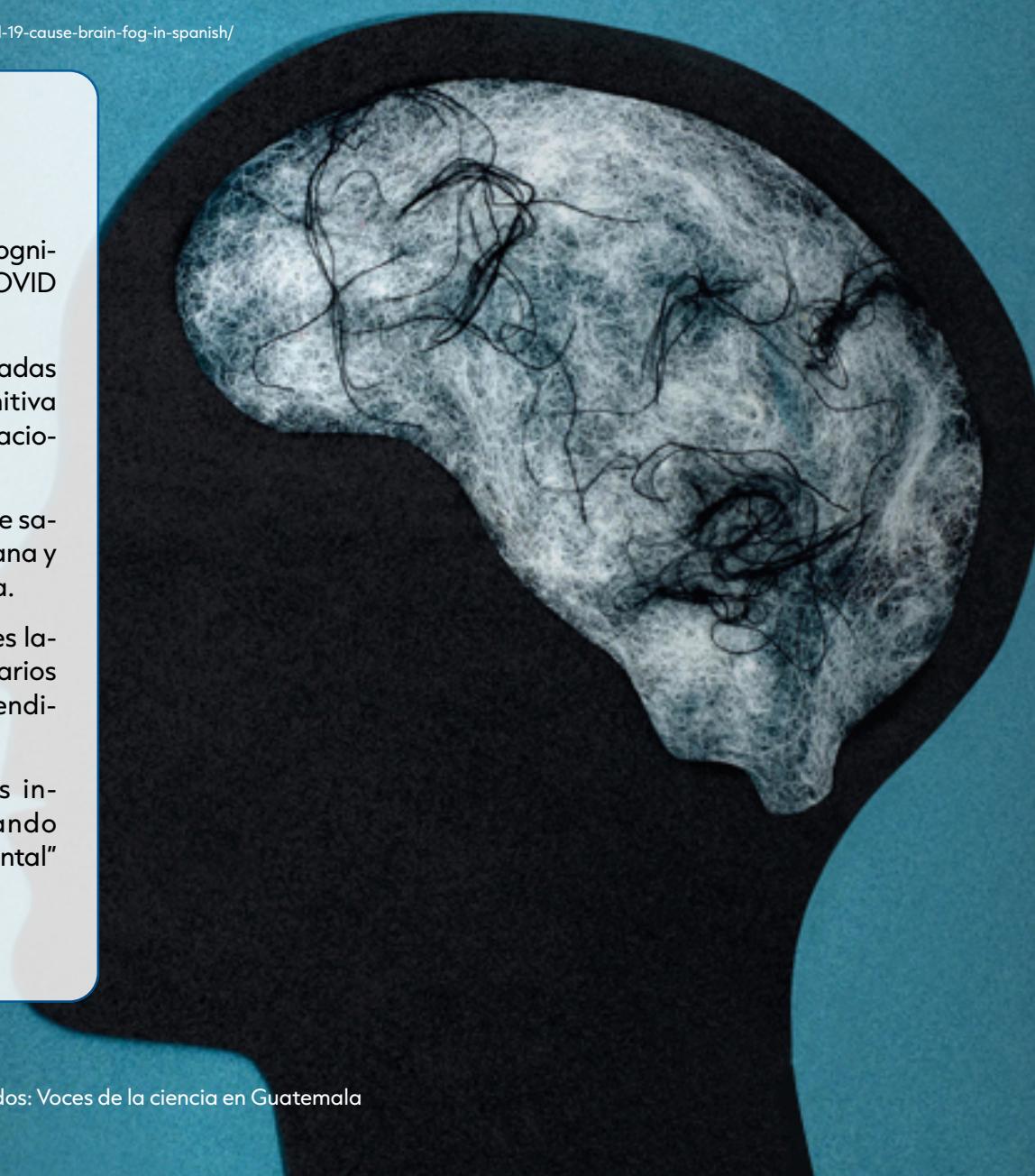
RESULTADO	PORCENTAJE
Arriba del promedio	0%
Promedio	47%
Promedio bajo	18%
Bajo	6%
Muy bajo	19%

**Figura: Dominios cognitivos más afectados**



## Recomendaciones accionables

- Implementar tamizaje cognitivo obligatorio post-COVID en centros de salud.
- Crear clínicas especializadas con rehabilitación cognitiva gratuita en hospitales nacionales.
- Capacitar al personal de salud en detección temprana y protocolos de referencia.
- Establecer adaptaciones laborales/educativas: horarios flexibles y tiempos extendidos.
- Desarrollar campañas informativas normalizando atención por "niebla mental" post-COVID.



## Equipo de investigación



Lic. Alvaro Jerez Pietropaolo  
Investigador principal



Dr. Alvaro Jerez Magaña  
Sub-investigador



Licda. Alejandra Castañeda  
Coordinadora de investigación



Licda. Rosa Anaite Garzaro  
Coordinadora de investigación



Lic. Luis Pedro Gómez  
Asistente de investigación



Lic. Diego Palencia  
Asistente de investigación

El Dr. Jerez Magaña lidera este estudio pionero sobre las secuelas cognitivas del COVID-19 en Guatemala. Cuenta con una amplia experiencia en neurocognición y encabeza un equipo multidisciplinario de investigadores especializados en evaluaciones psicológicas y psicología clínica. El equipo incluye a la Licda. Alejandra Castañeda Toca, Licda. Rosa Garzaro Anleu, Lic. Luis Gómez Morales y el Lic. Diego Palencia Zamora, todos asociados al Centro de Neurociencias Aplicadas de Guatemala. Este grupo de expertos implementó protocolos estandarizados de evaluación neurocognitiva, contribuyendo a la primera investigación sistemática en el país sobre el deterioro cognitivo post-COVID-19.

La investigación fue financiada por el Centro de Neurociencias Aplicadas y el Fondo Nacional de Ciencia y Tecnología (Fonacyt), a través de la Secretaría Nacional de Ciencia y Tecnología (Senacyt) bajo el proyecto FINDECYT/GeneraCYT No. 02-2023.

## Institución aval

El Centro de Neurociencias Aplicadas, CNA, es una institución dedicada a la investigación, evaluación de funciones cerebrales y procesos cognitivos. Sus líneas de investigación incluyen el estudio de trastornos neurocognitivos, rehabilitación neuropsicológica, y el impacto de enfermedades infecciosas en el sistema nervioso central, promoviendo el avance científico en neurociencias en Guatemala.

Correo electrónico:  
[alvaro.jerez@neurociencias.pro](mailto:alvaro.jerez@neurociencias.pro)

**Innovación de equipo para el fortalecimiento de los procesos productivos y mejorar tiempos y capacidad de proceso de tratamiento de desechos sólidos hospitalarios peligrosos del sector salud, con una tecnología inofensiva y de bajas emisiones al ambiente**

**FINDECYT / TransfiereCTi 03-2021**

Mgs. María Melissa del Rosario Calvo Samayoa de Knoepffler  
Investigador principal



## Introducción

En Guatemala, el manejo de desechos peligrosos está regulado desde 2001 mediante el Reglamento para Manejo de Desechos Sólidos Hospitalarios Peligrosos.

Existen más de 9,200 establecimientos de salud que deben contar con servicios autorizados de recolección, transporte, tratamiento y disposición final de desechos sólidos hospitalarios.

Biotrash, fundada en 1999, fue la primera empresa autorizada en este campo. Atiende a salud, industria y comercio, procesando más de 4,800 toneladas anuales y reduciendo en 70 % el volumen de desechos mediante tecnología que disminuye la huella ecológica.

La generación de residuos ha crecido aceleradamente, mientras que la cobertura de

tratamiento sigue limitada. El 58 % de los hogares no cuenta con servicios adecuados. Para responder a esta demanda, el proyecto busca duplicar la capacidad de Biotrash y reducir emisiones mediante tecnología no incineradora.

## Objetivos

Aumentar la capacidad de tratamiento de desechos sólidos hospitalarios en un 100%. Contribuir a la reducción de huella de carbono por la no incineración de 9,600 toneladas anuales.

## Metodología

El objetivo es modernizar el proceso productivo mediante tecnología de bajas emisiones, incrementando capacidad y eficiencia operativa.

- **Se seleccionaron dos máquinas industriales certificadas:** una trituradora y una compactadora.

- **Variables en capacidad:** peso (toneladas) y volumen ( $m^3$ )
- **Variables independientes:** procesos de esterilización, trituración y compactación.
- **Indicadores:** balance de masas, costos de disposición, reducción de  $CO_2$ , capacidad diaria procesada y reducción de viajes al relleno sanitario.

La metodología incluyó inspecciones técnicas, pruebas de la trituradora sin carga y con desechos esterilizados, utilizando desecho sólido hospitalario recibido. Se comprobó la reducción de volumen por el proceso de compactación.

Se aplicaron técnicas descriptivas para analizar peso y volumen y detectar oportunidades de mejora.

- **Instrumentos utilizados:** observación directa, entrevistas a operarios y análisis estadístico.

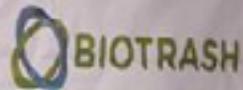
## Resultados

**Tabla No. 1:** "DSH procesados 2021, 2022 y proyección 2023"

Año	Toneladas/ciclo promedio	Ciclos al día promedio	Ciclos al año promedio	Toneladas procesadas
2021	0.7	18	5,616	4,479
2022	0.8	19	6,240	4,822
2023	1.2	26	8,112	9,734

**Elaboración propia**





#LimpiaMico



## Recomendaciones accionables

- **Optimización de procesos:** Implementar la mejora continua (revisión, supervisión, investigación) para innovar y aumentar la eficiencia en esterilización, trituración y compactación.
- **Crecimiento y cobertura:** Aumentar la comercialización para captar nuevos clientes, alcanzar la capacidad operativa total y lograr la cobertura nacional.
- **Gestión del personal:** Realizar capacitaciones y supervisión de tiempos para eliminar reprocesos, optimizar tiempos y garantizar compromisos ambientales.
- **Control y seguridad:** Supervisar continuamente el uso correcto de la maquinaria para controlar riesgos de accidentes y evitar intervenciones manuales.
- **Eficiencia energética:** Mantenimiento preventivo del sistema eléctrico para asegurar la eficiencia energética. Evaluar la instalación de más paneles solares para reducir el uso de fuentes no renovables.

## Equipo de investigación



Melissa Calvo es una líder guatemalteca en sostenibilidad y gestión ambiental, con amplia experiencia en el sector salud y en la dirección de empresas innovadoras y responsables con el ambiente.

Es licenciada en Química Biológica por la Universidad de San Carlos de Guatemala, con un Postgrado en Manejo de Desechos Sólidos Hospitalarios y una Maestría en Liderazgo Organizacional. Actualmente cursa un doctorado en Desarrollo Sostenible.

Desde 2014 es directora Ejecutiva de Biotrash, empresa pionera en el manejo de desechos bioinfecciosos en Guatemala, y ha presidido la junta directiva de Grupo Medikal.

En el ámbito gremial, ha ocupado cargos de liderazgo en la Cámara de Industria de Guatemala, donde presidió la Gremial de Empresas de Productos y Servicios Ambientales (GEPSA), impulsando normativas, buenas prácticas y políticas sostenibles. También integró la Junta Directiva de la Asociación de Químicos Biológicos y presidió el Comité Técnico de Normalización para la Gestión de Desechos Sólidos de COGUANOR.

Se distingue por su liderazgo estratégico, disciplina y compromiso con un futuro sostenible.

## Institución aval

Biotrash ofrece servicios integrales de recolección, transporte, tratamiento y disposición final de residuos peligrosos y no peligrosos para los sectores de salud, industria y comercio en Guatemala. Con tecnología avanzada y enfoque en economía circular, su visión es reducir el impacto con procesos ambientales responsables e innovadores para un mejor futuro.

# Determinación de mutaciones del gen CFTR en pacientes guatemaltecos diagnosticados con fibrosis quística. Bases para el diseño de un programa en farmacogenética en salud pública

FINDECYT / Gestiona I+D 01-2022

Lesly Yanira Xajil Ramos  
Investigador principal

Rodrigo José Vargas Rosales  
Investigador asociado

Oscar Manuel Cóbar Pinto  
Investigador asociado

Olga Beatriz Sandoval Ochoa  
Investigador asociado

Rudy Alfonso Marroquín Rosales  
Investigador asociado

Aylin Evelyn Santizo Juárez  
Investigador asociado



Fotografía: Rodrigo Vargas

## Introducción

La fibrosis quística (FQ) es una enfermedad genética autosómica recesiva que afecta múltiples órganos y reduce la expectativa de vida. Es causada por mutaciones en el gen CFTR (Cystic Fibrosis Transmembrane Conductance Regulator), responsable de codificar una proteína reguladora del transporte de iones en las membranas epiteliales. La disfunción de esta proteína altera el equilibrio de sales y agua, generando manifestaciones respiratorias, digestivas y reproductivas variables. En Guatemala, el conocimiento sobre las mutaciones del CFTR es limitado, lo que dificulta la aplicación de terapias dirigidas.

Identificar el perfil mutacional es esencial para avanzar hacia la medicina personalizada y optimizar los tratamientos según el genotipo.

## Objetivos

Determinar la frecuencia y tipo de mutaciones del gen CFTR en una

cohorte de pacientes guatemaltecos con fibrosis quística, estableciendo una base molecular para orientar decisiones terapéuticas individualizadas.

## Metodología

Se realizó un estudio observacional, transversal y descriptivo en 49 pacientes diagnosticados clínicamente con FQ, atendidos en centros de referencia nacionales. La cohorte incluyó niños y jóvenes de ambos sexos (1–21 años), representando diversas regiones del país. Las mutaciones del CFTR se analizaron mediante hibridación inversa con un panel de 34 variantes frecuentes descritas en América Latina y Europa. Se calcularon frecuencias absolutas y relativas y se compararon con reportes regionales. Se elaboró una propuesta de programa de farmacogenómica para fibrosis quística, validada mediante

metodología Delphi, orientada a mejorar el diagnóstico y tratamiento en Guatemala.

## Resultados

Se identificaron mutaciones en el 34.7% de los pacientes, evidenciando una alta heterogeneidad genética. Las variantes más frecuentes fueron 3905insT (14.3%), 2184insA (12.2%), F508del (8.2%), G542X (4.1%), 3120+1G>A (2.0%), R117H (2.0%) y 1078delT (2.0%). La proporción de casos sin mutaciones detectadas sugiere la presencia de variantes raras no incluidas en el panel, indicando la necesidad de ampliar los estudios con técnicas moleculares de secuenciación avanzada. Se propuso un programa de farmacogenómica para pacientes con fibrosis quística, cuyo diseño, validado mediante la metodología Delphi con expertos,

**Tabla No. 1: Mutaciones/variantes del gen CFTR detectadas en 49 pacientes guatemaltecos con FQ**

definió las condiciones necesarias para su implementación, orientada a mejorar el diagnóstico y el tratamiento de la enfermedad en Guatemala.

## Conclusiones

Este estudio representa la primera caracterización molecular del gen CFTR en pacientes guatemaltecos con FQ y evidencia la diversidad mutacional existente. Actualmente, existen terapias dirigidas que actúan sobre mutaciones específicas del CFTR; sin embargo, el acceso a estos tratamientos depende de conocer el perfil genético de cada paciente. Por ello, generar esta información constituye un paso esencial para garantizar la equidad en el acceso a la medicina personalizada y mejorar el pronóstico de la enfermedad en Guatemala.

Mutación	Clasificación	Posición	Cigosidad	Frecuencia N (%)
3905insT <sup>a</sup>	Clase I	Exón 23	Heterocigoto	7 (14.3)
2184insA <sup>b</sup>	Clase I	Exón 14	Heterocigoto	6 (12.2)
F 5 0 8 d e l (-CTT) <sup>c</sup>	Clase II	Exón 10	Heterocigoto	4 (8.2)
G542X	Clase I	Exón 12	Heterocigoto	2 (4.1)
3120+1G>A	Clase I	Intrón 16	Heterocigoto	1 (2.0)
R117H <sup>d</sup>	Clase IV	Exón 4	Heterocigoto	2 (2.0)
1078delT	Clase I	Exón 7	Heterocigoto	3 (2.0)
Total de pacientes con mutaciones detectadas				17/49 (34.7)
Total de pacientes sin mutaciones detectadas				32 (65.3)
Pacientes con variantes polimórficas detectadas				
IVS8 7T/7T		Intrón 8	Homocigoto	42 (85.7)
IVS8 7T/9T		Intrón 8	Heterocigoto	6 (12.2)
IVS8 5T/7T		Intrón 8	Heterocigoto	1 (2.0)
Total de pacientes con variantes polimórficas detectadas				49 (100.0)
Total de pacientes				49 (100.0)

\*<sup>a</sup> Cuatro de los casos presentaron la variante IVS8 7T/7T y uno la variante 7T/9T adicional

\*<sup>b</sup> Uno de los casos presentó la variante IVS8 7T/9T adicional.

\*<sup>c</sup> Dos de los casos presentaron la variante IVS8 7T/7T y uno la variante 7T/9T adicional.

\*<sup>d</sup> Presentó la variante IVS8 7T/7T adicional.

## Recomendaciones accionables

Incorporar el perfil genético de los pacientes con fibrosis quística en la toma de decisiones terapéuticas, para facilitar el acceso a tratamientos moduladores de la proteína CFTR, como correctores y potenciadores. Su implementación en Guatemala permitiría personalizar la terapia, mejorar significativamente la calidad de vida y aumentar la expectativa de sobrevida en este grupo de pacientes.



Fotografía: Rodrigo Vargas

# Equipo de investigación



Lesly Yanira Xajil-Ramos  
Investigador principal



Rodrigo José Vargas Rosales  
Investigador asociado



Aylin Evelyn Santizo Juárez  
Investigador asociado



Oscar Manuel Cóbar Pinto  
Investigador asociado



Olga Beatriz Sandoval Ochoa  
Investigador asociado



Rudy Alfonso Marroquín  
Investigador asociado

Xajil-Ramos es Química Farmacéutica con formación en Farmacovigilancia, Farmacoepidemiología, Farmacocinética y Farmacogenómica. Es profesora titular e investigadora en la Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia de la USAC, donde coordina la Unidad de Investigaciones en Farmacogenética y Farmacogenómica. Con más de nueve años de trayectoria, ha desarrollado una carrera científica en farmacogenómica clínica aplicada, enfocada en la optimización de terapias mediante el análisis genético de poblaciones guatemaltecas. Lidera la Asociación Guatemalteca de Farmacogenómica y Medicina Personalizada; es miembro activo de redes como SOLFAGEM y RELIVAF. Desde la academia, impulsa la formación de investigadores y la integración de la medicina de precisión en la práctica profesional.

Correo electrónico:  
[leslyanxr@profesor.usac.edu.gt](mailto:leslyanxr@profesor.usac.edu.gt)

## Institución aval

La Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia, Universidad de San Carlos de Guatemala, desarrolla investigación aplicada en farmacogenómica poblacional, farmacocinética clínica y poblacional, y medicina personalizada, orientada a optimizar terapias farmacológicas mediante el estudio de la variabilidad genética en poblaciones guatemaltecas a través de la Unidad de Investigaciones en Farmacogenética y Farmacogenómica.

# Alimento funcional complementario con probióticos obtenidos de alimentos autóctonos para poblaciones con alta prevalencia de desnutrición crónica y diarrea en Guatemala

**FINDECYT / Fodecyt No. 01-2020**

Dr. Manolo Adulfo Mazariegos Fernández  
Investigador principal

PhD. Wilton Pérez  
Investigador asociado

Licda. Clara Luz de María Godínez Soto de Pereda  
Investigadora asociada

Inga. Lourdes María Ramírez Ovalle  
Investigadora asociada



## Introducción

La diarrea infantil constituye un grave problema de salud pública en los países en desarrollo, dada su estrecha relación con el impacto en la desnutrición crónica de la población infantil. Dentro del abordaje, hay evidencia del uso de probióticos. El Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo (CYTED), junto con el Instituto de Productos Lácteos de Asturias y el Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC), de España, a través del Proyecto Pro-Infant, lograron aislar el probiótico *Lactiplantibacillus plantarum* CECT9435, de alimentos fermentados autóctonos latinoamericanos

## Objetivos

Evaluación de la eficacia del probiótico *Lactiplantibacillus plantarum* CECT9435 en reducir

prevalencia de diarrea (PD) en niños de 24-48 meses.

## Metodología

- **Población:** 124 niños, ambulatorios aparentemente sanos, rurales de Chimaltenango (Varituc y Choatalun, San Martín Jilotepeque).
- **Diseño:** Estudio aleatorizado por conglomerados, controlado, doble ciego, con dos tratamientos, probiótico/placebo, de 26 semanas en tres fases: basal (0-4), intervención (5-22) y residual (23-26).
- **Intervención:** Entrega domiciliar diaria de alimento (Incaparina® con leche, lista para consumir), con probiótico/placebo. Protocolo aprobado por Comité Nacional de Ética/MSPAS.
- **Evaluaciones:** Encuesta demográfica, salud/nutrición en cada fase; monitoreo diario de morbi-

lidad por diarrea.

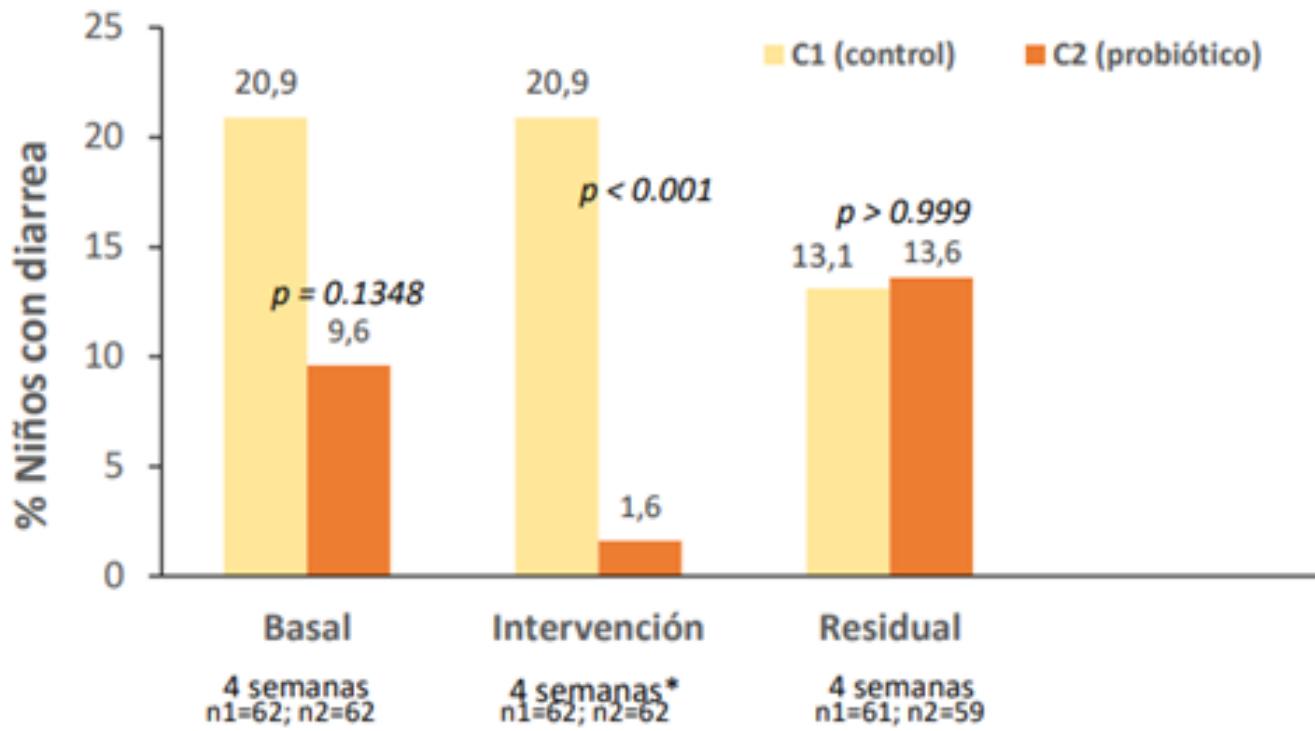
## Resultados

- **Fase de intervención:** el conglomerado con probiótico mostró reducción significativa de PD, respecto a la basal, de 9.6% a 1.6% ( $p < 0.05$ ); conglomerado control, sin cambio. Además, la PD fue significativamente menor en conglomerado con probiótico en comparación al control (20.9% vs 1.6%,  $p < 0.001$ ).

