

La **Ciencia** aplicada **en Chiapas**

*Trampas Cebadas para Monitorear
Escarabajos Descortezadores del género Ips*

en México, Centroamérica y el Caribe

Pág. 32

Foto: Gilles San Martin



MENSAJE DEL DIRECTOR

El gobierno de Chiapas, que encabeza el Dr. Eduardo Ramírez Aguilar, hace historia con la creación de la Agencia Digital Tecnológica, bajo esa visión de liderazgo y amor a Chiapas.

En esta nueva era, se reafirma el compromiso con la innovación, la ciencia y la tecnología; pues se trata de un proyecto que representa esa voluntad de transformar a Chiapas, con una perspectiva transversal hacia un futuro mejor. Con la digitalización, las y los ciudadanos interactúan con cada uno de los servidores del pueblo, en una acción que facilita el trato directo y funcional.

Chiapas, en este tránsito de conversión de Instituto a la Agencia, encontramos en un momento determinante, ante el inicio de esta nueva era digital que prioriza la accesibilidad, la eficiencia, la inclusión y ¡cero corrupción!, para toda la sociedad. Se camina hacia la transformación, certeza, innovación y la tecnología, que es un puente entre las necesidades del pueblo chiapaneco y las soluciones que un gobierno comprometido puede ofrecer.

Esta Agencia, será el eje rector de esta transformación digital, impulsando iniciativas que permitan optimizar los servicios públicos, para fortalecer la seguridad, salud, educación tecnológica y facilitar el acceso a oportunidades económicas. La brecha digital es un desafío complejo que requiere una respuesta integral y coordinada, es por eso que hago un llamado a todas las instituciones educativas para que se unan a nosotros en este compromiso compartido, con el objetivo de colaborar para crear una sociedad más justa, equitativa y conectada, donde todas las personas tengan acceso a los recursos que necesitan para prosperar en la era digital.

Las plataformas digitales darán pauta para conectar cada uno de los municipios y cada una de las comunidades más alejadas, logrando una conexión real entre todas y todos. El gobierno de Chiapas, busca que ningún ciudadano se quede atrás, en este avance tecnológico; por ello, la nueva era le apuesta por el bienestar social. Este proyecto del gobernador Eduardo Ramírez Aguilar, no tendría sentido sin la participación activa de la sociedad; la Agencia Digital Tecnológica ha sido concebida con un enfoque participativo y transparente, donde cada habitante de nuestro estado tiene un papel fundamental para la transformación.

Desde la Agencia Digital Tecnológica, hoy las y los chiapanecos, se pueden y deben apropiarse de esta nueva herramienta y sean protagonistas en la construcción de un futuro más equitativo y próspero, como lo construye el gobierno de la nueva era.

El liderazgo de Eduardo Ramírez Aguilar, busca que su gobierno sea moderno, incluyente y eficiente, lo que marcará un antes y un después en la historia del estado. Construyamos puentes digitales que lleven a un futuro lleno de oportunidades para toda la ciudadanía.

¡Todas y todos son bienvenidos a la nueva era tecnológica!

Jovani Salazar Ruiz
Director General

DIRECTORIO

EDUARDO RAMÍREZ AGUILAR
Gobernador Constitucional del
Estado de Chiapas

JOVANI ALEXANDER SALAZAR RUIZ
Director General de la Agencia Digital
Tecnológica del Estado

SANDY KARINA MORALES PRATS
Asistencia Editorial

**PAULINA ITZEL TREJO
CASTELLANOS**
DIANA ITZEL FIALLO COUTIÑO
Recepción, revisión y corrección de textos

SALVADOR OJEDA ALEGRÍA
ÓSCAR ALBERTO ÁLVAREZ CAMACHO
ALEXANDRA RUIZ MÁRQUEZ
Diseño editorial y maquetación

ÍNDICE

05

Humanidades

El ámbar de Chiapas, reseña del primer Concurso de Dibujo Infantil en Simojovel de Allende, Chiapas

12

Ingeniería y Desarrollo Tecnológico

Diagnóstico de fallas en sistemas de bioprocesos usando redes neuro-difusas adaptativas

18

Físico-Matemáticas y Ciencias de la Tierra

Monitoreo térmico con instrumentos de bajo costo para determinar la isla de calor urbana de Chiapa de Corzo, Chiapas

24

Ciencias de la Agricultura, Agropecuarias, Forestales y de Ecosistemas

Técnicas de pregerminación de accesiones de *Capsicum annuum* L. [var. *Glabriusculum* (Dunal) Heiser & Pickersgill], de municipios de la zona Zoque de Chiapas

32

Trampas Cebadas para Monitorear Escarabajos Descortezadores del género *Ips* en México, Centroamérica y el Caribe"

La Ciencia Aplicada en Chiapas, año 8, revista no. 13, es una publicación semestral editada y distribuida por el Instituto de Ciencia, Tecnología e Innovación del Estado de Chiapas. Dirección: Calzada Cerro Hueco No. 3000. Col. Cerro Hueco C.P. 29094 Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México., Tel. (01 961) 69 1 40 20 Ext. 67608. www.icti.chiapas.gob.mx. Editor responsable: Instituto de Ciencia, Tecnología e Innovación del Estado de Chiapas. Número de Certificado de Reserva otorgado por el Instituto Nacional del Derecho de Autor: 04-2018-112218364400-102.

El ámbar de Chiapas

Reseña del **primer Concurso de Dibujo Infantil** en Simojovel de Allende, Chiapas

Dra. María Esther Millán-Zarazúa¹ y Dr. Emilio Estrada-Ruiz²

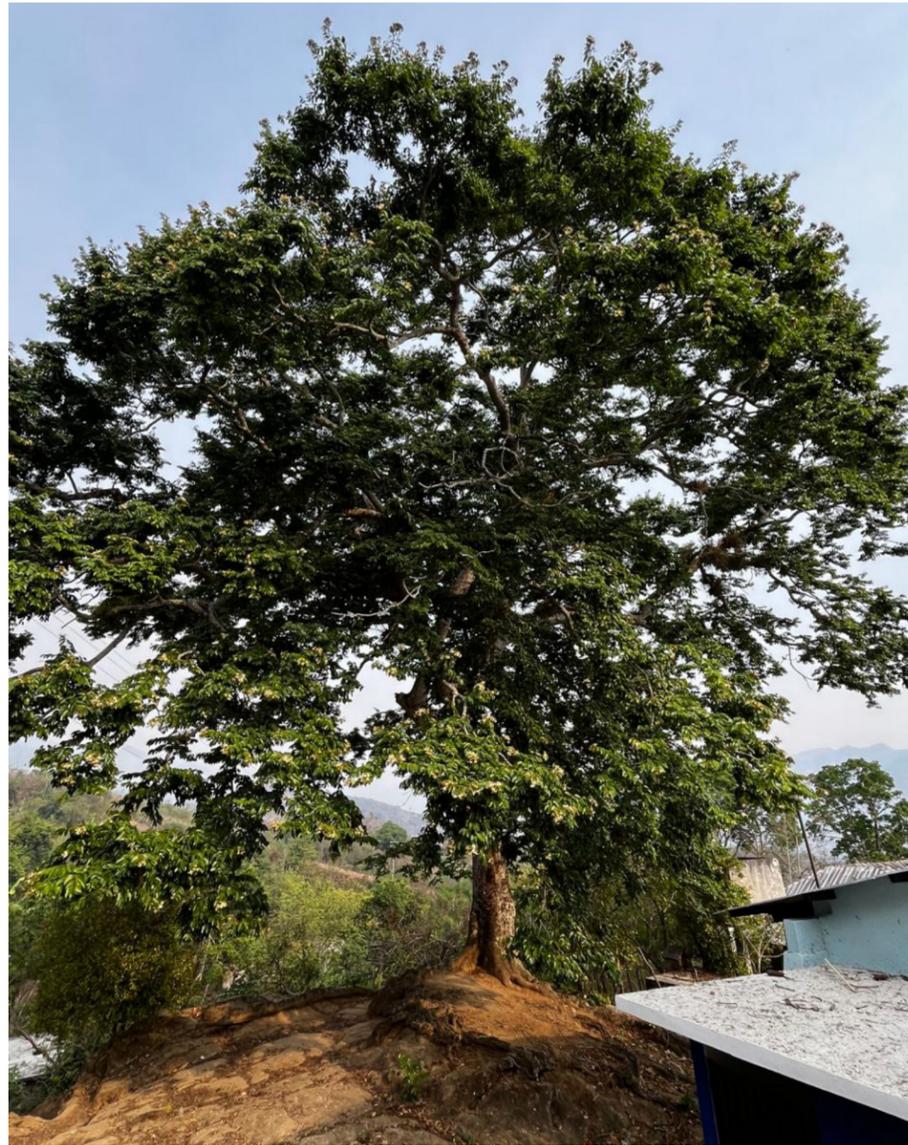
¹Responsable de la Colección de Ámbar de Chiapas Elena Estrada Millán, CDMX, México

²Escuela Nacional de Ciencias Biológicas, Instituto Politécnico Nacional, CDMX, México

Científicas y científicos de la Escuela Nacional de Ciencias Biológicas (ENCB) del Instituto Politécnico Nacional (IPN) están desarrollando investigaciones paleontológicas con el ámbar de Chiapas. Como parte de los trabajos en colaboración con la Colección de Ámbar Elena Estrada Millán y el Museo del Ámbar Lilia Mijangos, organizaron en junio de 2023 en el municipio de Simojovel de Allende del Estado de Chiapas, el Primer Concurso de Dibujo Infantil "El Ámbar de Chiapas", siendo la Casa de la Cultura del municipio, la sede en donde se recibieron y expusieron las obras de todas las niñas y los niños participantes.

El ámbar de Chiapas, es una gema preciosa que ha sido valorada desde nuestras culturas y civilizaciones mesoamericanas, por su belleza, calidez, brillo, transparencia y sus tonalidades. Los códices antiguos y estudios arqueológicos, refieren que se tributaba y comercializaba principalmente para la elaboración de ornamentos y joyas como collares, orejeras, narigueras y bezotes, que eran portados en algunos sectores sociales como símbolos de prestigio y poder (Lowe, 2004).

Figura 1. Árbol de guapinol



Para la ciencia, el ámbar de Chiapas representa una cápsula del tiempo, porque resguarda o encapsula en su interior una gran diversidad de inclusiones de plantas, animales y partículas del suelo que habitaron en nuestro planeta hace más de 24 millones de años, durante la época del Mioceno (Estrada-Ruiz, 2023). De acuerdo a los registros paleobotánicos, el ámbar de Chiapas, es una resina de origen vegetal que proviene de árboles ya extintos, asociados al género Hymenea, de la familia Fabaceae o leguminosas (Poinar y Brown, 2002). Actualmente, de esta misma familia botánica, crece el árbol de Guapinol, el cual pertenece a la especie Hymenea courbaril y nos da una idea de cómo eran ese tipo de árboles que dieron origen a la resina del ámbar (Figura 1). Cuando la resina brotaba de los árboles y caía entre los troncos, tallos y ramas, ésta fue atrapando en su camino partículas del suelo y diversos organismos como insectos, gotas de agua, polen, hojas, hongos, musgos, semillas, flores, frutos, hormigas, mosquitos, abejas, termitas, chinches, lagartijas, arañas, mariposas, libélulas, ranas, ácaros, escorpiones, bivalvos, milpiés, grillos, cucarachas, entre otros. Al transcurrir miles de años, la resina se solidificó y maduró químicamente, lo que permitió preservar inclusiones orgánicas en un estado de conservación excepcional, que son materia de estudio e investigación científica, principalmente en el área de la biología y la geología.

En México, los principales yacimientos de ámbar se encuentran en el Estado de Chiapas, entre las montañas de la región de "los Altos" y "De los Bosques", en donde se localiza el municipio de Simojovel de Allende, el cual es considerado "la tierra del ámbar", en donde habitan 52,935 personas de las cuales el 70% habla al menos una lengua indígena, siendo el tsotsil la lengua más hablada, además se habla el tseltal y zoque, de acuerdo al último censo del INEGI 2020.

En este contexto, y a fin de visibilizar la sabiduría popular que hay del ámbar en las comunidades indígenas de Chiapas, así como la relación amorosa, profunda y milenaria que se continúa transmitiendo en las familias de generación en generación, fue lo que motivó la organización del Primer Concurso de Dibujo Infantil, en el que participaron niñas y niños de entre 6 y 12 años, que de manera creativa y en formato libre expresaron en sus obras lo que les sorprende y conocen del ámbar, lo que han observado, escuchado, soñado, o las plantas y animales que desean encontrar atrapados en esta preciosa gema (Figura 2).

Figura 2. Convocatoria



Figura 3. Obras participantes.

La convocatoria fue difundida con apoyo de las autoridades educativas de la oficina de la Supervisión Escolar 004 que compartieron el cartel impreso en las escuelas de la cabecera municipal y de las diversas comunidades de Simojovel de Allende, además se envió el cartel de manera digital a maestras, maestros, madres y padres de familia. Asimismo, el equipo organizador difundió la convocatoria mediante un spot en la radio local, colocó carteles en lugares públicos, en redes sociales, y se visitaron algunas escuelas primarias. En total se recibieron 45 obras de niñas y niños que estudian en las siguientes escuelas (Figura 3): Primarias Liberación Social, Enrique Marco Becerra y Guadalupe Victoria, de las Secundarias Justo Sierra y la Técnica No. 42, de la Casa de la Cultura de Simojovel de Allende y de la Escuela EduArte.



Figura 4. Exposición

Exposición



De acuerdo a la convocatoria, cada participante entregó físicamente su trabajo en la Casa de la Cultura de Simojovel de Allende, siendo ésta la sede en donde se llevó a cabo la premiación del Concurso, y además en este evento, el Dr. Emilio Estrada Ruiz, paleobotánico del Departamento de Zoología en la Escuela Nacional de Ciencias Biológicas (ENCB) del IPN, impartió una plática a todas y todos los asistentes, en la que les compartió la importancia que tiene el ámbar de Chiapas en México y el mundo (Figura 4). Al interior de la Casa de la Cultura se montó la Exposición con todos los dibujos que participaron, y fue tan emotivo observar a las niñas y los niños como grandes artistas, quienes al pie de sus obras platicaban de sus creaciones y se tomaban fotos con sus familiares, maestros y amigos. Las familias radiaban de orgullo por sus hijas e hijos, y les reconocían su valor, su esfuerzo, su talento y su amor por el ámbar.

Figura 5. Premiación

Premiación

En el evento, se destacó la relevancia de participar más que de ganar, por lo que a todas las niñas y niños recibieron su diploma y un set de pinturas y materiales de papelería. Asimismo, no hubo diferencias entre primeros, segundos y terceros lugares, ya que se premiaron 6 obras por igual como ganadoras, 3 de la categoría de 6 a 8 años y 3 de la categoría de 9 a 12 años, las cuales fueron seleccionadas por el jurado conformado por: la Dra. Berlaine Ortega Flores (Geóloga en la UNAM), el Mtro. Víctor Manuel Córdova Tabares (Entomólogo en el IPN), la Biol. Diana Kareem Arroyo Sánchez (Bióloga del IPN), el Lic. Luis Alonso Zúñiga Mijangos y la artista Johanna Friessen Fernández (fundadores del Museo del Ámbar Lilia Mijangos), Valentín Gómez Ruiz y el Mtro. Maximino Pérez Gómez, (artesanos de Simojovel), y por las niñas: Valentina Zúñiga Friessen y Elena Estrada Millán. Además, se entregaron 2 premios adicionales a obras elegidas a través de redes sociales (Figura 5).



Figura 6. Obras ganadoras.



Las y los ganadores recibieron una guitarra hecha en Paracho, Michoacán, una lupa y también su diploma y un set de pinturas (Figura 6). Las niñas y niños que resultaron ganadores son: María Eliza Hernández Rodríguez, edad 6 años, estudiante de la Escuela Primaria Liberación Social, obra: "Piedras preciosas". Keisi Zoe González Cruz, edad 8 años, estudiante de la Escuela Primaria Marcos Enrique Becerra, obra: "Arete de ámbar". Ana Belén López López, edad 7 años, estudiante de la Escuela EduArte obra "Mariposa en el ámbar". Guadalupe Cáceres Aguilar, edad 12 años, estudiante de la Escuela Secundaria Justo Sierra Méndez, obra: "Mi hormiguita en el ámbar". Adriana Rojo Estrada, edad 10 años, estudiante de la Escuela Primaria Guadalupe Victoria, obra: "Proceso de ámbar". Víctor Ezequiel Penagos Viveros, edad 11 años, estudiante de la Casa de la Cultura de Simojovel, obra: "Guapinol". Avril A. Pérez Camacho, edad 9 años, estudiante de la Escuela EduArte, obra: "Mina y ámbar". Franklin Antonio Martínez Zúñiga, edad 9 años, estudiante de la Escuela Primaria Marcos Enrique Becerra, obra: "Ámbar el árbol de la vida". Cabe mencionar que, ante el interés y la gran respuesta de participación que se tuvo en el 2023, este año se volvió a repetir la experiencia con mayor éxito y el doble de participación, ya que en la segunda edición del Concurso y Expo Arte se agregó una nueva categoría de 13 a 18 años, lo que permitió la participación de 96 niñas, niños y jóvenes entre 6 y 18 años de edad, quienes expusieron sus dibujos en el Museo comunitario del ámbar de Simojovel de Allende, ante más de 200 asistentes, que rindieron un homenaje póstumo a la señora Lilia Mijangos, originaria de Simojovel de Allende, quien se destacó por dar a conocer mundialmente el ámbar de Chiapas y apoyar su estudio científico. (Figura 7. Cartel de la Segunda Expo y Concurso de Dibujo Infantil y Juvenil "El ámbar de Chiapas")

Figura 7. Cartel del Concurso de Dibujo en Simojovel

2º Expo y Concurso de dibujo infantil y juvenil El ámbar de Chiapas

El Dr. Emilio Estrada Ruiz y su grupo de estudiantes de paleobotánica del Instituto Politécnico Nacional (IPN), la Colección del ámbar de Chiapas Elena Estrada Millán y el Museo del ámbar Lilia Mijangos, invitamos a todas las niñas, niños y jóvenes entre 6 y 18 años de edad, que vivan o estudien en el municipio de Simojovel de Allende, a participar en la Segunda Expo y Concurso de Dibujo infantil y juvenil "El ámbar de Chiapas", para que de manera creativa muestren lo que les sorprende, lo que conocen, lo que han observado, escuchado, soñado o les gustaría encontrar atrapado en el ámbar.

BASES:

OCTAVA. Tod@s l@s niñ@s y jóvenes que participen en el Concurso recibirán un diploma y un regalo sorpresa, además por cada categoría se seleccionarán dos dibujos y l@s ganadores recibirán una guitarra.

NOVENA. Los trabajos que se reciban se presentarán por parte de l@s participantes en una Expo Arte. La fecha y el lugar de la inauguración de la exposición se les avisará a través de sus contactos y de las redes sociales, para que asistan con sus familiares y ese día tod@s reciban sus regalos.

Esta edición 2024 está dedicada a la señora Lilia Mijangos, originaria de Simojovel de Allende y gran coleccionista, que dio a conocer mundialmente el ámbar de Chiapas para su estudio científico.

Sabías que... El ámbar de Chiapas es una resina vegetal que proviene de árboles extintos que vivieron hace más de 24 millones de años.

PARTICIPA Y SÍGUENOS EN:

MUSEO del ámbar Lilia Mijangos

Instituto Politécnico Nacional "La Técnica al Servicio de la Patria"

Conclusiones

a importancia de esta reseña informativa, es visibilizar el proyecto educativo, cultural y de divulgación científica, que se ha venido desarrollando en los últimos dos años en el municipio minero de Simojovel de Allende, Chiapas, el cual promueve la participación de niñas, niños y jóvenes multilingües, especialmente tsotsiles, tseltales y zoques, quienes de manera creativa y libre, imaginan y expresan a través del dibujo y la pintura, sus conocimientos que tienen sobre el ámbar, así como sus sentires, pensamientos e historias de vida. Esta iniciativa, posibilita el intercambio de saberes entre las infancias, juventudes, artesanas, artesanos, mineros, artistas, comerciantes ambareros, promotores culturales, maestras, maestros, autoridades locales, estudiantes universitarios y paleontólogos mexicanos. Profundizar y dar continuidad a esta experiencia, motivará a las nuevas generaciones a seguir descubriendo el mundo para cuidarlo y transformarlo; a valorar y a tomar conciencia de la riqueza cultural y natural de nuestros territorios para su defensa; y a estimular su interés por el estudio, las ciencias y las artes.

Referencias

- Estrada-Ruiz, E. (2023). A new species of winged fruits of *Podopteris* (Caryophyllales, Polygonaceae) from the Miocene amber, Chiapas, Mexico. *Palaeoworld*, 32(1), 188-195.
- Lowe, Lynne. El ámbar en Chiapas y su distribución en Mesoamérica, México, Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Investigaciones Filológicas, Centro de Estudios Mayas, 2004: 171 pp.
- Poinar Jr., G. y Brown, A.E. (2002). *Hymenaea mexicana* sp. nov. (Leguminosae: Caesalpinioideae) from Mexican amber indicates Old World connections. *Botanical Journal of the Linnean Society*, 139, 125-132.

Diagnóstico de fallas en sistemas de bioprocesos usando redes neuro-difusas adaptativas

Esvan de Jesús Pérez Pérez¹, Ildeberto Santos Ruiz², Julio Alberto Guzmán Rabasa², Yair González Baldizón^{2,3}
¹Universidad del País Innova, Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, ²Tecnológico Nacional de México, Campus Tuxtla Gutiérrez y ³Universidad Autónoma de Chiapas, FCA-1, Tuxtla Gutiérrez

Resumen

El artículo presenta un sistema de detección de fallas en bioprocesos mediante redes ANFIS (Sistema de Inferencia Neuro-Difuso Adaptativo), que estima las salidas del sistema. La detección se basa en residuos y usa una matriz de incidencia de fallas para el aislamiento. El método es probado en un CSTR (Reactor de Tanque Agitado Continuo).

Palabras claves: Diagnóstico de fallas, ANFIS, Bioprocesos, CSTR.

Abstract

The article presents a fault detection system in bioprocesses using ANFIS (Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System), which estimates system outputs. Detection is based on residuals and uses a fault incidence matrix for isolation. The method is tested on a CSTR (Continuous Stirred Tank Reactor).

Keywords: Fault diagnosis, ANFIS, Bioprocess, CSTR.

2. Método de diagnóstico de fallas en el biorreactor basado en ANFIS

En esta sección se describe el desarrollo del método propuesto para el diagnóstico de fallas en los sensores y en el proceso del biorreactor CSTR. El enfoque se basa en redes Neuro-Difusas Adaptativas (ANFIS) para la estimación de las salidas del sistema y la detección de fallas mediante análisis de residuos. El modelo se entrena bajo condiciones normales de operación, eliminando la necesidad de emplear datos asociados a fallas. Esta característica simplifica el proceso de modelado y aumenta su aplicabilidad en entornos industriales reales. Durante el entrenamiento, se obtienen las salidas estimadas $\hat{y}_i(k)$ del modelo ANFIS, las cuales se comparan con las salidas reales $y_i(k)$ del bioproceso, tal como se ilustra en la Figura 1. Una vez finalizado el entrenamiento, los residuos $r_i(k)$ se calculan utilizando la siguiente ecuación:

$$r_i(k) = y_i(k) - \hat{y}_i(k)$$

Los residuos generados se analizan utilizando una matriz de incidencia de fallas, lo que permite aislar e identificar las fallas en función de los patrones obtenidos. Este enfoque facilita un diagnóstico preciso y eficiente, mejorando la detección y el manejo de fallas en el sistema de bioproceso.

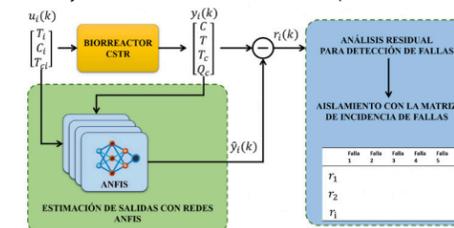


Figura 1. Diagrama del método propuesto

El simulador del biorreactor CSTR, representado en la Figura 2, opera de manera continua, transformando la especie A en la especie B a través de una reacción exotérmica de segundo orden. Una cámara de refrigeración regula la temperatura del reactor, previniendo posibles inestabilidades térmicas. El sistema cuenta con tres entradas principales: la concentración del reactante de entrada (C_i), la temperatura de entrada (T_i) y la temperatura del refrigerante (T_{ci}). Estas entradas controlan la velocidad de reacción y la gestión del calor dentro del reactor. En el lado de salida, se monitorean continuamente la concentración del producto (C), la temperatura del reactor (T), la temperatura del refrigerante (T_c) y el caudal del refrigerante (Q_c) con el fin de garantizar un rendimiento óptimo del sistema.

El sistema opera en una configuración de bucle cerrado, donde las entradas y salidas son ajustadas por el controlador. El simulador del biorreactor CSTR utilizado en este trabajo está disponible en línea en Pilario & Cao (2018). Para su implementación en este estudio, se empleó MATLAB como entorno de desarrollo, aprovechando su capacidad para resolver ecuaciones diferenciales y modelar sistemas dinámicos de manera eficiente. Esta implementación permitió integrar el simulador con las redes neuro-difusas adaptativas, con el fin de validar su desempeño en la detección de fallas. La relevancia del simulador radica en su capacidad para representar con precisión las dinámicas no lineales del CSTR, lo que resulta esencial para evaluar la robustez y efectividad del enfoque propuesto en escenarios

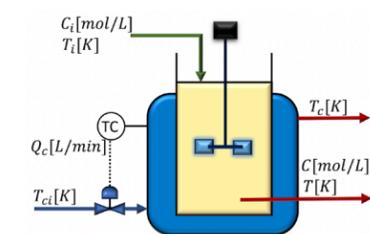


Figura 2. Diagrama que ilustra un biorreactor CSTR

El conjunto de datos del CSTR se genera a través de simulaciones que duran 1200 minutos, con una tasa de muestreo de 4 muestras por minuto, todo bajo condiciones sin fallas. Las entradas del sistema se producen utilizando una semilla aleatoria, y se presenta ruido a lo largo de las simulaciones. El método depende de las mediciones de los sensores tanto de las entradas como de las salidas del sistema. Un aspecto importante en la preparación de los datos es abordar la no linealidad inherente del sistema. Para capturar eficazmente esta no linealidad, se utiliza un modelo de regresión que incorpora información de los dos pasos de tiempo anteriores (k). Las variables de salida estimadas, en relación con las entradas, se organizan en una estructura regresiva, como se detalla en la Tabla 1.

Tabla 1 Variables a estimar en una estructura regresiva

Salida $\hat{y}_i(k)$	Estructura regresiva
$\hat{C}(k)$	$(C(k), C(k-1), C(k-2), C_i(k), T_i(k), T_{ci}(k))$
$\hat{T}(k)$	$(T(k), T(k-1), T(k-2), C_i(k), T_i(k), T_{ci}(k))$
$\hat{T}_c(k)$	$(T_c(k), T_c(k-1), T_c(k-2), C_i(k), T_i(k), T_{ci}(k))$
$\hat{Q}_c(k)$	$(Q_c(k), Q_c(k-1), Q_c(k-2), C_i(k), T_i(k), T_{ci}(k))$

Estas estructuras regresivas funcionan como entradas para los ANFIS, lo que permite la identificación de las variables estimadas y facilita el cálculo de los residuos.

2.1. Estimación de salidas con redes ANFIS

El proceso de identificación del sistema utiliza las estructuras regresivas de las variables presentadas en la Tabla 1. Las entradas al ANFIS están organizadas para la identificación del sistema CSTR, como se ilustra en la Figura 3. Es importante destacar que el proceso de entrenamiento emplea datos sin fallas para garantizar la precisión y confiabilidad del modelo. Para ejemplificar el método, se presenta el proceso utilizando la variable $\hat{T}(k)$ y su forma regresiva $(T(k), T(k-1), T(k-2), C_i(k), T_i(k), T_{ci}(k))$, las cuales se utilizan como entradas para el sistema de inferencia difusa. El ANFIS emplea estas entradas para identificar el comportamiento del sistema y estimar las variables de salida.

Introducción

La detección de fallas en sistemas de bioprocesos es esencial para garantizar un funcionamiento eficiente y minimizar riesgos en aplicaciones industriales. En este contexto, las Redes Neuro-Difusas Adaptativas (ANFIS) han demostrado ser herramientas altamente eficaces, al combinar la capacidad de aprendizaje de las redes neuronales con la lógica difusa, permitiendo la estimación de sistemas dinámicos complejos. Este trabajo presenta una metodología basada en ANFIS para la estimación de salidas en sistemas de bioprocesos, en la que la detección de fallas se realiza mediante análisis de residuos y su aislamiento se logra a través de una matriz de incidencia de fallas. Como caso de estudio, se implementa y evalúa la metodología en un Reactor de Tanque Agitado Continuo (CSTR), un sistema ampliamente utilizado en la industria de bioprocesos. Los resultados obtenidos demuestran la capacidad de esta aproximación para identificar y aislar fallas de manera eficiente, incluso en entornos caracterizados por alta variabilidad y complejidad.

En los últimos años, se han desarrollado diversas metodologías basadas en datos para mejorar la detección de fallas en sistemas complejos como los bioprocesos. Por ejemplo, Fan et al. (2020) emplearon algoritmos de bosque aleatorio para identificar variables clave en sistemas biológicos complejos. En el ámbito de los procesos químicos, Dakoune et al. (2020) compararon mediciones de procesos con valores de referencia, destacando el análisis de la temperatura en procesos exotérmicos, un aspecto relevante para los biorreactores. Otros estudios,

como el de Jalayer et al. (2021), incorporaron análisis estadísticos y transformadas de señales para detectar fallas en datos de procesos, estrategias que resultan aplicables en contextos con alta variabilidad en los bioprocesos.

Para abordar las no linealidades inherentes en los bioprocesos, Chen et al. (2022) emplearon redes neuronales apiladas y análisis de variables canónicas, mientras que Safaeipour et al. (2023) propusieron técnicas de filtrado de partículas para la detección de fallas incipientes bajo incertidumbres estocásticas. Estos enfoques metodológicos evidencian cómo las técnicas basadas en datos avanzan hacia una detección de fallas más robusta y precisa, especialmente en sistemas de alta complejidad como los biorreactores.

En las secciones siguientes se describe el desarrollo del método propuesto para el diagnóstico de fallas en sensores y procesos del biorreactor CSTR. Este método emplea redes neuro-difusas ANFIS para la estimación de las salidas del sistema y la detección de fallas mediante análisis de residuos. El entrenamiento se realiza bajo condiciones normales, es decir, sin fallas, lo que elimina la necesidad de contar con datos de fallas durante esta etapa. Posteriormente, los residuos generados son analizados mediante una matriz de incidencia de fallas, lo que permite aislar e identificar las fallas de acuerdo con el patrón obtenido.

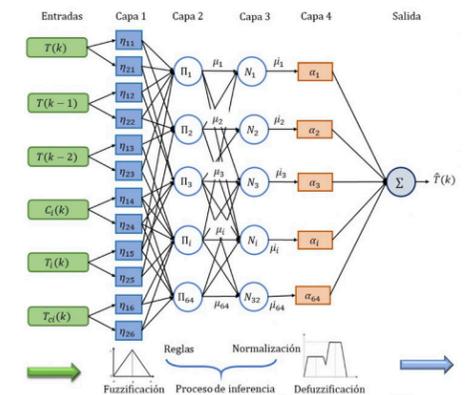


Figura 3. Arquitectura ANFIS para la identificación del CSTR

2.2. El proceso llevado a cabo por un ANFIS se organiza en cinco capas para realizar la inferencia difusa y el ajuste de parámetros. En la primera capa, cada nodo representa una función de membresía para cada entrada, transformando los valores de entrada en grados de pertenencia que reflejan su asociación con etiquetas lingüísticas (por ejemplo, bajo, medio, alto). La segunda capa multiplica los grados de pertenencia correspondientes a cada posible regla, calculando el "peso" de cada regla activa. En la tercera capa, se normalizan los pesos de las reglas, asegurando que la suma de los pesos sea igual a uno, lo que permite la comparación equitativa entre ellas. La cuarta capa utiliza parámetros lineales ajustables para generar una salida ponderada, que depende tanto de la entrada como del peso de la regla, lo que contribuye a la flexibilidad del modelo. Finalmente, en la quinta capa, se suman todas las salidas ponderadas para obtener la salida total del sistema. A través de estas capas, el ANFIS logra combinar la lógica difusa con el aprendizaje supervisado de redes neuronales, ajustando sus parámetros mediante algoritmos de optimización, lo que mejora su capacidad para aproximar funciones complejas.

2.3. Análisis de Residuos y Matriz de Incidencia de Fallas

Para el análisis de residuos, se evalúa la precisión de las salidas estimadas por los ANFIS comparándolas con las salidas reales: concentración del producto (C), temperatura del reactor (T), temperatura del refrigerante (T_c), flujo de refrigerante (Q_c). A cada una de estas salidas reales se le asigna un residuo correspondiente, donde:

$$r_1 = C - \hat{C} \quad (2)$$

$$r_2 = T - \hat{T} \quad (3)$$

$$r_3 = T_c - \hat{T}_c \quad (4)$$

$$r_4 = Q_c - \hat{Q}_c \quad (5)$$

Cada residuo representa la diferencia entre la salida real y su correspondiente estimación calculada mediante el modelo ANFIS. Este análisis es fundamental, ya que cualquier variación significativa entre los valores reales y los estimados puede indicar un comportamiento anómalo o una posible falla en el sistema. Para determinar la presencia de una falla, cada residuo se compara con un umbral previamente definido. Si el residuo (r_i) es distinto de cero y supera dicho umbral, se considera que existe una posible falla asociada a esa variable específica.

Posteriormente, el resultado del análisis de cada residuo se almacena en una matriz de incidencia de fallas, la cual actúa como un registro de diagnóstico para identificar y aislar fallas en el sistema. En esta matriz, se asigna un valor de 1 si el análisis detecta una falla (es decir, si el residuo supera el umbral) y un valor de 0 si no se detecta ninguna anomalía. La estructura de la matriz de incidencia permite identificar patrones específicos de fallas basados en las variables afectadas, lo que facilita la localización precisa del problema dentro del sistema. Este enfoque de diagnóstico es crucial para implementar medidas correctivas

rápidas y eficaces, asegurando la estabilidad y el rendimiento óptimo del CSTR. La configuración y los datos utilizados en las simulaciones numéricas son los siguientes:

- Perfil de flujo de nutrientes: 100 litros por hora.
- Tiempo de simulación: 1200 minutos.
- Frecuencia de muestreo: cuatro muestras por minuto.
- Vector de datos para cada variable: 4800 muestras.

Para un aprendizaje efectivo y para evitar el sobreajuste del ANFIS, los conjuntos de datos de cada variable se dividieron en tres subconjuntos: 70% para entrenamiento, 15% para prueba y 15% para validación. El Error Cuadrático Medio (RMSE) se utilizó para medir la precisión de ANFIS con la siguiente fórmula:

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N_e} \sum_{e=1}^{N_e} (y_e - \hat{y}_e)^2} \quad (6)$$

donde y_e es la variable objetivo, \hat{y}_e es la salida de ANFIS y N_e es el número de muestras de datos.

Resultados

Esta sección presenta los resultados de la detección y aislamiento de fallas en los sensores, obtenidos en diversos escenarios de prueba. La Figura 4 muestra las entradas al sistema del biorreactor CSTR.

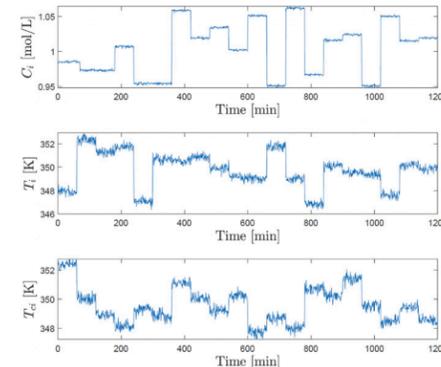


Figura 4. Entradas al sistema de biorreactor

La Tabla 2 resume los hiperparámetros utilizados en el entrenamiento del modelo ANFIS en este estudio. Los hiperparámetros seleccionados, que incluyen la estructura difusa, el número de entradas y salidas, las reglas difusas y las configuraciones específicas para el proceso de entrenamiento, fueron optimizados para mejorar la precisión predictiva y la eficiencia computacional del modelo.

Tabla 2 Hiperparámetros del Modelo ANFIS

Hiperparámetro	Valor
Estructura Difusa	Takagi-Sugeno
Entrada/Salida	6/1
Numero de Reglas Difusas	64
Tipo de Función de Pertenencia	Campana Generalizada
Mejora Mínima	1×10^{-4}
Número de Épocas	150
Tamaño de Paso Inicial	0.01
Tasa de Disminución del Paso	0.8
Tasa de Aumento del Paso	1.1

La Tabla 3 de resultados contiene los datos de entrenamiento para la identificación del sistema, así como el número de reglas difusas correspondientes a los parámetros obtenidos durante el proceso de aprendizaje del ANFIS.

Tabla 3 Resultados del entrenamiento de cada variable de salida del CSTR

Variabes	Numero de reglas difusas	RMSE
$\hat{C}(k)$	64	7.1681×10^{-4}
$\hat{T}(k)$	64	4.8035×10^{-4}
$\hat{T}_c(k)$	64	4.9434×10^{-4}
$\hat{Q}_c(k)$	64	6.5689×10^{-4}

La Figura 5 muestra la estimación de la concentración y temperatura del biorreactor en línea discontinua azul, y los datos reales en línea continua roja. En la Figura 6 se observa la estimación del caudal y temperatura del refrigerante. En ambas figuras se aprecia la efectividad de los ANFIS para estimar las variables de salida del sistema.

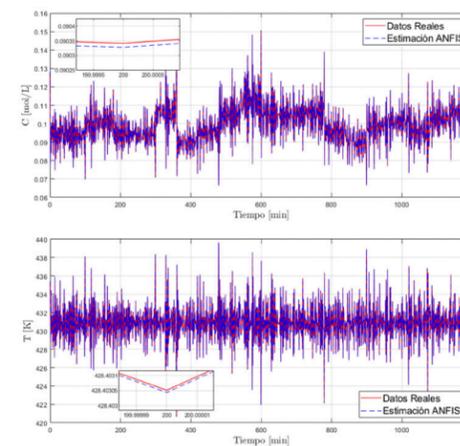


Figura 5. Estimación de concentración y temperatura

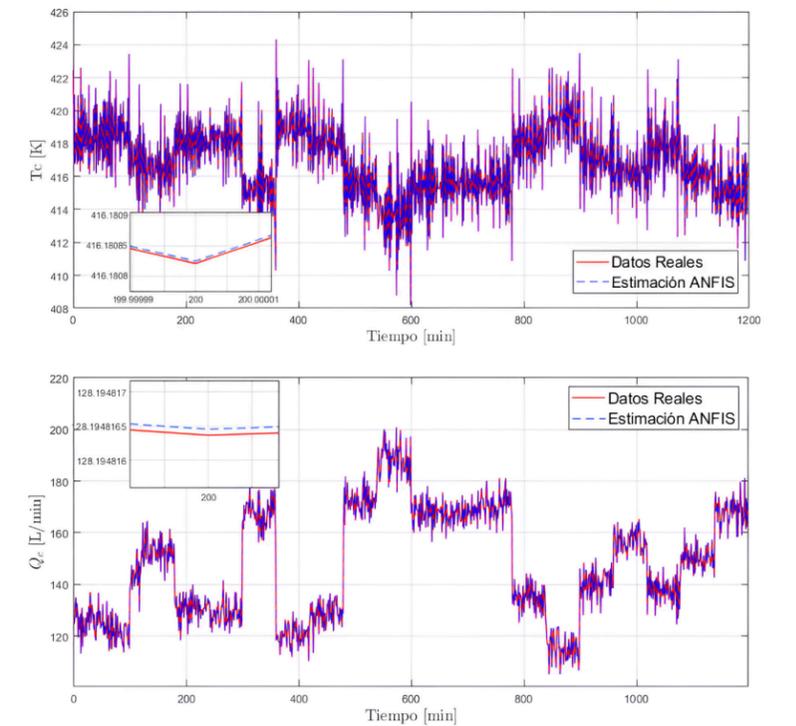


Figura 6. Estimación de la temperatura y flujo del refrigerante

Se han identificado fallas en los sensores de salida a lo largo del experimento. Como se muestra en la Figura 7, la concentración presenta una variación significativa entre los minutos 100 y 250, donde se activa el residuo r_1 correspondiente, lo que indica la presencia de una falla. Esta figura ilustra cómo la concentración se ve afectada durante este intervalo. Posteriormente, en la Figura 8, se observa el comportamiento de la temperatura, con una falla que se manifiesta entre los minutos 250 y 400. El residuo r_2 asociado también se presenta en esta figura, reflejando las desviaciones esperadas en el sensor. La Figura 9 muestra la temperatura del refrigerante y destaca una falla en el rango de minutos 400 a 550. El residuo r_3 correspondiente se grafica junto con la temperatura, evidenciando nuevamente el impacto de la falla en las mediciones del sensor. Finalmente, la Figura 10 ilustra el caudal del refrigerante, donde se detecta una falla entre los minutos 550 y 700. En esta figura también se presenta el residuo r_4 , que ayuda a cuantificar la magnitud de la discrepancia en la medición.

Todas estas fallas fueron detectadas con éxito utilizando redes ANFIS, las cuales demostraron su capacidad para identificar y caracterizar las anomalías en los sensores de salida, proporcionando un enfoque efectivo para el diagnóstico de fallas en el sistema.