## Conclusiones

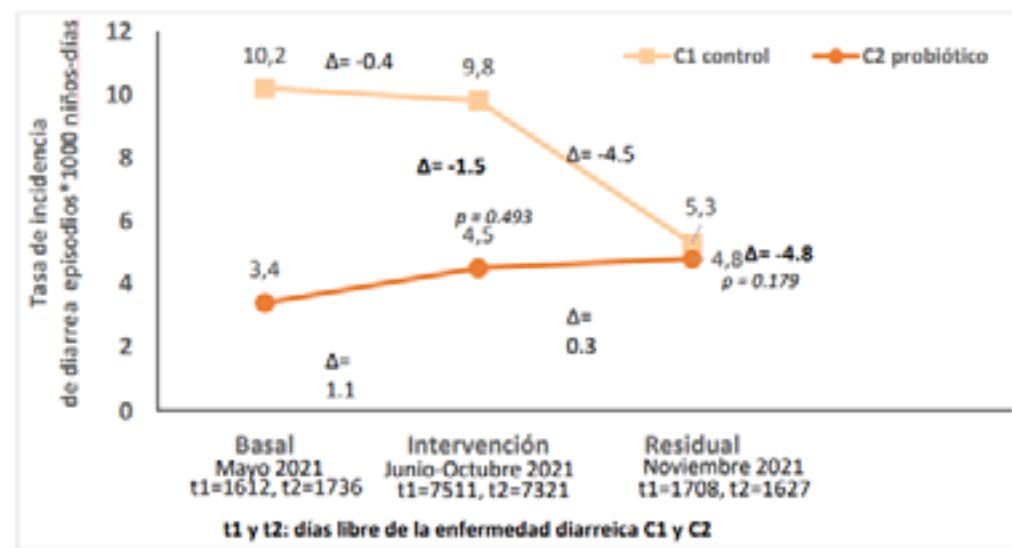
El primer estudio en población infantil rural de Guatemala con el probiótico *Lactiplantibacillus plantarum* CECT9435, mostró el potencial en reducir la prevalencia de diarrea. Este estudio es un esfuerzo de poner la ciencia y la tecnología al servicio del bien común.

**Gráfico No. 1:** Prevalencia de diarrea según fase del estudio y conglomerado(\*), considerando solamente 4 semanas de observación de la fase de intervención



(\*) Comparación de la prevalencia de diarrea entre conglomerados en cada fase del estudio a través de la prueba de Chi2 para comparación de proporciones;  $p < 0.05$  fue considerado significativo.

**Gráfico No. 2: Tasa de incidencia de diarrea (episodios/tiempo sin enfermedad)**



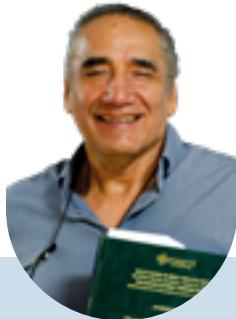
Fuente: Elaboración y análisis equipo de investigación

La tasa de incidencia de diarrea por episodios. En el conglomerado 1 (control) se presenta una disminución leve de la incidencia desde la fase basal a la fase de intervención, y luego, una caída marcada hasta la fase residual. En particular, se mostró una caída muy marcada de la incidencia por episodios desde la fase de intervención a la fase residual. Por otro lado, en el conglomerado 2 (probiótico), la tasa de incidencia mostró un aumento modesto desde la fase inicial hasta la fase de intervención. Sin embargo, aunque la comparación de la incidencia entre conglomerados fue significativa en las fases basal e intervención, la comparación de los cambios de incidencia observados entre conglomerados (diferencia de diferencia basal vs intervención) no lo fueron ( $p=0.493$ ).

## Recomendaciones accionables

Evaluar la eficacia del probiótico del estudio en poblaciones de niños enfermos con diarrea aguda, en cuanto a reducción y severidad de los episodios, tal como se ha hecho en estudios publicados en la literatura con otros probióticos. Además, es importante evaluar el efecto del probiótico del estudio en otras condiciones que no sea la diarrea, tal como mejorar la salud en general, especialmente la intestinal, salud metabólica y la prevención de enfermedades crónicas.

## Equipo de investigación



Dr. Manolo Adulfo Mazariegos Fernández  
Investigador principal

PhD. Wilton Pérez  
Investigador asociado

Licda. Clara Luz de María Godínez Soto de Pereda  
Investigadora asociada

Inga. Lourdes María Ramírez Ovalle  
Investigadora asociada

---

El Dr. Mazariegos Fernández es Médico y Cirujano con especialidad en Nutrición Pública. Posee un doctorado en Nutrición, Metabolismo y Composición Corporal por Columbia University / St. Luke-Roosevelt Hospital (EE. UU.), y es licenciado en Ciencias Médicas por la Universidad de San Carlos de Guatemala.

### Institución aval

Correo electrónico:  
[mmazariegos@incap.int](mailto:mmazariegos@incap.int)

Al Instituto de Nutrición de Centroamérica y Panamá (INCAP) como institución principal ejecutora del estudio, y a las instituciones colaboradoras del proyecto CYTED-PRO-INFANT, que desarrollaron las fases preliminares del proyecto en conjunto con el Instituto de Productos Lácteos de Asturias (IPLA) y el Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC) de España.

# Uso de piel de Tilapia como apósito biológico temporal para tratamiento de quemaduras en Guatemala

**FINDECYT / GeneraCyT 01-2022**

Dra. Lourdes Irene Santiso Arroyo  
Investigadora principal

Institución aval: Hospital Roosevelt



Fotografía: Dra. Lourdes Santiso

## Introducción

En Guatemala no existen actualmente coberturas biológicas disponibles para el tratamiento de heridas y quemaduras. Estas constituyen un problema frecuente en Guatemala, con más de 121 mil casos reportados entre 2009 y 2017, según el SIGSA. Aunque algunos esfuerzos nacionales se han iniciado, es necesario desarrollar opciones terapéuticas locales que proporcionen una cobertura temporal eficaz, reduzcan infecciones, eviten la pérdida de líquidos y alivien el dolor en pacientes con quemaduras extensas.

La piel de tilapia, rica en colágeno tipo I, representa una alternativa biológica viable, económica y de fácil obtención, con resultados clínicos favorables reportados en Brasil.

## Objetivos

Comprobar la eficacia del uso de piel de tilapia como cobertura biológica

temporal en pacientes con quemaduras de espesor parcial.

## Metodología

Durante un período de seis meses (de julio a diciembre de 2022), se seleccionaron 31 pacientes pediátricos que consultaron la Unidad de Quemaduras Pediátricas del Hospital Roosevelt de Guatemala, con diagnóstico de quemaduras de 2do. grado que afectaban menos del 10% de la superficie corporal

Previo consentimiento y asentimiento se distribuyeron en forma aleatoria, 16 pacientes para tratamiento con piel de tilapia y 15 pacientes utilizando membrana hidrocoloidea.

## Resultados

El tiempo medio de epitelización fue de 8 días con piel de tilapia y 7 días con hidrocoloide, diferencia estadísticamente significativa

pero clínicamente no relevante. No hubo ninguna diferencia en cuanto al dolor entre ambos grupos.

En cuanto a Prurito observamos una diferencia significativa estadísticamente solo en la última evaluación. Se observó una efectiva regeneración cutánea dentro del rango esperado (7–15 días) y un efecto desbridante natural en quemaduras de segundo grado profundo. No se registraron efectos adversos ni reacciones alérgicas.

## Conclusiones

La piel de tilapia demostró ser una cobertura biológica temporal efectiva para el tratamiento de quemaduras de espesor parcial. Los pacientes de ambos grupos presentaron mínimo dolor, debido al menor número

de curaciones requeridas (3 a 5 días en promedio).

En casos de quemaduras de segundo grado profundo, se observó una mejor limpieza del lecho de la herida, sugiriendo un potencial efecto desbridante que merece mayor estudio. El proyecto permitió introducir el uso de una cobertura biológica en un hospital público y capacitar al personal de la Unidad de Quemaduras Pediátricas, siendo esta la primera experiencia de su tipo en el sistema de salud pública de Guatemala.

**Ilustración 1:** Preparación de la piel de tilapia antes de colocarla.



**Ilustración 2: Quemadura 2do grado profunda tratada con tilapia.**

Paciente con quemadura de 8% superficie y segundo grado profundo 1era curación con piel de Tilapia y su primer recambio.

**Recomendaciones  
accionables**

Introducir el uso de materiales biológicos como la piel de tilapia en hospitales públicos para el tratamiento de quemaduras y heridas, dado que ha demostrado eficacia clínica y accesibilidad económica. Priorizar su aplicación en pacientes de bajos recursos y promover la formación e investigación clínica en el manejo avanzado de heridas, área médica en expansión internacional.



Izquierda: Día 8 (después de 2da. curación).

Derecha: Día 10 ya epitelizado por completo.



# Evaluación de la actividad antibacteriana y composición química de hojas y flores de *Chiranthodendron pentadactylon* (kanak) para la propuesta de un producto alimenticio

**FINDECYT / GeneraCyT No. 10-2022**

Dra. Sully M. Cruz  
Investigadora principal

Institución aval: Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia, Usac



Nuevos brotes en un árbol de *Chiranthodendron pentadactylon*. Volcán de San Pedro, 2023.

## Introducción

El kanak (*Chiranthodendron pentadactylon*) es un árbol endémico de Mesoamérica, se utiliza en la medicina tradicional para tratar diversas enfermedades y en culinaria.

Estudios previos han demostrado actividad antibacteriana y antiprotozoaria, así como antioxidante.

## Objetivos

Evaluar la composición química y la actividad antibacteriana de hojas y flores de *Chiranthodendron pentadactylon* para el diseño de un producto alimenticio.

## Metodología

- Se realizaron colectas en los lugares de mayor distribución, volcán Acatenango, Finca El Espinero, Chimaltenango y Volcán San Pedro, Sololá, se elaboraron extractos por percolación.

- Se evaluó la composición química mediante ensayos macro, semimicro, y cromatografía en capa fina.
- Se determinó la capacidad antioxidante por inhibición de radicales libres, neutralización de radical sulfónico y reducción de hierro.
- Se evaluó por el método de dilución y microdilución la actividad contra *Salmonella* y *Shigella*.
- Se realizó la formulación de un condimento antioxidante para diversificar el uso del kanak.
- Se realizaron pruebas de calidad y se evaluó la aceptación de dicho producto mediante un análisis sensorial, así como el análisis microbiológico para garantizar la inocuidad, se realizó el estudio de estabilidad y selección de empaque, finalmente se evaluó el análisis nutricional.

## Resultados

De los extractos elaborados por percolación se obtuvieron mayores rendimientos en extractos etanólicos de hoja colectada en el volcán Acatenango (32.03%) y de la flor colectada en volcán San Pedro (42.07%). En la composición química se detectó flavonoides, alcaloides, cumarinas, saponinas, carotenoides y taninos.

En la capacidad antioxidante por inhibición de radicales libres, presento mejor actividad el extracto de hoja de Acatenango CI50 0.133 mg/mL, y flor 0.302 mg/mL; neutralización de radical sulfónico el extracto más activo fue el de flor de Volcán Acatenango (CI 50 0.584 mg/mL) y reducción de hierro fueron los extractos de volcán Acatenango, flor con una CI50 de 0.177 mg/mL y hoja 0.314 mg/mL.

Se evidenció actividad moderada a 1 mg/ml contra *Salmonella* y *Shigella*. Se realizó la formulación de un condimento de kanak, se determinó que el producto cumplió con los parámetros de calidad y estabilidad. Además, el análisis nutricional presentando una buena cantidad de fibra cruda (19.17%) y proteína (13.87%).

## Conclusiones

- Los extractos de hojas y flores de *Chiranthodendron pentadactylon* (kanak) demostraron una notable diversidad química, que sustentan su potencial en los campos de la nutrición, la medicina y la cosmética.
- Los ensayos realizados confirmaron una significativa actividad antioxidante, atribuible a su alto contenido fenólico, con implicaciones en la prevención del estrés oxidativo, un factor clave en el envejecimiento celular y el desarrollo de enfermedades crónicas, así como en su aplicación como conservante natural en alimentos funcionales.
- Asimismo, los extractos presentaron actividad moderada frente a *Salmonella* y *Shigella* a una concentración de 1 mg/mL, validando su posible uso como agente antimicrobiano natural y coadyuvante en el tratamiento de infecciones intestinales.
- La ausencia de citotoxicidad en *Artemia salina* respalda su seguridad y biocompatibilidad, favoreciendo su proyección para futuros desarrollos en salud humana.
- El condimento antioxidante elaborado a base de hojas de kanak cumplió con los parámetros fisicoquímicos, microbiológicos y

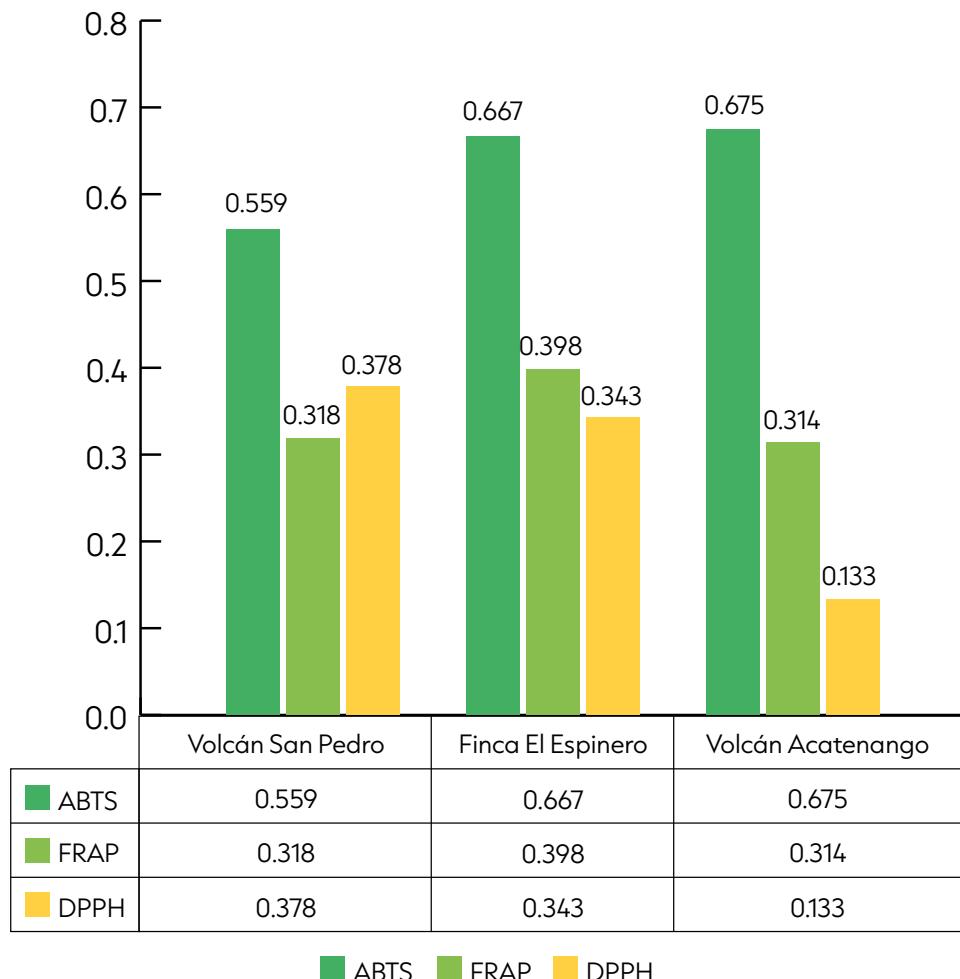
organolépticos requeridos, mostrando buena aceptación sensorial y constituyendo una alternativa natural e innovadora frente a los conservantes sintéticos.

- Finalmente, la divulgación de los resultados permitió visibilizar la relevancia científica y el potencial de esta especie, fomentando la colaboración interdisciplinaria y la transferencia de conocimiento hacia la sociedad.

**Figura 1:** Propuesta etiquetado y envasado final del producto elaborado a base de Kanak.

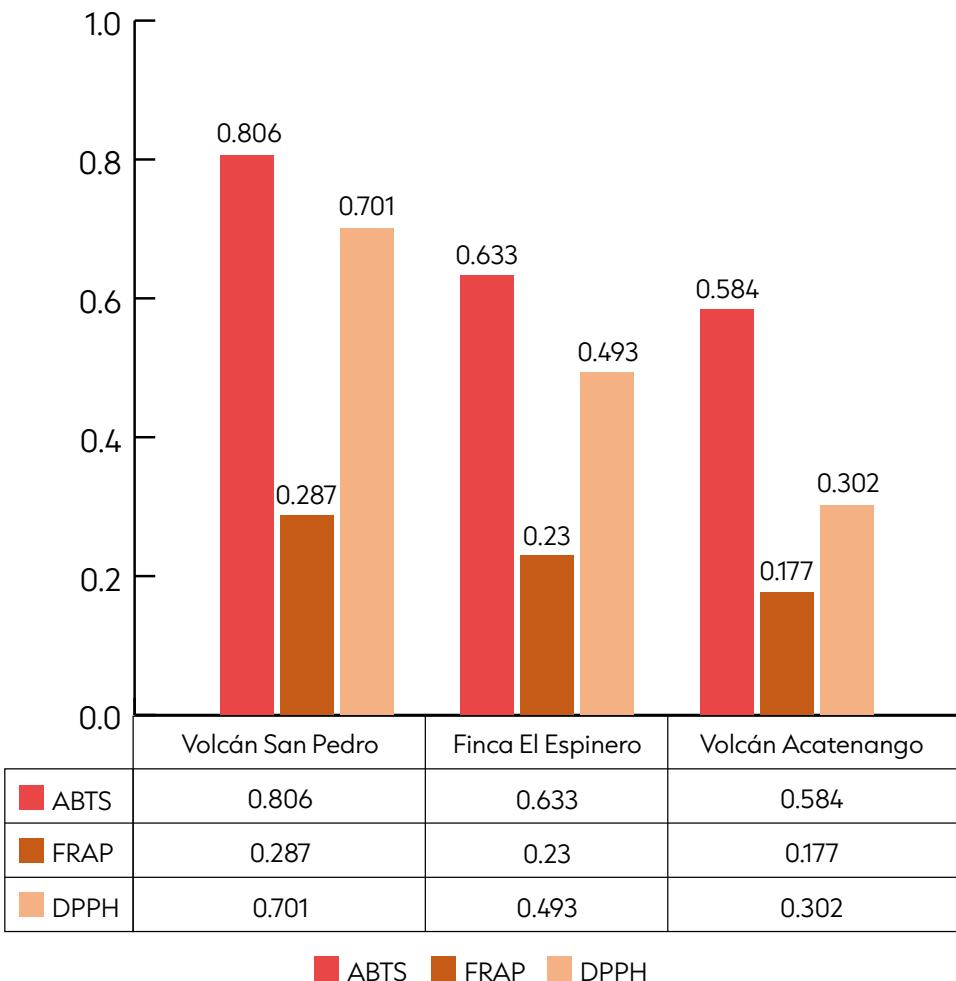


## Actividad antioxidante hoja



**Gráfica 1:** Comparación de la actividad antioxidante en extractos de hoja de Kanak mediante los métodos ABTS, FRAPP y DPPH.

## Actividad antioxidante flor



**Gráfica 2:** Comparación de la actividad antioxidante en extractos de flor de Kanak mediante los métodos ABTS, FRAPP y DPPH.

**Figura 2: Colecta y herborización del material vegetal en el Volcán San Pedro y Finca El Espinero.**

**2.1: Fotos de colecta en la Finca el Espinero**

**Recomendaciones  
accionables**

Se recomienda evaluar la toxicidad in vivo de los extractos de *C. pentadactylon* para garantizar su seguridad y establecer dosis seguras de uso; además, desarrollar productos medicinales, cosméticos y nutricionales basados en su actividad antioxidante, impulsando su producción comunitaria y conservación sostenible como fuente natural de innovación en Guatemala.



**2.2: Fotos de colecta en volcán San Pedro**

# Laboratorio de reproducción y desarrollo *In vitro*

**FINDECYT / EmprendeCTi No. 02-2021**

Hugo Enríquez Ortiz  
Investigador principal



## Introducción

La reproducción *In vitro* es un proceso de replicación vegetativa inducida, de tal forma que la planta puede reproducirse aun cuando no inicie el proceso tradicional de reproducción sexual.

Es un procedimiento que puede ser aprovechado por productores de plantas de consumo tradicional, y no tradicional, es decir que puede aplicarse a cualquier mercado de producción agrícola, desde granos básicos, verduras, frutas, productos forestales, materias primas, plantas medicinales y de interés farmacéutico, cosmético, energético e incluso para la conservación genética de especies vegetales en peligro de extinción.

La práctica continua de metodologías de reproducción vegetal *In vitro* puede presentar alternativas de cuidado y protección de la diversidad biológica, además de contribuir a la resiliencia al cambio

climático identificando y protegiendo las variedades vegetales con las cualidades que permitirá contar con germoplasma (banco genético) que contribuya a la sostenibilidad y resiliencia de los efectos derivados por los cambios ambientales abruptos.

## Objetivos

Fortalecer el laboratorio de reproducción y desarrollo de tejidos vegetales *In vitro*, para alcanzar una capacidad de producción mínima de 500 mil plantas anuales a disposición de la pequeña y mediana industria agrícola de tal forma que el productor obtenga la certeza de que la mayoría de las plantas que se desarrollarán serán productos de alta calidad, disminuyendo la incertidumbre de los procesos reproductivos sexuales tradicionales.

## Metodología

Generalmente se usan protocolos de desinfección estándar (con hipoclorito de sodio al 5%, etanol 70% y algún agente tensoactivo). El medio nutritivo más utilizado es MS adicionado con diversos reguladores de crecimiento, dependiendo de la especie a trabajar.

Para crecer las células requieren una variedad de nutrientes orgánicos e inorgánicos en dos niveles: macro y micro. Cuando se trata de células cultivadas *in vitro*, estas sustancias son aportadas por el medio de cultivo. Un medio de cultivo es una solución acuosa en donde se encuentran disueltas sales minerales que aportan tanto macronutrientes (N, P, K, S, Ca y Mg) como micronutrientes (Fe, B, Mn, Zn, Cu, Mo, y Co). Normalmente es imprescindible una fuente de carbono, generalmente la

sacarosa, debido a la escasa actividad fotosintética de los tejidos *in vitro*. Además, el medio puede ser enriquecido con aminoácidos, vitaminas y reguladores del crecimiento (Krikorian, 1991; Calva Calva & Pérez Vargas, 2005).

Los micronutrientes, generalmente adicionados al medio de cultivo en forma de sales, son utilizados por las células como cofactores enzimáticos, como el molibdeno para la solución nitrato reductasa y el magnesio para algunas cinasas (Muras-hige & Skoog, 1962; Shenk & Hildebrandt, 1972; Calva Calva & Pérez Vargas, 2005).

Las fitohormonas y sus inhibidores son sustancias producidas por las plantas y regulan su respuesta a estímulos ambientales como luz, temperatura

y humedad, ayudando de esta manera a regular y coordinar los procesos esenciales para el desarrollo normal de las plantas. Este tipo de substancias se pueden dividir principalmente en auxinas, giberelinas, citocininas, ácido abscísico, etileno, brasinoesteroides, poliaminas, ácido jasmónico y el ácido salicílico.

Las auxinas y giberelinas promueven el alargamiento celular, pero inhiben la diferenciación, mientras que las citocininas estimulan la división mediante la cual se producen nuevas células y pueden también evitar el envejecimiento celular.

El etileno estimula la maduración principalmente de frutos, el ácido abscísico inhibe la acción de las auxinas, giberelinas y citocininas operando como sistema de defensa natural contra efectos de estrés fisiológicos. Las más usadas

en cultivos de células vegetales son las auxinas y citocininas. De las auxinas, el ácido 2,4-diclorofenoxyacético (2,4-D) es la más usada para la inducción y mantenimiento de tejido calloso debido a que suprime severamente la organogénesis.

De las citocininas, la más activa es la 2-indolaminopurina (2iP); sin embargo, las más utilizadas en cultivo de células vegetales son la bencilmaminopurina (BAP) y la cinetina (Cin), una citocinina sintética afectada por la luz en el rango de longitud de onda de 300-800nm.

Los medios de cultivo se preparan a partir de soluciones concentradas 10 o 100 veces (Soluciones Madre o Stock). En la solución madre se pueden mezclar varias sales minerales siempre que no se produzcan problemas de precipitación. Algunos elementos, como el hierro (Fe), se utilizan en forma de quelatos para

mantener su disponibilidad durante el cultivo. Los medios de cultivo se pueden utilizar de forma líquida o con un agente gelificante como el agar. El medio más utilizado en este grupo de técnicas es el propuesto por Murashige & Skoog en 1962, conocido como MS.

## Resultados

Se logró reproducir con éxito, un total de 490,000 plantas, las cuales están distribuidas en 15 especies, que germinó y logró entrar a la fase de crecimiento. Estas fueron obtenidas a partir de una porción de tejidos laterales, callos celulares y semillas de cada cápsula sembrada en laboratorio. Las plantas que se encuentran en la fase de germinación y tienen entre 6-12 semanas de siembra, continúan en proceso hasta el tercer mes de crecimiento. Una vez se observa que las plantas sembradas en el medio con BAP

mostraron crecimiento lateral y brotes, son trasvasadas a nuevos medios de cultivo para fortalecer el crecimiento de los tejidos radiculares.

Para la producción de brotes en plántulas se recomienda usar un medio MS + BAP. La hormona 6-bencilaminopurina (BAP) acelera la producción de brotes que podrán luego ser separadas para producir plántulas nuevas. Para el género *Tillandsia*, se utilizará un medio MS con una concentración de 1 mg por litro de medio. Concentraciones mayores pueden provocar la necrosis de los tejidos y concentraciones menores no aceleran la formación de brotes. Esta concentración se estableció según pruebas anteriores para las especies trabajadas. En las pruebas anteriores se realizaron pruebas con distintas concentraciones de BAP y con medio 1/2MS.

Se realizaron siembras de las distintas especies que se tienen en cultivo para la formación de brotes. Se obtuvo brotes y se separaron un total de 6 especies de *Tillandsias*.

Para la producción de tejidos radiculares en plántulas se recomienda usar un medio MS + IBA. La hormona Ácido indol-butírico (AIB o IBA por sus siglas en inglés) provoca la producción y engrosamiento de las raíces. Esto permite darles fortaleza a las raíces para poder proceder a la aclimatación o rusticación de las plantas en tierra.

Para el género *Tillandsia*, se utilizará un medio MS con una concentración de 5.08 mg por litro de medio. Concentraciones mayores pueden provocar la necrosis de los tejidos y concentraciones menores no logran la

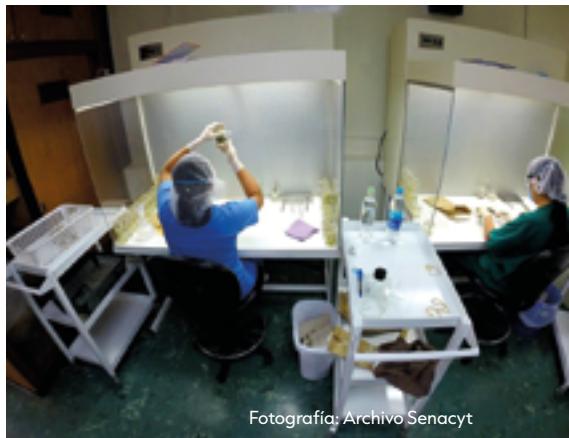
formación y engrosamiento de las raíces. Esta concentración se estableció según la literatura estudiada y pruebas anteriores para las especies trabajadas.

El manual general de protocolos de cultivo *in vitro* se presenta como un anexo de la investigación. Es la recopilación de todos los protocolos establecidos hasta el momento. Durante las consultorías se establecieron 11 protocolos de cultivo.

Los protocolos establecidos fueron 1) germinación de semillas de bromelias a partir de cápsulas cerradas, 2) germinación de semillas de bromelias a partir de cápsulas abiertas, 3) germinación de semillas de fresa, 4) desinfección de semillas contaminadas *In vitro*, 5) primer cambio de medio de semillas germinadas, 6) siembra para la

morfogénesis de fresa a partir de nervaduras y peciolos de las hojas, 7) siembra para la morfogénesis de Araceae (*Aglaonema* y *Philodendron*) a partir de nervaduras y peciolos de las hojas, 8) formación de brotes de bromelias, 9) producción de raíces, 10) aclimatación o rusticación de plántula y 11) descarte.

Se realizaron 8 talleres de actualización de protocolos y métodos de cultivo *In vitro*, principalmente en adaptaciones y conversión de medios de cultivo para la estimulación del proceso de diferenciación y desarrollo de organelos de las nuevas plántulas. También se ha continuado con las actualizaciones de los protocolos de esterilización y uso de equipos para el laboratorio.



Fotografía: Archivo Senacyt



Fotografía: Archivo Senacyt

## Conclusiones

- La reproducción y propagación vegetal, por medio de metodologías *In vitro*, es factible y funcional, siempre y cuando, se desarrollen protocolos específicos a cada tipo y variedad de planta.
- Es de alta importancia y prioridad, establecer procesos disciplinados de control para cada protocolo de esterilización y desinfección del material biológico vegetal.
- La optimización de producción masiva ( $> 10,000$ ) de plantas, por medio del uso de metodologías *In vitro*, requiere el diseño experimental basado en producción de callos celulares.
- Durante los procesos de reproducción *In vitro*, específicamente en plantas de la familia *Tillandsiidae*, el uso de la hormona 6-bencilaminopurina (BAP) aceleró la producción de brotes.
- El uso de la hormona Ácido indol-butírico (AIB o IBA por sus siglas en inglés), en brotes obtenidos en laboratorio por protocolos *In vitro*, mejora la producción y engrosamiento de las raíces.



Fotografía: Archivo Senacyt

## Recomendaciones accionables

Cada especie o incluso cada variedad de planta, ha desarrollado procesos metabólicos asociados directamente al medio natural al que se ha adaptado, por lo tanto, los protocolos *In vitro* formulados para inducir su multiplicación y reproducción asexual, deben de ser específicos a sus requerimientos fisiológicos coincidentes a las condiciones de origen.

Establecer procesos permanentes para la constante creación y actualización de los Manuales para Protocolos de cultivo *In vitro*: medios y métodos para la formación de brotes a partir de plántulas y tejidos cultivados por metodologías *In vitro*, que presenten resultados y sus correspondientes variaciones adaptadas a los constantes ensayos experimentales.



El éxito en la producción de brotes, mediante protocolos *In vitro*, debe ser registrado estadísticamente, de tal forma que, se pueda establecer el éxito con respecto al acompañamiento alterno con los protocolos para la formulación de medios de cultivo MS-agar, que induzca y favorezca el desarrollo de tejidos radiculares, principalmente con el uso de la hormona AIB.

Las plantas que han tenido éxito en la formación de tejidos radiculares, deberán ser registradas estadísticamente para establecer el éxito del cultivo *In vitro* controlado dentro del laboratorio. A la brevedad posible, el lote de plantas con éxito radicular maduro, deberán ser trasladadas a un estatus de cultivo en un sistema de invernadero controlado y con sustrato terrestre, esto permitirá fortalecer las raíces.

## Equipo de investigación

Hugo Enríquez Ortiz  
Investigador principal

---

Investigador con formación en biología, ecología y educación socioambiental. Ha participado en proyectos científicos orientados al análisis de impacto ambiental y al desarrollo de propuestas innovadoras en biotecnología, especialmente en reproducción vegetal *In vitro*. Desde 2007, acumula amplia experiencia en investigación de campo en Guatemala y Centroamérica, integrando equipos multidisciplinarios en diversos entornos. Ha trabajado como asesor técnico y científico para instituciones académicas, gubernamentales y privadas, contribuyendo al análisis ecológico y ambiental de proyectos relacionados con energía, minería, agricultura biotecnológica, industria alimentaria e infraestructura.

Correo electrónico:  
[hugo.eortiz@gmail.com](mailto:hugo.eortiz@gmail.com)

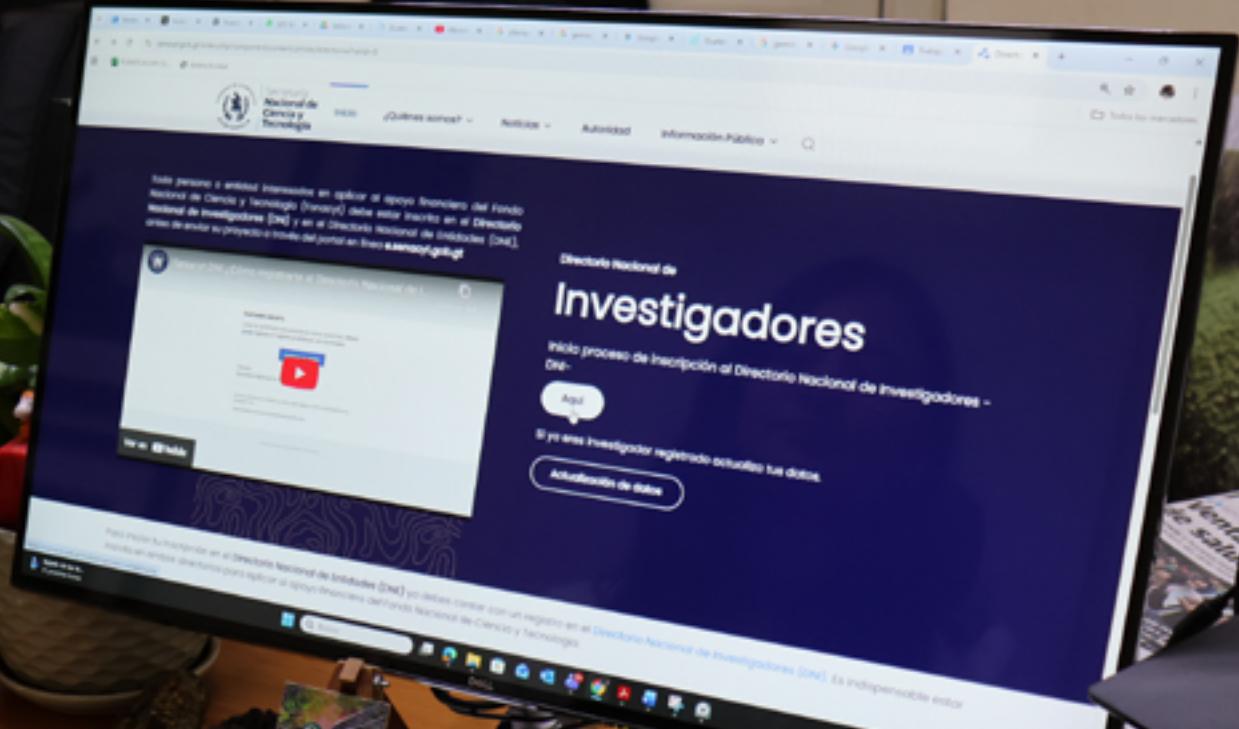
## Institución aval

EBA LAB *In vitro*, es un proyecto de CREA, S.A., establecido con el objetivo de innovar en el desarrollo de Biotecnología, y representa una oportunidad de crear alternativas comerciales, basadas en el desarrollo científico para la producción agrícola resiliente al cambio climático y la sostenibilidad de los recursos naturales para las generaciones del futuro, innovando los mecanismos de protección y conservación de recursos genéticos. Contamos con 10 años de experiencia, en investigación y formulación de protocolos de laboratorio, necesarios para la propagación *In vitro*, de plantas asociadas a la producción de medicamentos, alimentos (frutas, verduras, granos, etc.), cosméticos, ornamentales y materias primas en general.



# Educación y sociedad

Fotografía: Archivo Senacyt



Inscríbase en: [senacyt.gob.gt](http://senacyt.gob.gt)

## Directarios

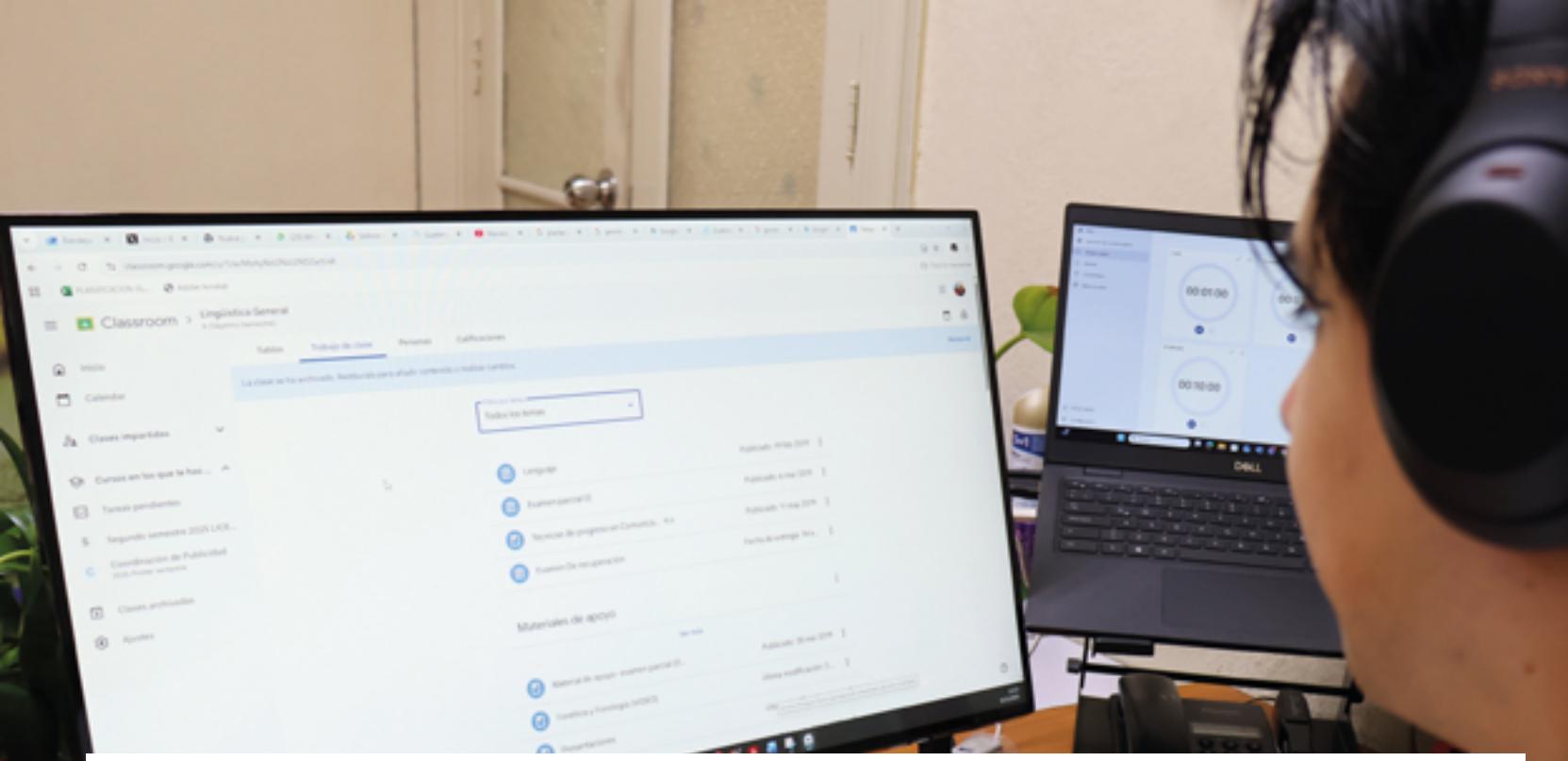
Toda persona o entidad interesados en aplicar al apoyo financiero del Fonacyt debe estar inscrita en los directorios.



Es un registro de guatemaltecos que realizan actividades científicas o tecnológicas en Guatemala y el mundo.



Es un registro de empresas e instituciones que realizan actividades científicas y tecnológicas en el país.



## Aseguramiento de la calidad educativa en la modalidad virtual a nivel universitario. Caso de estudio: Facultad de Ingeniería, USAC

**FINDECYT / SocialInvest No. 01-2022**

Martha Guisela Gaitán Garavito  
Investigadora principal

Carlos Leonel Muñoz Lemus  
Investigador asociado

Soraya del Rosario Martínez Sum  
Investigadora asociada

Jonathan Efrén Álvarez Cacacho  
Investigador asociado

## Introducción

La migración de los programas de la Facultad de Ingeniería, USAC, a la modalidad virtual, reveló la necesidad de plantear acciones para renovar la actividad docente asegurando su calidad. Para satisfacer el requerimiento se diseña un sistema de aseguramiento que guíe el actuar de profesores y administradores.

## Objetivo

Establecer un proceso de gestión educativa que permita asegurar la calidad de la educación superior en la modalidad virtual en la Universidad de San Carlos de Guatemala.

## Metodología

La investigación-acción orientó la inmersión a la problemática, desarrollada con un enfoque mixto: cualitativo, utilizando las técnicas de grupo focal y entrevistas con au-

toridades, profesores, administradores y especialistas en educación virtual; cuantitativo, encuestando a profesores, información que permitió identificar las fortalezas, oportunidades y debilidades de los procesos formativos.

Adicionalmente, un estudio documental consolidó los fundamentos teóricos sobre la calidad de la educación superior, su aseguramiento, sus requisitos e indicadores; aplicando técnicas de gestión de operaciones, se identificaron y definieron los procesos y procedimientos de la estrategia de aseguramiento.

## Resultado

- Un sistema para asegurar la calidad de la educación virtual, integrado por diez procesos críticos: Actualización del programa, revisión del programa, actualización del perfil de egreso y currículo,

inducción al docente, programa de actualización, planeación del aprendizaje, control del progreso de aprendizaje, evaluación del desempeño, control de competencias adquiridas y refuerzo académico; y cuatro de apoyo: Gestión de la admisión, evaluación del programa, actualización del aula virtual, Implementación y mantenimiento de la plataforma.

- Los procesos críticos agregan valor a la formación académica asociados a los factores que afectan la enseñanza y el aprendizaje: currículo, profesores, proceso formativo y estudiantes. Los de apoyo aportan información para mejorar el programa e implementar el soporte tecnológico requerido, se asocian a los factores gestión educativa y plataforma de aprendizaje.

- Cada proceso se integró por subprocesos; las tareas y rutas de ejecución, con objetivos, requisitos de calidad e indicadores para su evaluación, se describieron como procedimientos.

## Conclusiones

La calidad de la educación virtual se consigue al fortalecer e interrelacionar los procesos que gestionan las actividades docentes, asegurando que cada una de ellas se ejecute con la calidad esperada.

**Figura 1: Procesos de aseguramiento que integran el sistema de calidad**

<b>Procesos críticos</b>		
<b>Programa formativo</b>		
Actualización del programa	Revisión del programa	Actualización del perfil de egreso y currículo
Inducción	Programa permanente de actualización	Personal docente
<b>Proceso formativo</b>		
Planeación del aprendizaje	Control del desarrollo del proceso	Evaluación del desempeño
<b>Estudiantes</b>		
Control de competencias adquiridas	Refuerzo académico	

<b>Procesos de apoyo</b>			
<b>Gestión educativa</b>		<b>Plataforma de aprendizaje</b>	
Gestión de la admisión	Evaluación del programa formativo	Actualización del aula virtual	Implementación y mantenimiento de la plataforma

**Figura 2: Procesos de aseguramiento que integran el sistema de calidad**

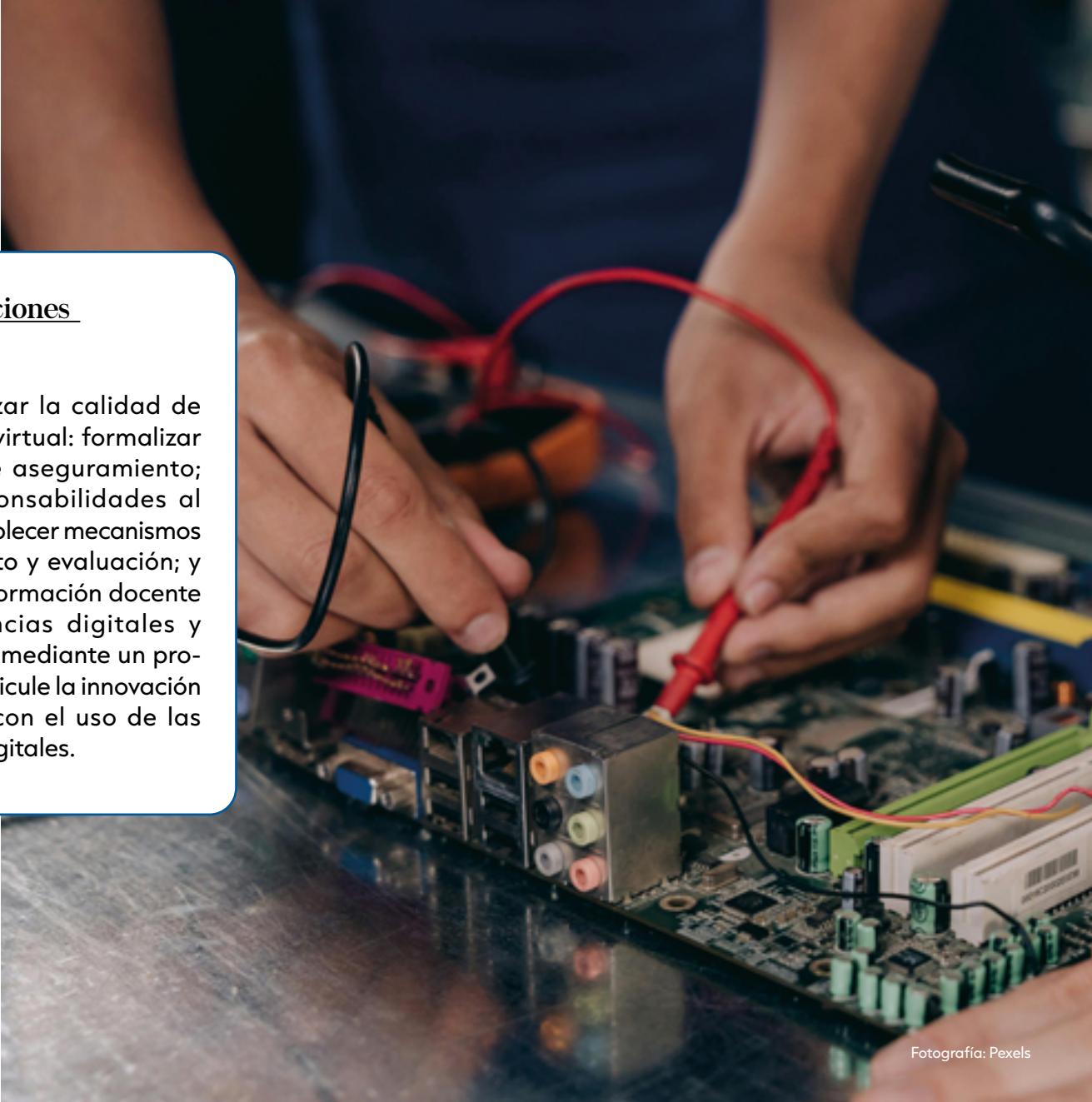
Proceso crítico	Actualización del perfil de egreso y currículo	Actualización del programa	Revisión del programa basado en evaluación comparativa	Inducción docente	Actualización docente	Planeación del proceso de enseñanza aprendizaje
Objetivo	Asegurar su conformidad a las necesidades del mercado laboral y la sociedad.	Asegurar que el currículo de los cursos se fundamentan en novedades disciplinarias, metodologías y recursos educativos producto de la innovación educativa.	Asegurar la competitividad curricular en el mercado laboral del país y/o en el extranjero.	Asegurar al docente de recién ingreso obtener el conocimiento suficiente para poder ejecutar el programa educativo exitosamente.	Garantizar que el docente cuente con actividades de formación que le permitan el desarrollo de sus competencias.	Describir secuencialmente el conjunto de actividades y tareas docentes, para organizar, orientar y controlar las acciones que deberán ejecutar los estudiantes en su aprendizaje.

Proceso crítico	Control del proceso de enseñanza aprendizaje	Evaluación del desempeño	Control de competencias adquiridas	Refuerzo académico
Objetivo	Establecer los requisitos y estándares de calidad de productos de aprendizaje y del aula virtual basados en los requisitos de calidad de la educación virtual.  Plantear herramientas para el autocontrol de calidad, por parte del docente, durante el ciclo lectivo procurando la mejora continua.	Conducir la implementación del control de los procesos conforme a los requisitos previamente establecidos, verificando que en su desarrollo y resultados se cumplan con los estándares, metas o expectativas de calidad.	Controlar el aprendizaje de los estudiantes durante su formación.	Asegurar la formación de los estudiantes hasta el momento de cerrar pénsum, garantizando el nivel de competencias para proceder a los exámenes generales y al Ejercicio Profesional Supervisado.

Proceso crítico	Gestión de la admisión	Actualización del aula virtual	Implementación y mantenimiento de la plataforma virtual	Evaluación del programa formativo
Objetivo	Garantizar que el estudiante de primer ingreso tenga el conocimiento suficiente para desarrollar el programa de formación exitosamente.	Mejorar continuamente el aula virtual de acuerdo con los requerimientos tecnológicos y docentes.	Facilitar un entorno virtual versátil para la gestión y creación de experiencias educativas digitales.	Obtener evidencias del nivel de efectividad del programa.  Retroalimentar el programa y plantear mecanismos de mejora.