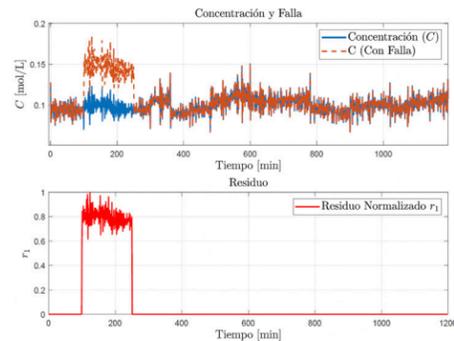


Figura 7. Falla de sensor 1 y activación de residuo 1

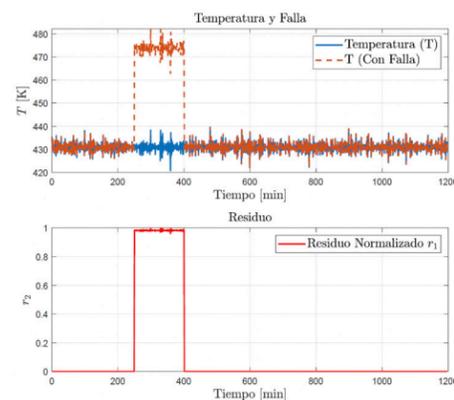


Figura 8. Falla de sensor T y activación de residuo 2

En la Tabla 4, cada fila representa una falla específica, mientras que cada columna indica la detección de una falla asociada a un residuo particular. El residuo r_1 indica que se detectó una falla en el sensor de concentración, evidenciando un offset significativo en las mediciones. Por otro lado, r_2 resalta la falla en el sensor de temperatura, mientras que r_3 corresponde a la temperatura del refrigerante. Finalmente, r_4 señala la detección de una falla en el sensor de caudal del refrigerante.

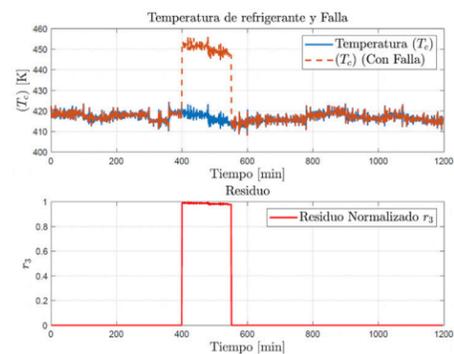


Figura 9. Falla de sensor T_c y activación de residuo 3

Los resultados obtenidos destacan la efectividad del enfoque propuesto, especialmente al compararlo con métodos tradicionales de detección de fallas basados en el análisis de residuos, como los presentados por González et al. (2020) y López-Zapata et al. (2017). A diferencia de estos métodos convencionales, la técnica presentada en este estudio ofrece una mayor versatilidad y, en numerosos casos, una detección más temprana, lo que contribuye significativamente a la mejora en la supervisión y diagnóstico de sistemas de bioprocesos.

La identificación de estas fallas es fundamental para garantizar el correcto funcionamiento del sistema y la integridad de los datos recopilados. Las redes ANFIS demostraron ser efectivas en la detección de estas anomalías, ofreciendo un enfoque robusto para el diagnóstico y mantenimiento de los sensores de salida.

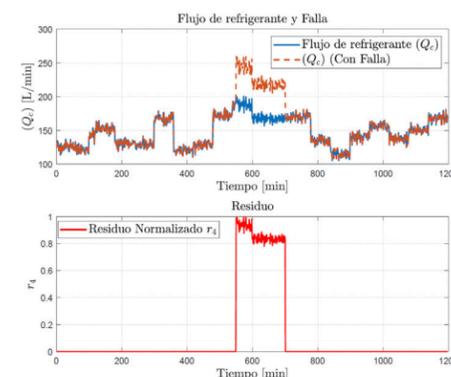


Figura 10. Falla en sensor Q_c y activación de residuo 4

Tabla 4 Matriz de incidencia de fallas

Residuo/Falla	r_1	r_2	r_3	r_4
Falla 1	1	0	0	0
Falla 2	0	1	0	0
Falla 3	0	0	1	0
Falla 4	0	0	0	1

Conclusión

El análisis realizado ha permitido detectar e identificar diversas fallas en los sensores de salida del sistema, las cuales han sido evidenciadas a través de la matriz de incidencia de fallas. Las mediciones de concentración, temperatura, temperatura del refrigerante y caudal presentaron anomalías significativas en distintos intervalos de tiempo. Las redes ANFIS demostraron ser una herramienta eficaz para la detección de estas fallas, proporcionando una metodología robusta para el monitoreo y diagnóstico de sistemas. La identificación de estas fallas no solo es esencial para mantener la precisión de las mediciones, sino que también contribuye a la optimización del rendimiento global del sistema. A medida que se avanza en el análisis de datos y el desarrollo de métodos de diagnóstico más sofisticados, se espera que la capacidad de detectar y corregir fallas se vea incrementada, garantizando así una operación más segura y eficiente. Este trabajo establece las bases para futuras investigaciones y desarrollos en el área de sistemas de monitoreo,

contribuyendo al avance tecnológico en la detección de fallas y la mejora de procesos industriales.

Referencias

- Chen, H., Li, L., Shang, C., & Huang, B. (2022). Fault detection for nonlinear dynamic systems with consideration of modeling errors: A data-driven approach. *IEEE Transactions on Cybernetics*, 53(7), 4259–4269.
- Dakkoune, A., Vernières-Hassimi, L., Lefebvre, D., & Estel, L. (2020). Early detection and diagnosis of thermal runaway reactions using model-based approaches in batch reactors. *Computers & Chemical Engineering*, 140, 106908.
- Fan, S.-K. S., Hsu, C.-Y., Tsai, D.-M., He, F., & Cheng, C.-C. (2020). Data-driven approach for fault detection and diagnostic in semiconductor manufacturing. *IEEE Transactions on Automation Science and Engineering*, 17(4), 1925–1936.
- González, J. P. C., Gutiérrez, P. E. A., Medina, M. A., Zapata, B. Y. L., Guerrero, G. V. R., & Valdés, L. G. V. (2020). Effects on Biodiesel Production Caused by Feed Oil Changes in a Continuous Stirred-Tank Reactor. *Applied Sciences* 2020, Vol. 10, Page 992, 10(3), 992. <https://doi.org/10.3390/AP10030992>
- Jalayer, M., Orsenigo, C., & Vercellis, C. (2021). Fault detection and diagnosis for rotating machinery: A model based on convolutional LSTM, Fast Fourier and continuous wavelet transforms. *Computers in Industry*, 125, 103378.
- López-Zapata, B. Y., Adam-Medina, M., Álvarez-Gutiérrez, P. E., Castillo-González, J. P., Hernández-de León, H. R., & Vela-Valdés, L. G. (2017). Virtual Sensors for Biodiesel Production in a Batch Reactor. *Sustainability* 2017, Vol. 9, Page 455, 9(3), 455. <https://doi.org/10.3390/SU9030455>
- Pilario, K. E. S., & Cao, Y. (2018). Canonical variate dissimilarity analysis for process incipient fault detection. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 14(12), 5308–5315.
- Safaeipour, H., Forouzanfar, M., Puig, V., & Birgani, P. T. (2023). Incipient fault diagnosis and trend prediction in nonlinear closed-loop systems with Gaussian and non-Gaussian noise. *Computers & Chemical Engineering*, 177, 108348.

Referencias

- Bleiker, K. P., Carroll, A. L., & Smith, G.D. (2011). *Mountain Pine Beetle Working Paper: Mountain pine beetle range expansion: Assessing the threat to Canada's boreal forest by evaluating the endemic niche*. Final Report Ver. 1.1. Natural Resources Canada, Canadian Forest Service, Pacific Forestry Centre.
- Cibrián Tovar, D., Méndez Montiel, J. T., Campos Bolaños, R., Yates III, H.O. & Flores Lara, J. (1995). *Insectos forestales de México / Forest Insects of Mexico*. (Pub. No. 6). Universidad Autónoma de Chapingo, SARH, USDA-FS, Comisión Forestal Norteamericana, FAO.
- Dominguez Sánchez, B., Ramírez-Marcial, N., Macías-Sámano, J. E. & León-Cortés, J. (2008). Respuesta kairomonal de coleópteros asociados a *Dendroctonus frontalis* y dos especies de *Ips* (Coleoptera: Curculionidae) en bosques de Chiapas, México. *Revista Mexicana Biodiversidad*, 79, 175 – 183.
- Douglas, H. B., Cognato, A. I., Grebennikov, V., & Savard, K. (2019). Dichotomous and matrix-based keys to the *Ips* bark beetles of the World (Coleoptera: Curculionidae: Scolytinae). *Canadian Journal of Arthropod Identification*, 38.
- Haack, R. A., Billings, R. F. & Richter, A. M. (1989). Life history parameters of bark beetles (Coleoptera:Scolytidae) attacking west indian pine in the Dominican Republic. *Florida Entomologist*, 72, 591 – 603.
- Hart, S. J., Veblen, T. T., Eisenhart, K. S., Jarvis, D. & Kulakowski, D. (2014). Drought induces spruce beetle (*Dendroctonus rufipennis*) outbreaks across northwestern Colorado. *Ecology*, 95, 930 – 939.
- Instituto Nacional de Conservación Forestal. (2015). *Plan de acción para el control de la plaga del gorgojo de pino*. Autoedición.
- Instituto Nacional de Conservación Forestal. (2022). *Anuario Estadístico Forestal de Honduras*. <https://icf.gob.hn/unidad-de-estadistica-forestal/>.
- Instituto Nacional de Bosques. (2016). *Plan de contingencia para la detección y control del gorgojo del pino (Dendroctonus spp)* en Guatemala. Autoedición.
- Jiménez, A. A., Cabrera, P. R. C. & Agramonte, J. E. (2022). Fluctuación poblacional de *Ips calligraphus* en pinares de la vertiente norte de la cordillera Central, República Dominicana. *Novitates Caribaea*, 20, 137-154.
- Kleinman, S. J., DeGomez, T. E., Snider, G. B. & Williams, K. E. (2012). Large-scale pinyon *Ips* (*Ips confusus*) outbreak in southwestern United States tied with elevation and land cover. *Journal of Forestry*, 110, 194 – 200.
- Macías-Sámano, J. E. (2021). Compuestos químicos comportamentales de los insectos. En D. Cibrián-Tovar (ed.) *Fundamentos para el Manejo Integrado de Plagas Forestales*. Universidad Autónoma Chapingo, México.
- Macías-Sámano, J. E. & Niño Domínguez, A. (2016). *Protocolo para monitoreo de descortezadores de coníferas mediante el uso de atrayentes y semioquímicos para México y Centroamérica* (1ª edición) (Informe técnico). Colegio de la Frontera Sur y Oficina de Programas Internacionales del Servicio Forestal de los Estados Unidos.
- Macías-Sámano, J. E., Rivera-Granados, M. L., Jones, R. & Ibarra, G. (2014). Respuesta de insectos descortezadores de pino y de sus depredadores a

Técnicas de pregerminación de accesiones de *Capsicum annuum* L [var. *Glabriusculum* (Dunal) Heiser & Pickersgill],

de municipios de la zona Zoque de Chiapas.

Escalante González José Luis¹; Zepeda Trujillo Roberto Oliver¹, Argüello Ruiz Karla Rubí¹, Arébalo Madrigal, Magalidía¹; Coutiño Josue Bernabé¹, Mareli Jacinto Rosales, Domínguez López Clara Luz¹, Gutiérrez Hernández Luis Gerardo¹, Gutiérrez Hernández Martha Cecilia¹, López Sánchez Joana Yusleydi¹, Suárez Hernández María Belen¹, Villarreal Vázquez Daniel¹.

¹Unidad Académica Selva Negra Rayón de la Universidad Tecnológica de la Selva

Resumen

Capsicum annuum L., variedad *Glabriusculum*, presenta porcentajes muy bajos de germinación, alcanzando únicamente un 5% según investigaciones previas, incluso cuando las condiciones fisiológicas y ambientales son óptimas.

El objetivo de la presente investigación fue determinar la técnica adecuada de pregerminación y evaluar su efecto en el comportamiento de las plántulas durante la etapa de semillero. A partir de colectas realizadas en cinco comunidades de Rayón, cinco de Pantepec y cinco de Tapalapa, se obtuvieron 23 accesiones provenientes de la región Zoque del estado de Chiapas.

En el proyecto se evaluaron tres tratamientos de pregerminación. El primero consistió en el remojo de 50 semillas en agua durante 12 horas. El segundo tratamiento implicó el remojo de 50 semillas en ácido giberélico al 10% durante 5 minutos. En el tercer tratamiento, las 50 semillas fueron remojadas en ácido clorhídrico al 35% durante 5 minutos. Las plantas generadas mediante estas técnicas de pregerminación fueron posteriormente sembradas en charolas germinadoras.

Las semillas expuestas al ácido clorhídrico al 35% durante 5 minutos sufrieron quemaduras, lo que eliminó por completo su capacidad de germinación. Por otro lado, las semillas remojadas durante 5

minutos en ácido giberélico al 10% y aquellas remojadas durante 12 horas en agua presentaron porcentajes de germinación de 44.74% y 43.89%, respectivamente.

En cuanto al comportamiento de la altura, se observó que las semillas tratadas con ácido giberélico al 10% durante 5 minutos mostraron variación en solo cuatro accesiones, mientras que las semillas remojadas en agua durante 12 horas presentaron mayor variabilidad en el crecimiento de las plántulas durante la etapa de semillero.

Palabras clave: *Capsicum*, *Glabriusculum*, técnicas de pregerminación, zona Zoque, Ácido Giberélico.

Abstract

Capsicum annuum L., variety *Glabriusculum*, presents very low germination percentages, reaching only 5% according to previous research, even when physiological and environmental conditions are optimal.

The aim of this research was to determine the appropriate pre-germination technique and assess its effect on seedling behavior during the nursery stage. Collections made in five communities of Rayón, five of Pantepec, and five of Tapalapa resulted in 23 accessions from the Zoque region of

the state of Chiapas.

In the project, three pre-germination treatments were evaluated. The first consisted of soaking 50 seeds in water for 12 hours. The second treatment involved soaking 50 seeds in 10% gibberellic acid for 5 minutes. In the third treatment, the 50 seeds were soaked in 35% hydrochloric acid for 5 minutes. The plants generated through these pre-germination techniques were subsequently planted in germination trays.

The seeds exposed to 35% hydrochloric acid for 5 minutes suffered burns, completely eliminating their germination capacity. On the other hand, the seeds soaked for 5 minutes in 10% gibberellic acid and those soaked for 12 hours in water showed germination percentages of 44.74% and 43.89%, respectively.

Regarding height behavior, it was observed that the seeds treated with 10% gibberellic acid for 5 minutes showed variation in only four accessions, while the seeds soaked in water for 12 hours exhibited greater variability in seedling growth during the nursery stage.

Keywords: *Capsicum*, *Glabriusculum*, pregermination techniques, Zoque Zone, Gibberelic Acid.

Foto: Jorge Caldera



Introducción

El género *Capsicum* pertenece a la familia Solanaceae e incluye diversas variantes de chiles que se distinguen fácilmente por su tamaño, forma, color y grado de pungencia. Según el grado de pungencia, los chiles se clasifican en picantes, generalmente con frutos pequeños, y dulces, con frutos grandes (Pozo et al., 1991).

En México existe una gran diversidad del género *Capsicum*, el cual se utiliza en la gastronomía, la medicina tradicional, así como en aspectos económicos y culturales, incluyendo rituales. Estos usos tienen su origen en la antigüedad, en el modo de vida de los pueblos prehispánicos, y perduran hasta la actualidad en las prácticas de los pueblos originarios (Laborde-Cansino y Pozo-Campodónico, 1982).

El consumo y cultivo del chile han experimentado un incremento debido a su riqueza en vitaminas (A, C y B6, principalmente), antioxidantes, β -caroteno, flavonoides, compuestos anticancerígenos, antimicrobianos, pigmentos, saborizantes, aceites fijos y volátiles, carotenoides, oleoresinas y alcaloides con potencial insecticida (Lúí et al., 2013).

En la actualidad, el uso del chile sigue siendo el mismo, aunque con una mayor demanda. Por ello, la importancia de este producto radica en su proceso agrícola, incluyendo el incremento en el porcentaje de pregerminación, germinación, crecimiento, poda y cosecha.

El presente estudio aborda la importancia del proceso de pregerminación, dado que el chile Amashe (*Capsicum annum* L., var. *Glabriusculum*) presenta porcentajes de germinación muy bajos, incluso cuando las características fisiológicas, climáticas y ambientales son adecuadas. Estudios previos indican que el porcentaje de germinación de la semilla de chile Amashe es inferior al 5%, lo que genera una problemática generalizada entre los productores agrícolas (Ramírez-Meraz et al., 2015).

La presente investigación tiene como objetivo evaluar el efecto de tres tratamientos y determinar la técnica más apropiada para la pregerminación, así como su impacto en el comportamiento de las plántulas durante la etapa de semillero. Este estudio se basa en las semillas colectadas de 23 accesiones en municipios de la zona Zoque del estado de Chiapas, regiones donde el chile Amashe forma parte esencial del modo de vida y de los procesos económicos de sus habitantes. Según mencionan, la dificultad en el proceso de pregerminación es uno de los factores que impide a muchos productores aprovechar plenamente las oportunidades que ofrece este valioso producto agrícola. Las condiciones climáticas y ambientales de la zona norte del estado brindan diversas ventajas para el desarrollo de proyectos agrícolas productivos que mejoren la calidad de vida de las personas involucradas. Esto, junto con el acompañamiento en el mejoramiento de los procesos agrícolas, como es el caso del objetivo de esta investigación, puede potenciar y generar mejores resultados en beneficio de los pueblos Zoques.

A pesar de ser una especie ampliamente utilizada en los platillos regionales y en diversas áreas, *C. annum* var. *Glabriusculum* en la zona Zoque ha sido poco estudiada, lo que ha provocado el desconocimiento de las especies existentes en

la región. Por lo tanto, se requiere de estudios que contribuyan a su conservación y aprovechamiento sustentable, lo cual motiva la propuesta de la presente investigación.

Objetivos

La investigación se llevó a cabo con el objetivo de identificar la mejor técnica de pregerminación para las especies nativas de la región Zoque de Chiapas, con el fin de asegurar la preservación de las especies endémicas en la zona de estudio, así como evaluar el efecto de dicha técnica en el comportamiento de las plántulas durante la etapa de semillero.

Materiales y Métodos

El estudio forma parte complementaria del proyecto Caracterización y Preservación del Germoplasma de Especies y Variedades del Género *Capsicum* en Tres Municipios de la Zona Zoque de Chiapas. La investigación se llevó a cabo en el laboratorio de ciencias básicas de la Unidad Académica de Rayón, de la Universidad Tecnológica de la Selva.

Zona de colecta

Las accesiones se obtuvieron en los municipios de Rayón, Pantepec y Tapalapa, que forman parte de la zona Zoque del estado de Chiapas, ubicados dentro de la zona montañosa conocida como Selva Negra. Esta región se caracteriza por su exuberante vegetación de bosque mesófilo y la presencia, durante gran parte del año, de una espesa neblina. El clima de la zona es, en su mayoría, del tipo semicálido húmedo con lluvias durante todo el año, una característica ecológica que favorece la existencia de una gran biodiversidad. Estos municipios se localizan en las coordenadas geográficas 17° 12' N y 93° 00' W, 17° 11' N y 93° 03' W, y 17° 11' N y 93° 06' W, respectivamente (INEGI, 2022).

Obtención del material vegetal

Para el proceso de obtención del material vegetal, se acudió a las comunidades que integran cada municipio, de acuerdo con un cronograma de actividades previamente establecido. Se recolectaron muestras en 5 comunidades del municipio de Rayón, 5 de Pantepec y 5 de Tapalapa, todas ubicadas en la zona Zoque del estado de Chiapas. Cada lugar fue identificado y se llevó a cabo la georreferenciación correspondiente, registrando datos de las plantas y obteniendo frutos en su estado de madurez fisiológica. En total, se colectaron 23 accesiones (frutos) en las siguientes comunidades: Anexo Las Nubes, Manzanillo, Pinabeto, Unión Nueva y Unión Laja, del municipio de Rayón; Carrizal, San Isidro Las Banderas, Liquidámbar, Canelar y Buenos Aires, del municipio de Pantepec; y San Agustín, Niquidámbar, Manzano, Rosa Blanca y 20 de Noviembre, en el municipio de Tapalapa.

Los frutos colectados se secaron al sol y se extrajo el germoplasma, el cual fue sometido al proceso de pregerminación, denominados como tratamientos. Posteriormente a la aplicación de los tratamientos, una vez que la radícula apareció en al menos el 50% de las semillas tratadas, estas se sembraron en charolas de 200 cavidades, que contenían un sustrato compuesto por un 60% de Peat moss y un 40% de agrolita, el cual se humedeció hasta alcanzar la capacidad de retención de agua del sustrato. De esta manera, se proporcionó la humedad requerida para la germinación y el

desarrollo de las plántulas. Posteriormente, las charolas fueron ubicadas en un área destinada para su adecuado desarrollo.

Descripción de los tratamientos

El experimento consistió en colocar 50 semillas en cada uno de los tratamientos de pregerminación, según se detalla a continuación:

En el tratamiento 1, se seleccionaron al azar 50 semillas de cada colecta, las cuales se colocaron en cajas Petri con agua, donde se dejaron remojar durante 12 horas. El tratamiento 2 consistió en remojar 50 semillas por colecta, para cada tratamiento, durante 5 minutos en ácido giberélico al 10%. Finalmente, el tratamiento 3 consistió en remojar 50 semillas por colecta, durante 5 minutos, en ácido clorhídrico al 35%.

Variables respuestas

Para evaluar el efecto de los tratamientos, se midieron dos variables de respuesta que evidencian el impacto de los tratamientos aplicados. La primera variable fue los Días a Germinación (DG), que consistió en contabilizar los días transcurridos desde la aplicación del tratamiento hasta la aparición de al menos el 50% de las semillas tratadas. La determinación de esta variable se realizó durante los primeros tres días posteriores a la aplicación del tratamiento, en cuanto apareció el ápice del epicótilo. Posteriormente, las semillas germinadas fueron sembradas en charolas germinadoras de 200 cavidades.

La variable Porcentaje de Germinación (PG), consistió en determinar el porcentaje de plántulas de *C. a.*, var. *Glabriusculum* totales por tratamiento, a partir del total de semillas tratadas y el número de plantas germinadas. Para asegurar que no se cometiera error, se esperó 30 días posteriores a la aplicación de los tratamientos, para contabilizar esta variable.

Los datos recolectados se registraron en una libreta de campo y se analizaron utilizando el paquete de Análisis Estadístico SAS (Statistical Analysis System), respetando el modelo de un Diseño Experimental Completamente al Azar

$$(Y_{ij} = \mu + T_j + \epsilon_{ij}).$$

Resultados y Discusión

Porcentaje de Germinación (PG)

Para la variable porcentaje de germinación, se observó que los tratamientos presentaron una diferencia mínima significativa (Cualquiera de los tratamientos menor $(\alpha = 0.05)$, el análisis de medias puede ser utilizado (Tabla 1).

Tabla 1. Análisis de varianza entre tratamientos

Factor de Variación	Grados de Libertad	Porcentaje de Germinación
Tratamientos	2	793.92*
Variedad	23	39680.83**
Error	151	18823.55
Total	176	59298.31
Cocf. de Variación		26.14

Si $Pr > F > 0.05$ no hay diferencia estadística significativa ($\alpha = 0.05$); * Si $Pr > F$ está entre 0.01 y 0.05 > hay diferencia estadística significativa; ** Si $Pr < 0.01$ hay diferencia estadística altamente significativa.

Cabe mencionar que las semillas sometidas al tratamiento de 5 minutos de remojo en ácido clorhídrico (al 35%) resultaron dañadas a tal grado que no permitieron la germinación. En cuanto a las comparaciones de medias (Tabla 2), aunque no se observó una diferencia estadística significativa entre las medias de los tratamientos, existe una diferencia numérica que puede ser considerada.



Foto: huerto-en-casa.com

El tratamiento de pregerminación en el que las semillas se remojaron durante 5 minutos en ácido giberélico presentó el porcentaje más alto de germinación (44.74%), seguido por el tratamiento en el que las semillas se remojaron durante 12 horas, con un 43.89%.

Tabla 2. Comparaciones de medias de tratamientos por el método de Tukey ($\alpha = 0.05$)

Tratamiento	Porcentaje de Germinación
PG5MAG	44.74 A
PG12HA	43.89 A
DMS	4.88

DMS: Diferencia Mínima Significativa, AP5MAG: Altura de planta en tratamiento de 5 minutos de remojo en ácido Giberélico; AP12HA: Altura de planta con 12 horas de remojo en agua.

Al estudiar el efecto de las técnicas de pregerminación sobre el desarrollo vegetativo de las plantas de Chile, cuyas semillas fueron tratadas, se observa que al sumergir durante 5 minutos las semillas de la variedad *Glabriusculum* en ácido giberélico al 10%, se afecta de alguna manera el desarrollo vegetativo de la planta. Un comportamiento similar se observa en el tratamiento de inmersión en agua durante 12 horas. Este efecto es evidente al realizar un análisis de varianza de los datos de campo entre tratamientos para la variable altura de planta (AP), ya que se encontró una diferencia estadística significativa entre los tratamientos en esta variable agronómica. Sin embargo, no se observó una diferencia estadística significativa en las plantas cuyas semillas se sumergieron durante 10 minutos en ácido giberélico (Tabla 3).

Tabla 3. Análisis de Varianza entre Variedades

Factor de Variación	Grados de Libertad	AP5MAG	AP12HA
Variedad	21	18.73**	60.6**
Error	58	12.57	21.95
Total	79	31.67	86.10
Coeff. de Variación		17.02	20.1

Si $Pr < 0.05$ no hay diferencia estadística significativa ($\alpha=0.05$), ** Si $Pr < 0.01$ hay diferencia estadística altamente significativa. AP5MAG: Altura de planta en tratamiento de 5 minutos de remojo en ácido Giberélico; AP12HA: Altura de planta con 12 horas de remojo en agua.

Cabe mencionar que las semillas tratadas con ácido clorhídrico (al 35%) sufrieron daños en el embrión, lo que impidió que la mayoría de las semillas germinaran. El número de semillas germinadas fue tan bajo que no fue necesario contabilizarlas ni evaluarlas.

Comparaciones de medias

La técnica de pregerminación que ha inducido variación en el comportamiento de la altura de las plantas de las variedades, al realizar la prueba de comparación de medias mediante el método de Tukey, muestra una diferencia estadística significativa ($\alpha = 0.05$) en la altura de las plantas cuyas semillas recibieron la técnica de pregerminación consistente en un remojo de 5 minutos en ácido giberélico al 10%. Sin embargo, esta variación se observa únicamente en un grupo reducido de variedades, mientras que en la gran mayoría, el desarrollo es uniforme. El comportamiento observado en el análisis, de acuerdo con Bewley y Black (1994), se debe a que la germinación es regulada por hormonas giberélicas, en particular por el ácido giberélico (AG), y a la intervención de enzimas hidrolíticas que reblandecen el endospermo o la cubierta, inducen la movilización de reservas y estimulan la germinación.

Tabla 4. Comparación de Media entre Tratamientos por el método de Tukey ($\alpha=0.05$)

Accesiones	AP5M	APAG
San Isidro Las Banderas 3	3.6 A	4.4 AB
Liquidambar	3.5 AB	4.5 AB
Buenos Aires 2	3.1 ABC	0.0
Buenos aires 1	3.0 ABC	0.0
San Isidro Las Banderas 1	3.0 ABC	3.0 ABCDE
Rosa Blanca 1	3.0 ABC	2.4 CDE
Canelar	3.0 ABC	3.0 ABCDE
20 de noviembre 1	3.0 ABC	0.0
San Isidro Las banderas 2	2.9 ABCD	2.9 BCDE
Manzano	2.8 ABCD	0.0
Rosa Blanca 2	2.8 ABCD	3.9 ABC
Niquidambar	2.8 ABCD	4.6 A
Carrizal	2.7 ABCD	1.9 E
Unión Nueva	2.6 ABCD	2.3 CDE
Unión Laja	2.3 ABCD	2.0 DE
Anexo Las Nubes	2.2 ABCD	3.0 ABCDE
20 de noviembre 2	2.1 BCD	3.5 ABCD
Manzanillo	2.0 CD	2.1 DE
Pinabeto 1	2.0 CD	0.0
San Agustín	1.8 CD	2.67 CDE
San Isidro las Banderas 4	1.5 D	2.0 DE
Pinabeto 2	0.0	2.60 CDE
DMS	3.04	4.01

DMS: Diferencia Mínima Significativa, AP5MAG: Altura de planta en tratamiento de 5 minutos de remojo en ácido Giberélico; AP12HA: Altura de planta con 12 horas de remojo en agua.

Por otro lado, en el grupo de plantas cuyas semillas fueron remojadas en agua durante 12 horas, se observó una mayor variación en el desarrollo de las plantas (Tabla 4). El comportamiento observado en las diferentes muestras podría deberse a una variación en el grosor de la testa, que protege el embrión. Esto, posiblemente, provocó que el grado de desgaste causado por los tratamientos en esta capa indujera una germinación desuniforme de las semillas, lo que a su vez resultó en un desarrollo desuniforme de las plantas.

Conclusión

En las técnicas de pregerminación evaluadas en *Glabriusculum*, se observó que al sumergir las semillas durante 5 minutos en ácido Giberélico, estas presentaron un buen porcentaje de germinación. Además, el desarrollo de las plantas con este método mostró que la población de plantas es más uniforme. Este comportamiento sugiere que, con un mayor tiempo de inmersión en ácido Giberélico al 10%, el desgaste de la cutícula es más pronunciado, lo que facilita la activación del embrión. Sin embargo, si las semillas permanecen sumergidas por un tiempo excesivo, esto podría causar daños al embrión.

Las semillas que se remojaron durante 12 horas presentaron un porcentaje de germinación similar al de la población de semillas sumergidas durante 5 minutos en giberelinas. Sin embargo, el desarrollo de las plantas mostró una mayor variación en la altura. Esto sugiere que el proceso de activación de los embriones es variable, lo que genera una germinación y, por ende, una emergencia desuniforme. Se espera que este comportamiento resulte en un retraso en las etapas fenológicas, afectando la uniformidad del desarrollo de las plantas.

El tratamiento de sumersión de 5 minutos en ácido clorhídrico provocó el daño de los embriones, dificultando su evaluación. Por lo tanto, se recomienda moderar el uso de este producto.

A pesar de los hallazgos en esta primera etapa, los resultados son preliminares. Se recomienda continuar con la investigación para corroborar o descartar lo aquí mencionado, ya que las conclusiones emitidas se aplican únicamente a las condiciones bajo las cuales se desarrolló el experimento.



Foto: Incotec

Referencias

- Bewley, J. D. and Black, M. (1994). *Seeds: physiology of development and germination*. Plenum Press. New York. 367 p.
- Brondo-Ricárdez, R., Domínguez-Angulo, S., Pérez-Hernández, I., & D'Artola-Barceló, L. A. (2020). Tratamientos pregerminativos a semillas y desarrollo inicial de plántulas de Chile amashito (*Capsicum annum* L. var. *glabriusculum*). *AGROProductividad*, 13(2), 53-60.
- Liu S, Li W, Wu Y, Chen C, Lei J. (2013). De novo transcriptome assembly in chili pepper (*Capsicum frutescens*) to identify genes involved in the biosynthesis of capsaicinoids. *PLOS One* 8 (1-e48156): 1-8.
- Pozo O, Montes S, Redondo E. (1991). Chile (*Capsicum* spp.) En: Ortega PR; G Palomino, F Castillo, VA González y M Livera (Eds.) *Avances en el Estudio de los Recursos Fitogenéticos en México*. SOMEFI, Chapingo, México, pp: 217-238.
- Ramírez-Meraz, M. (2015). Caracterización morfológica de chiles silvestres y semidomesticados de la región Huasteca de México. *Agro Productividad*, 8(1).

Monitoreo Térmico con instrumentos de bajo costo

para determinar la isla de calor urbana de Chiapa de Corzo, Chiapas

Resumen

En los últimos años, la zona urbana de Chiapa de Corzo, Chiapas, ha experimentado transformaciones en el uso del suelo como consecuencia del crecimiento urbano, el incremento poblacional y las actividades económicas desarrolladas en la región. Estos factores han dado lugar a cambios en el clima urbano, generando un fenómeno conocido

como isla de calor urbana, caracterizado por temperaturas elevadas en el centro de la ciudad y temperaturas más bajas en la periferia. Por ello, resulta fundamental analizar la morfología urbana, la ubicación geográfica y las características climáticas de la ciudad, con el fin de establecer un método de análisis adecuado y proponer medidas de mitigación efectivas para enfrentar esta problemática.

El objetivo del presente estudio es identificar los puntos más cálidos de la zona de estudio mediante la implementación de un método experimental basado en redes de sensores de temperatura de bajo costo, instalados en diversos puntos estratégicos de la ciudad.

Los resultados obtenidos demuestran la efectividad de este enfoque para medir la temperatura en la región, permitiendo identificar los puntos y horarios de mayor y menor temperatura, así como los diversos factores que inciden en los registros obtenidos.

Palabras clave: isla de calor urbana, sensor de bajo costo, temperatura.

Abstract

In recent years, the urban area of Chiapa de Corzo, Chiapas, has undergone significant transformations in land use driven by urban expansion, population growth, and economic activities in the region. These factors have contributed to alterations in the urban climate, leading to the emergence of a phenomenon known as the urban heat island (UHI). This phenomenon is characterized by elevated temperatures in the city center compared to cooler temperatures in the peripheral areas. Consequently, it is imperative to analyze the city's urban morphology, geographic location, and climatic characteristics to establish an appropriate analytical framework and propose effective mitigation strategies to address this issue.

The objective of this study is to identify the hottest zones within the study area through the implementation of an experimental methodology based on low-cost temperature sensor networks strategically deployed across various locations in the city.

The findings demonstrate the efficacy of this approach in capturing temperature variations within the region, enabling the identification of peak and low-temperature zones and timeframes, as well as the key factors influencing the observed temperature patterns.

Keywords: urban heat island, low cost sensor, temperature

Introducción

En la actualidad, el crecimiento de las zonas urbanas es consecuencia directa del incremento poblacional que ha prevalecido a nivel mundial. Una vez establecida una ciudad, su estructura física y los patrones de uso del suelo suelen ser difíciles o incluso imposibles de modificar durante generaciones, lo que frecuentemente conduce a una expansión insostenible. Este fenómeno genera una creciente presión sobre la tierra y los recursos naturales, ocasionando diversos problemas ambientales (Banco Mundial, 2022).

Entre estos problemas ambientales destaca el fenómeno de las Islas de Calor Urbanas (ICU), caracterizado por temperaturas nocturnas significativamente más altas en las zonas urbanizadas en comparación con las áreas rurales (U.S. Environmental Protection Agency, 2008; Oke, 1987). Las ICU han cobrado especial relevancia en los últimos años debido al aumento de las temperaturas en el interior de las ciudades y a los efectos negativos que este fenómeno genera en la calidad de vida de sus habitantes.

Este fenómeno se clasifica en dos tipos: Islas de Calor Atmosféricas (ICUA) e Islas de Calor Superficiales (ICUS) (Tumini, 2010).

Las ICUA se manifiestan como diferencias de temperatura del aire entre las áreas urbanas y rurales, siendo más intensas durante el atardecer, alcanzando su mayor magnitud en las horas nocturnas y en la temporada invernal. Este tipo de isla de calor se subdivide en dos categorías:

-La primera categoría está relacionada con el aumento de la temperatura en la masa de aire, lo cual afecta directamente a los habitantes y se

extiende desde el nivel del suelo hasta la altura promedio de los edificios y árboles.

-La segunda categoría se localiza dentro del límite previamente descrito, alcanzando hasta aproximadamente 1.5 km de altura desde el suelo.

Las Islas de Calor Superficiales (ICUS) se presentan cuando las superficies del suelo, los techos y las fachadas registran temperaturas superiores a las del aire. Este fenómeno generalmente ocurre tanto de día como de noche, aunque tiende a intensificarse durante el día y en los días de verano. Para su identificación, se pueden emplear métodos de medición directos o indirectos, modelos numéricos o métodos de estimación empíricos. En muchos casos, se utilizan técnicas de medición indirectas para estimar la temperatura superficial mediante el uso de mapas térmicos e imágenes radiométricas.

Sobstly y otros (2018) señalan que existen situaciones específicas en las cuales la extensión de las zonas urbanas no es el factor más relevante.

En cambio, estiman que la capacidad de la morfología urbana, junto con su desarrollo, provoca un centro urbano más concentrado, lo que genera una debilidad en la acción del viento. Asimismo, la intensidad de la temperatura registrada en las Islas de Calor Urbanas (ICU) depende de otros factores, tales como:

-Superficies oscuras con alta conductividad térmica, como el asfalto, que provocan una mayor absorción de radiación solar.

-Escasez de vegetación y áreas verdes, lo que provoca la falta de zonas sombreadas.

-Construcción de grandes edificios que absorben calor y reducen el paso del viento, impidiendo que las ciudades se refresquen mediante las corrientes de aire.

-Contaminación atmosférica generada por fábricas, automóviles y sistemas de aire acondicionado.

Asimismo, las Islas de Calor Urbanas (ICU) generan diversas afectaciones en la vida de la población que habita en las zonas urbanas, así como en el medio ambiente, entre las cuales se incluyen:

-Mayor consumo de energía debido al uso de aires acondicionados y ventiladores, lo que incrementa el costo de la electricidad y genera un impacto en la economía.

-Impacto en la salud, que incluye problemas respiratorios, insolación, deshidratación e incluso mortalidad debido a golpes de calor.

-Aumento de la contaminación atmosférica.

Para estudiar las Islas de Calor Urbanas (ICU) se emplean diversas metodologías, las cuales permiten determinar la temperatura de la zona y, a partir de ello, tomar las medidas necesarias para mitigar este fenómeno.

En el presente trabajo se presentan los resultados de dos métodos utilizados para estudiar las Islas de Calor Urbanas (ICU): los sensores térmicos y la estación meteorológica. Estos fueron instalados en puntos específicos de la zona urbana de la ciudad de Chiapa de Corzo, lo que permitirá identificar las áreas más cálidas de la zona de estudio.

Foto: Eder Ochoa Studio





Desarrollo experimental

Determinación de las Islas de Calor Urbana

Para la determinación de las Islas de Calor Urbanas (ICU) existen diversas técnicas y metodologías, entre las cuales se encuentran las siguientes:

Transectos térmicos móviles

Un transecto térmico móvil consiste en un recorrido en vehículo equipado con una sonda térmica, con el objetivo de capturar una imagen térmica que permita elaborar un mapa de isotermas de la ciudad. Este método fue utilizado por primera vez en Viena en 1929 por el climatólogo Luke Howard, y 93 años después sigue siendo el más empleado para analizar el efecto de las Islas de Calor Urbanas (ICU) (Taulé, 2013).

Sistemas de Información Geográfica

Los sistemas de información geográfica (SIG) se han convertido en una herramienta de uso habitual en la sociedad. Su eficacia se demuestra en diversas aplicaciones, como la gestión de recursos, el análisis de alternativas, las herramientas de soporte en la toma de decisiones y los planes de actuación ante situaciones diversas (Pérez y otros, 2011).

Asimismo, Cebrían y Chuvieco (1993) los definen como "la base de datos computarizada que contiene información espacial".

Los Sistemas de Información Geográfica (SIG) están conformados por el soporte físico o hardware, el soporte lógico o software, los datos, los recursos humanos y la organización, lo que permite realizar funciones como el ingreso, almacenamiento, manipulación y procesamiento de datos, la consulta a la base de datos y la presentación de la información (Nagata, 1996).

La información necesaria para el funcionamiento de un Sistema de Información Geográfica (SIG) se divide en los siguientes componentes (Lantada y Núñez, 2002):

- La información gráfica, que se refiere a la cartografía del trabajo y que puede ser obtenida mediante diversos medios, tales como:

- Restitución fotogramétrica
- Topografía
- GPS
- Teledetección
- La información alfanumérica, compuesta por números, letras y otros símbolos.

Asimismo, es de suma importancia la incorporación de la información geográfica mediante el uso de los dos modelos más empleados: el modelo vectorial, que incluye imágenes satelitales y mapas escaneados, y el modelo ráster, compuesto por coordenadas, puntos, líneas y polígonos (Escobar, s.f.).

Estaciones meteorológicas

Una estación meteorológica es un conjunto de herramientas o dispositivos de medición que permiten obtener datos de diversas variables atmosféricas y pueden ser instaladas en cualquier tipo de terreno (Meteocultura, 2019).

La principal utilidad de una estación meteorológica es recopilar y registrar datos meteorológicos, generando información valiosa que nos permite:

- Conocer las condiciones meteorológicas del lugar de estudio.
- Comparar la información con la de estaciones meteorológicas cercanas.

- Proporcionar información para la elaboración de pronósticos a partir de los modelos meteorológicos.

- Generar información climática.
- Generar alertas específicas.
- Proporcionar información útil para la agricultura.
- Medición continua de las variables atmosféricas.

Estas estaciones permiten medir la precipitación, temperatura, humedad relativa, evaporación, radiación, presión, dirección y velocidad del viento.

Redes de sensores

Este método consiste en sistemas inalámbricos de detección, medición y monitoreo, los cuales son cada vez más utilizados en estudios meteorológicos, ya que permiten medir la precipitación, la temperatura, la humedad, la dirección del viento y la radiación. Para realizar este análisis, es necesaria la instalación de un gran número de sensores y nodos que cubran el área de estudio. Cada nodo cuenta con capacidad de procesamiento en hardware y software, lo que posibilita la realización de tareas de obtención, procesamiento y transmisión de datos a una base central (Anzola, 2014).