## Recomendaciones accionables

Para garantizar la calidad de la educación virtual: formalizar el sistema de aseguramiento; asignar responsabilidades al personal; establecer mecanismos de seguimiento y evaluación; y fortalecer la formación docente en competencias digitales y pedagógicas, mediante un programa que articule la innovación pedagógica con el uso de las tecnologías digitales.



# Equipo de investigación

Martha Guisela Gaitán  
Investigadora principal

Carlos Leonel Muñoz Lemus  
Investigador asociado

Soraya del Rosario Martínez  
Investigadora asociada

Jonathan Efrén Álvarez  
Investigador asociado

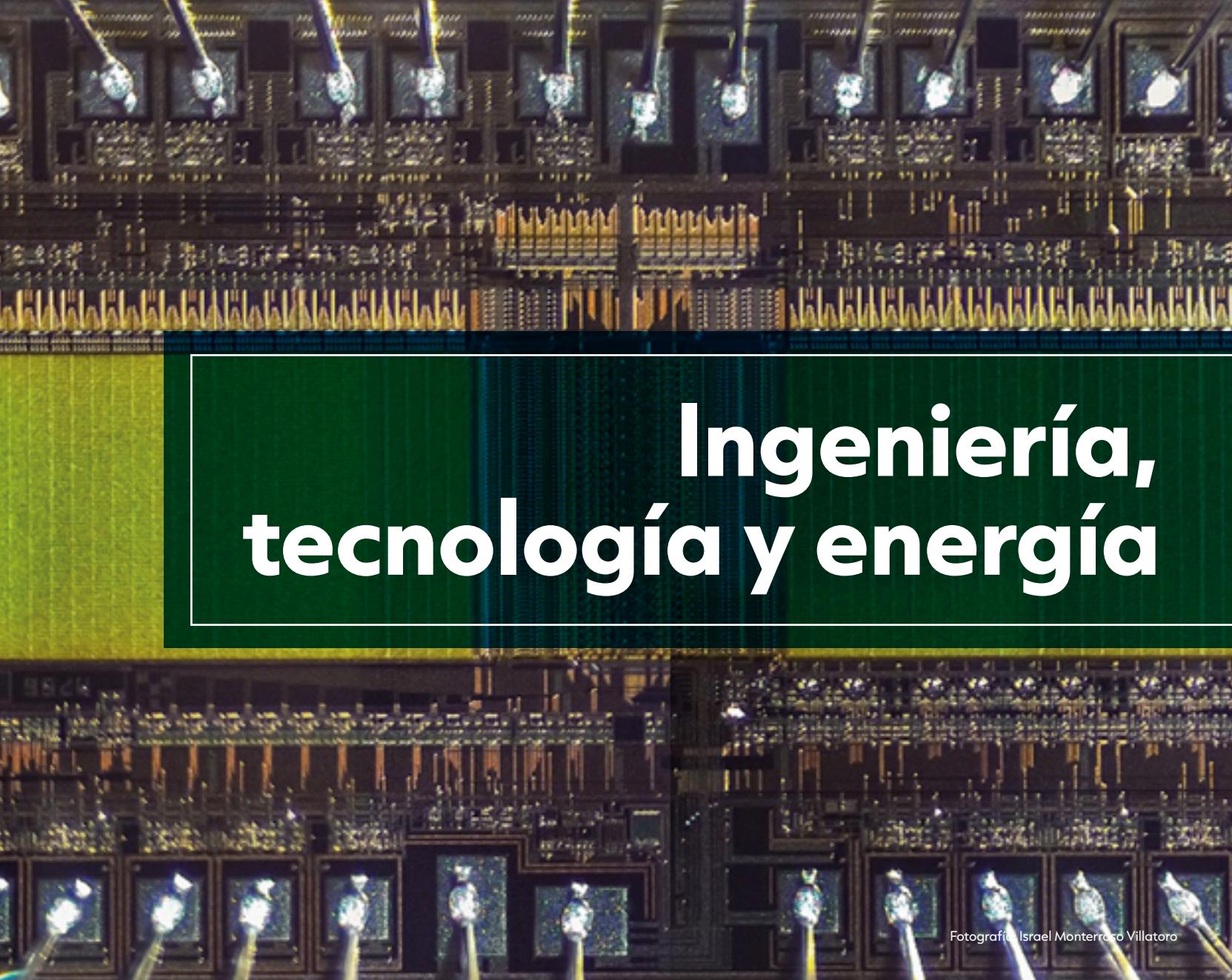
---

Doctora en Educación, Maestra en Docencia Universitaria, Especialista en Investigación Científica y Tecnológica e Ingeniera Industrial, USAC. Consultora e investigadora en el campo educativo. Publicaciones: Calidad de la Educación superior. Modelo para su Gestión, Ed. Universitaria, USAC, 2018.

Correo electrónico:  
[guiselagaitan@gmail.com](mailto:guiselagaitan@gmail.com)

## Institución aval

**Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala.** Las líneas de investigación se establecen de forma particular para cada una de las escuelas profesionales. Líneas generales: Ciencias Básicas, Ciencias Aplicadas a la Ingeniería, Tecnología, Energía, Vivienda, Transporte, Medio Ambiente e Innovación educativa.



# Ingeniería, tecnología y energía

# VIRTUAL

## BIBLIOTECA VIRTUAL

Este repositorio de acceso abierto garantiza a la sociedad guatemalteca la transparencia sobre la inversión en ciencia, ofreciendo acceso directo a la información generada por proyectos financiados por el Fondo Nacional de Ciencia y Tecnología. Buscamos informar y destacar el valor de la investigación en nuestro país.

<https://biblioteca.senacyt.gob.gt/opac/>

# VIRTUAL

## BIBLIOTECA VIRTUAL

# Aplicación de realidad aumentada con tecnología 3D para apoyar a la industria turística de Guatemala

**FINDECYT / Gestiona I+D No. 04-2021**

Mgtr. Rafael Garrido Flores  
Director

Lic. Luis Manuel Escobedo Figueroa  
Project manager

David Orozco  
Community manager



Fotografía: Mgtr. Rafael Garrido Flores

## Introducción

El proyecto KAN: Aplicación de realidad aumentada con tecnología 3D para apoyar a la industria turística de Guatemala, desarrollado por Rafael Garrido con el apoyo de Creatividad Gráfica, S.A., tuvo como propósito crear una herramienta tecnológica que permitiera enriquecer la experiencia de los visitantes en los parques arqueológicos del país, iniciando con Kaminaljuyú como sitio piloto.

La investigación buscó demostrar la factibilidad de integrar tecnologías inmersivas —como la realidad aumentada (RA) y los modelos tridimensionales (3D)— en la divulgación patrimonial, generando una experiencia educativa y culturalmente significativa que fortalezca el turismo histórico y la identidad nacional.

## Objetivos

El objetivo principal fue desarrollar un producto mínimo viable, MVP, (DEMO) de una aplicación de realidad aumentada capaz de recrear digitalmente las estructuras y personajes emblemáticos de Kaminaljuyú, para su futura implementación en otros parques arqueológicos del país.

## Metodología

El proyecto combinó investigación arqueológica, modelado 3D, diseño de interacción digital y pruebas de campo con georreferenciación GPS.

Se consultaron fuentes primarias y secundarias, además de asesorías de arqueólogos del Instituto de Antropología e Historia (IDAEH).

Los modelos se basaron en la maqueta existente en el museo de Kaminaljuyú y en mediciones físicas del terreno. Posteriormente, se desarrolló la App KAN (versión DEMO) y

se realizaron pruebas de campo para validar la funcionalidad de la realidad aumentada en entorno abierto.

## Resultados

El proyecto culminó con la entrega de un demo funcional que incluye seis puntos de experiencia dentro de Kaminaljuyú, con reconstrucciones digitales de estructuras, un gobernante animado y el personaje interactivo Kuk.

Los resultados evidencian la viabilidad técnica y educativa del uso de RA como herramienta para la difusión patrimonial y turística. KAN representa una plataforma innovadora replicable que puede aplicarse en otros sitios arqueológicos, fomentando el turismo cultural sostenible y la apropiación del patrimonio nacional.

### Recomendaciones accionables

Se recomienda integrar la realidad aumentada en la gestión de parques arqueológicos y museos como herramienta educativa y turística, bajo lineamientos técnicos del Ministerio de Cultura y Deportes, Instituto Guatemalteco de Turismo y el Ministerio de Educación. Asimismo, promover alianzas público-privadas que financien su expansión nacional, incorporando la tecnología en programas escolares para fortalecer la educación patrimonial y la identidad cultural.



Fotografía: Mgtr. Rafael Garrido Flores

## Equipo de investigación



Correo electrónico:  
[rafa@creatividad-grafica.com](mailto:rafa@creatividad-grafica.com)

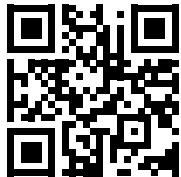
Mgt. Rafael Garrido Flores  
Director

Lic. Luis Manuel Escobedo  
Project manager

David Orozco  
Community manager

Rafael Garrido es diseñador y artista guatemalteco con una destacada trayectoria en la convergencia entre arte, tecnología y comunicación visual. Es egresado de la Universidad Rafael Landívar y posee un Máster en Animación por Ordenador y Síntesis de Imágenes otorgado por la Universidad de las Islas Baleares, España. Con más de treinta años de experiencia, ha dirigido proyectos de diseño, publicidad y desarrollo digital, además de desempeñarse como profesor universitario en publicidad, ilustración y animación. Su trabajo se enfoca en la aplicación de realidad aumentada, animación 3D e interactividad digital para la difusión del patrimonio cultural y la educación. En 2021, fue ganador de la Creative Business Cup Guatemala, representando al país en el certamen global en Dinamarca. En 2025 obtuvo el premio de Capital Semilla – Transición Digital, otorgado por el BCIE, KfW y la Unión Europea.

Proyecto KAN en  
<https://kan.com.gt>



## Institución aval

Con el apoyo de Creatividad Gráfica, S.A., se desarrolló el proyecto KAN: Realidad Aumentada para Parques Arqueológicos, una innovadora iniciativa que combina arte digital y tecnología para acercar la historia y la arqueología al público de forma inmersiva y accesible.

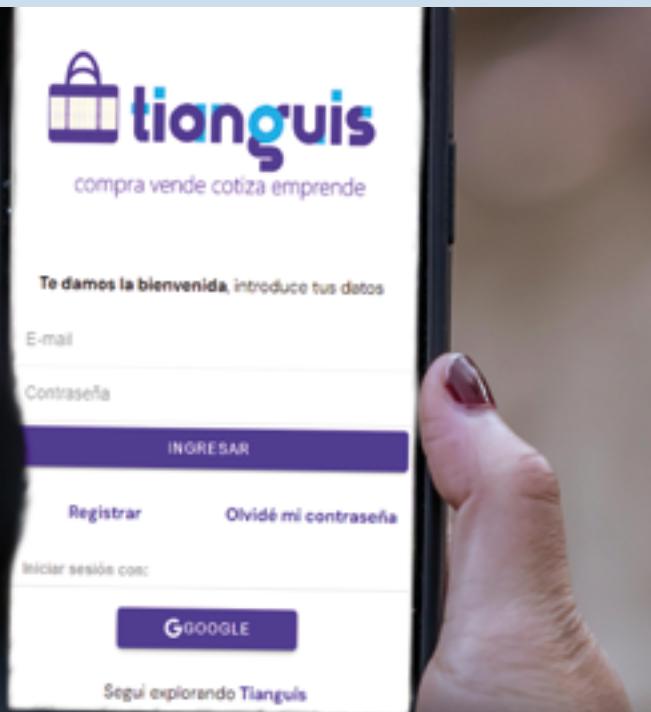
# Aplicación TIANGUIS

FINDECYT / Gestiona I+D No. 03-2021

Manuel Ricardo Bolaños Menéndez  
Investigador principal

Marco Túlio Linares Soto  
Investigador asociado

Sandra Yaneth Monroy García  
Investigadora asociada



## Introducción

El proyecto desarrolló una aplicación móvil llamada Tianguis para dispositivos Android e iOS, enfocada en revolucionar el mercado guatemalteco. Aborda desafíos como la complejidad en el registro de negocios y altos costos de publicidad, promoviendo el emprendimiento formal e inclusivo.

Contextualizado en la economía informal de Guatemala, facilita asesoría para inscripciones empresariales y una plataforma de comercialización innovadora con etiquetas inteligentes y cotizaciones automatizadas.

## Objetivos

Desarrollar un MVP de aplicación en la nube para comercialización rápida y económica de bienes y servicios.

## Metodología

- **Localización:** Jutiapa, Guatemala.
- **Población:** Profesionales (contadores, ingeniero) y estimada 47981 empresas (2010-2018).
- **Estrategia:** Ágil con Scrum (sprints de 15 días), incluyendo diseño UI/UX en Adobe XD, desarrollo frontend con Ionic, backend con NestJS y MongoDB.
- **Pruebas:** Funcionales, integración, usuarios.
- **Despliegue:** Google Cloud, Firebase. Fases: Planeación (1 mes), desarrollo (6 meses), validación (6 meses), crecimiento (11 meses). Incluyó focus group con 139 participantes.

## Resultados

Se creó Tianguis con autenticación, perfiles, marketplace, chat y cotizaciones.

- **Backend:** Diagrama ER, APIs en microservicios. Frontend: Pantallas intuitivas.
- **Despliegue:** Máquinas virtuales en Google Cloud, PWA web.
- **Validación:** 98.6% entendió concepto, 99.3% vio utilidad y facilidad.
- **Lanzamiento:** Se realizaron actividades como compra de dominios ([tianguis.app](http://tianguis.app), [tianguis.com.gt](http://tianguis.com.gt), [tianguis.gt](http://tianguis.gt)), creación de landing page, redes sociales (LinkedIn, Facebook, Instagram) y SEO. Para validación con vendedores en Jutiapa se contactaron empresas; concluyendo amabilidad, utilidad para ventas, valor en seguridad, pero necesidad de simplificar subida de productos. En tiendas, hubo problemas iniciales

para publicar en Google Play (aprobado pero no disponible al inicio) y App Store (pendiente).

- Como plan de contingencia, funciones disponibles en sitio web como PWA, cubriendo dispositivos vía navegadores.
- **Impacto:** Seguridad en transacciones, reducción costos publicidad.

## Conclusiones

Cumplió objetivos creando un ecosistema seguro para emprendedores. Facilita transición informal-formal, impulsando la economía local, regional y nacional.

**Ilustración 1 : Captura de pantalla de Sitio Web tianguis.app**

The screenshots illustrate the features and partners of the tianguis app. The top screenshot shows the main landing page with a smartphone icon and text about buying and selling online. The middle screenshot shows the 'CARACTERÍSTICAS' (Features) section, which includes sections for 'Compra' (Buying) and 'Vende' (Selling). The bottom screenshot shows the 'PARTNERS' (Partners) section, which lists various organizations and institutions that have partnered with the app.

## Recomendaciones accionables

- **Para políticas públicas:** Integrar Tianguis en programas del Ministerio de Economía para subsidiar capacitación digital a MIPYMES, facilitando formalización y reduciendo evasión fiscal.
- **Para comunidades:** Organizar talleres gratuitos en Jutiapa con la USAC para enseñar el uso de PWA, promoviendo emprendimiento local.
- **Para industrias:** Recomendar a cámaras empresariales adoptar la app para publicidad low-cost, integrando cotizaciones automatizadas.
- **Para programas académicos:** Incluir módulos sobre desarrollo de apps como Tianguis en carreras de ingeniería en universidades guatemaltecas.



## Equipo de investigación



Manuel Ricardo Bolaños  
Investigador principal



Marco Tulio Linares  
Investigador asociado



Sandra Yaneth Monroy García  
Investigadora asociada

---

El equipo combina liderazgo tecnológico, gestión pública y auditoría. Manuel Ricardo Bolaños Menéndez (IP) es Contador Público y Auditor (CPA No. 4101), docente universitario y asesor/auditor en varias municipalidades; cursa doctorados y maestrías en administración, gestión pública y fiscalización. Lideró el proyecto Tianguis (2021-2023) y recibió el reconocimiento "Profesional Ilustre Región Oriente 2025".

## Institución aval

Centro Universitario de Jutiapa de la Universidad de San Carlos de Guatemala. Sus líneas de investigación incluyen alimentación, nutrición, desarrollo rural, educación, medio ambiente, salud, ciencias básicas, cultura, energía, seguridad ciudadana y tecnología, enfocadas en soluciones nacionales.

Correo electrónico:

[manuel.ricardo.cpa@gmail.com](mailto:manuel.ricardo.cpa@gmail.com)



## Conversión de vehículo de gasolina a eléctrico

**FINDECYT / TransfiereCTi No. 02-2021**

Sergio Danilo Argueta Batres  
Coordinador responsable



## Introducción

Convertir vehículos de gasolina a eléctricos permite reutilizar automóviles existentes y reducir emisiones contaminantes.

En Guatemala existe un parque vehicular mayor a 3 millones de automotores, responsables del 75% de las emisiones contaminantes del país. El proyecto propone una alternativa económicamente accesible frente a los vehículos eléctricos nuevos.

## Objetivos

Elaborar un prototipo de movilidad eléctrica, convirtiendo un vehículo de gasolina a eléctrico cuyo uso principal sea en centros urbanos, que sea amigable con el medioambiente, beneficioso para la salud y que signifique ahorros importantes en el gasto del combustible.

## Metodología

El proyecto inició con la selección de un vehículo adecuado, priorizando bajo peso bruto y transmisión mecánica, dado que estas variables influyen directamente en el torque, la autonomía y la velocidad del sistema eléctrico instalado.

- Se eligió un Chevrolet Spark 2006, cuyo peso original era de 776 kg. Se procedió al retiro completo del sistema de combustión. Posteriormente se instaló un motor eléctrico trifásico de 18 kW, acoplándolo a la caja de cambios mediante un adaptador fabricado en torno, asegurando alineación y transferencia de torque hacia las ruedas.
- Se integró el controlador, el pedal electrónico de aceleración, el convertidor DC–DC y el dispositivo de programación del controlador para definir parámetros de voltaje de operación, corriente de carga, descarga y sentido de giro.
- Se instaló una batería de litio de 109.5 V y 140 Ah (15.33 kWh) en la parte trasera del vehículo. El cargador de litio de 2160 W / 108 V, capaz de conectarse a tomacorriente de 110/220 VAC, fue fijado en la parte frontal e integrado mediante una toma industrial en el punto donde se encontraba la entrada del combustible.
- Tras la integración eléctrica, se reforzó suspensión y sistema de frenos para soportar el nuevo peso total cercano a los 1000 kg, considerando el peso agregado por la batería.
- Finalmente, se ejecutaron recorridos reales en ciudad para medir indicadores definidos: autonomía, velocidad máxima, consumo de energía y reducción de CO<sub>2</sub>.

## Resultados

Tras la conversión, el vehículo eléctrico logró una autonomía de 113 km por carga completa, calculada a partir de una prueba de recorrido real de 23 km en ambiente urbano, donde se consumió únicamente el 20.4 % de la batería, permitiendo extrapolar el rendimiento total.

El vehículo alcanzó una velocidad máxima de 80 km/h. El peso total del vehículo no superó los 1000 kg, manteniéndose por debajo del límite metodológico definido de 1500 kg, lo que contribuyó al desempeño en autonomía y eficiencia.

En términos de costo, la carga completa de la batería —15.33 kWh— tuvo un gasto de Q18.86, según la tarifa eléctrica registrada en la factura de EEGSA, lo que representa un costo de movilidad significativamente menor al de un vehículo de combustión. La conversión permitió eliminar emisiones contaminantes: durante la prueba

de 23 km se evitó la emisión de 2.74 kg CO<sub>2</sub>, y al proyectar la autonomía total por carga, el prototipo evita 11.91 kg CO<sub>2</sub> cada 113 km recorridos.

## Conclusiones

- La conversión del vehículo Chevrolet Spark 2006 a sistema eléctrico demostró que es técnicamente viable transformar un vehículo de gasolina en un medio de movilidad urbana eficiente, eliminando el uso de combustibles fósiles.
- El prototipo cumplió con todas las metas definidas: se mantuvo por debajo del límite establecido de 1500 kg incluyendo batería y sistema eléctrico, lo que permitió alcanzar la autonomía planificada y la velocidad requerida.
- Se confirmó que el espacio liberado por el retiro del sistema de combustión permitió la correcta instalación del motor eléctrico, la batería de litio y los componentes asociados, sin modificaciones estructurales que comprometieran la integridad del vehículo.
- Se verificó que la conversión elimina emisiones contaminantes, ya que el prototipo puede dejar de emitir 11.91 kg de CO<sub>2</sub> por cada carga completa.



**Foto 1:** Controlador conectado al motor eléctrico.



**Foto 2:** Cargador instalado en la parte delantera.



**Foto 3:** Programando el controlador del motor.

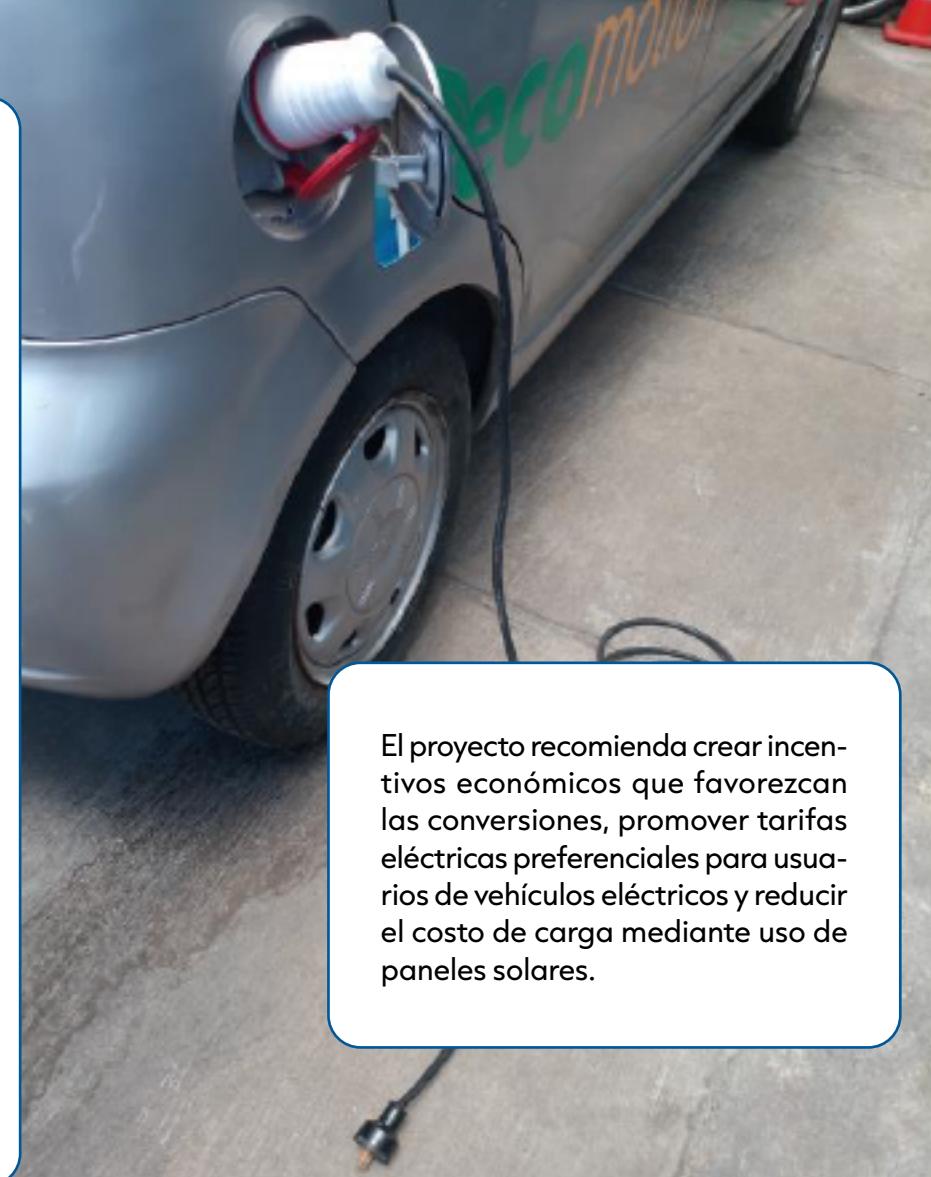
## Recomendaciones accionables

Se recomienda ampliar la aplicación del sistema de conversión utilizando no solo vehículos funcionales, sino también aquellos que estén fundidos, sin motor o sin repuestos, dado que el sistema eléctrico es transferible, desmontable y rearmable en otros vehículos, excepto las baterías que se degradan con el uso.