Entre estos sistemas se encuentran los sensores de bajo costo, que son una gama de sensores con la ventaja de tener un tamaño reducido y un precio accesible, lo que facilita su uso en diversas áreas, como el monitoreo de la calidad del aire, así como de la temperatura y la humedad. Además, los costos de operación y mantenimiento son bajos, y generan datos en volumen suficiente, los cuales están disponibles en cualquier momento.

Los componentes principales son:

- El sensor, que es capaz de medir la temperatura y la humedad relativa del entorno.
- Arduino, una placa que actúa como el cerebro del sistema.
- Tarjeta microSD, que permite almacenar los datos registrados.
- Módulo lector microSD, que permite la conexión entre la tarjeta microSD y Arduino, facilitando la lectura y escritura de los datos recopilados en la tarjeta.
- Fuente de alimentación externa.

En el estudio de las Islas de Calor Urbanas (ICU), estos sensores permiten analizar la problemática mediante una clasificación zonal supervisada de los componentes urbanos, con el fin de determinar los posibles factores que puedan influir en la formación de este fenómeno. Para ello, se utilizan sensores instalados a nivel de la superficie terrestre, los cuales captan la medida de la radiación solar a partir del brillo de la temperatura en Kelvin, que posteriormente se convierte a grados Celsius. El objetivo es correlacionar las ICU con las diferentes variables que rodean el entorno urbano. Para evaluar el rango de precisión de los sensores, es necesario conocer su tipo de resolución, que incluye las resoluciones radiométrica, espectral, espacial, temporal y angular (Pérez y Muñoz, 2006).

Método

La zona urbana de Chiapa de Corzo está ubicada a orillas del río Grijalva y limita al oeste con el municipio de Tuxtla Gutiérrez. Su clima es cálido subhúmedo con lluvias en verano, y su vegetación predominante es la selva baja y el bosque de pino-encino. Sin embargo, en la actualidad, esta zona se ha transformado en

área agrícola, debido a que la agricultura es una de las principales actividades económicas de la región. La extensión territorial de la zona urbana es de 1.94 km², y la población de la cabecera municipal es de 55,931 habitantes, lo que representa el 49.9% de la población municipal total (INEGI, 2020).

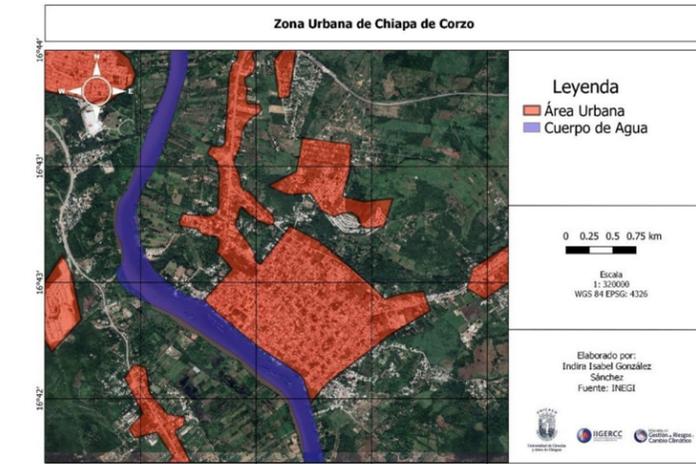


Figura 1. Mapa de la Zona Urbana de Chiapa de Corzo. Elaboración propia.

Debido al crecimiento urbano experimentado en los últimos años, la temperatura de la zona ha aumentado. En respuesta a esta situación, se decidió implementar sensores de temperatura de bajo costo con el fin de obtener un mapeo térmico de la zona urbana de Chiapa de Corzo. El propósito es instalar diez sensores y una estación meteorológica en diversos puntos de la ciudad (Figura 2), considerando la diversidad de características de la zona de estudio, tales como la cantidad de vegetación, la infraestructura y la humedad, lo que permitirá obtener una variabilidad en la información.

Los puntos seleccionados para la instalación de los sensores y la estación meteorológica fueron los siguientes:

- Fraccionamiento San Sebastián.
- Gasolinera
- Dos puntos ubicados en el fraccionamiento Montebello
- Libramiento CONALEP
- Barrio San Gregorio
- Parque Central
- Presidencia Municipal
- Malecón
- Panteón municipal
- Barrio Santa Elena

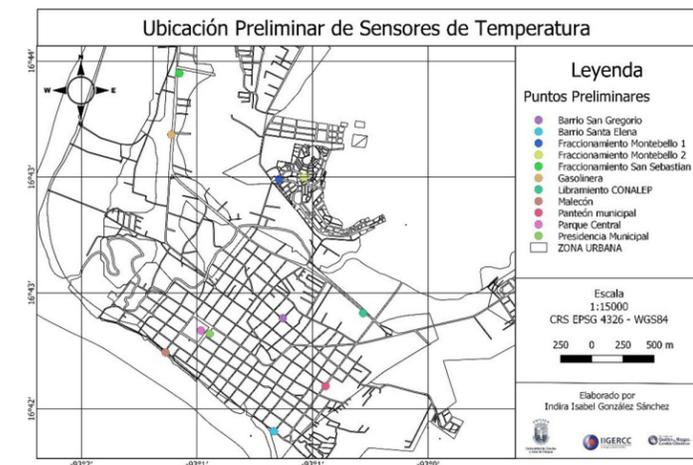


Figura 2. Ubicación preliminar de sensores en la zona urbana de Chiapa de Corzo. Elaboración propia.

Resultados

Debido a que los permisos solicitados al Ayuntamiento de Chiapa de Corzo no fueron aprobados, la instalación de los equipos en los 10 puntos previamente mencionados no pudo llevarse a cabo. En su lugar, se optó por instalar 2 sensores y la estación meteorológica en instituciones privadas (escuelas), solicitando los permisos correspondientes a sus respectivas direcciones. Los puntos seleccionados fueron los siguientes: el Colegio La Patria, donde se instaló la estación meteorológica en el mes de marzo; el sensor 1 en la Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas (UNICACH), en la Licenciatura en Arqueología, instalado en el mes de junio; y el sensor 2 en el Colegio Nacional de Educación Profesional (CONALEP), instalado en el mes de julio. Desde la fecha de su instalación, estos dispositivos comenzaron a registrar datos correspondientes a la temperatura, humedad y presión, los cuales fueron almacenados en una memoria SD y posteriormente descargados para su análisis. En la Figura 2 se muestra el mapa con los puntos finales seleccionados para la instalación de los sensores y la estación.

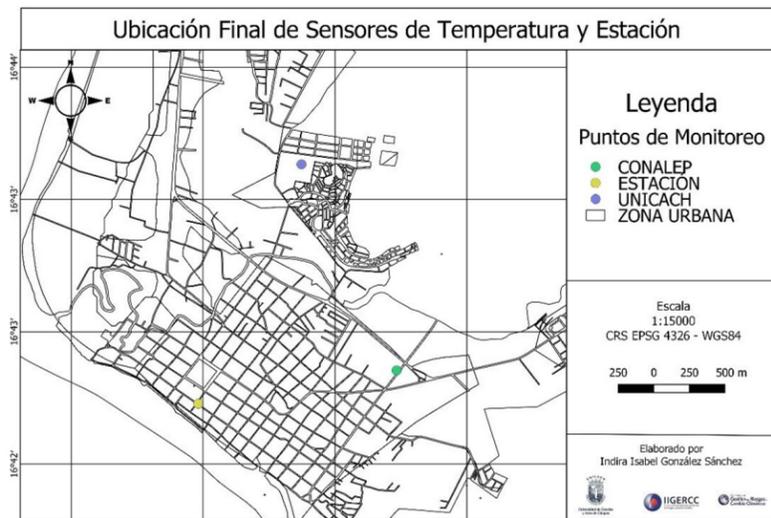


Figura 3. Sensores y estación meteorológica instalados en la zona urbana de Chiapa de Corzo.

En la Figura 4 se presenta la gráfica de temperatura correspondiente al mes de octubre, periodo en el cual los tres dispositivos registraron información de manera simultánea en la región, con una programación de medición cada 10 minutos. En la gráfica se observa que la temperatura varía dependiendo de la zona y la infraestructura donde se encuentran instalados los dispositivos.

El punto con mayor temperatura fue el CONALEP, con una temperatura máxima de 41.14 °C y una mínima de 20.9 °C. Por su parte, la estación meteorológica registró una temperatura máxima de 30.1 °C y una mínima de 20.8 °C; sin embargo, este equipo presentó un periodo de grabación intermitente durante el mes debido a problemas con la batería y la celda solar, lo que resultó en la falta de registro de datos durante 12 días. Finalmente, el sensor instalado en la UNICACH registró una temperatura máxima de 37.41 °C y una mínima de 18.37 °C, manteniendo una grabación constante de datos durante todo el mes.

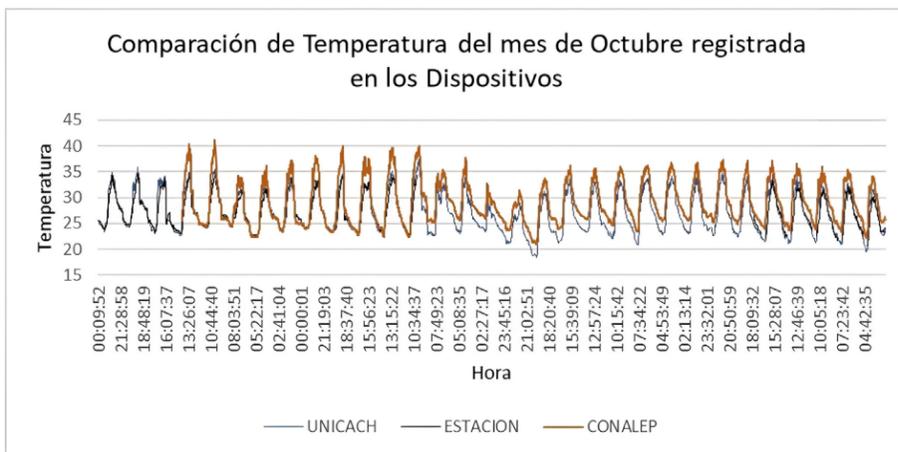


Figura 4. Gráfica comparativa de medición de temperatura de los tres dispositivos.

Finalmente, se elaboró una gráfica de las temperaturas máximas y mínimas mensuales registradas por los dispositivos (Figura 5). En ella se observa que, en el mes de junio, se alcanzaron temperaturas superiores a los 40 °C tanto en la cabecera municipal como en la UNICACH, lo cual coincide con la ola de calor registrada en el estado de Chiapas durante ese periodo. Asimismo, desde la instalación del sensor en el CONALEP, se identificó que las temperaturas más altas de la zona de estudio se presentan en ese punto, superando regularmente los 40 °C. Por otro lado, las temperaturas más bajas fueron registradas en el sensor de la UNICACH y en la estación meteorológica, con valores mínimos de 18.37 °C y 17.4 °C, respectivamente.

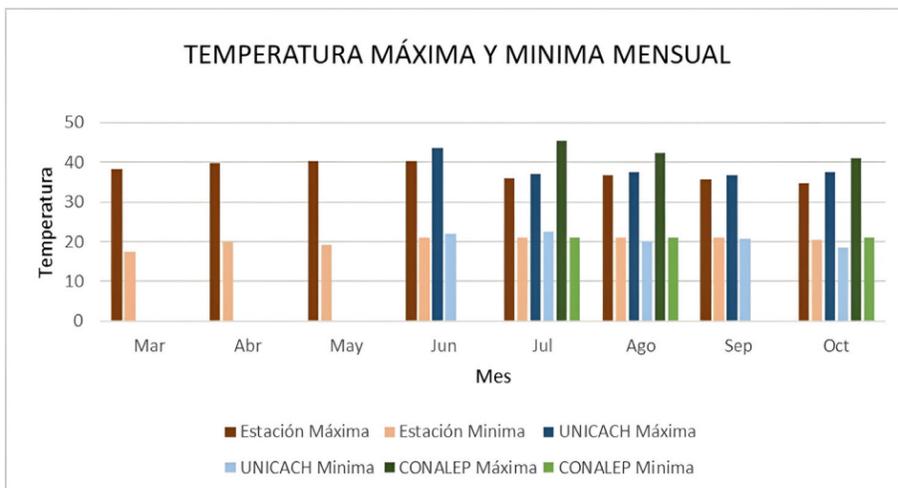


Figura 5. Gráfica de temperaturas máximas y mínimas registradas en los dispositivos.

Discusión

Los resultados obtenidos permiten analizar la variabilidad de la temperatura registrada por los diferentes dispositivos instalados. Se encontró que la diferencia de temperatura entre el centro de la ciudad y la UNICACH es de 1.15 °C, mientras que con el CONALEP es de 4.66 °C. Asimismo, la diferencia de temperatura entre el CONALEP y la UNICACH es de 0.83 °C.

Estas diferencias de temperatura se atribuyen a las características particulares de cada zona, tales como la infraestructura, la humedad, la cantidad de cobertura vegetal, el tipo de material empleado para el recubrimiento de las calles y la circulación del viento.

Además, se identificó que en los meses de junio y julio se registraron temperaturas superiores a los 40 °C en la cabecera municipal, coincidiendo con la ola de calor que afectó al estado de Chiapas durante dicho periodo.

El análisis de la temperatura entre los diferentes puntos destaca que, en las zonas donde se registraron temperaturas más bajas, estas estaban mayormente rodeadas de arbolado. Esto resalta la importancia de las áreas verdes, las cuales no solo contribuyen a una mayor frescura en el ambiente, sino que también proporcionan un aire más limpio y embellecen el paisaje, un atributo que pocas ciudades han logrado conservar.

Durante el desarrollo de este trabajo, algunos dispositivos dejaron de funcionar debido a fallas técnicas provocadas por las condiciones meteorológicas de la zona. Este hecho permitió identificar las necesidades específicas de cada equipo tanto en su armado como en su instalación, lo que resulta invaluable para mejorar el diseño y la implementación de dispositivos en estudios futuros.

Conclusión

La intensidad de las islas de calor urbanas es un factor de suma importancia debido al riesgo que representan para la población que habita en ciudades, especialmente en zonas con escasa vegetación y condiciones de calor nocturno acentuadas. Esto puede derivar en problemas de salud significativos, como golpes de calor y el agravamiento de enfermedades crónicas, afectando particularmente a adultos mayores y niños.

Según los datos recolectados en los tres puntos de medición durante el periodo de estudio, se observó que los meses con temperaturas superiores a los 40 °C fueron mayo, junio, julio y agosto. En mayo y junio, la estación meteorológica instalada en la cabecera municipal registró temperaturas máximas de 40.3 °C y 40.4 °C, respectivamente. Por su parte, en julio y agosto, el sensor instalado

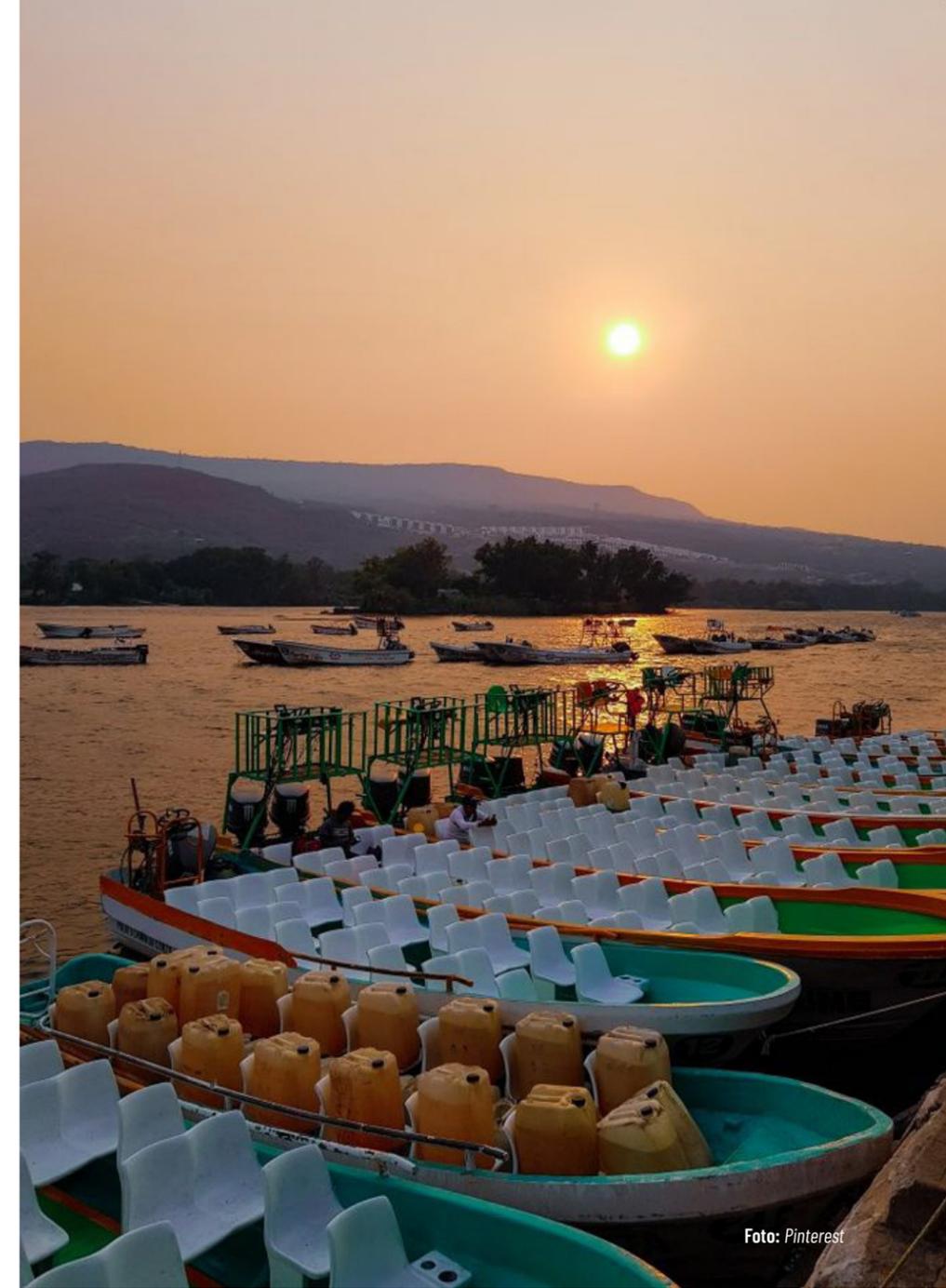


Foto: Pinterest

en el CONALEP registró temperaturas máximas de 45.42 °C, la más alta durante el periodo, y 42.31 °C, respectivamente.

Con base en esta información, se concluye que el área donde se registraron las temperaturas más elevadas fue en la zona del CONALEP, localizada junto al libramiento de la ciudad. En esta área, la vegetación ha sido reemplazada por infraestructura, y las condiciones de ventilación natural son limitadas, lo que contribuye significativamente a la intensificación del calor.

El arbolado presente en los puntos de medición contribuye significativamente a reducir la intensidad de calor generado por la urbanización, destacándose como una de las principales medidas de mitigación frente al fenómeno de las Islas de Calor Urbanas (ICU). Además, el arbolado

proporciona múltiples servicios ambientales, como la disminución de la contaminación, la mejora de la calidad del aire y la creación de hábitats para la fauna local, entre otros beneficios.

El uso de sensores de bajo costo ha demostrado ser una opción viable para el monitoreo a gran escala. Estos dispositivos son más económicos y tienen la flexibilidad de ser diseñados de acuerdo con las necesidades específicas del monitoreo, manteniendo un alto nivel de precisión y fiabilidad en los datos recolectados.

La instalación de una red más amplia de sensores en la ciudad permitiría obtener información más detallada y precisa. Esto resultaría fundamental para respaldar la toma de decisiones orientadas a implementar estrategias que reduzcan las ICU y mejoren las condiciones de vida de la población en el futuro.

Agradecimientos

Al Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías (CONAHCyT) por la beca No. 816970 otorgada para la realización de los estudios de Maestría

A la Maestría en Gestión de Riesgos y Cambio Climático y al Instituto de Investigación en Gestión de Riesgos y Cambio Climático, por el apoyo brindado en infraestructura y documentación para la realización de este proyecto.

Al Colegio La Patria, al CONALEP y a la Licenciatura en Arqueología de la UNICACH, sede Chiapa de Corzo, por su disposición y colaboración para la instalación de los sensores de monitoreo atmosférico.