Se sugiere impulsar que instituciones del Estado migren progresivamente sus flotas hacia movilidad eléctrica como acción directa para reducir la huella de carbono, sirviendo como ejemplo para la población.

Para facilitar el uso del vehículo convertido, es necesario actualizar los procesos en el registro vehicular de la SAT para reconocer legalmente los cambios de gasolina a eléctrico y permitir circulación sin restricciones.

El proyecto recomienda crear incentivos económicos que favorezcan las conversiones, promover tarifas eléctricas preferenciales para usuarios de vehículos eléctricos y reducir el costo de carga mediante uso de paneles solares.





# Cambio climático, medio ambiente y agua

# MIÉRCOLES DE CIENCIA

## PODCAST



Actúa como puente entre la ciencia y la población guatemalteca, ofreciendo acceso a información actualizada sobre avances científicos y tecnológicos.

Conéctate con nosotros



[Escucha aquí.](#)





## Determinación de la dinámica espacial del corredor seco de Guatemala durante el período 2000-2020

**FINDECYT / GeneraCyT No. 11-2022**

Dr. Alfredo Salvador Gálvez  
Investigador principal

Dra. Mayra Castillo Montes  
Investigador asociado

Dr. José Luis Argueta Mayorga  
Investigador asociado

Mtro. Walter Arnoldo Bardales Espinoza  
Investigador asociado

Br. Eugenio Miguel Polanco Sotoj  
Auxiliar de investigación

## Introducción

El objeto del estudio es contribuir con la definición, caracterización y dinámica del Corredor Seco en Guatemala, considerando la combinación de factores geográficos, climáticos y socioeconómicos, utilizando para el efecto imágenes satelitales y análisis espacial.

Considerando parámetros climáticos, crecimiento poblacional e impacto del fenómeno del Niño, sobre la precipitación y dinámica de cambio de uso del suelo.

## Objetivos

Determinar, mediante el análisis e interpretación de imágenes satelitales, la distribución geográfica del Corredor Seco de Guatemala a lo largo del período 2000 a 2020.

## Metodología

- **Área de estudio:** 199 municipios, 20 departamentos, 38,467.7 km<sup>2</sup>.

- **Variables dependientes:** Cobertura del suelo (forestal, agrícola, pastizal, humedales, infraestructura, otras tierras).
- **Variables independientes:** El promedio anual del Índice El Niño Oceánico (ONI) y la población anual, por municipio.
- **Indicadores:** ONI, SPI, Índices para la interpretación de datos de las imágenes satelitales, NDWI; clasificación de uso de suelo mediante Random Forest, validación con matriz de confusión.
- **Análisis espacial:** Índice de Morán, agrupamiento LISA para correlacionar ENSO y uso de suelo; correlación con crecimiento poblacional.

## Resultados

Se generaron mapas de cobertura del suelo para los años 1999 a 2022, mostrando la distribución geográfica de los distintos tipos de uso del suelo y su dinámica de cambio entre años sucesivos.

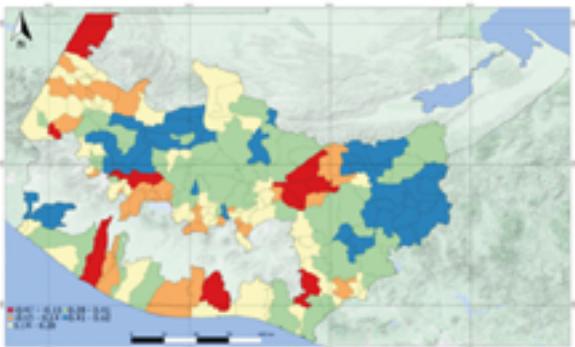
Además, se calcularon índices de correlación de Pearson para relacionar la cobertura de tierras forestales, agrícolas y pastizales con el índice ONI del fenómeno ENSO, evidenciando la influencia climática sobre la dinámica del uso del suelo. De manera similar, se correlacionó el crecimiento poblacional por municipio con la extensión del corredor seco, mostrando una tendencia de crecimiento positiva y proyectando una población de 10 millones para 2035, con resultados de correlación representados en mapas para los distintos tipos de cobertura.

## Conclusiones

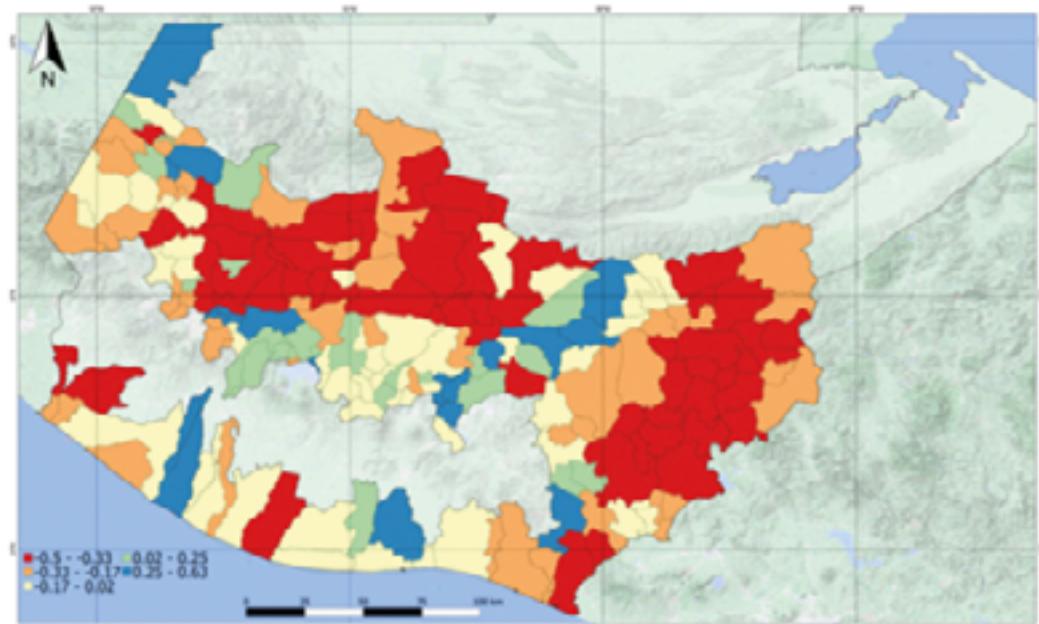
El estudio evidenció que el ENSO es el principal factor que determina la dinámica del Corredor Seco, mientras que los cambios de uso del suelo y el crecimiento poblacional contribuyen en menor grado. Entre 2013 y 2022, la cobertura forestal disminuyó del 34% al 24%, las tierras agrícolas se mantuvieron relativamente estables con un leve incremento del 3%, y los pastizales aumentaron del 36% al 43%, reflejando tanto el impacto del ENSO como de la presión poblacional.

Las correlaciones negativas entre población y áreas forestales y agrícolas, y positivas con pastizales, consolidan a estos últimos como el indicador más sensible del efecto del fenómeno climático, mientras que la metodología satelital y geoestadística permitió un monitoreo preciso y visual de la evolución del Corredor Seco.

**Figura 1:** Mapa de la correlación de Pearson de pastizales y el índice de El Niño Oscilación Sur durante el período 2022-1999

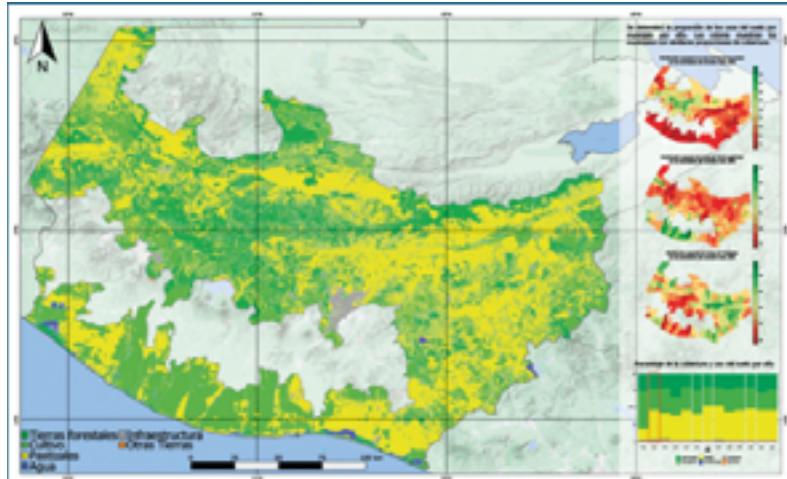


**Figura 2:** Mapa de la correlación de Pearson de tierras agrícolas y el índice de El Niño Oscilación Sur durante el período 2022-1999

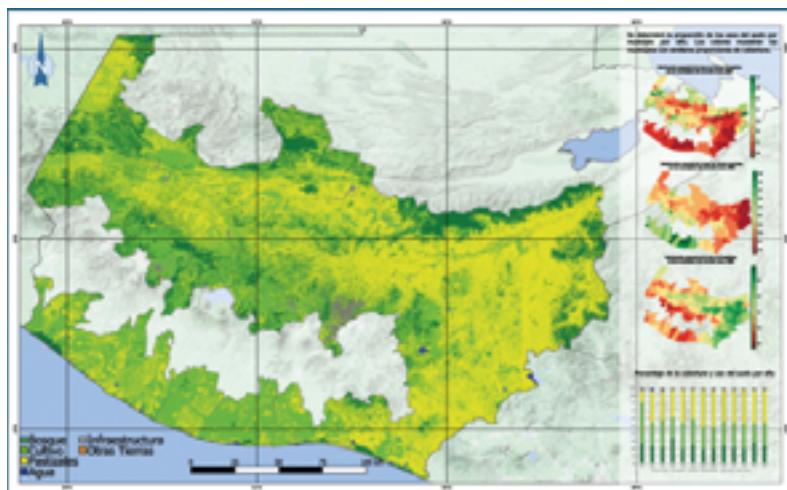


## Recomendaciones accionables

La investigación mostró que el Corredor Seco de Guatemala es dinámico y vulnerable al ENSO, afectando hasta el 40% del territorio. Destaca el aumento de pastizales y la necesidad de reforestar especies nativas, así como considerar el impacto de población, migración y remesas en el cambio de uso del suelo, y complementar el estudio con análisis nacional de sequías entre 2014 y 2020.



**Figura 3:** Mapa de la dinámica de la cobertura del suelo 2003



**Figura 4:** Mapa de la dinámica de la cobertura del suelo 2020

# Equipo de investigación

Dr. Alfredo Salvador Gálvez  
Investigador principal

Dra. Mayra Castillo Montes  
Investigador asociado

Dr. José Luis Argueta Mayorga  
Investigador asociado

Mtro. Walter Arnoldo Bardales  
Investigador asociado

Br. Eugenio Miguel Polanco Sotoj  
Auxiliar de investigación

---

El Dr. Gálvez Sinibaldi, Químico egresado de la USAC, completó sus estudios de maestría y doctorado en la Universidad de Oklahoma, Estados Unidos. Actualmente, se desempeña como investigador y docente en la Escuela de Estudios de Postgrado de la Facultad de Ingeniería de la USAC, colaborando con los programas de Doctorado en Cambio Climático y Sostenibilidad y Doctorado en Investigación. Sus investigaciones se centran en Geoquímica Orgánica y del Petróleo.

## Institución aval

**Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala (USAC).**

Correo electrónico:  
[alfredo.galvez@usac.edu.gt](mailto:alfredo.galvez@usac.edu.gt)



# Estudio Hidrogeológico de la subcuenca del Río Teocinte para determinar las áreas principales de recarga hídrica y propuesta en alternativas de un plan de conservación

**FINDECYT / GeneraCyT No. 03-2022**

Dr. Tomás Antonio Padilla Cámbara  
Investigador principal

M. Sc. Ing. Pedro Alejandro Soto Reyes  
Investigador asociado

Ing. Jorge Luis Azzari Domínguez  
Asistente de investigación

## Introducción

Debido al crecimiento poblacional exponencial de la capital, la dependencia del agua subterránea ha aumentado. Las fuentes de agua a menudo están contaminadas y son insuficientes para satisfacer la demanda.

El estudio se enfoca en la subcuenca del río Teocinte para comprender sus características hidrológicas y componentes biofísicos, proporcionando información de relevancia para la gestión sostenible de sus recursos hídricos.

## Objetivos

Evaluar el sistema hidrogeológico de la subcuenca del río Teocinte para determinar las áreas principales de recarga hídrica y proponer alternativas para un plan de conservación. Los objetivos específicos inclu-

yerón evaluar la geología local, cuantificar el agua superficial disponible, estimar la recarga hídrica mediante un balance hídrico, analizar la naturaleza química del agua subterránea y determinar la oferta y demanda del recurso en la zona.

## Metodología

Se empleó un enfoque multifacético. Se recopiló información biofísica y se creó una base de datos de pozos mecánicos en la zona. Se analizaron datos climáticos de cinco estaciones meteorológicas para calcular la evapotranspiración. El agua superficial se cuantificó midiendo los caudales del río creando un hidrograma.

La recarga hídrica se estimó superponiendo mapas de geomorfología, series de suelo y uso actual del suelo para definir unidades de muestreo

donde se realizaron pruebas de infiltración. Las características del acuífero se determinaron mediante pruebas de bombeo, utilizando los métodos de Theis y Jacob. La calidad del agua se evaluó analizando cinco muestras representativas y creando un diagrama de Piper.

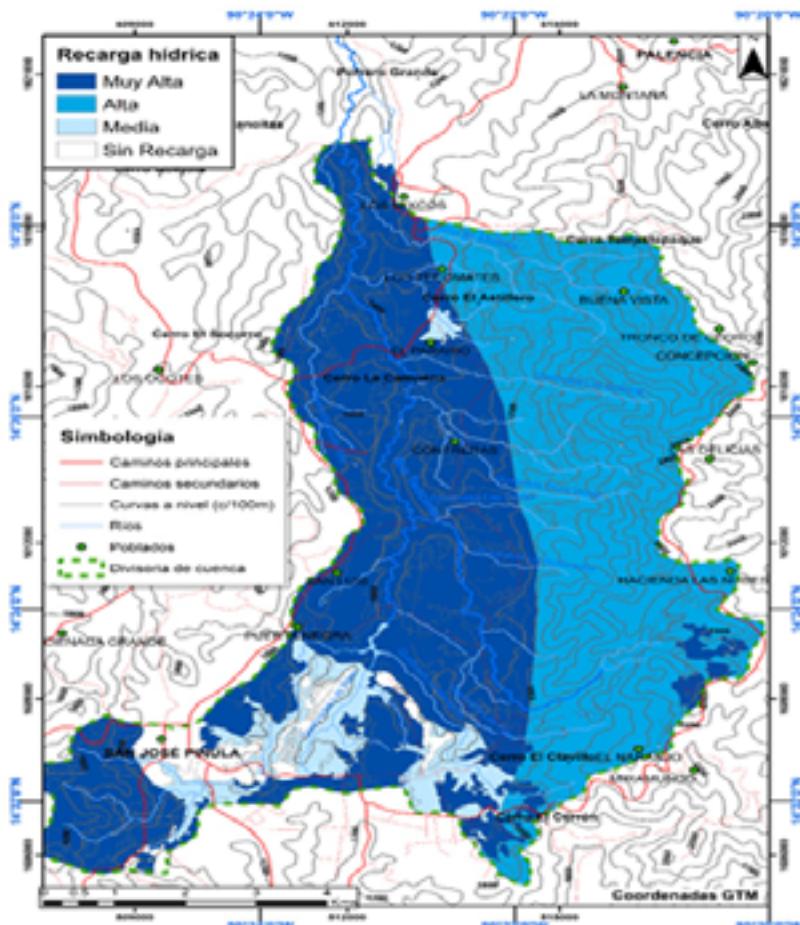
## Resultados

La geología se define por una base de tobas y lavas de la era Terciaria (zona saturada) y una capa superior de piroclastos del Cuaternario (zona no saturada). El acuífero se clasifica como semi-confinado, con una transmisividad de regular a buena.

La recarga hídrica total anual de la subcuenca se calculó en 7.17 millones de metros cúbicos. La mayor parte del área (57.2%) se clasifica como potencial de recarga "Muy Alto". La calidad del agua subterránea

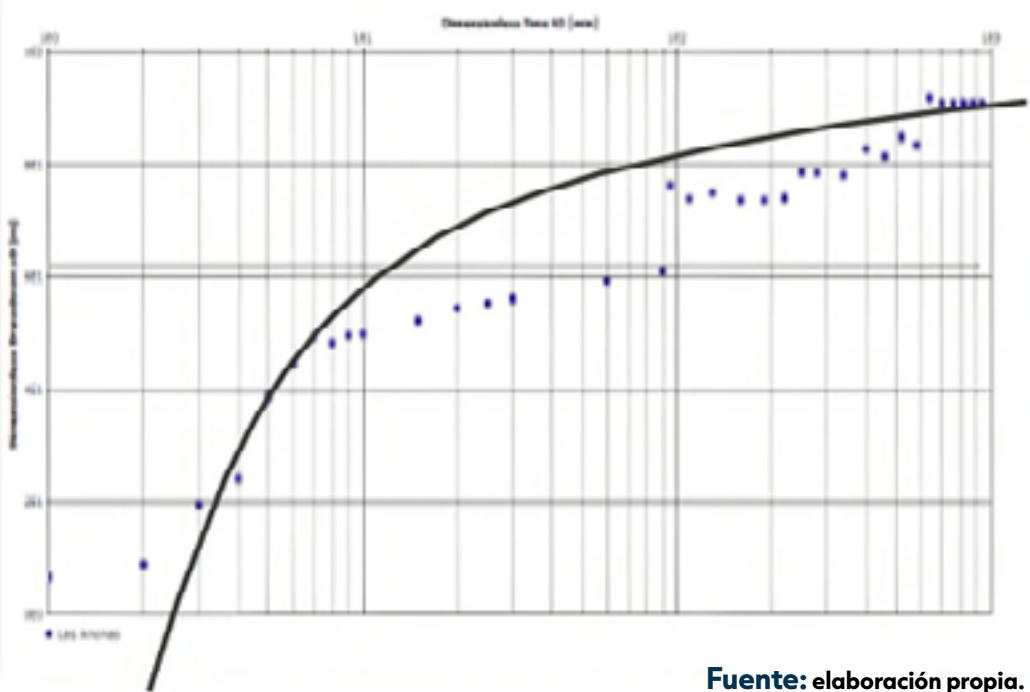
**Figura 1: Mapa de zonas de recarga hídrica de la subcuenca del río Teocinte.**

es generalmente buena, con bajos niveles de nitratos y otros contaminantes, siendo apta para el consumo humano. Se encontró que la extracción actual de agua subterránea (7.06 millones de m<sup>3</sup>/año) representa el 98.47% de la recarga total anual, indicando un uso intensivo del recurso.



**Fuente:** Elaboración propia.

**Figura 2: Gráfico de Theis de prueba de bombeo del pozo Aldea Las Anonas, San José Pinula.**



**Fuente:** elaboración propia.

### Conclusiones

La geología de la subcuenca, compuesta por formaciones volcánicas, crea un acuífero semi-confinado productivo. El flujo de agua subterránea va de sur a norte, influenciado por las fallas geológicas de la zona. Aunque el suministro de agua es actualmente favorable, el acuífero se encuentra bajo un estrés significativo, ya que se extrae casi el 98% de su recarga anual. La parte este de la subcuenca es un área de recarga importante.

## Recomendaciones Accionables

Implementar un programa de monitoreo continuo de los niveles y la calidad del agua subterránea. Crear zonas de conservación reguladas en las áreas de alta recarga identificadas para prevenir actividades dañinas. Desarrollar un plan de gestión hídrica integral en coordinación con municipalidades y comunidades locales.



Fotografía: Dr. Tomás Antonio Padilla Cámbara

# Equipo de investigación

Dr. Tomás Antonio Padilla Cámbara  
Investigador principal

M. Sc. Ing. Pedro Alejandro Soto Reyes  
Investigador asociado

Ing. Jorge Luis Azzari Dominguez  
Asistente de investigación

El equipo de investigación está integrado por el investigador principal, el Dr. Padilla Cámbara, Ingeniero Agrónomo de la USAC, posee una maestría en Ciencias en Hidrogeología de la Universidad de Costa Rica y un doctorado en Ciencias en Técnicas Agropecuarias con énfasis en Manejo del Recurso Hídrico de la Universidad de Ciego de Ávila, Cuba; además es profesor titular en la Facultad de Agronomía de la USAC, investigador y consultor. Como investigador asociado participa el Ing. Pedro Alejandro Soto Reyes, Ingeniero en Gestión Ambiental Local (USAC), con una maestría en Ciencias en Gestión de Recursos Hidrogeológicos y especialización en Geología, quien también se desempeña como investigador y consultor individual. Finalmente, como asistente de investigación colabora el Ing. Jorge Luis Azzari Dominguez, ingeniero en Gestión Ambiental de la Facultad de Agronomía de la USAC.

Correo electrónico:  
[tpadillacambara@gmail.com](mailto:tpadillacambara@gmail.com)

## Institución aval

La Facultad de Agronomía de la Universidad de Carlos de Guatemala, se destaca por contemplar dentro de sus ejes de investigación la zonificación y planificación técnica de cuencas, manejo sustentable del agua y ambiente natural en general, aplicándose en docencia, extensión y gestión ambiental.

# Aplicación de modelos matemáticos para explicar y proyectar escenarios futuros de las amenazas climáticas asociadas con el cambio climático en Guatemala

**FINDECYT/ GeneraCyT No. 08-2022**

William Adolfo Polanco Anzueto  
Investigador principal

Mayra Virginia Castillo Montes  
Investigadora asociada

Paris Francisco Rivera Ramos  
Investigador asociado

Walter Arnoldo Bardales Espinoza  
Investigador asociado

Gerald Dean Andersson Argueta Girón  
Investigador asociado



## Introducción

La sociedad civil y sectores productivos de Guatemala priorizan la reducción de impactos por variabilidad climática. Los modelos matemáticos son herramientas clave para explicar estas amenazas y facilitar la adaptación al cambio climático.

Guatemala ha sufrido eventos extremos recurrentes: huracanes (Mitch 1998, Stan 2005, ETA e Iota 2020) con lluvias máximas, y sequías (1998, 2001-2003, 2009, 2015-2016, 2018) que han generado deslizamientos, inundaciones y erosión.

La población se había adaptado a patrones climáticos establecidos, especialmente para agricultura durante la temporada de lluvias. Sin embargo, el cambio climático ha alterado estos patrones, alternando entre períodos muy secos y lluvias extremas. Esta variabilidad

creciente coloca a la población en un riesgo desconocido, haciendo urgente desarrollar herramientas de análisis que permitan evidenciar amenazas climáticas futuras y prevenir impactos negativos.

## Objetivos

Explicar las amenazas asociadas con la variabilidad climática por medio de la modelación matemática para proyectar escenarios futuros que coadyuven a la adaptación y mitigación de los impactos del cambio climático en Guatemala.

## Metodología

El estudio utilizó un enfoque cuantitativo, longitudinal explicativo y correlacional de diseño no experimental, analizando precipitación, temperatura y evapotranspiración.

Se gestionaron datos diarios de INSIVUMEH, ICC, ANACAFE e INDE,

aplicando control de calidad mediante RCLimdex (R) para detectar vacíos y valores dudosos. Las series históricas se completaron con datos de reanálisis usando Climatol (R), que también permitió control de calidad mensual y regionalización climática.

Los umbrales de amenazas se estimaron mediante percentiles 10 y 90 (según OMM), analizando múltiples indicadores: días secos/húmedos consecutivos, precipitación total, eventos extremos de lluvia, duración de época lluviosa, rangos de temperatura, olas de calor y períodos fríos.

Se calcularon amenazas de sequía, inundación, olas de calor y heladas, determinando distribuciones de probabilidad teórica mediante modelos estadístico-matemáticos. La mejor distribución se seleccionó con pruebas Kolmogorov-Smirnov y Chi-cuadrado.

Se analizó la correlación entre amenazas y teleconexiones climáticas, cuantificando probabilidades de ocurrencia por estación. El análisis de variabilidad climática evaluó cambios y tendencias durante 40 años (1981-2020).

Para modelar espacialmente se aplicó regresión múltiple combinada con inverso de distancia ponderada (temperatura) y solo inverso de distancia ponderada (lluvia). Las proyecciones futuras (2030-2100) utilizaron escenarios AR6 del IPCC, generando mapas y gráficos de tendencias.

## Resultados

- **Umbrales de amenazas climáticas:** Se determinaron exitosamente los umbrales para cada variable climática. Los índices de cambio climático generaron gráficas que muestran el com-

portamiento de eventos extremos de temperatura (1971-2021) y precipitación (1981-2020).

- **Correlación amenazas-teleconexiones:** Se calculó la matriz de correlaciones de Spearman para 226 estaciones, 12 índices y 11 teleconexiones, totalizando 29,832 correlaciones condensadas en 10 boxplot y tablas resumen. Los resultados revelaron una fuerte correlación entre el aumento de temperaturas extremas en Guatemala (índice TN90P) y los cambios de temperatura oceánica del Atlántico Norte y Pacífico Occidental-Central.
- **Modelos matemáticos:** Se aplicaron métodos de análisis multivariado (regresión múltiple, regresión por componentes principales y correlación canónica) para predecir índices de amenazas. Utilizando distribuciones

de probabilidad teóricas con parámetros calculados según el comportamiento de datos, las distribuciones Lognormal y Normal fueron las de mejor ajuste según criterios AIC y BIC.

- **Proyecciones futuras:** Se proyectaron exitosamente las amenazas climáticas mediante mapas para el periodo 2030-2100 en las distintas regiones de Guatemala.

## Conclusiones

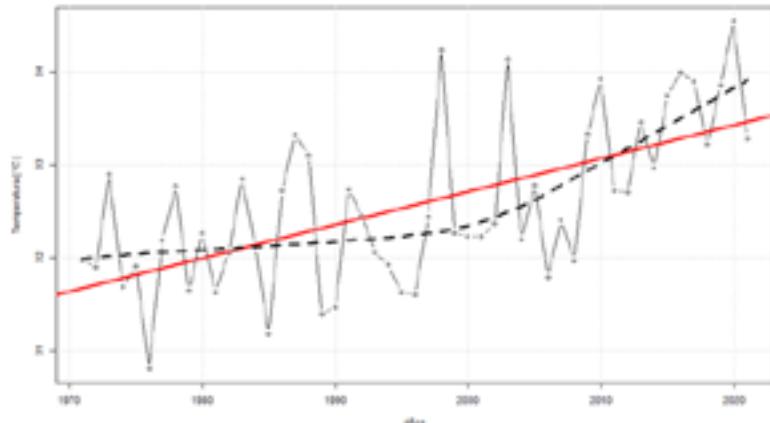
El estudio analizó exitosamente las amenazas de variabilidad climática en Guatemala mediante modelación matemática, identificando umbrales de eventos extremos y revelando aumentos en temperatura y variabilidad de precipitación.

Se estableció correlación significativa entre amenazas y teleconexiones climáticas, con proyecciones que indican incremento en eventos extremos hacia 2100.

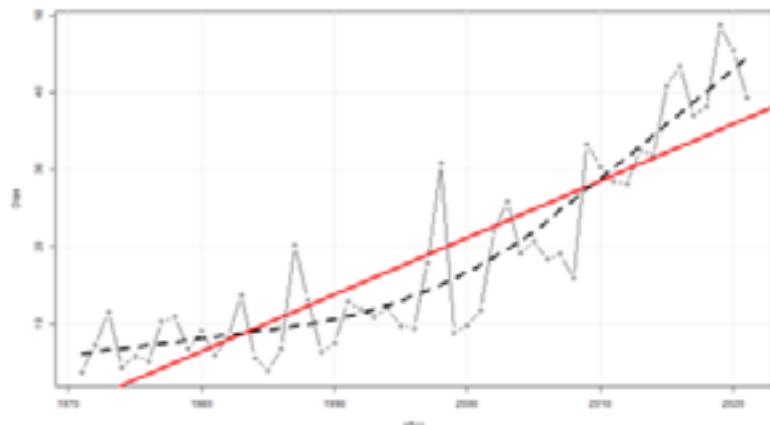
Se caracterizaron las amenazas climáticas identificando tendencias significativas: aumento de temperatura máxima, días cálidos y calor extremo; reducción de precipitaciones que afectará recursos hídricos; y evapotranspiración relativamente estable (aumenta en años El Niño, disminuye en La Niña).

Las correlaciones revelaron interrelaciones significativas: AMO y WHWP correlacionan con calor extremo, mientras ONI se vincula a reducción de eventos fríos. Los índices de precipitación muestran aumentos (1970-1985) seguidos de disminución (década

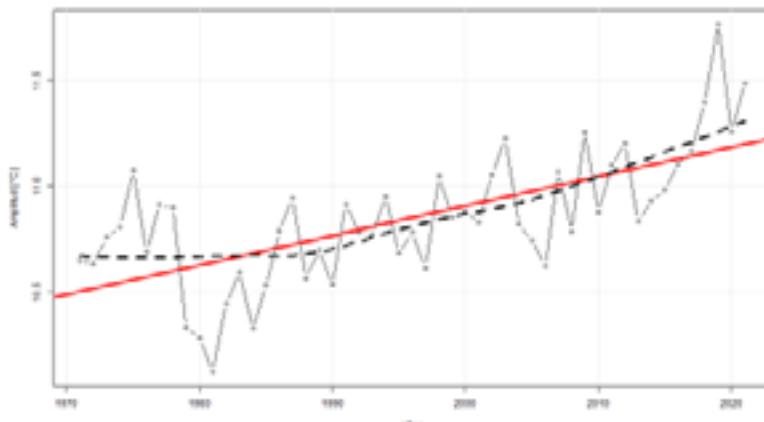
**Figura 1:** Tendencia de la temperatura máxima anual (TXx) de la República de Guatemala período 1971-2021.



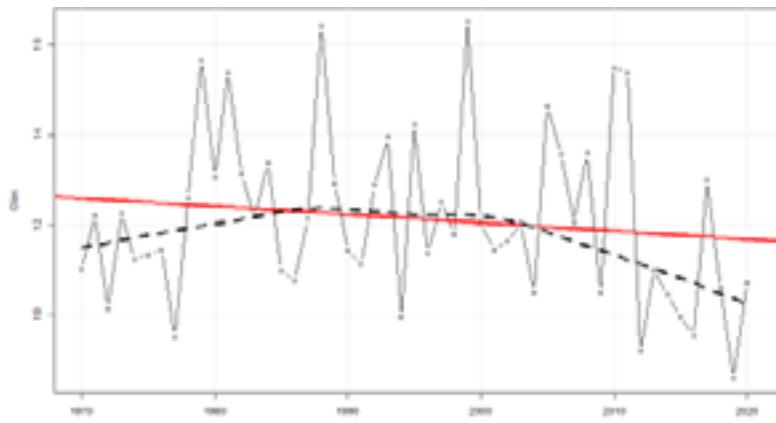
**Figura 2:** Tendencia de los días cálidos (TX90P) de la República de Guatemala período 1971-2021.



**Figura 3:** Tendencia de la amplitud térmica (DTR) de la República de Guatemala período 1971-2021.



**Figura 4:** Tendencia de días húmedos consecutivos (CWD) de la República de Guatemala, período 1971-2020.



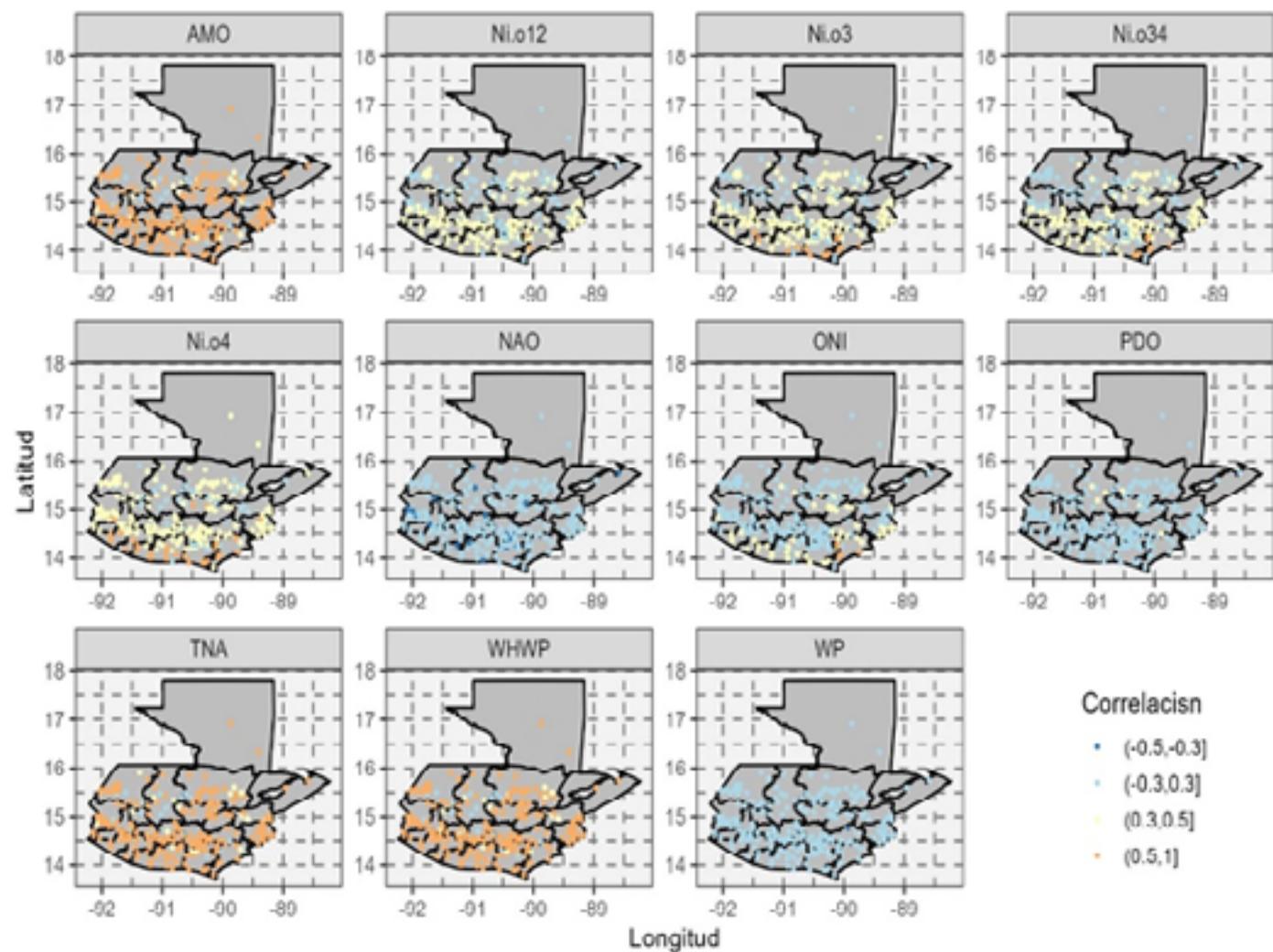
da 2000), con relación inversa a El Niño en el altiplano central.

Los índices TXx, SDII y CDD representan amenazas graves para la salud, agricultura e infraestructura. Los modelos matemáticos (distribuciones Lognormal y Normal) facilitaron explicar amenazas climáticas (1981-2020) y proyectar escenarios futuros.

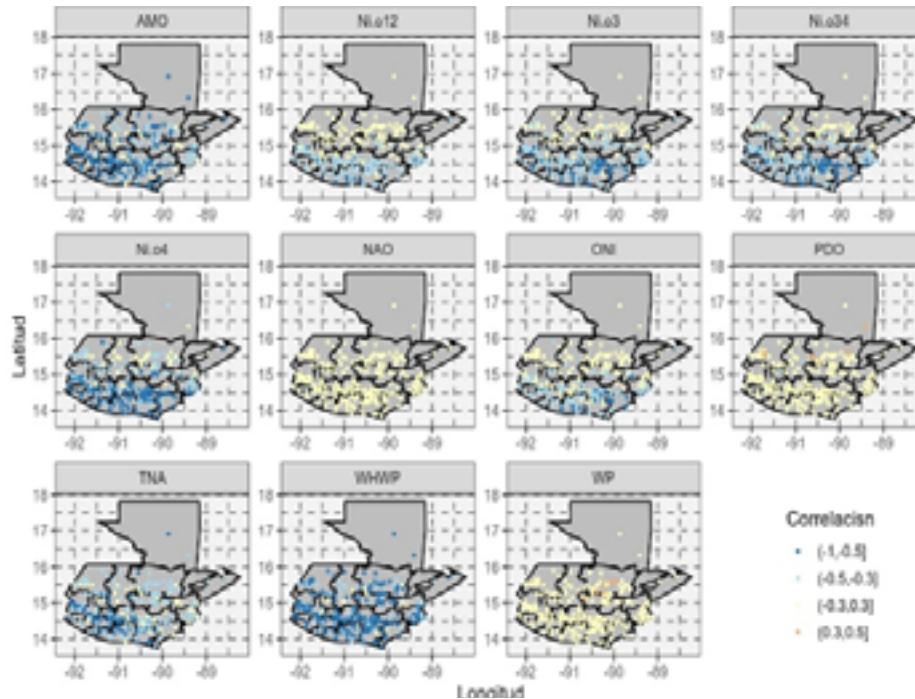
Las teleconexiones (ENSO, NAO, PDO) modulan patrones de precipitación y temperatura, siendo fundamentales para entender escenarios futuros. Los modelos que integran ONI y NAO permiten proyecciones precisas vitales para agricultura y gestión hídrica.

Las proyecciones 2030-2100 evidencian aumento continuo de eventos extremos, destacando la urgencia de implementar estrategias de adaptación y mitigación a nivel regional y nacional.

**Figura 5: Correlación teleconexiones climáticas e Índice TN90P de noches cálidas período 1971-2021.**



**Figura 6: Correlación teleconexiones climáticas e Índice TX10P días fríos período 1971-2021.**



### Recomendaciones accionables

Se recomienda ampliar investigaciones climáticas incorporando variables adicionales y análisis geoespaciales; invertir en equipamiento de monitoreo climático e infraestructura computacional avanzada; promover cultivos resistentes al calor y estrés hídrico en agricultura; fortalecer infraestructura hídrica resiliente con base en proyecciones climáticas; e integrar hallazgos científicos en políticas públicas de adaptación y mitigación del cambio climático a nivel nacional y local.

## Equipo de investigación



William Adolfo Polanco  
Investigador principal



Mayra Virginia Castillo Montes  
Investigadora asociada



Walter Arnoldo Bardales  
Investigador asociado



Paris Francisco Rivera Ramos  
Investigador asociado



Gerald Dean Andersson Argueta  
Investigador asociado

---

William Adolfo Polanco Anzueto es licenciado en Matemática Aplicada. Postgrados en: Estadísticas de Población y Desarrollo, Análisis de Datos, Estadística Aplicada. Docente Universitario.

Correo electrónico:  
[wapolanco@ing.usac.edu.gt](mailto:wapolanco@ing.usac.edu.gt)

## Institución aval

Facultad de Ingeniería de la Universidad San Carlos de Guatemala, por medio de la Unidad de Modelación Matemática e Investigación-UMMI de la Escuela de Ciencias. Líneas de Investigación utilizando modelación matemática en: Variables Climáticas, Regionalización de Variables Climáticas, Movilidad en entornos próximos, Métodos de Interpolación.

# Humedales naturales para sistemas de tratamiento de aguas residuales

**FINDECYT/InterCTi No. 01-2021**

Ing. Jorge Iván Cifuentes Castillo  
Investigador principal

Paris Rivera Ramos  
Investigador asociado

Jennyfer Paiz Rosales  
Investigadora asociada



## Introducción

Las aguas sin tratar representan una amenaza significativa para la salud pública y la biodiversidad, ya que su manejo inadecuado favorece la propagación de enfermedades y la degradación ambiental.

Los humedales naturales son medios semiterrestres con un alto grado de humedad y vegetación que poseen características biológicas, físicas y químicas que les confieren un elevado potencial autodepurador, ocupando el espacio entre medios secos y húmedos.

La implementación de estos sistemas también puede generar impactos positivos en la conservación de la biodiversidad y el uso sostenible de los recursos naturales, promoviendo soluciones accesibles y replicables en distintas zonas del país.

## Objetivos

Evaluar la factibilidad técnica, económica del tratamiento de agua residual doméstica a través de humedales como una solución a la reducción de contaminación generada por las aguas residuales no tratadas.

## Metodología

El proyecto evaluó humedales construidos como alternativa para el tratamiento de aguas residuales. Se realizaron muestreos en humedales y plantas de tratamiento (Tabla No.1). En cada visita se midieron parámetros del agua in situ (pH, conductividad, turbidez y oxígeno disuelto) con equipo multiparámetro, registrando las coordenadas GPS para asegurar la precisión y trazabilidad. Adicionalmente, se recolectaron muestras en recipientes estériles que fueron analizadas en laboratorios especializados para determinar la concentración

de metales pesados mediante espectrofotometría UV-Vis. Con los datos obtenidos se elaboró un plan replicable para implementar humedales en comunidades y municipalidades, junto con herramientas de transferencia de conocimiento como un manual técnico y la plataforma internacional (Constructed Wetlands Knowledge Platform) CWKP.

## Resultados

Los humedales construidos demostraron alta eficiencia en la reducción de contaminantes del agua. Se lograron disminuciones de materia orgánica, medida como DBO (Demanda Bioquímica de Oxígeno) y DQO (Demanda Química de Oxígeno), dos indicadores que muestran cuánta contaminación orgánica está presente en el agua y cuánto oxígeno se requiere para degradarla. Las reducciones obtenidas oscilaron

entre 16% y 95% para DBO, DQO, grasas, nitrógeno, fósforo y sólidos suspendidos. En el caso de metales pesados, las eliminaciones alcanzaron hasta 85% para cromo VI, 53% para cadmio y 53% para hierro total. Los sistemas mostraron bajos costos de implementación (Q1,200–Q2,800 por m<sup>2</sup>), escasos requerimientos de operación y poca superficie necesaria (0.5–2 m<sup>2</sup> por persona). El proyecto generó productos concretos para facilitar su adopción: un manual práctico para construcción de humedales, la plataforma CWKP y publicaciones científicas. También se realizaron talleres y actividades de transferencia de conocimiento en la ciudad de Guatemala y el departamento de Petén.



**Figura 1:** Humedal construido EMAPET, Petén, visita realizada en mayo 2022.

## Conclusiones

El estudio demostró que los humedales construidos son una tecnología eficaz, económica y sostenible para el tratamiento de aguas residuales, con capacidad comprobada de reducir contaminantes orgánicos, nutrientes, metales pesados y coliformes fecales. Su operación es simple, requiere poca energía y menos infraestructura que los sistemas convencionales. Los hallazgos del estudio permitieron elaborar un plan de implementación replicable para comunidades y municipalidades. El proyecto facilitó la adopción institucional de esta tecnología mediante herramientas de transferencia de conocimiento, incluyendo un manual técnico, la plataforma CWKP y publicaciones científicas, impulsando así el uso de soluciones basadas en la naturaleza y decisiones fundamentadas en evidencia.

**Tabla 1: Identificación de puntos de muestreo.**

Lugar	Localización	Tipo de tratamiento	Entidad
ERIS - USAC	14.578350589026824, -90.53631349613286	Humedal construido de única etapa	Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria, USAC
		Humedal construido de doble etapa	
Atitlán	14.736166203457781, -91.15578551915576	PTAR lodos activados	AMSCLAE
	14.721898005061114, -91.13500591396961	PTAR lodos activados	Municipalidad de Santa Catarina Palopó
	14.741224867826729, -91.16322509322067	Lago de Atitlán	Municipalidad de Panajachel
Petén	16.99290, -89.69276	Lago Petén Itzá (dos puntos de muestreo)	Municipalidad de Petén
Izabal	15.65617, -88.99807	Río Dulce	--
Amatitlán	14.488222705901865, -90.61184528501839	Lago de Amatitlán (dos puntos de muestreo)	Municipalidad de Amatitlán - AMSA
Ciudad de Guatemala	--	Humedal construido	Privado

Fuente: Elaboración propia.



**Figura 2:** Humedal construido ERIS, zona 13 Guatemala. Etapa 1 y 2, visita realizada en mayo 2022.

## Recomendaciones accionables

Las autoridades responsables de la gestión de lagos y cuencas deben implementar humedales construidos para tratar aguas residuales, ya que son económicos, sostenibles y adaptables a zonas urbanas y rurales. Las plantas municipales de tratamiento pueden incorporarlos para recuperar ríos y acuíferos afectados, mientras que la agroindustria (azúcar, palma, café, hortalizas), así como la minería e industria del cemento, pueden utilizarlos para reducir cargas de materia orgánica, sólidos suspendidos y metales pesados.

Los humedales construidos permiten aprovechar la biomasa generada como recurso energético o como productos de valor agregado (compost, flores, plantas), integrándose a modelos de economía circular y generando ingresos para las comunidades. Para asegurar su funcionamiento a largo plazo, se requiere establecer monitoreo fisicoquímico y microbiológico del agua tratada, así como mantenimiento regular del humedal.

## Equipo de investigación

Ing. Jorge Iván Cifuentes Castillo  
Investigador principal

Paris Rivera Ramos  
Investigador asociado

Jennyfer Paiz Rosales  
Investigadora asociada

---

El Ing. Jorge Iván Cifuentes; Ingeniero Mecánico. Máster en Ingeniería Mecánica y Nanotecnología en Kyung Hee University, Corea del Sur. Docente de grado y postgrado. Investigador principal de la Unidad de Investigación de la Escuela de Ingeniería Mecánica de FIUSAC. Consultor en Kavic Engineering.

## Institución aval

Universidad de San Carlos de Guatemala, a través de la Facultad de Ingeniería y su Unidad de Investigación de Ingeniería Mecánica, con apoyo de la Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria (ERIS-USAC).



## Determinación de la estabilidad geotécnica del talud del deslizamiento del barrio El Centro, La Unión Zacapa

**FINDECYT / Gestiona I + D No. 01-2021**

Ing. Geol. Francis Emanuel Salguero Díaz  
Investigador principal

Ing. Civil Jorge Alejandro Arévalo Valdés  
Investigador asociado

Institución aval: Centro Universitario de Zacapa, USAC



Ocurrencias típicas de coluvión en el área de investigación

## Introducción

En La Unión, Zacapa, los sistemas coluviales representan un grave desafío para la estabilidad del terreno, debido a la interacción entre factores naturales y antropogénicos. La topografía montañosa, la meteorización de los materiales y la humedad inducida por la deficiencia en el sistema de alcantarillado y la gestión de las aguas pluviales agravan la cohesión del suelo y aumentan su plasticidad, lo que incrementa el riesgo de deslizamientos peligrosos.

Estos problemas se ven acentuados por la intervención humana en el territorio, especialmente a través de la presencia de coluviones y rellenos antropogénicos que modifican la dinámica geológica natural.

## Objetivos

Caracterizar el desarrollo y las relaciones lito-estructurales que poseen

los sistemas coluviales activos del municipio de La Unión, Zacapa.

## Metodología

- La metodología empleada para abordar este problema incluyó el mapeo geológico mediante fotogeología y topografía obtenida a través de un vuelo fotogramétrico ortorectificado, que permitió identificar una interacción compleja entre unidades de Filita y Granito.
- Se realizaron estudios sísmicos de refracción, geofísicos eléctricos 1D y 2D, así como prospección geotécnica para evaluar las condiciones del terreno y su susceptibilidad a deslizamientos.

## Resultados

Estos estudios revelaron la existencia de al menos 28 elementos geológicos en la zona, incluidos

lineamientos y fallas activas como la Falla El Centro, que impactan directamente la infraestructura habitacional.

Los coluviones son críticos para el riesgo de deslizamientos, mientras que las áreas de filita compacta presentan mayor estabilidad, aunque existen zonas con bajo riesgo de licuefacción, particularmente en áreas saturadas.