Referencias

- Alomar-Garau, G., Rotger Pujadas, C., Aguiló Rodríguez, M., & Lacomba Moreno, N. (2021). Geographicalia. Obtenido de Isla de calor nocturna en una ciudad mediterránea de interior: Inca (Mallorca): https://www.researchgate.net/publication/353555104
- Amorim, M. C., Neto, J. L., & Dubreuil, V. (2021). Estrutura Térmica identificada por transectos móveis e canal termal do Landsat 7 EM cidade tropical. Revista de Geografia Norte Grande, (43), 65–80. https://doi.org/10.4067/S0718-34022009000200004.
- Anzola Anzola, J. P. (Noviembre de 2014). Revista vínculos. Obtenido de Detección e identificación de islas de calor urbano: un acercamiento desde el el estado del arte: https://revistas.udistrital.edu.co/index.php/vinculos/article/view/9726/11019
- Araujo, E. (30 de Noviembre de 2017). ESSS. Obtenido de Métodos numéricos para simulación en la ingeniería: https://www.esss.co/es/blog/metodos-numericos-para-simulacion-en-la-ingenieria/
- ArcGis Desktop. (s.f.). ArcGis Desktop. Obtenido de ¿Qué son los datos raster?: https://desktop.arcgis.com/es/arcmap/latest/manage-data/raster-and-images/what-is-raster-data.htm#:~:text=Los%20r%C3%A1steres%20son%20fotograf%C3%ADas%20a%C3%A9reas,de%20uso%20de%20la%20tierra.
- Arnfield, A. J., & Grimmond, C. (1998). An urban canyon energy budget model and its application to urban storage heat flux modeling. Energy and Buildings, Pages 61-68, Volume 27, Issue 1, https://doi.org/10.1016/S0378-7788(97)00026-1.
- Aronoff, S. (1989). Geographic Information Systems: A management perspective. Ottawa: WDL pub.
- Aslam, M., Rama Krishna, K., Beig, G., Tinmaker, M., & Chate, D. (2017). Variación estacional de la isla de calor urbana y su impacto en la calidad del aire usando observaciones SAFAR en Delhi, India. American Journal of Climate Change col.6 No. 2.
- Bausá Aragonés, J., García Gómez, C., Zaragoza Zaragoza, B., Gil Martínez, A., Moreno Campos, D., & Galiana Linares, A. (s.f.). Sensores de temperatura. Obtenido de https://frqq.cvq.utn.edu.ar/pluginfile.php/14089/mod_resource/content/0/SensoresTemperatura.pdf
- Bertuzzi, M. L., & Arroyo, J. (2005). Ciudad y la urbanización, problemas y potencialidades. Argentina: Ediciones UNL.
- Borderías Uribeondo, M. d., & Martín Roda, E. (2011). Medio ambiente urbano. España: UNED.
- Casillas-Higuera, A., García-Cueto, R., Leyva-Camacho, O., & González Navarro, F. F. (2014). Detección de la Isla urbana de calor mediante modelado dinámico en Mexicali, B.C., México. Información Tecnológica, 25(1), 139-150. https://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642014000100015.
- Castro-Mendoza, I., Valdez-Lazalde, J., Donovan, G. M., & Vázquez Morales, W. (2022). ¿El uso de suelo afecta la distribución de temperatura en la ciudad de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México? Investigaciones Geográficas, (107). https://doi.org/10.14350/riq.60394.
- Cebrián, J. A., & Chuvieco, E. (1993). ¿Sistemas de Información Geográfica o Territorial? Asociación Española de Sistemas de Información Geográfica, Boletín de la A.E.S.I.G., N°4: 28-30, https://digital.csic.es/handle/10261/54519.
- CEIEG. (26 de octubre de 2021). Chiapa de Corzo, Mapa Municipal. Obtenido de https://www.ceieg.chiapas.gob.mx/productos/files/MAPASHUN/027.pdf
- Consejo Nacional de Población (2012). Sistema Urbano Nacional 2012. México: CONAPO.
- Comisión Nacional del Agua (s.f.). CONAGUA. Obtenido de Estaciones meteorológica automáticas: https://smn.conagua.gob.mx/es/observando-el-tiempo/estaciones-meteorologicas-automaticas-ema-s

- Contreras Cardoso, A., Plata Mendoza, J. A., & Quevedo Urías, H. (Enero de 2008). Obtenido de Determinación de la isla de calor urbano en Ciudad Juárez: https://www.researchgate.net/publication/28240989
- Cortés Pérez, Y. (2017). Teledetección aplicada a la determinación de islas de calor para los años 2000 y 2016: caso Zona Protectora Forestal Vedada, los Terrenos Forestales de Villa de Allende. Tuxtla Gutiérrez: Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas.
- Cuesta Navarro, J. (2020). Universidad Politécnica de Valencia. Obtenido de Caracterización de la Isla de calor urbana (ICU) mediante el uso de imágenes obtenidas por satélite, procesadas mediante software de código abierto QGIS. Aplicación al caso de Valencia: https://riunet.upv.es/handle/10251/147986
- Curridabat, M. d. (2019). Islas de calor, impactos y respuestas: El caso del cantón de Curridabat. Costa Rica: Municipalidad de Curridabat.
- Cruz Damián, J. (2021). Cuantificación a exposición térmica por movilidad, mediante un registrador de bajo costo en la vía principal de la ciudad de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas. Tuxtla Gutiérrez: Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas.
- Díaz, L. A. (29 de Marzo de 2017). El Mercurio. Plataforma Urbana. Obtenido de Región metropolitana: la contaminación del aire es el principal problema ambiental: https://www.plataformaurbana.cl/archive/2017/03/29/region-metropolitana-la-contaminacion-del-aire-es-el-principal-problema-ambiental/
- Escobar, F., Hunter, G., Bishop, I., & Zenger, A. (s.f.). The University of Melbourne. Obtenido de Introducción a los SIG: https://www.geogra.uah.es/gisweb/1modulosespanyol/IntroduccionSIG/GISModule/GISTheory.htm
- Etecé, E. E. (16 de Julio de 2021). Concepto.co. Obtenido de Método analítico: https://concepto.de/metodo-analitico/
- Etecé, E. E. (05 de Agosto de 2021). Concepto.de. Obtenido de Urbanización: https://concepto.de/urbanizacion/
- Fernández Muerza, A. (15 de Abril de 2009). Ecodes, tiempo de actuar. Obtenido de Ciudades, Islas de calor: https://archivo.ecodes.org/web/noticias/ciudades-islas-de-calor
- García Cueto, O. R. (2018). PNUD, INECC. Obtenido de Análisis de balances energéticos atmosféricos en Puebla, Mexicali y Ciudad de México: https://www.researchgate.net/publication/318981362
- García-Cueto, O., Jáuregui-Ostos, E., Toudert, D., & Tejeda-Matínez, A. (2007). Detección de la isla de calor urbana en Mexicali, BC, México y su relación con el uso del suelo. Atmósfera, 20 (2), 111-131. Recuperado en 02 de octubre de 2022, de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci.arttext&pid=S0187-62362007000200001&lng=es&tng=en.
- García Navarrete, G., & Rico Soto, K. G. (2020). SENSORES DE BAJO COSTO PARA EL MONITOREO DE CALIDAD DEL AIRE. EPISTEMUS, 13(27), 30-37. https://doi.org/10.36790/epistemus.v13i27.108
- Garza Villarreal, G. (2005). La urbanización de México en el siglo XX. México: El Colegio de México.
- Geoinnova. (26 de Octubre de 2021). Geoinnova. Obtenido de ¿Qué son las firmas espectrales?: https://geoinnova.org/blog-territorio/firmas-espectrales/
- Giridharan, R., Ganesan, S., & Lau, S. (Junio de 2004). Daytime urban heat island effect in high-rise and high-density residential developments in Hong Kong. Energy and Buildings. Obtenido de https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2003.12.016
- Gobierno de México. (s.f.) Chiapa de Corzo: Economía, empleo, equidad, calidad de vida, educación, salud y seguridad pública. Data México. Revisada Enero 4, 2023, obtenido https://datamexico.org/es/profile/geo/chiapa-de-corzo.

- Godínez Tovar, A. G., & López Gutiérrez, M. (2018, octubre). “Dinámica de la Isla de Calor Urbana y su efecto en la distribución espacio-temporal de la lluvia en las ciudades de Querétaro y San Juan del Río” TESIS. RI UAEMex. Revisado septiembre 19, 2023, from http://ri.uaemex.mx/bitstream/handle/20.500.11799/94985/GODINEZ-ANA-LOPEZ-MARLEN-LGAM-2018.pdf?sequence=1&isAllowed=y

- Godoy, G. (Septiembre de 2013). Modelo de la Isla de Calor Atmosférico y Superficial: factores en común y alternativas para la mitigación de su efecto en la salud humana y medioambiente urbano. Obtenido de DOI: 10.13140/2.1.1761.6646
- Gómez-Ceballos, D. J., & Morán-Perafán, R. G. (2015). Análisis energético urbano usando metodologías de gestión integral de energía: un caso de estudio en la ciudad de Pasto. Energy and Materials REM, Energética 45, pp.23.31.
- González Becerril, L. A., Madrigal Uribe, D., & Morales Méndez, C. C. (2007). Isla de calor en Toluca, México. CIENCIA ergo-sum, Revista Científica Multidisciplinaria de Prospectiva, 14 (3),307-316. ISSN: 1405-0269. Disponible en: https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=10414308.
- Iberdrola. (2021). Las islas de calor urbanas y sus efectos adversos para sus habitantes. Obtenido de https://www.iberdrola.com/sostenibilidad/isla-de-calor#:~:text=QU%C3%89%20ES%20UNA%20ISLA%20DE%20CALOR&text=La%20causa%20principal%20son%20la,el%20tr%C3%A1fico%20y%20la%20industria.
- Juárezgui Ostos, E. (1993). La isla de calor urbano de la ciudad de México a finales del siglo XIX. Investigaciones Geográficas, 1(26). https://doi.org/10.14350/riq.59016.
- Kogut, P. (2007, November 9). Teledetección: Tipos Y Aplicaciones De Los Sensores Remotos. EOS Data Analytics. Retrieved September 18, 2023, from https://eos.com/es/blog/teledeteccion/
- Lantada Zarzosa, N., & Núñez Andrés, M. A. (2002). Sistemas de información geográfica , prácticas con ArcView. Barcelona: Ediciones UPC.
- Lemonsu, A., & Valéry, M. (29 de Octubre de 2001). Centre National de Recherches Météorologiques. Obtenido de Simulation of summer urban breeze over Paris: https://www.umr-cnrm.fr/IMG/pdf/lemonsu_2002_blm.pdf
- López González, F. M., Navarro Navarro, L. A., Díaz Caravantes, R. E., Navarro-Estupiñán, J., & Cejudo-Espinosa, L. (2021). Cobertura vegetal y la distribución de islas de calor/oasis urbanos en Hermosillo, Sonora. Frontera , 33, e2088. Epub 13 de septiembre de 2021. https://doi.org/10.33679/rfn.vii.2088.
- Maldonado, J. M. (2009). Ciudades y contaminación ambiental. Revista de Ingeniería, (30), 66-71 Recuperado el 01 de octubre de 2022, de http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci.arttext&pid=S0121-4932009000200009&lng=en&tng=es.
- Martínez López, L. (Octubre de 2000). Instituto Juan de Herrera. Obtenido de Los problemas ambientales del medio ambiente urbano: http://habitat.aq.upm.es/boletin/n15/almar.html
- Mercado Maldonado, L. (2022). Mitigación y adaptación al efecto de isla de calor urbana de clima cálido seco. El caso de Hermosillo, Sonora. Revista científica vivienda y comunidades sustentables, DOI: https://doi.org/10.32870/rvcs.v0i11.187.
- Meteocultura. (26 de Febrero de 2019). Estación de meteorología. Obtenido de ¿Qué es una estación meteorológica?: https://estaciondemeteorologia.com/que-es-una-estacion-meteorologica/

- Montávez, J. P., González -Rouco, J. F., & Valero, F. (2002). Universidad Complutense de Madrid. Obtenido de Estudio de la Isla de calor mediante un modelo mesoescalar: http://hdl.handle.net/20.500.11765/9172
- Mora Damián, E. (2017). “ANÁLISIS ESPACIO-TEMPORAL DE LA ISLA DE CALOR URBANA EN LA CIUDAD DE MORELIA MICHOACÁN” BIOL. EDGAR MORA DAMIAN. Biblioteca Virtual UMSNH. Revisado septiembre 19, 2023, from http://bibliotecavirtual.dgb.umich.mx:8083/jspui/bitstream/DGB_UMICH/4397/1/INICIT-M-2017-1168.pdf
- Moreno García, M. d., & Serra Pardo, J. A. (25 de Noviembre de 2016). Biblio3W Revista Bibliográfica de Geografía y ciencias sociales. Obtenido de El estudio de la isla de calor urbana en el ámbito mediterráneo: una revisión bibliográfica: http://www.ub.edu/geocrit/b3w-1179.pdf
- Naciones Unidas (2017). La nueva agenda urbana. Conferencia de las Naciones Unidas sobre la Vivienda y el Desarrollo Urbano Sostenible. Obtenido de https://habitat3.org/wp-content/uploads/NUA-Spanish.pdf ISBN: 978-92-1-132736-6
- Nagata Shumabuku, M. (1996). Los sistemas de información geográfica SIG, una herramienta en la gestión del espacio, propuesta a un mapa de aptitud de suelos en la cuenca hidrográfica del Colca. Perú: Espacio y Desarrollo. Obtenido de Los sistemas de información geográfica SIG, una herramienta en la gestión del espacio, propuesta a un mapa de aptitud de suelos en la cuenca hidrográfica del Colca.
- National Geographic (05 de Septiembre de 2010). National Geographic. Obtenido de Amenazas de la urbanización: https://www.nationalgeographic.es/medio-ambiente/amenazas-de-la-urbanizacion
- Negrete Salas, M. E., & Salazar Sánchez, H. (1986). Estudios demográficos y urbanos, zonas metropolitanas en México, 1980. El Colegio de México, 91-124.
- Núñez Peiró, M., Román López, S.-G. S., & Neila González, F. (2016). Hacia un modelo dinámico para la isla de calor urbana de Madrid. Madrid: Anales de edificación, Doi: 10.20868/ade.2016.3198.
- Oke, T. (1987). Boundary Layer Climates, second edition. Gran Bretaña: Routledge, Recuperado de http://www.academia.edu/16752781/ T...Oke...Boundary_Layer_Climates.1988...PDF.
- Organización de las Naciones Unidas (20 de Octubre de 2016). La nueva agenda urbana. Obtenido de https://habitat3.org/wp-content/uploads/NUA-Spanish.pdf
- Organización Meteorológica Mundial (s.f.). OMM. Obtenido de Desarrollo Urbano- Megalópolis: https://public.wmo.int/es/desarrollo-urbano-%E2%80%93-megal%C3%B3polis-0#:~:text=Las%20poblaciones%20de%20las%20zonas,los%20efectos%20del%20cambio%20clim%C3%AItico.
- Pulido Llamazares, S. (2012). Junta de Andalucía. Obtenido de El espacio urbano: http://agrega.juntadeandalucia.es/taller/spulla/10062012/ODE-827d5ddc-27b9-3fb8-95b2-0cf27a683feb/ITEM-1e929a92-ccb-307a-a1c1-666a1f04a09/distintas_zonas_urbanas.html
- Rahman, A. (2018). Assignment on Temperature Sensors. DOI: 10.13140/RG.2.2.16747.23844.
- Rodríguez Pérez, D., Sánchez Carnero, N., Domínguez Gómez, J. A., & Pastrana, C. S. M. (2015). Cuestiones de teledetección. UNED.
- Sacristán Romero, F. (2006). La teledetección satelital y los sistemas de protección ambiental. Revista AquaTIC, 13-41.

- Salamanca Palou, F. (2011). Universidad Complutense de Madrid. Obtenido de Desarrollo de modelos numéricos para investigar la isla de calor en ciudades y estudio de sensibilidad de distintos parámetros urbanos: https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=193640
- Secretaría de Marina (03 de Mayo de 2009). SEMAR. Obtenido de Percepción remota: https://2006-2012.semar.gob.mx/informacion-sector/ciencia/ermexs/temas-de-interes/384-percepcion-remota.html
- Sensorgo. (15 de Septiembre de 2020). Sensorgo. Obtenido de Estaciones Meteorológicas: https://sensorgo.mx/estaciones-meteologicas/
- Shifei, M., & Honrubia, M. (14 de Diciembre de 2020). Ennomotive. Obtenido de Islas de calor: impacto en el cambio climático y posibles soluciones: https://www.ennomotive.com/es/islas-de-calor/
- Sjovold, K. (19 de Diciembre de 2019). El efecto de la isla de calor urbana. Obtenido de https://storymaps.arcgis.com/stories/5301089fe041469c9820b56d92148232
- Sobstyl, J., Emig, T., Abdolhosseini Qomi, M., Ulm, F., & Pellenq, R.-M. (09 de Marzo de 2018). Role of city texture in urban heat islands at nighttime. Obtenido de https://www.epa.gov/heat-islands/
- Suárez, J. (19 de Abril de 2021). Universidad Nacional de Colombia. Obtenido de Retos y problemas ambientales del área metropolitana de Valledupar: http://ieu.unal.edu.co/en/medios/noticias-del-ieu/item/retos-y-problemas-ambientales-del-area-metropolitana-de-valledupar
- Tapiador, F. J. (17 de Agosto de 2021). Revista Agunkuyaa. Obtenido de Modelización climática a escala regional: ¿modelos globales o regionales?: https://orcid.org/0000-0002-6773-5250
- Taulé, G. (14 de Junio de 2013). Levante, el mercantil valenciano. Obtenido de Los transectos térmicos y el clima urbano: https://www.levante-emv.com/opinion/2013/06/14/transectos-termicos-clima-urbano-12889391.html
- Taulé, G. (05 de Septiembre de 2014). Levante, el mercantil valenciano. Obtenido de Métodos para medir el efecto de la isla de calor: https://www.levante-emv.com/opinion/2014/09/05/metodos-medir-efecto-isla-calor-12735033.html#:~:text=La%20isla%20de%20calor%20urbano,tipo%20urbano%20y%20otro%20rural.
- Tejada Urrego, E., & Solano, M. (12 de Diciembre de 2018). Institución Universitaria, Colegio Mayor de Antioquia. Obtenido de Fenómeno Islas de calor, estrategias de mitigación desde el entendimiento de la ocupación espacial y el clima urbano en el Valle de Aburrá: https://issuu.com/cartillasinvestigacion/docs/isla_de_calor
- Tumini, I. (2010). Estrategias para reducción del efecto isla de calor en los espacios urbanos. Estudio aplicado al caso de Madrid. España: SB10MAD sustainable Building conference.
- U. S. Environmental Protection Agency (2008). Enviromental Protection Agency. Obtenido de Reducing Urban Heat Islands: Compendium of strategies: https://www.epa.gov/heat-islands/heat-island-compendium.
- Vásquez, A. (2016). Infraestructura Verde, servicios ecosistémicos y sus aportes para enfrenar el cambio climático en ciudades: el caso del corredor ribereño del río Mapocho en Santiago de Chile. Revista de geografía Norte Grande, DOI: 10.4067/S0718-34022016000100005.

Trampas Cebadas para Monitorear Escarabajos Descortezadores del género *Ips* en México, Centroamérica y el Caribe”

Jorge Enrique Macías-Sámamo¹, Alicia Niño-Domínguez², Oswaldo Rodríguez-Flores³.
¹Synergy Semiochemicals Corp, British Columbia, Canada.
²Universidad Politécnica de Tapachula, Chiapas, México.
³Universidad Nacional Agraria, Nicaragua.

Resumen

Se presenta investigación original sobre el uso de trampas cebadas con atrayentes y semioquímicos para atrapar especies de *Ips*, descortezador de pino. Los resultados son analizados bajo el marco de información regional y mundial publicada y generada dentro de esquemas de investigación y de operación en el manejo de estos insectos. El análisis determina las limitaciones técnicas y científicas de la información encontrada y concluye con propuestas puntuales para mejorar la investigación en el área y la utilidad operativa de los conocimientos generados.

Palabras clave: Atrayentes, diseño experimental, escarabajos, pinos, semioquímicos.

Abstract

Original research is presented on the use of traps baited with semiochemicals and attractants to collect species of *Ips* pine bark beetles. Results are analyzed under the frame of regional and world published information that focused on research and management of these insects. The analysis determines the scientific and technical limitations of the available information and propose some guidelines to improve research and the operational used of baited traps.

Keywords: Attractants, experimental design, beetles, pines, semiochemicals.

Introducción

La investigación en ecología química de descortezadores y su aplicación son áreas particularmente complementarias. Una vez determinada la identidad de los semioquímicos involucrados y el comportamiento que inducen en individuos de las especies estudiadas, tanto en laboratorio como en campo, su utilidad operativa como cebos atrayentes en trampas para esas especies está garantizada para las poblaciones en las cuales fueron identificados.

Los semioquímicos, entre los que se incluyen las feromonas, son compuestos o mezclas con funciones fisiológicas y comportamentales específicas para una determinada especie. Es común incrementar la eficacia de estos compuestos adicionándoles otros, denominados kairomonas, que son sustancias producidas por los árboles hospederos (Macías-Sámamo, 2021; Macías-Sámamo & Zúñiga, 2016).

En la región conformada por México, Centroamérica y el Caribe, estos dos enfoques están desconectados, lo que limita el beneficio de comprender sus interacciones. Esto ocurre debido a que los compuestos utilizados en esta área fueron investigados y formulados comercialmente a partir de poblaciones de insectos de Estados Unidos o Canadá. Por esta razón, la atracción que estos compuestos podrían generar en especies localizadas fuera de estos países se reduce, permitiendo atraer solo a un número limitado de individuos de la especie objetivo y, además, a varias especies filogenéticamente cercanas, como aquellas del mismo género o subfamilia.

Sin embargo, estos compuestos no logran atraer a las especies originalmente estudiadas, por lo que se les denomina atrayentes genéricos. Su uso no permite derivar información biológica o ecológica significativa, más allá de concluir de manera categórica que las especies se encuentran en la zona donde se colocaron las trampas (Macías-Sámamo & Niño-Domínguez, 2016; Macías-Sámamo & Zúñiga, 2020).

Con base en dos estudios realizados para este trabajo y considerando la información mundial existente, especialmente en la región mencionada, sobre la ecología química de las especies de descortezadores del género *Ips* (*Coleoptera: Scolytinae*), el objetivo de esta investigación es discutir las limitaciones de los datos obtenidos mediante trameos con semioquímicos, así como la necesidad de evaluar los diseños de estos estudios y las restricciones de sus resultados. Este análisis contribuirá a sustentar el uso de trampas cebadas con dichos compuestos como una herramienta operativa para el monitoreo de estas especies de descortezadores

Foto: Gilles San Martin



Materiales y Métodos

Este estudio incluye dos trabajos, uno en México y otro en Panamá, enfocados en ensayos de trapeo con semioquímicos para analizar la respuesta de atracción a diferentes mezclas de feromonas comerciales y contribuir al entendimiento del sistema de comunicación química de las especies del género *Ips*.

En el estudio realizado al sur de México en 2019, se trabajó en bosques de *Pinus oocarpa*, donde se establecieron trampas de tipo multiembudo, cebadas con uno de los siguientes tres tratamientos: T1, aguarrás + frontalina; T2, aguarrás + frontalina + *endo-brevicomina*; y T3, aguarrás + frontalina + *endo-brevicomina* + ipsdienol. Se realizaron cinco réplicas de cada tratamiento, bajo un diseño experimental de bloques completos al azar. Los datos obtenidos se analizaron según la metodología de Niño-Domínguez et al., (2016), utilizando un modelo lineal generalizado (GLM) con distribución binomial negativa ($\alpha=0.05$). Las diferencias entre los tratamientos se evaluaron mediante comparaciones múltiples de medias utilizando el software SPSS Statistics 21.0.

En el caso de Panamá, durante el año 2015, el estudio se llevó a cabo en una plantación de *Pinus caribaea* ubicada en la Reserva Forestal La Yeguada, provincia de Veraguas. Se emplearon trampas multiembudo cebadas con los siguientes tratamientos: T1, trampas control (no cebadas); T2, aguarrás; y T3, aguarrás + etanol en una mezcla 1:1. Los compuestos se liberaron mediante tubos tipo Falcon, en lugar de dispositivos comerciales.

El diseño experimental utilizado fue de bloques completos al azar. Dado que los datos obtenidos de los tratamientos con capturas no cumplían los supuestos de normalidad y homocedasticidad de varianza, se aplicaron transformaciones logarítmicas ($\ln+1$). Las diferencias entre los tratamientos fueron evaluadas mediante comparaciones de medias utilizando el programa estadístico SPSS versión 22.0. Todos los análisis estadísticos se realizaron con un nivel de confianza del 95% ($\alpha = 0.05$).

Resultados

Especies de *Ips* y su Importancia

La presencia y distribución de las especies de escarabajos descortezadores de coníferas del género *Ips* están documentadas en Norteamérica, Centroamérica y el Caribe (Wood, 1982; Douglas et al., 2019). En las dos primeras regiones, de manera general, las especies de *Ips* son reportadas como sucesoras inmediatas en árboles previamente colonizados por descortezadores primarios del género *Dendroctonus* (Wood, 1982; Cibrián Tovar et al., 1995).

En la región del Caribe, donde no existen especies del género *Dendroctonus*, las especies de *Ips* presentan un comportamiento primario, colonizando los pinos de manera individual o incluso afectando rodales completos (Haack et al., 1989). Más recientemente, en México y Honduras (D. Cibrián Tovar, comunicación personal, 2015; Instituto Nacional de Conservación Forestal [ICF], 2022), donde en general estos descortezadores se comportan como secundarios, se han registrado casos en los que actúan como especies primarias, atacando y aniquilando árboles aparentemente sanos. (Tabla. 1).

Las especies del género *Ips* en América colonizan árboles de coníferas de los géneros *Pinus spp* y *Picea spp*. Son insectos polígamos y pueden tener de una a varias generaciones por año (Wood, 1982). En cuanto a la taxonomía de este grupo de descortezadores, parece estar en constante revisión (Douglas et al., 2019).

Con base en la revisión más reciente realizada por Douglas et al. (2019), se elaboró la Tabla 1, que lista las 12 especies de *Ips* descritas taxonómicamente para México, Centroamérica y el Caribe. Además, se añadió *Pseudips mexicanus* Hopkins a esta lista, ya que por mucho tiempo se consideró una especie del género *Ips* y está reportada en la región. En la Tabla 2 se concentran tres especies de *Ips* y *P. mexicanus*, consideradas de importancia económica en la región debido a que se han registrado causando infestaciones en bosques o plantaciones de pino.

En las últimas décadas, el impacto de los

descortezadores de coníferas se ha intensificado, con evidencia de cambios en su ciclo de vida, población y distribución geográfica. Ejemplos notables incluyen *Dendroctonus ponderosae* Hopkins (Bleiker et al., 2011), *D. rufipennis* Kirby (Hart et al., 2014), *Ips confusus* (Kleinman et al., 2012) y *Dendroctonus frontalis* Zimmermann (Rivera et al., 2010; ICF, 2015; Instituto Nacional de Bosques [INAB], 2016), cuyas poblaciones han causado mortalidades extensas de sus hospederos tanto en Norteamérica como en Centroamérica.

Un estudio reciente realizado por McNichols et al. (2022), que analizó las relaciones entre el cambio climático, la sequía, la fisiología de los árboles de coníferas y los descortezadores del género *Ips*, concluyó que la mayoría de los reportes de daño e infestaciones se concentraron en monocultivos de coníferas estresados, creciendo en sitios de baja calidad y/o en plantaciones fuera de su rango natural.

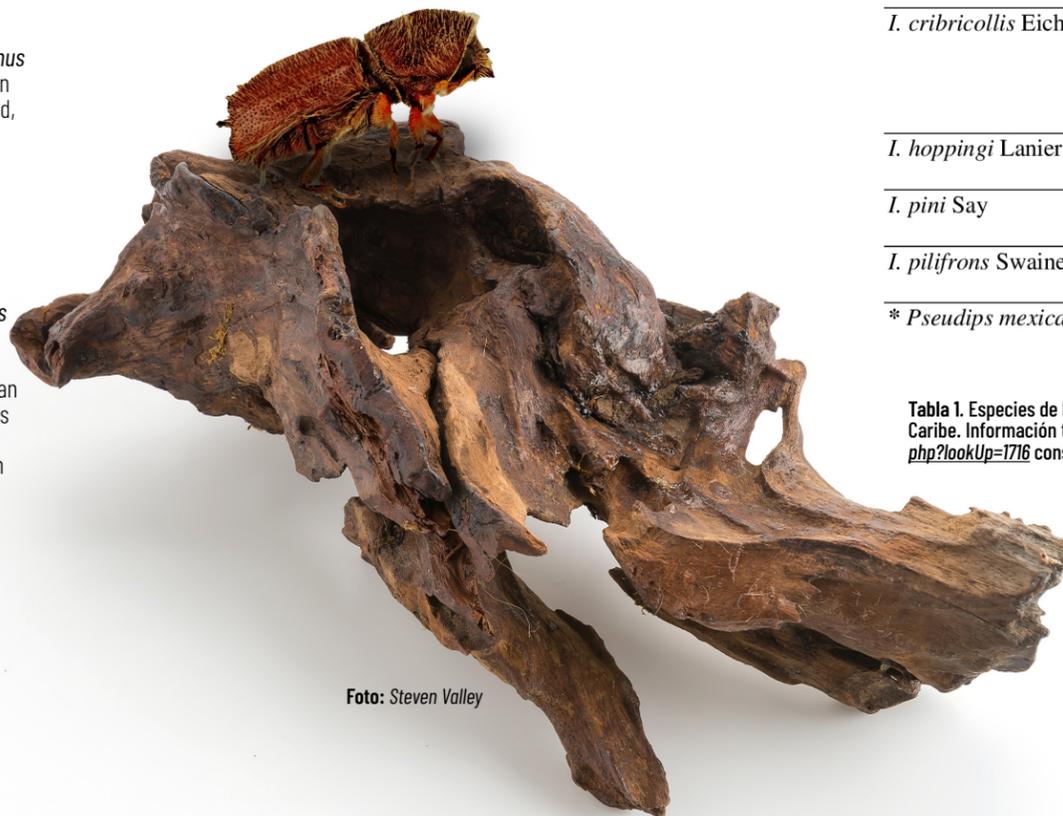


Foto: Steven Valley

Especies de <i>Ips</i> y <i>Pseudips</i>	Distribución
<i>I. bonanseai</i> (Hopkins)	Estados Unidos de América, México, Guatemala, Honduras
<i>I. apache</i> Lanier	Estados Unidos de América, México, Guatemala, Honduras, Nicaragua, Panamá
<i>I. integer</i> (Eichhoff)	Canadá, Estados Unidos de América, México, Guatemala
<i>I. grandicollis</i> (Eichhoff)	Canadá, Estados Unidos de América, México, Honduras
<i>I. lecontei</i> Swaine	Estados Unidos de América, México, Honduras
<i>I. calligraphus</i> Germar	Canadá, Estados Unidos de América, México, Jamaica, y República Dominicana
<i>I. confusus</i> LeConte	Canadá, Estados Unidos de América, México
<i>I. emarginatus</i> LeConte	Canadá, Estados Unidos de América, México
<i>I. cribricollis</i> Eichhoff	Estados Unidos de Norteamérica, México, República Dominicana, Jamaica, Guatemala, Honduras, Nicaragua
<i>I. hoppingi</i> Lanier	Estados Unidos de América, México
<i>I. pini</i> Say	Canadá, Estados Unidos de América, México
<i>I. pilifrons</i> Swaine	Estados Unidos de América, México
* <i>Pseudips mexicanus</i> Hopkins	Canadá, Estados Unidos de Norteamérica, México, Guatemala

Tabla 1. Especies de los géneros *Ips* y *Pseudips* descritas taxonómicamente para la región de Norte, Centroamérica y el Caribe. Información tomada de Douglas et al. (2019) y de http://www.barkbeetles.info/regional_chklist_target_species.php?lookUp=1716 consultada enero 8, 2023*.

	Ips spp	Hospedero	Localidad	Referencia
México	<i>Ips confusus</i>	<i>P. jeffreyi</i> Balf	Bosques en Baja California	Steed <i>et al.</i> , 2005
		<i>P. cembroides</i> Zucc.	Región norte	D. Cibrián y J. Villa
	<i>Ips lecontei</i>	<i>P. pinceana</i> Gord.	Región centro	com. pers.
	<i>Pseudoips mexicanus</i>	<i>P. douglasiana</i> Martinez	Plantación en Jalisco	Steed y Willwhite, 2011.
El Caribe	<i>Ips calligraphus</i>	<i>P. occidentalis</i> Sw	Plantación en Rep. Dom.	Haack <i>et al.</i> , 1989
				Billings, 1997
				MMARN, 2016
	<i>P. caribaea caribaea</i>	Plantación en Cuba	López-Castilla <i>et al.</i> , 2009	
<i>P. caribaea</i> Morelet	Plantación en Jamaica.	Garraway, 1986		
<i>Ips grandicollis</i>	<i>P. caribaea</i> Morelet	Plantación en Jamaica.	Garraway, 1986	
	<i>P. caribaea caribaea</i>	Plantación en Cuba.	López-Castilla <i>et al.</i> , 2009	
Centroamérica		<i>P. caribaea</i> var. <i>hondurensis</i>	Plantación en Panamá	Jaén-Lara, 2013

Tabla 2. Especies de los géneros *Ips* y *Pseudips* que se han reportado matando arbolado en rodales naturales o en plantaciones de pino en México, Centroamérica y el Caribe.

Experiencias en México, Centroamérica y el Caribe con Trampas Cebadas y Semioquímicos

República Dominicana

En la República Dominicana, Haack *et al.* (1989) reportaron que la combinación más efectiva de compuestos para atraer *I. calligraphus* a trampas cebadas en el campo consistió en ipsdienol racémico combinado con cis-verbenol (ambos diluidos en etanol). Esta mezcla superó en eficacia a combinaciones con diversas proporciones de los enantiómeros (-) y (+) de ipsdienol más cis-verbenol (diluidos en etanol) y a un control con únicamente etanol. Las capturas promedio por día de individuos con la mezcla más atrayente fueron aproximadamente de 80, alcanzando un total de 102,980 individuos en 18 trampas durante un año.

En el año 2000, Rodríguez (referenciado por Jiménez *et al.*, 2022) utilizó trampas multiembudos cebadas con ipsdienol racémico durante un periodo de un año, recolectando un total de 5,846 individuos de *I. calligraphus*. Las capturas más significativas se registraron entre los meses de febrero y agosto.

Más recientemente, Jiménez *et al.* (2022) establecieron, en colaboración con el Plan Sierra Inc., una red de monitoreo (2019-2021) para *I. calligraphus* en áreas de intervención. Utilizaron 50 trampas multiembudo cebadas con la feromona específica para esta especie (ipsdienol y verbenol), con periodos de monitoreo de uno a dos meses. El 80 % de las trampas se instalaron en plantaciones de *Pinus occidentalis*, *P. caribaea* var. *caribaea* y *P. caribaea* var. *hondurensis*. Los resultados fueron particularmente relevantes, ya que no solo se registró el número de individuos por trampa durante los tres años, sino que también se realizaron comparaciones anuales y según las especies de pino presentes. El promedio de capturas por trampa fue de 40,849 individuos durante el monitoreo.

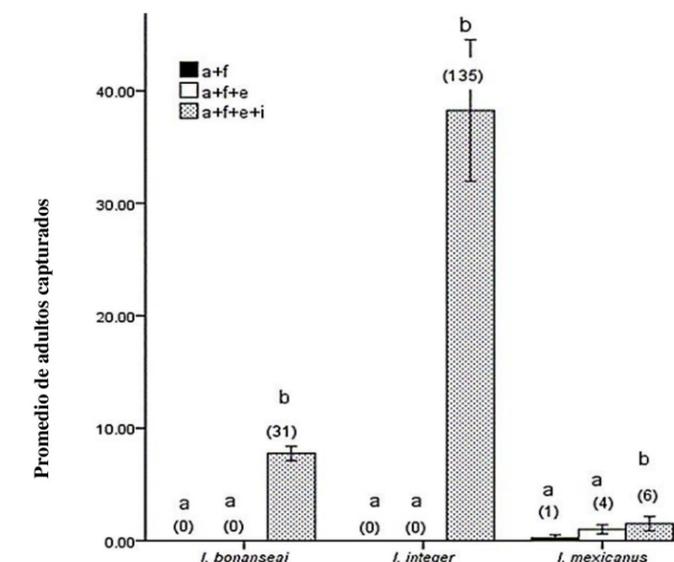


Figura 1. Respuesta en campo de tres especies de *Ips* en el sur de México a destilado de resina de pino (a), *endo-brevicomin* (e), *frontalina* (f) e *ipsdienol* (i) combinados de acuerdo con los siguientes tratamientos: T1, a + b; T2, a + f + e; and T3, a + f + e + i. Los números en paréntesis indican capturas totales de insectos. Letras diferentes denotan diferencias significativas. Se usaron análisis MLG de la binomial negativa con una liga logarítmica con el paquete estadístico SPSS (*I. bonanseai*: $X^2=93.080$, $gl=2$, $p<0.05$; *I. integer*: $X^2=110.292$, $gl=2$, $p=0.003$; *P. mexicanus*: $X^2=4.346$, $gl=2$, $p=0.114$).

México

Steed y colaboradores (2005), en bosques de Baja California, México, evaluaron diversas mezclas enantioméricas de ipsdienol con y sin lanieron, así como trampas sin cebo, para la captura de *I. pini*. Los resultados indicaron que la mezcla de 65-87 % de (-) ipsdienol combinado con lanieron fue la más efectiva, logrando capturas de hasta 1,600 individuos durante el mes de junio.

En 2011, Steed y Willhite realizaron estudios de trapeo durante siete meses en plantaciones de pino en Jalisco, México, utilizando cebos con mezclas racémicas de ipsenol e ipsdienol, tanto de forma individual como combinada. Este estudio permitió capturar individuos de *I. lecontei*, *I. cribricollis* y *P. mexicanus*. *I. lecontei* mostró capturas significativamente altas, con un rango de 200 a 300 individuos en trampas con la combinación de ambos compuestos. Por su parte, *I. cribricollis* fue capturado en números similares (30-80 individuos) en los tres tratamientos evaluados. En cuanto a *P. mexicanus*, las capturas fueron significativamente mayores con ipsdienol y su combinación con ipsenol, alcanzando un total de hasta 50 individuos.

Macías Sámano *et al.* (2014) llevaron a cabo un estudio de cuatro meses (marzo-junio) en el sur de México para evaluar la atracción de cebos comerciales que contenían ipsenol e ipsdienol, ambos en formulaciones racémicas, en combinaciones binarias con α -pineno racémico. Los resultados mostraron capturas significativas de *I. grandicollis* hacia cebos de ipsenol combinado con α -pineno.

En otro estudio en el sur de México, Domínguez *et al.* (2008) evaluaron la biodiversidad de escarabajos descortezadores en un periodo de junio a octubre. Durante este estudio, se registró

una atracción significativa de 20 individuos de *I. grandicollis* y 20 individuos de *I. z* hacia cebos comerciales que contenían combinaciones terciarias de ipsdienol, ipsenol y aguarrás (rico en α -pineno), en comparación con trampas control cebadas únicamente con α -pineno durante un periodo de tres meses.

El estudio realizado en el sur de México tuvo como objetivo evaluar en campo compuestos candidatos para confirmar la mezcla feromonal de *D. mesoamericanus* previamente determinada en laboratorio (Niño-Domínguez *et al.*, 2018). Durante un periodo de 30 días, se registraron capturas significativas de 31, 135 y 6 individuos de *I. bonanseai*, *I. integer* y *Pseudoips mexicanus*, respectivamente, al utilizar el compuesto ipsdienol combinado con mezclas racémicas de α -pineno, frontalina y endo-brevicomin. (Figura 1).

Panamá

La primera experiencia de trapeo con semioquímicos en este país fue llevada a cabo por Jaén-Lara (2013) en plantaciones de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* dentro del Proyecto Bosque Siglo XXI. En este estudio, se utilizaron trampas multiembudos cebadas con ipsdienol racémico durante casi un año, logrando coleccionar un promedio de 150 individuos de *I. calligraphus* durante los meses más secos, de febrero a abril.

La segunda experiencia, realizada como parte de este estudio, consistió en la captura significativa de un total de 74 individuos de *I. calligraphus* (Figura 2) durante 80 horas de trapeo utilizando una mezcla 1:1 de aguarrás:etanol, en comparación con trampas cebadas únicamente con etanol o trampas no cebadas (control).

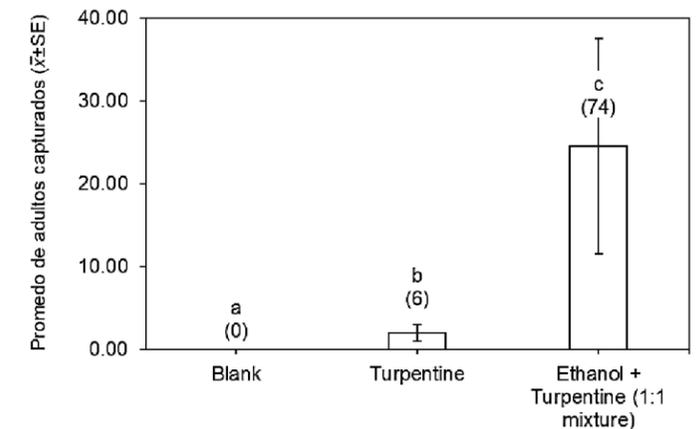


Figura 2. Medias de los números de individuos de *I. calligraphus* atrapados en trampas control no cebadas (Blank), o con aguarrás (Turpentine) y una mezcla 1:1 de etanol y aguarrás (Ethanol + Turpentine) en una plantación de *P. caribaea* en Panamá. Los números en paréntesis indican números totales de capturas. Letras diferentes en sobre cada columna indican diferencias significativas (t-student, $gl=2$ $p=0.03$).

Discusión

Todos los estudios sobre ecología química de las especies de *Ips* se han llevado a cabo en poblaciones de Canadá, Estados Unidos o Europa (Schlyter et al., 1987; Seybold, 1993; Miller et al., 2005). De las especies de *Ips* presentes en la región, únicamente se ha investigado la composición y la respuesta a las feromonas de agregación en *I. calligraphus*, *I. grandicollis* e *I. pini* (Symonds y Gitau-Clarke, 2016).