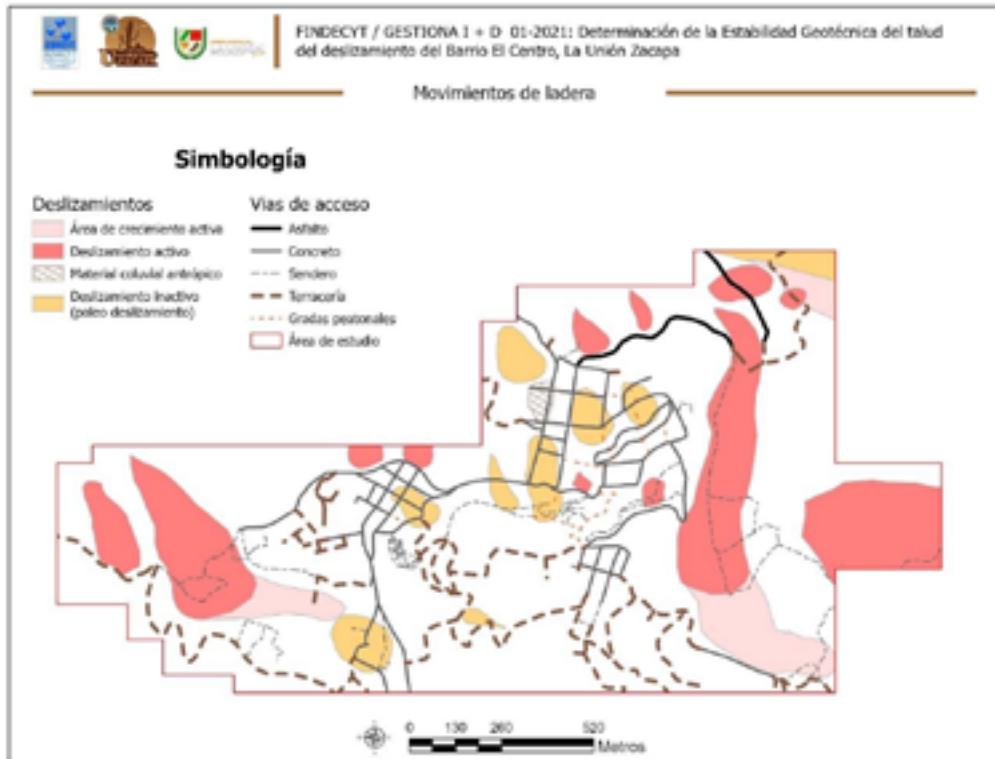
Los análisis geotécnicos identificaron zonas con alta susceptibilidad a inestabilidad, especialmente en áreas de coluvión, mientras que otras zonas de consistencia media a densa presentaron mejores capacidades de soporte.

Las variaciones en la cohesión y el ángulo de fricción interna dependen de la topografía, mostrando mayor estabilidad en zonas elevadas.

## Conclusiones

La Unión enfrenta un reto significativo debido a su geología y topografía, lo que aumenta su vulnerabilidad a deslizamientos. Los estudios realizados y los Mapas Geotécnico y de Vulnerabilidad revelan que algunas áreas del municipio son adecuadas para el desarrollo, pero otras requieren atención urgente y la implementación de medidas preventivas, como sistemas de drenaje y rellenos estructurales, para garantizar la seguridad en la construcción y la habitabilidad en la región.

**Figura 1: Mapa de movimientos de masa**



## Recomendaciones accionables

Se recomienda implementar un plan integral de gestión del suelo que contemple la estabilización de taludes, mejora del drenaje y control de rellenos antropogénicos. Deben integrarse los resultados geológicos en la planificación territorial y construcción urbana, aplicar cimentaciones profundas en zonas vulnerables y mantener monitoreos continuos para reducir riesgos geotécnicos.



**Figura 2:** Mapa geológico detallado del área de estudio con SEV y perfiles A, B y C.

El mapa geológico de superficie se tomó del estudio geológico del Proyecto FINDECYT/GESTIONA I + D 01-2021, "Determinación de la Estabilidad Geotécnica del talud del deslizamiento del Barrio El Centro, La Unión Zacapa"

# Digitalización de infraestructura verde para la gestión sostenible de los recursos hídricos

**FINDECYT/InterCTi No. 02-2021**

Ing. Jorge Iván Cifuentes Castillo  
Investigador principal

Wener Ochoa  
Investigador asociado

Andrea Barrera  
Auxiliar de investigación

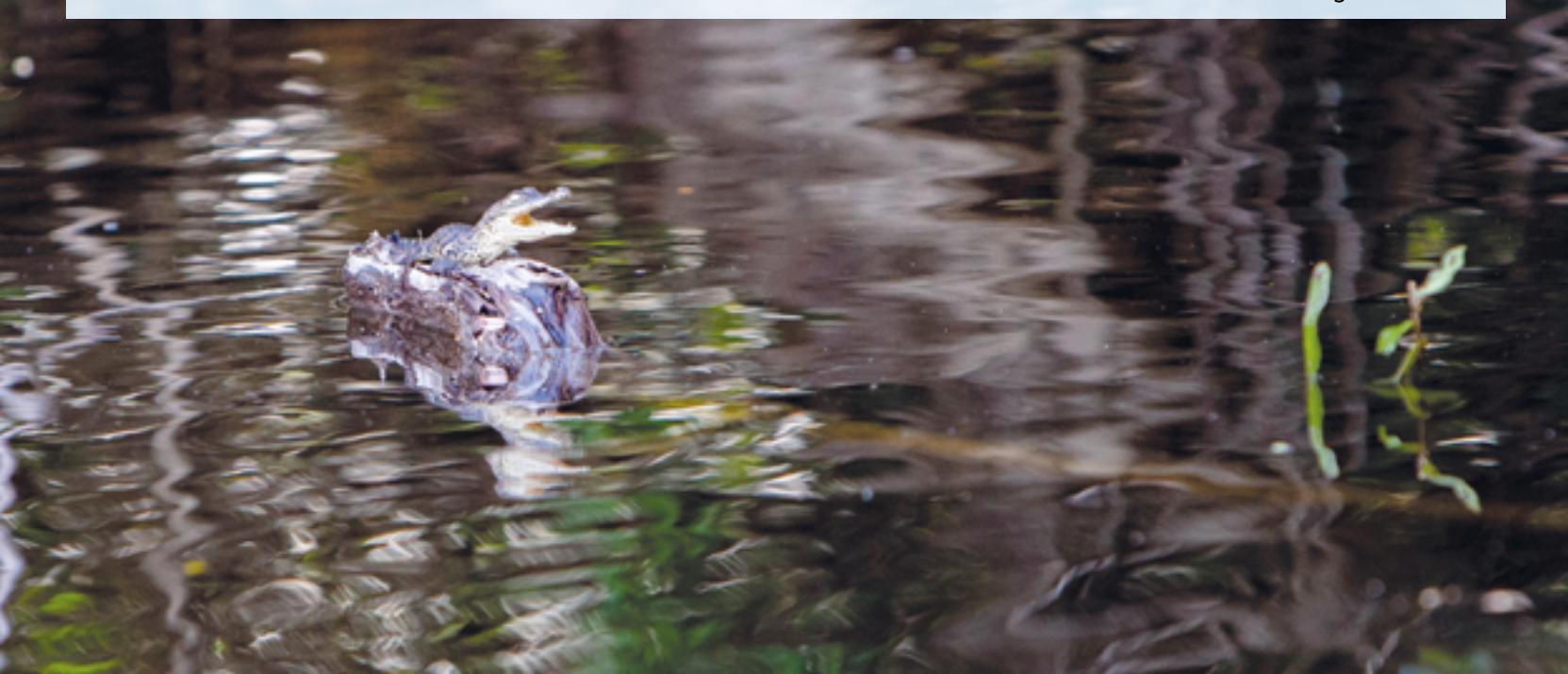
Osber Carias  
Investigador asociado

Walter Estupiñán  
Auxiliar de investigación

Migdalia del Cid  
Investigadora asociada

Karla Corzantes  
Auxiliar de investigación

Institución aval: Facultad de Ingeniería, Usac



## Introducción

La gestión sostenible de recursos hídricos en Guatemala enfrenta desafíos significativos debido a factores como el crecimiento poblacional, la actividad industrial y el cambio climático. El presente estudio aborda esta problemática mediante la implementación de la recarga gestionada de acuíferos (RAG), una técnica que combina métodos tradicionales y tecnologías avanzadas para mejorar la cantidad y calidad del agua subterránea.

## Objetivos

Desarrollar y utilizar herramientas basadas en las Tecnologías de Información y Comunicación (TIC), junto con observaciones científicas de los ciudadanos para el diseño e implementación de Recarga Gestión de Acuíferos (RGA) como un componente inspirado en la naturaleza de la sostenibilidad y gestión de

los recursos hídricos como respuesta a la problemática de disponibilidad del recurso hídrico.

## Metodología

La metodología integró herramientas tecnológicas, monitoreo hidrogeológico y participación ciudadana.

- Se estableció un sitio piloto en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales "Ing. Arturo Pazos Sosa" de la Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria (ERIS).
- Se realizaron levantamientos topográficos, modelaciones hidrogeológicas, análisis fisicoquímicos y de infiltración, se diseñó infraestructura de recarga con pozos y sistemas de captación pluvial, además de talleres de formación técnica.
- Finalmente, se elaboraron directrices para replicar el modelo en otras regiones del país.

## Resultados

Planta de Tratamiento de la ERIS-USAC, validando su viabilidad técnica, ambiental y social. Se comprobó una alta capacidad de infiltración en suelos arenosos y una mejora en la calidad del agua recargada. El monitoreo continuo permitió obtener datos hidrogeológicos confiables sobre niveles freáticos, caudales y parámetros fisicoquímicos.

Se desarrollaron herramientas tecnológicas como sistemas de monitoreo automatizado y plataformas para analizar la dinámica de recarga, además de un manual técnico y un protocolo de tesis que estandarizan la metodología para futuras aplicaciones. Se fortalecieron las capacidades técnicas nacionales mediante talleres, diplomados y cursos internacionales sobre RGA y gestión hídrica sostenible.

## Conclusiones

El estudio confirmó que la RGA es una alternativa viable y sostenible para mitigar la escasez hídrica y mejorar la gestión del agua subterránea en Guatemala. La combinación de infraestructura verde, herramientas TIC y participación comunitaria representa una estrategia efectiva para optimizar la recarga natural de los acuíferos.

El modelo piloto demostró que es replicable y escalable a distintas regiones del país. Se fortalecieron capacidades técnicas en RAG, se generó información detallada sobre los acuíferos guatemaltecos y se divulgó el conocimiento generado.

**Figura No. 1: Mapa de ubicación, pozo de observación, Universidad de San Carlos de Guatemala.**



## Recomendaciones accionables

Se recomienda establecer un Centro Nacional de Recarga Gestiónada de Acuíferos (RGA) que brinde formación, certificación y cooperación regional. Además, invertir en tecnologías de monitoreo y datos abiertos para fomentar investigación e innovación. Finalmente, promover capacitación rural y nuevos sitios piloto con guías técnicas replicables y participación comunitaria activa.

**Figura No. 2:** Sitio piloto demostrativo de recarga de acuíferos gestionada.



**Figura No. 3:** Canal de lámina de aluminio.



Nota. La fotografía muestra el sitio piloto demostrativo de recarga de acuíferos gestionada, julio 2023.

Nota. La fotografía muestra el canal de lámina de aluminio del sitio piloto demostrativo, julio 2023.

**Figura No. 4:** Área de descarga hídrica.



Nota. La fotografía muestra el área de descarga hídrica del sitio piloto demostrativo, julio 2023.

**Figura No. 5:** Medidor de salida de recarga.



Nota. La fotografía muestra el medidor de salida de recarga del sitio piloto demostrativo.



## Red de sensores de bajo costo para monitoreo de calidad de aire - MONAIR

**FINDECYT/TransfiereCTi NO. 01-2022**

Oscar Rolando Rodas Hernández  
Investigador principal

Angel Daniel Isidro Rodríguez  
Investigador asociado

Gabriela Alejandra Subuyú Sampuel  
Investigadora asociada

Robert Bagner Bautista López  
Investigador asociado

Wilson Jefferson Navarro Rodríguez  
Investigador asociado

## Introducción

El proyecto MONAIR, desarrollado por Tesla Lab de Universidad Galileo en colaboración con VoltVision, surge como una respuesta innovadora ante la necesidad de monitorear la calidad del aire en Guatemala. A través del diseño e implementación de una red de medidores de bajo costo, diseñados y ensamblados en Guatemala, se busca generar datos en tiempo real que fomenten en la sociedad la conciencia sobre el estado de aire en Guatemala y permitan tomar decisiones ambientales basadas en evidencia y contribuyendo al bienestar social y la protección del medio ambiente en Guatemala.

## Objetivos

Implementar una red de dispositivos de bajo costo para monitoreo de calidad de aire que pueda realizar mediciones de temperatura, humedad, material particulado de

2.5um. Dicha información será recolectada por el dispositivo y deberá ser publicada en una plataforma de IoT (internet de las cosas), con información publicada en plataforma web para la visualización e historial de datos recolectados que sea de acceso público para cualquier persona o entidad que necesite hacer uso de ella.

## Metodología

El proyecto consistió en el diseño, fabricación, calibración y despliegue de estaciones de monitoreo de calidad del aire de bajo costo, integradas a una plataforma digital basada en el Internet de las Cosas. Para definir las variables ambientales de medición, el equipo seleccionó aquellos sensores con mejor relación costo–desempeño, como el sensor Plantower para PM2.5 y PM10 y el sensor DS18B20 para temperatura, manteniendo más

de un sensor por variable con el fin de investigar correlaciones y precisión.

La estación MONAIR se diseñó y ensambló en Tesla Lab de Universidad Galileo e integra sensores de bajo costo conectados a un microcontrolador capaz de transmitir datos vía Wi-Fi utilizando el protocolo MQTT hacia una base de datos MySQL y posteriormente visualizarlos en tableros mediante Grafana.

Para determinar los sitios de instalación, se sostuvieron reuniones con el MARN e INSIVUMEH, quienes verificaron la factibilidad de apoyo local para la conexión eléctrica y acceso a internet, requisito indispensable para la transmisión en tiempo real de los datos recopilados. Paralelamente se adquirió un equipo comercial de referencia

## Resultados

recomendado por INSIVUMEH para calibrar las estaciones antes de su instalación y validar el desempeño mediante comparaciones directas con sensores certificados, estableciendo así los márgenes de error aceptables y las correcciones necesarias.

La instalación de estaciones se realizó en 16 de los 22 departamentos del país, cubriendo regiones Norte, Sur, Oriente, Occidente y el área Central, asegurando una red nacional de monitoreo. Una vez desplegadas, las estaciones permitieron registrar temperatura, humedad, material particulado PM2.5 y PM10, CO<sub>2</sub> equivalente y VOC equivalente, parámetros que son enviados automáticamente a la plataforma, generando trazabilidad histórica de los valores ambientales recopilados.

La implementación de MONAIR permitió establecer la primera red nacional de monitoreo ambiental con sensores de bajo costo en Guatemala, conformada por 57 estaciones distribuidas en puntos estratégicos del país. Cada estación registró datos ambientales en tiempo real, entre ellos temperatura, humedad, PM2.5, PM10, CO<sub>2</sub> equivalente y VOC equivalente, los cuales se publicaron de manera abierta en la plataforma para promover ciencia ciudadana.

Las tablas del informe documentan valores mínimos, máximos y promedios obtenidos en cada sitio receptor. Para validar el desempeño de las estaciones se compararon los registros obtenidos con un equipo comercial recomendado por INSIVUMEH y con un sensor Purple Air, observándose que ambas mediciones mantienen tendencias alineadas, con ascensos y descen-

sos similares. Adicionalmente, se logró que instituciones públicas, municipalidades, organizaciones y ciudadanos pudieran adquirir estaciones MONAIR mediante sitio web, permitiendo ampliar la red y facilitar el acceso a la tecnología y a los datos.

## Conclusiones

El proyecto MONAIR demostró que es posible generar datos ambientales en tiempo real mediante tecnología de bajo costo, y que dichos datos pueden ser utilizados por instituciones gubernamentales, municipalidades y ciudadanía para la toma de decisiones ambientales basadas en evidencia.

La disponibilidad de datos permitió fomentar participación social, transparencia en el manejo de información pública y fortaleció la relación entre las instituciones y

la población, creando conciencia sobre la contaminación del aire y sus efectos.

La red de monitoreo se consolidó como un hito en Guatemala al conjuntar medición científica, participación ciudadana y tecnología, otorgando a entidades como MARN e INSIVUMEH acceso inmediato a datos que contribuyen a una gestión ambiental más eficiente.



**Figura No. 1:** Tarjeta MONAIR conectada a la computadora.

## Recomendaciones accionables

Se recomienda instalar estaciones de monitoreo en puntos donde el tráfico vehicular sea denso para identificar zonas críticas y posteriormente complementar las mediciones con equipos certificados que permitan establecer regulaciones o acciones de mitigación con el MARN. También las municipalidades deben involucrarse en futuras expansiones, ya que cuentan con la infraestructura, capacidad presupuestaria y acceso territorial para facilitar la instalación y continuidad del monitoreo. Finalmente, Guatemala requiere monitoreo continuo y de largo plazo para comprender patrones estacionales de contaminación y mejorar la calidad de vida de la población.



**Figura No. 2:** Encapsulado y tarjeta que integra la estación

# Equipo de investigación

Oscar Rolando Rodas Hernández  
Investigador principal

Angel Daniel Isidro Rodríguez  
Investigador asociado

Gabriela Alejandra Subuyú Sampuel  
Investigadora asociada

Robert Bagner Bautista López  
Investigador asociado

Wilson Jefferson Navarro Rodríguez  
Investigador asociado

Oscar Rodas, Ingeniero Electrónico y de Sistemas graduado de Universidad Francisco Marroquín. Cuenta con un Doctorado en Tecnologías de la Información de Universidad Galileo en cotutela con Telecom SudParis. Ha generado varias publicaciones reconocidas por IEEE. Trabaja en Universidad Galileo como Director de Carrera de Ingeniería en Electrónica, Director de la Maestría en Automatización Industrial y Sistemas Electrónicos, Director de Tesla Lab y docente.

Correo electrónico:  
[wapolanco@ing.usac.edu.gt](mailto:wapolanco@ing.usac.edu.gt)

## Institución aval

Universidad Galileo, por Tesla Lab, laboratorio de investigación y desarrollo tecnológico donde se diseñaron y ensamblaron los dispositivos MONAIR.

# Aplicación de tecnología espacial radar para detectar zonas de riesgo a inundaciones por efectos de la variabilidad climática en la cuenca baja del río Motagua, Izabal

**FINDECYT / GeneraCyT No. 01-2023**

MSc. Jeff Hendrik Taqué Aroche  
Investigador principal

Ing. Braulio Rafael Hernández Ozuna  
Investigador asociado

Ing. Luis Alfredo Dardón Sandoval  
Asistente de investigación

MSc. Mario Estuardo Salazar Rodríguez  
Asistente de investigación

Melany Brigitte Ramírez Jiménez  
Asistente de investigación

Institución aval: Centro Universitario de Izabal, Usac



## Introducción

La investigación sobre la aplicación de tecnología espacial radar en la cuenca baja del río Motagua, Izabal, abordó la creciente vulnerabilidad de esta región ante eventos hidrometeorológicos extremos, como las tormentas ETA e IOTA en 2020, las cuales generaron graves inundaciones que afectaron economía, infraestructura, ecosistemas, salud y vidas humanas.

La zona presenta inundaciones recurrentes debido a su baja altimetría, saturación del suelo y malas condiciones de drenaje, afectando especialmente a comunidades ubicadas en riberas y bocabarra del río.

Se identificó la ausencia de herramientas precisas para determinar el área afectada y proyectar escenarios futuros, dificultando la toma de decisiones en mitigación y adaptación.

## Objetivos

Análisis espacial con tecnología radar para detectar zonas inundables en la cuenca baja del río Motagua, Izabal.

## Metodología

- Se emplearon imágenes radar Sentinel-1 en polarizaciones VV y VH, procesadas mediante SNAP, para analizar la retrodispersión y caracterizar áreas afectadas.
- La metodología incluyó recopilación de información de campo, colocación de puntos de control georreferenciados mediante antenas GNSS de alta precisión enlazadas a la red geodésica nacional y a la red de apoyo catastral.
- Se integraron curvas de nivel y modelos digitales de elevación para analizar altitud y pendiente del terreno, lo cual permitió evaluar la susceptibilidad a inundaciones.
- Se incorporaron datos climáticos históricos de precipitación, humedad del suelo, escorrentía y evapotranspiración obtenidos en los puntos de control.
- Posteriormente, se desarrollaron modelos predictivos basados en el algoritmo de proximidad para identificar zonas vulnerables y su recurrencia en el tiempo.
- Los resultados fueron validados utilizando los puntos de control, generando mapas temáticos que integraron información topográfica, climática e hidrológica, permitiendo detectar inundaciones con precisión y generar cartografía útil para la gestión del riesgo.

## Resultados

La investigación identificó y delimitó zonas inundadas en la cuenca baja del río Motagua durante eventos hidrometeorológicos extremos, determinando que en el año 2020 se afectaron 29,470.30 hectáreas de superficie, evidenciando expansión de áreas inundables en sectores localizados en riberas y bocabarra del río, especialmente en Los Quíneles, Bocabarra, Puente Oneida, El Quetzalito y Tenedores, donde se registraron los mayores valores de precipitación, humedad del suelo y escorrentía en los puntos de control climáticos.

El análisis espacio-temporal mostró incremento de humedad del suelo, acumulación de agua superficial y presencia de zonas con mal drenaje, lo que favoreció el aumento de zonas anegadas; los mapas comparativos antes y después de los eventos ETA

e IOTA 2020 y Julia 2022 confirmaron cambios sustanciales en la superficie inundada, registrándose retrodispersión característica de cuerpos de agua en las imágenes radar posteriores a los eventos.

Las tablas climáticas mostraron que en varios puntos de control la humedad del suelo superó los 500 mm, correlacionándose con períodos de mayor inundación, y los gráficos registraron aumento sostenido de precipitación entre octubre y noviembre de 2020, coincidiendo con los máximos de escorrentía y áreas inundadas.

## Conclusiones

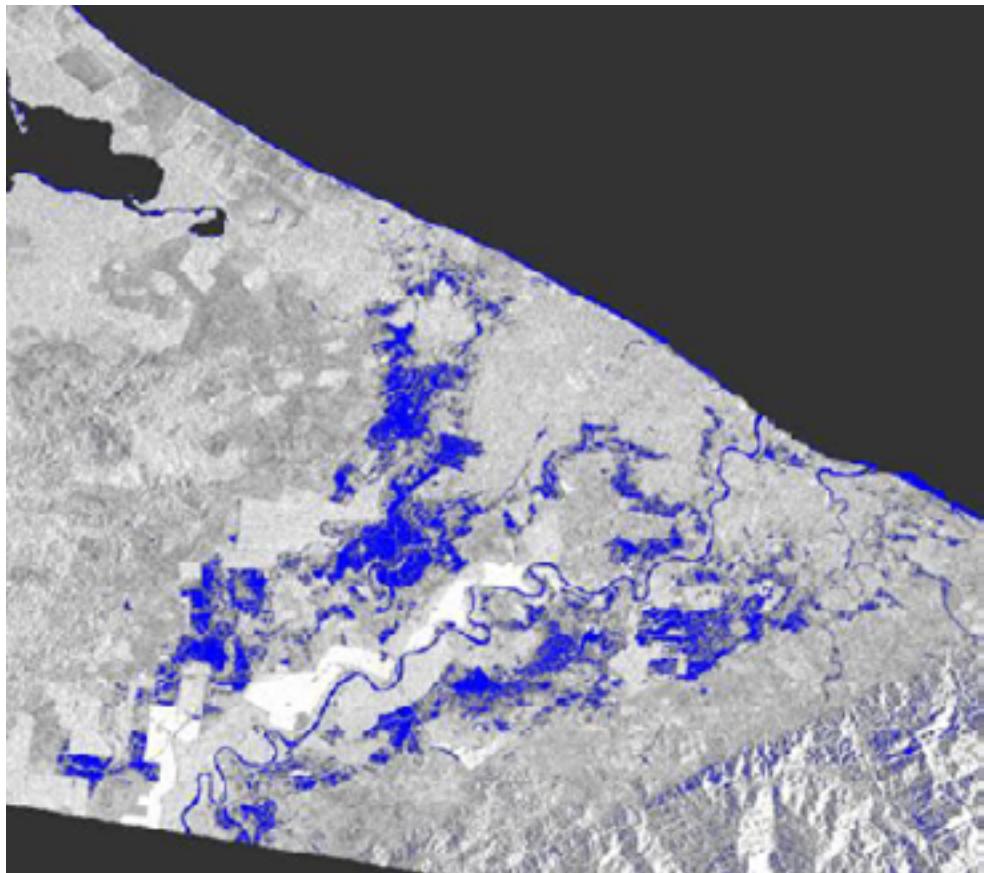
El análisis espacial realizado en la cuenca baja del río Motagua permitió identificar con precisión las áreas vulnerables a inundaciones mediante la integración de 19 puntos de control georreferenciados y

la recopilación de datos climáticos e hidrológicos, demostrando que los eventos hidrometeorológicos extremos incrementan la precipitación, humedad del suelo y escorrentía en zonas específicas como Los Quíneles y El Rico, aumentando el riesgo de inundación.

Las imágenes de radar Sentinel-1 permitieron detectar cambios antes y después de las tormentas ETA e IOTA en 2020, evidenciando la capacidad del radar para monitorear inundaciones incluso en condiciones de nubosidad.