Es importante señalar que todas las especies de *Ips*, sin importar su distribución geográfica, utilizan las feromonas ipsenol, ipsdienol o ambas, y pocas cuentan con compuestos más específicos como el lanieron, que solo es utilizado por *I. pini* y *I. avulsus* (Eichhoff), esta última presente únicamente en los Estados Unidos (Symonds y Gitau-Clarke, 2016). Además, existe variabilidad en la producción y en las respuestas comportamentales a compuestos y mezclas enantioméricas por parte de las especies de *Ips* en distintas regiones (Seybold, 1993; Miller et al., 1997; Steed y Wagner, 2008), ya que la presencia o ausencia de ipsenol, ipsdienol, etanol y lanieron afecta la atracción de algunas especies en ciertas regiones geográficas (Miller y Rabaglia, 2009). Por lo tanto, sin información regional sobre la ecología química básica de las especies capturadas con semioquímicos, es imposible otorgar un contexto biológico o ecológico real a la información existente en México, Centroamérica y el Caribe.

En México, Centroamérica y el Caribe, se utilizan trampas cebadas con mezclas comerciales de atrayentes genéricos para el monitoreo de especies de *Ips* o *Dendroctonus* (Rodríguez, 2000; Macías-Sámano y Zúñiga, 2016; Macías-Sámano y Niño-Domínguez, 2016; Jiménez et al., 2022). Paralelamente, se han llevado a cabo algunas investigaciones que evalúan estos atrayentes genéricos, bajo diseños experimentales formales, los cuales han comenzado a arrojar resultados sobre el comportamiento en campo de las especies de *Ips* presentes en México y República Dominicana. Estos estudios, además, permiten observar los efectos de las combinaciones de varios compuestos reportados como semioquímicos en otras poblaciones (Haack et al., 1989; Domínguez et al., 2008; Macías-Sámano et al., 2014).

A partir de lo presentado en este análisis, es evidente que los atrayentes genéricos comercialmente disponibles son capaces de atraer en campo a varias especies de *Ips* presentes en México, Centroamérica y el Caribe. Sin embargo, no se han realizado pruebas que permitan determinar si otros compuestos o combinaciones diferentes

podrían ser más atractivos que los probados. Además, no todas las especies de este género presentes en las localidades estudiadas son atraídas (ver **Tabla 1**), y, en los casos en que esto ocurre, existen diferencias numéricas notables en el número de individuos capturados por especie.

En República Dominicana, al utilizar trampas cebadas con ipsdienol + cis-verbenol (Haack et al., 1989), ipsdienol + verbenol (Jiménez et al., 2022) o solo ipsdienol (Rodríguez, 2000), únicamente se capturó *I. calligraphus* y no *I. grandicollis*, que también está presente en la isla. La razón de ello probablemente se deba a que la feromona de agregación de *I. grandicollis* es ipsenol (Renwick y Vité, 1972), que no se incluyó en los cebos utilizados. Por otro lado, Haack et al. (1989) reportan que la mezcla racémica de ipsdienol (50 % (-) / 50 % (+) de sus enantiómeros) fue la que atrajo a más individuos, mientras que cuando se usaron mezclas donde el enantiómero (-) de ipsdienol era mayoritario, el número de individuos atraídos disminuyó fuertemente, quedando a nivel de los controles. Es interesante señalar que las poblaciones de *I. calligraphus* en Texas responden principalmente a este último enantiómero (Vité et al., 1978), lo que ejemplifica claramente la evolución de los sistemas de comunicación feromonal en distintas regiones. Un buen ejemplo de esto es el sistema de *I. pini* en Norteamérica, que ilustra cómo varía, tanto inter como intrapoblacionalmente, la producción de su feromona de agregación en función de las proporciones enantioméricas de ipsdienol producidas (Miller et al., 1989).

En México, en su frontera oeste con los Estados Unidos de América, la atracción de *I. pini* a los compuestos ipsdienol combinado con lanieron fue la mejor, siendo esta la misma respuesta observada en poblaciones de esa especie en el suroeste de los Estados Unidos, donde fue investigada (Steed et al., 2005). En la parte central oeste de México, Steed y Willhite (2011) colectaron individuos de *I. lecontei* en trampas cebadas con la combinación de ipsenol + ipsdienol. Por otro lado, *I. cribricollis* fue capturado de manera similar en trampas cebadas con los mismos compuestos, tanto de manera individual como combinados, y *P. mexicanus* fue capturado de manera significativa en trampas cebadas únicamente con ipsdienol, mientras que la combinación de ambos redujo fuertemente las capturas. De lo anterior, se puede inferir con certeza que *I. lecontei* e *I. cribricollis* contienen ambos compuestos en su feromona de agregación. En cambio, para *P. mexicanus*, el ipsenol parece repeler en cierta medida la

atracción del ipsdienol. La atracción a la feromona ipsenol en poblaciones de *I. grandicollis* fuera de la región donde fue estudiada fue confirmada en poblaciones de Chiapas, en el sureste de México (Dominguez et al., 2008). Tanto en esta misma localidad como en Veracruz, también en el sureste de México, individuos de *I. bonanseai* fueron atraídos por mezclas binarias de ipsenol + ipsdienol (Dominguez et al., 2008), lo que sugiere que ambos compuestos pueden formar parte de su feromona de agregación. En otro estudio en Chiapas, Niño-Domínguez (datos no publicados) capturó *I. integer* con mezclas de ipsdienol + α -pineno (una cairomona, compuesto mayoritario de la resina de los pinos), frontalina y endo-brevicomina, siendo estas dos últimas feromonas de agregación de *Dendroctonus mesoamericanus* Armendáriz-Toledano & Sullivan, una especie simpátrica con *I. integer* y *Dendroctonus frontalis* Zimmerman.

El caso de *I. calligraphus* en Panamá resulta especialmente interesante. En primer lugar, la literatura taxonómica más reciente (Douglas et al., 2019) no reporta la presencia de esta especie en Panamá, sino de *I. apache*. Esto sugiere la posibilidad de un error en la determinación de la especie, lo cual aún requiere confirmación. No obstante, los insectos fueron atraídos por ipsdienol y por la mezcla 1:1 de etanol y aguarrás. Estos últimos compuestos, aunque relativamente económicos y clasificados como cairomonas, no han sido comparados con los atrayentes genéricos, lo que genera incertidumbre respecto a su utilidad potencial como atrayentes con aplicaciones operativas.

No es posible realizar una comparación adecuada de la información obtenida, incluso cuando se trata de las mismas especies de *Ips* atraídas a las trampas. Esto se debe a múltiples factores y condiciones asociados a los trampeos, entre los que se incluyen: 1) la duración de los estudios (desde meses hasta varios años), 2) la ubicación de los trampeos, ya sea en bosques o en plantaciones, 3) las cantidades de individuos capturados (de 10 a 100,000), 4) los tipos de trampas utilizadas (multiembudos, de tubo, o de paneles cruzados), 5) los dispositivos de liberación empleados (comerciales o artesanales), 6) el uso de compuestos racémicos o mezclas enantioméricas de ipsdienol, y 7) la utilización de compuestos individuales o mezclas binarias o terciarias de feromonas (ipsenol, ipsdienol, verbenol, lanieron, frontalina y endo-brevicomina) o cairomonas (α -pineno, aguarrás, etanol).



Foto: Gilles San Martin

Conclusiones

Desde un punto de vista operativo para el monitoreo continuo, se busca construir un registro histórico que proporcione información confiable sobre los periodos en que las poblaciones de insectos están en vuelo y el momento en que potencialmente colonizan un mayor número de árboles (Macías-Sámano y Niño-Domínguez, 2016). Para este propósito, no es estrictamente necesario utilizar semioquímicos o atrayentes que capturen la mayor cantidad de insectos (generalmente en la época del año en que la mayor parte de la población está activa), sino aquellos que generen una atracción adecuada para capturar un número suficiente de insectos que pueda ser comparado numéricamente entre trampas y registrado de manera consistente. Asimismo, se recomienda emplear compuestos de bajo costo, ya que se instalarán múltiples trampas en diversas localidades y se requerirá su monitoreo periódico a lo largo de cada año o temporada.

Se puede concluir que, en todas las instancias analizadas, las trampas cebadas permitieron determinar la presencia de especies de *Ips* en vuelo en el momento y en la localidad donde fueron capturadas. Entre las experiencias orientadas al monitoreo de individuos de una especie objetivo, el estudio de Jiménez et al. (2022) destaca por haberse llevado a cabo de manera sistemática y durante un periodo prolongado (años) en diversas localidades, lo que convierte los conteos de individuos capturados en insumos valiosos para construir un historial que refleja, hasta cierto punto, los cambios poblacionales en las localidades estudiadas.

En los estudios destinados a probar compuestos para identificar qué especies de *Ips* eran atraídas, solo aquellos que incluyeron controles de referencia lograron establecer estadísticamente que los cebos evaluados fueron efectivos en comparación con el control, lo que abre la posibilidad de que dichos compuestos puedan formar parte del sistema de comunicación química de esas especies. Sin embargo, al utilizar atrayentes genéricos, esta atracción no se comparó con la de otros compuestos o mezclas, lo que limita significativamente la aplicabilidad operativa de los resultados. Esta limitación también se debe al bajo número de individuos capturados (decenas) y a los periodos relativamente cortos en los que se realizaron los trampeos.

Para que la información derivada del uso de trampas cebadas con atrayentes o semioquímicos sea útil, es fundamental que estos ejercicios se basen en el conocimiento científico disponible sobre las especies objetivo. Además, los diseños experimentales o de trabajo deben ser consistentes y reproducibles, garantizando la precisión en la identificación taxonómica y en el número de individuos capturados.

Es igualmente importante considerar que las especies de *Ips* tienen un ciclo de vida definido (prácticamente desconocido en la región analizada) y, por lo tanto, un número específico de generaciones al año. Solo durante los periodos en los que estas especies están en vuelo, los trampeos pueden ser efectivos para indicar su presencia.

Referencias

- Bleiker, K. P., Carroll, A. L. & Smith, G.D. (2011). *Mountain Pine Beetle Working Paper: Mountain pine beetle range expansion: Assessing the threat to Canada's boreal forest by evaluating the endemic niche*. Final Report Ver. 1.1. Natural Resources Canada, Canadian Forest Service, Pacific Forestry Centre.
- Cibrián Tovar, D., Méndez Montiel, J. T., Campos Bolaños, R., Yates III, H.O. & Flores Lara, J. (1995). *Insectos forestales de México / Forest Insects of Mexico*. (Pub. No. 6). Universidad Autónoma de Chapingo, SARH, USDA-FS, Comisión Forestal Norteamericana, FAO.
- Domínguez Sánchez, B., Ramírez-Marcial, N., Macías-Sámamo, J. E. & León-Cortés, J. (2008). Respuesta kairomonal de coleópteros asociados a *Dendroctonus frontalis* y dos especies de *Ips* (Coleoptera: Curculionidae) en bosques de Chiapas, México. *Revista Mexicana Biodiversidad*, 79, 175 - 183.
- Douglas, H. B., Cognato, A. I., Grebennikov, V., & Savard, K. (2019). Dichotomous and matrix-based keys to the *Ips* bark beetles of the World (Coleoptera: Curculionidae: Scolytinae). *Canadian Journal of Arthropod Identification*, 38.
- Haack, R. A., Billings, R. F. & Richter, A. M. (1989). Life history parameters of bark beetles (Coleoptera:Scolytidae) attacking west indian pine in the Dominican Republic. *Florida Entomologist*, 72, 591 - 603.
- Hart, S. J., Veblen, T. T., Eisenhart, K. S., Jarvis, D. & Kulakowski, D. (2014). Drought induces spruce beetle (*Dendroctonus rufipennis*) outbreaks across northwestern Colorado. *Ecology*, 95, 930 - 939.
- Instituto Nacional de Conservación Forestal. (2015). *Plan de acción para el control de la plaga del gorgajo de pino*. Autoedición.
- Instituto Nacional de Conservación Forestal. (2022). *Anuario Estadístico Forestal de Honduras*. <https://icf.gob.hn/unidad-de-estadistica-forestal/>.
- Instituto Nacional de Bosques. (2016). *Plan de contingencia para la detección y control del gorgajo del pino (Dendroctonus spp)* en Guatemala. Autoedición.
- Jiménez, A. A., Cabrera, P. R. C. & Agramonte, J. E. (2022). Fluctuación poblacional de *Ips calligraphus* en pinares de la vertiente norte de la cordillera Central, República Dominicana. *Novitates Caribaea*, 20, 137-154.
- Kleinman, S. J., DeGomez, T. E., Snider, G. B. & Williams, K. E. (2012). Large-scale pinyon *ips (Ips confusus)* outbreak in southwestern United States tied with elevation and land cover. *Journal of Forestry*, 110, 194 - 200.
- Macías-Sámamo, J. E. (2021). Compuestos químicos comportamentales de los insectos. En D. Cibrián-Tovar (ed.), *Fundamentos para el Manejo Integrado de Plagas Forestales*. Universidad Autónoma Chapingo, México.
- Macías-Sámamo, J. E. & Niño Domínguez, A. (2016). *Protocolo para monitoreo de descortezadores de coníferas mediante el uso de atrayentes y semioquímicos: para México y Centroamérica* (1ª edición) (Informe técnico). Colegio de la Frontera Sur y Oficina de Programas Internacionales del Servicio Forestal de los Estados Unidos.
- Macías-Sámamo, J. E., Rivera-Granados, M. L., Jones, R. & Ibarra, G. (2014). Respuesta de insectos descortezadores de pino y de sus depredadores a semioquímicos en el sureste de México. *Maderas y Bosques*, 20, 41 - 47.
- Macías-Sámamo, J. E. & Zúñiga G. (2016). Estado actual del conocimiento en México sobre el uso de semioquímicos que median las interacciones entre insectos descortezadores y las coníferas. En A. L. Anaya Lang, F. J. Espinosa, F. Macías & M Reigosa (eds). *Ecología Química y Alelopatía: avances y aplicaciones*, UNAM, México.
- Miller D. R., Asaro C. & Berisford, C. W. (2005). Attraction of Southern Pine Engravers and Associated Bark Beetles (Coleoptera: Scolytidae) to Ipsenol, Ipsdienol, and Lanierone in Southeastern United States. *Journal of economic entomology*, 98(6): 2058-2066
- McNichol, B. H., Clarke, S. R., Faccoli, M., Montes, C. R., Nowak, J. T., Reeve, J. D. & Gandhi, K. J. K. (2022). Relationships between drought, coniferous tree physiology, and *Ips* bark beetles under climate change. En K.J.K. Gandhi y R.W. Hofstetter (eds.), *Bark beetle management, ecology and climate change*, (pp. 153 - 196). Academic Press.
- Miller D. R., Borden, J. H. & Slessor K. N. (1989). Inter- and intrapopulation variation of the pheromone, ipsdienol produced by male pine engravers, *Ips pini* (Say) (Coleoptera: Scolytidae). *Journal of Chemical Ecology*. 15(1): 233-247.
- Miller, D. R., Gibson, K. E., Raffa, K. F., Seybold, S. J., Teale, S. A. & Wood, D. L. (1997). Geographic variation in response of pine engraver, *Ips pini*, and associated species to pheromone, lanierone. *Journal of Chemical Ecology*, 23, 2013 - 2031.
- Miller, D. R. & Rabaglia, R. J. (2009). Ethanol and (-)- α -pinene: attractant kairomones for bark and ambrosia beetles in the southeastern USA. *Journal of Chemical Ecology*, 35, 435-448.
- Niño-Domínguez, A., Sullivan B., Urbina-López, J. H. & Macías-Sámamo, J. E. (2016). Responses by *Dendroctonus frontalis* and *Dendroctonus mesoamericanus* (Coleoptera: Curculionidae) to semiochemical lures in Chiapas, Mexico: Possible roles of pheromones during joint host attacks. *Journal of Economic Entomology*. 109, 2, p. 724-731 8 p.
- Niño-Domínguez, A., Sullivan B., Urbina-López, J. H. & Macías-Sámamo, J. E. (2018). Discrimination of odors associated with conspecifics and heterospecifics frass by sibling species *Dendroctonus frontalis* (Coleoptera: Curculionidae: Scolytinae) and *Dendroctonus mesoamericanus* (Coleoptera: Curculionidae: Scolytinae). *Environmental entomology*, 47(6), 1532 - 1540.
- Renwick, J. A. A. & Vité, J. P. (1972). Pheromones and host volatiles that govern aggregation of six-spined engraver beetle, *Ips calligraphus*. *Journal of Insect Physiology*, 18(6), 1215-1219.
- Rivera, R. M., Localtelli, B. & Billings, R. (2010). Cambio climático y eventos epidémicos del gorgajo descortezador del pino *Dendroctonus frontalis* en Honduras. *Forest Systems*. 19(1), 70 - 76.
- Rodríguez, I. (2000). *Comportamiento de Ips calligraphus* (Wood) en tres zonas píneras de la República Dominicana [Tesis de licenciatura]. Escuela Nacional Forestal, Santo Domingo, República Dominicana.
- Schlyter, F., Byers, J. & Löfgqvist, J. (1987). Attraction to pheromone sources of different quantity, quality, and spacing density-regulation mechanisms in bark beetle *Ips typographus*. *Journal of Chemical Ecology*, 13, 1503 - 1523.
- Seybold, S. J. (1993). Role of chirality in olfactory-directed behavior: aggregation of pine engraver beetles in the genus *Ips* (Coleoptera: Scolytidae). *Journal of Chemical Ecology*, 19, 1809-1831.
- Steed, B. E., Villa, C. J. & Bonilla, F. (2005). *Evaluación de la preferencia de Ips pini hacia combinaciones de feromonas en Sierra de Juárez, Baja California* [Reporte técnico]. USDA Forest Service, Forest Health Protection San Francisco, California, Estados Unidos, y Comisión Nacional Forestal, México, Ciudad de México, México: 7 pp.
- Steed, B. E. & Wagner, M. R. (2008). Seasonal pheromone response by *Ips pini* in northern Arizona and western Montana, U.S.A. *Agricultural and Forest Entomology*, 10(3), 189-203.
- Steed, B. E. & Willhite, B. (2011). *Ips* in intensively managed pine plantations in Jalisco, Mexico. *USDA Forest Service International Activities Team Interim Report*.
- Symonds, M. R. E. & Gitau-Clarke, C. W. (2016). The evolution of aggregation pheromone diversity in bark beetles. *Advances Insect Physiology*, 50, 195-234.
- Vité, J. P., Ohloff G. & Billings, R. F. (1978). Pheromonal chirality and integration response in southern species of bark beetles *Ips* sp. *Nature*, 272, 817-818.
- Wood, S. L. (1982). The bark and ambrosia beetles of North America (Coleoptera: Scolytidae), A Taxonomic Monograph. *Great Basin naturalist memoirs*, 6, 1-1359.



COMITÉ EDITORIAL 2023-2027

Dra. Verónica Castellanos León
Universidad Autónoma de Chiapas
vleon73@msn.com
veronica.castellanos@unach.mx

Dr. Octavio Grajales Castellanos
Universidad Autónoma de Chiapas
octaviograjales4@gmail.com
octavio.grajales@unach.mx

Dr. Sarelly Martínez Mendosa
Universidad Autónoma de Chiapas
sarelym@gmail.com

Mtra. Lucía María Cristina Ventura Canseco
Instituto Tecnológico de Veracruz
mventura@ittg.edu.mx

Mtra. Lorena del Rosario Rojas Nucamendi
Space Zero Gravity
lorenarojas@mexicoled.com

Mtra. Lexi Javivi López Ángel
Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas
lexijavivi_07@hotmail.com

Dra. Bíaani Beu Martínez Valencia
Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias
biaaninez@gmail.com
biaani@hotmail.com

Dr. Adolfo de Jesús Solís Muñiz
Universidad Autónoma de Chiapas
asolism@gmail.com

Dr. Fernando Daniel Durán
Universidad Autónoma de Chiapas
fernando.duran@unach.mx

Dr. Rubén Hernán Leal López
Universidad Autónoma de Chiapas
rubenh.leal@gmail.com

Dra. Vivian Gabriela Mazariegos Lima
Universidad Autónoma de Chiapas
vivian.mazariegos@unach.mx

Dra. Ligia Margarita Domínguez Castañón
Universidad Autónoma de Chiapas
mdguez@unach.mx

Dra. María Minerva López García
Universidad Autónoma de Chiapas
minerva@unach.mx

Dr. Óscar Ausencio Carballo Aguilar
Universidad Autónoma de Chiapas
oscar.carballo@unach.mx

Dra. Ivonne Álvarez Gutiérrez
Universidad Autónoma de Chiapas
Ivonne.ag@mail.com

Marx Navarro
Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas
marxnavc@yahoo.com



INSTITUTO
**DE CIENCIA, TECNOLOGÍA
E INNOVACIÓN**

GOBIERNO DE CHIAPAS

TODA NUESTRA
OFERTA DE SERVICIOS
LA PUEDES ENCONTRAR **AQUÍ**

icti.chiapas.gob.mx



Sigue nuestras redes sociales
para **mantenerte informado**