El análisis predictivo basado en proximidad generó una estimación robusta de 29,470.2989 hectáreas inundadas y permitió modelar zonas con recurrencia de afectación, convirtiéndose en una herramienta eficaz para anticipar áreas de riesgo.

La integración de aprendizaje automatizado y modelado espacial facilitó la representación visual y la planificación preventiva mediante mapas de susceptibilidad a inundación, ofreciendo información utilizable por instituciones y comunidades. La evaluación del modelo confirmó una precisión global del 84 % y un índice Kappa de 0.7, lo que demuestra su fiabilidad para identificar extensión y localización de áreas afectadas y lo valida como instrumento para la gestión del riesgo, mitigación y toma de decisiones en territorios expuestos a eventos hidrometeorológicos extremos.

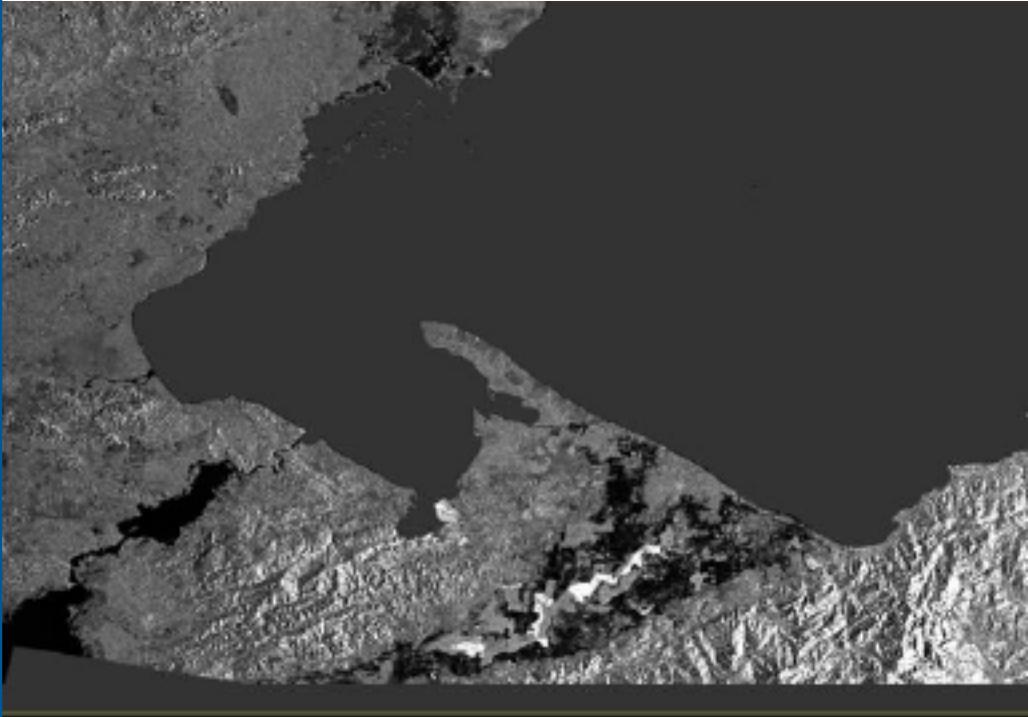


**Figura 1:** Identificación de valores de retrodispersión.

Nota. Visualización de la imagen que muestra los valores de retrodispersión y los mecanismos especulares empleados para analizar las áreas inundables. Fuente: Elaboración propia realizado con SNAP.

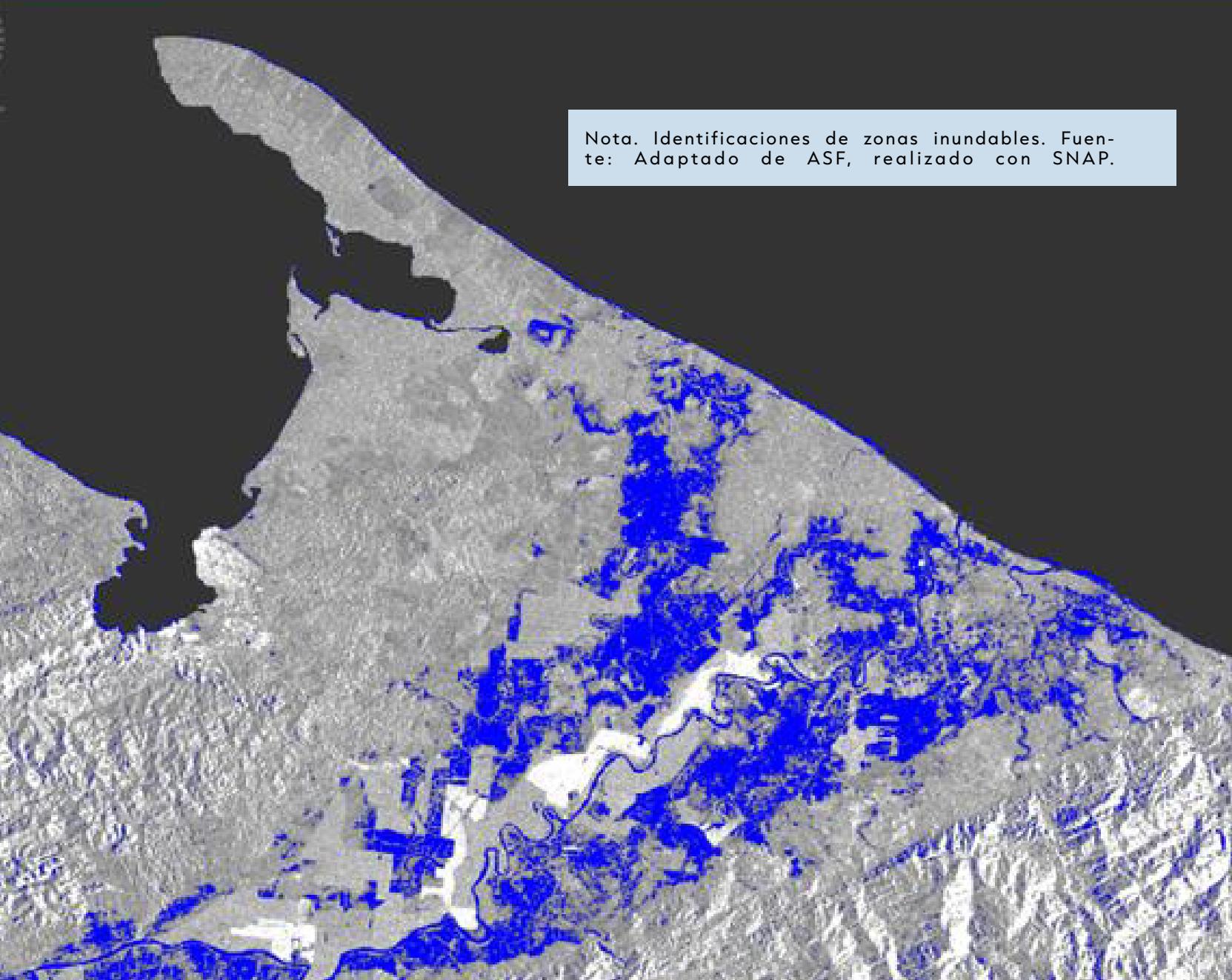
## Recomendaciones accionables

Se recomienda utilizar tecnología espacial radar de manera continua para actualizar la cartografía y monitorear zonas vulnerables a inundaciones, incorporando los resultados en la planificación territorial y en estrategias de prevención ante eventos hidrometeorológicos. La integración de puntos de control GNSS, datos climáticos y modelos predictivos debe mantenerse para mejorar la precisión de futuras evaluaciones. Se sugiere que las instituciones responsables adopten la teledetección radar como herramienta para decisiones informadas en gestión de riesgo, mitigación y adaptación al cambio climático, priorizando las áreas con mayor recurrencia de inundaciones para reducir impactos en infraestructura, población y ecosistemas.



**Figura 2: Imagen de RADAR del año 2020.**

Nota. La imagen muestra las zonas con retrodispersión más baja en color negro que son zonas con presencia de agua propensas a inundaciones. Fuente: Adaptado de ASF, realizado con SNAP.



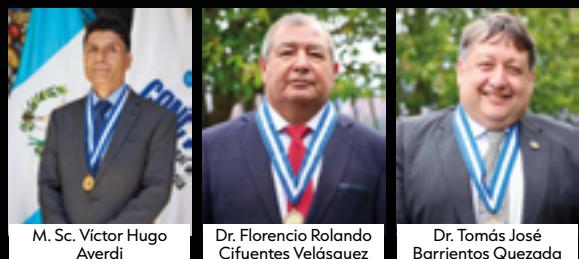
Nota. Identificaciones de zonas inundables. Fuente: Adaptado de ASF, realizado con SNAP.

# Innovación y emprendimiento





## Medalla Nacional de Ciencia y Tecnología



Es el máximo reconocimiento al trabajo científico en Guatemala. Este galardón se establece en el artículo 22 de la Ley de Promoción del Desarrollo Científico y Tecnológico Nacional, desde 1997. Es entregado por el Congreso de la República y la vicepresidencia de la República de Guatemala.

**Fortalecimiento de capacidades de innovación de nuevos productos  
en Sacatepéquez #AntiguaNaranja a través de (CDE), Small Business  
Development Centers con especialidad naranja**

**FINDECYT / EmprendeCTi No. 01-2022**

Cinthya María Sandoval Cuéllar  
Investigadora principal

Institución aval: Red Nacional de Grupos Gestores / Grupo Gestor de Antigua Guatemala



## Introducción

Guatemala presenta alta concentración económica (48% del PIB y 46% de empresas en la capital), lo que limita empleo e inversión en el interior del país. Sacatepéquez tiene municipios-dormitorio, informalidad laboral del 70%, alta ruralidad (62.1%) y 40% población indígena.

El proyecto responde a estas brechas mediante innovación, prototipado e incubación empresarial para generar empleo y mitigar la informalidad. Este fortaleció capacidades de innovación y prototipado en micro, pequeña y mediana empresa (MIPYMES) mediante asistencia técnica, validación de prototipos y consolidación de productos en un Centro de Desarrollo Empresarial bajo el modelo Small Business Development Center (SBDC). Se fundamentó en el potencial productivo del territorio, evidenciado por análisis del eco-

sistema creativo y la concentración de actividad emprendedora en el departamento.

## Objetivos

Fortalecer las capacidades de innovación de MIPYMES y emprendimientos de Sacatepéquez, como medio para generar valor agregado y crecimiento empresarial, a través de un Centro de Desarrollo Empresarial (CDE), Small Business Development Centers con especialidad en economía naranja abordando AGTECH.

## Metodología

La investigación se desarrolló en Antigua Guatemala. La metodología se basó en learning by doing, asesorías y talleres especializados para desarrollar innovación y prototipado mediante un Centro de Desarrollo Empresarial (CDE)

bajo el modelo Small Business Development Center (SBDC).

Se utilizaron asistencias técnicas para validar y consolidar prototipos orientados a responder a la demanda de la industria creativa.

Se aplicaron diagnósticos iniciales y un embudo de selección (funnel) para filtrar a los emprendimientos con mayor potencial; posteriormente se ejecutó capacitación segmentada, prototipado en el laboratorio GGLAB, incubación empresarial mediante el programa Incuba-GO y vinculación comercial por medio del modelo SBDC.

## Resultados

- El proyecto fortaleció la innovación y el prototipado en MIPYMES y emprendimientos de Sacatepéquez mediante

- formación, laboratorio de prototipado e incubación empresarial.
- Se trabajó con 525 personas, diagnosticando a 50 emprendedores de la industria creativa, y se brindaron 15 asesorías a 60 participantes, filtrando a 25 para continuar el proceso.
  - Se consolidó el laboratorio municipal de prototipado GGLAB, donde se atendieron 33 emprendedores, se validaron 25 prototipos, se generaron 5 nuevos productos y se incrementó la productividad de 50 negocios.
  - A través del programa de incubación INCUBAGO, el 65% de participantes recibió aceleración empresarial y vinculación comercial, obteniéndose 25 emprendedores en crecimiento, 20 emprendimientos acelerados, 25 asistencias técnicas, 15 emprendimientos con generación de empleo y 5 productos comercializados.
  - Logrando un total de personas atendidas de 371, siendo un total de 1,369 de forma indirecta.
- ### Conclusiones
- **Sobre ACCIONA:** La formación permitió que los emprendedores desarrollaran capacidades básicas en finanzas y gestión empresarial, generando empleos y mejorando su formalización; 43% de los participantes pertenece a Antigua Guatemala, activando la economía local.
  - **Sobre GGLAB:** La creación del laboratorio permitió acceso democratizado a diseño industrial y prototipado, elevando estándares de producto e impulsando innovación local.
  - **Sobre INCUBAGO:** La incubación ayudó a transformar ideas tradicionales en negocios diferenciados mediante propuesta de valor, protección de propiedad intelectual y vinculación a mercados; se visibiliza la necesidad de asesoría especializada para industrias creativas y nuevas economías naranja.

El proyecto demuestra que Antigua Guatemala posee el ecosistema, talento y materia prima para desarrollar nuevos productos mediante innovación, tecnología y propiedad intelectual, posicionándose como el mercado principal del departamento.

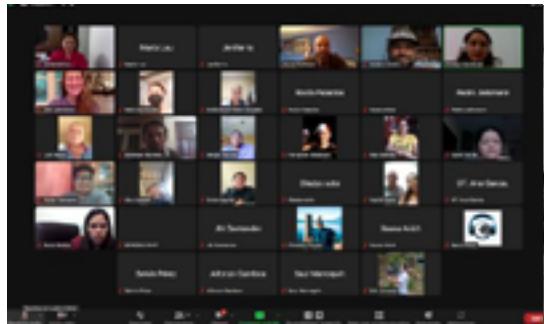
**Figura No.1:** Establecer un programa de formación para emprendimiento y asesoría en innovación "ACCIONA".



Interacción con participantes



Desarrollo de tema Proceso Creativo



Desarrollo de práctica



Cierre de taller

**Figura No. 2:** Contribuir en la promoción de la innovación a través de un programa de incubación "INCUBAGO".



Interacción con participantes



Desarrollo de tema Proceso Creativo



Desarrollo de práctica



Cierre de taller

### Recomendaciones accionables

Se recomienda facilitar la formalización de los negocios mediante una guía clara de procesos y requisitos; realizar un análisis del sector económico para orientar a los emprendimientos hacia modelos creativos, innovadores y sostenibles; potenciar a los negocios de nuevas economías naranja para alcanzar productos listos para el mercado y abrir nuevos segmentos; fortalecer la comercialización de emprendimientos de arquitectura, cultura, música, danza y turismo para mejorar su posicionamiento.



# FONACYT

Fondo Nacional de Ciencia y Tecnología



Un concurso de fotografía que busca popularizar la ciencia y la tecnología a través de la fotografía. Este concurso invita a fotógrafos, tanto aficionados como profesionales, a capturar la esencia de nuestro entorno y los avances científicos que transforman nuestras vidas.



Más que un espacio para acercar la ciencia a los guatemaltecos, Fotocyt 2025 celebra la fascinante unión entre dos mundos: el arte y la ciencia. Durante esta edición el concurso de fotografía científica logró reunir a más de 800 participantes de todo el país, quienes presentaron 1.123 fotografías que reflejan la ciencia desde diversas perspectivas.

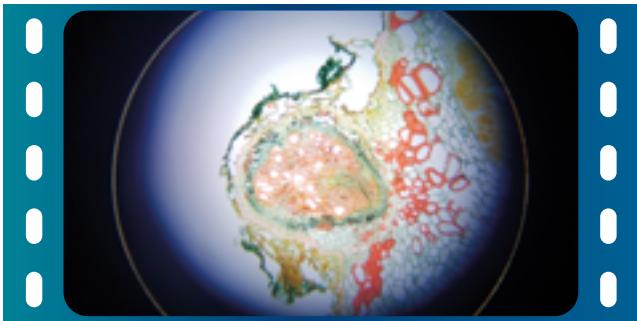
# Ciencia detrás del lente



**1 Mujeres de Maíz**  
Clelia Renata Flores Rosales



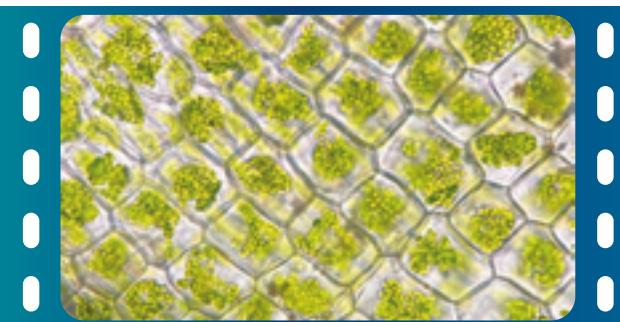
**2 Atención**  
Luis Pablo Yax Medrano



**3 Hongos a través de láminas que muestran basidiósporas**  
Leding Daniel Zeceña Alarcón



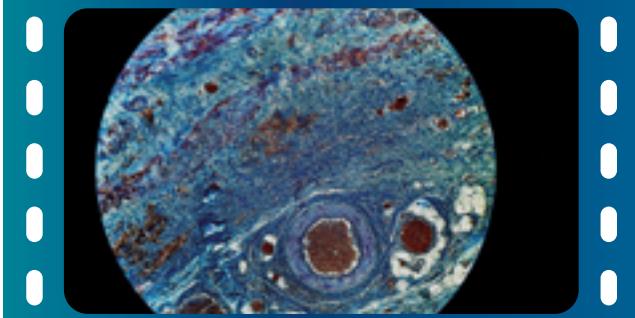
**4 Arboles de metal**  
Ricardo Javier Paz Cerezo



**5 Tejido de vida**  
Barbara Mariel Recinos Morales



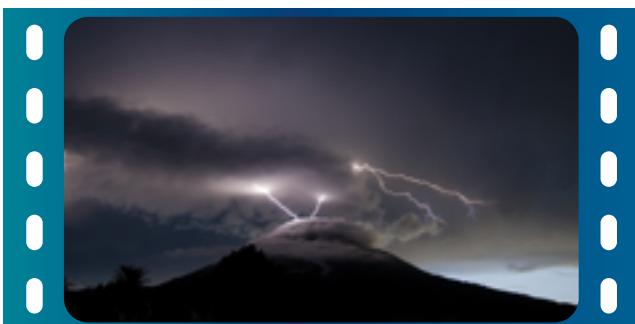
**6 Topografía de lo incierto**  
Brandon Estuardo Cao Bin



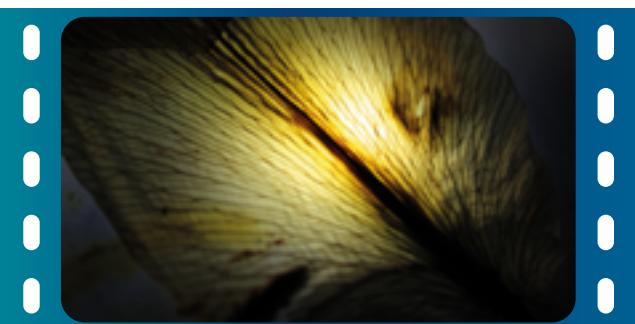
**7** **Paralelismo celular y astronómico**  
Luisa Fernanda Jiménez Sosa



**10** **Mujer trabajadora**  
Cristian Orlando Pérez López



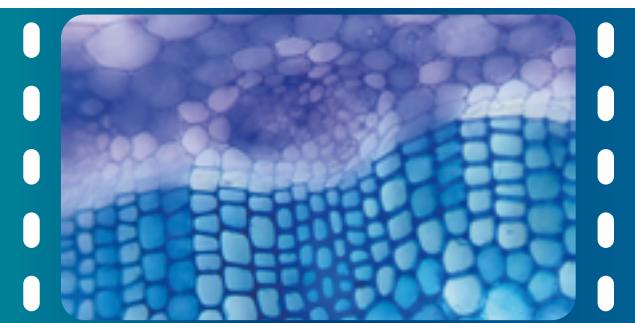
**8** **La fuerza del cielo**  
Mirna Verónica Ortíz García



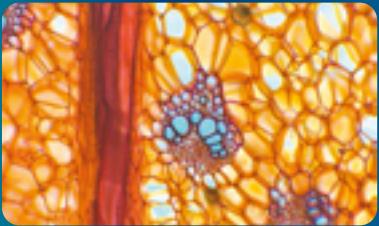
**11** **Lirio a contraluz**  
Mayra Sofía Lix Hernández



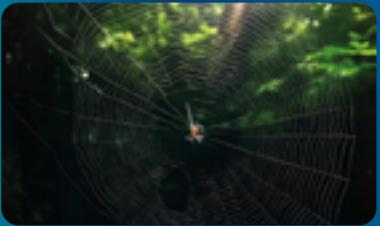
**9** **Eco del sol**  
Diego Herrera Renoj



**12** **Anatomía de un tallo**  
Irene Marisol Cal Pacay



**Entre células y pigmentos**  
Alejandra Fidelina Gualím Calel



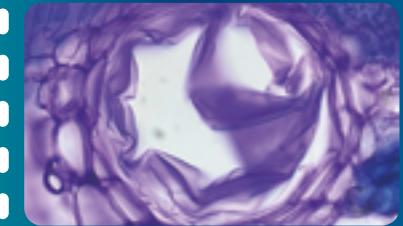
**Hilos que sostienen el ecosistema**  
Cristina Hiasbeth Alvarado Velásquez



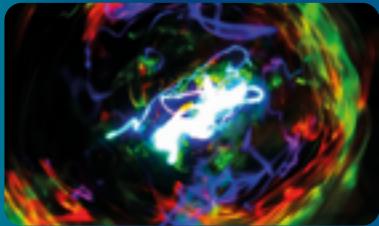
**Plantas del abismo (plants of the abyss)**  
José Alfonso Mazariegos Cáceres



**Cambio climático**  
Alicia Isabel Sagastume



**La belleza de la histología vegetal en el *Citrus aurantiifolia* (Christm.) Swingle**  
Diego Rolando Chocoj Estrada



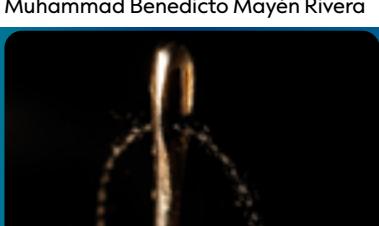
**Eco de fotones atrapados en una burbuja de jabón**  
Muhammad Benedicto Mayén Rivera



**Ojos de pochote**  
Amner López Zuñiga



**Fuego cósmico**  
Israel Monterroso Villatoro



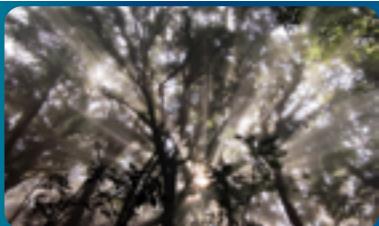
**El ojo de la aguja**  
Oscar Norberto Escobar Rojas



**El reciclador del bosque**  
Christal Aggnness Girón Torres



**La naturaleza nos habla sin palabras**  
Jennifer Jeanette Monterroso Gómez



**Ri muqül nuq ' etej taqche '** (La neblina abraza los árboles)  
Wilson Vásquez Orón



**¿Mamá, por qué el río ya no es el mismo?**  
Andree Sebastián Rodríguez Medrano



**Creciendo con perspectiva**  
Porfirio Noj Locón



**Procesos invisibles: Reflexión sobre la IA en acción**  
Wandy Paola Gálvez Solares



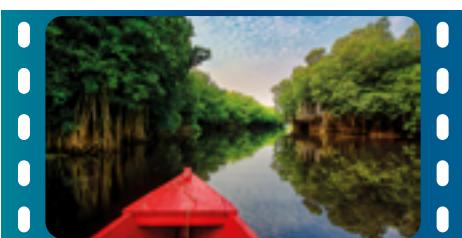
**Manglares de Monterrico: Colorido atardecer**  
Angel Alfredo Vasquez Chavarría



**Amanecer en San Juan Chamelco**  
Luis Diego Tzul Och



**Red de gluten**  
María José Pivaral Lapolá



**Carretera acuática**  
Axel Raul Perdomo Sandoval



**Transformador de vida**  
Arianka López



**Resiliencia en las alturas**  
José Antonio Ajpuac Ramírez



**Marimba de montaña**  
Carlos Ramiro Asturias Gómez



**Cada vez, más cerca**  
Arnoldo Ismael de León Villatoro



**Un muñeco para todos**  
José Carlos Flores León







# Voces de la ciencia en Guatemala:

## Resultados de investigaciones financiadas por el Fondo Nacional de Ciencia y Tecnología (2020-2024)

