

Ciencia, Tecnología y Salud

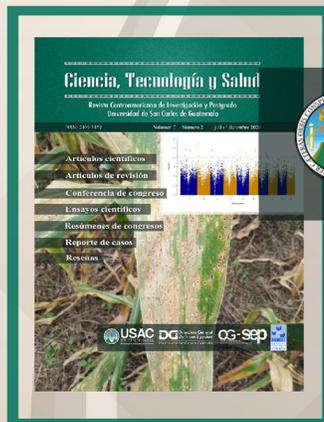
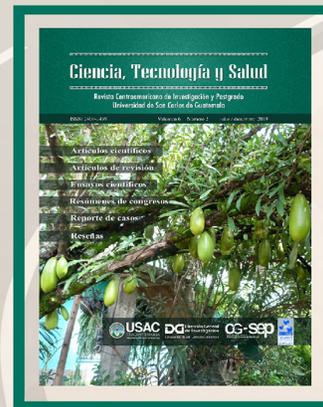
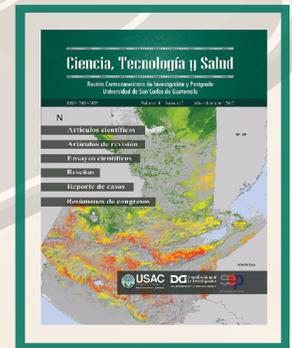
Revista Centroamericana de Investigación y Postgrado
Universidad de San Carlos de Guatemala

ISSN: 2410-6356 (electrónico) / 2409-3459 (impreso) Volumen 10 Número 2 julio / diciembre 2023

Artículos científicos

Artículos de revisión

Ensayos científicos



USAC TRICENTENARIA
Universidad de San Carlos de Guatemala

DG Dirección General de Investigación
Universidad de San Carlos de Guatemala

CG-sep
Coordinadora General
Sistema de Estudios de Postgrado



Ciencia, Tecnología y Salud es una publicación de la Dirección General de Investigación (Digi), con la colaboración de la Coordinadora General del Sistema de Estudios de Postgrado (CG-SEP), de la Universidad de San Carlos de Guatemala (Usac) y el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (Concyt). Está orientada a divulgar investigaciones originales en las áreas de ciencias, tecnologías y salud humana y animal. Constituye una publicación en formato digital Open Journal System (OJS) en línea, y semestral en forma impresa. Los manuscritos aceptados para publicación son sometidos a procesos de arbitraje por revisores externos, lo que garantiza al lector y autores un alto nivel y rigor académico. Aprobada en el punto Séptimo, Inciso 7.1 del Acta No. 20-2014 de la sesión ordinaria celebrada por el Consejo Superior Universitario, el día miércoles 12 de noviembre de 2014.

Nombre: Dirección General de Investigación, editor | Rodas Morán, Andrea Eunice, editora ejecutiva
Título: Ciencia, Tecnología y Salud / Revista de Investigación y Postgrado; editor Dirección General de Investigación; editora ejecutiva Andrea Eunice Rodas Morán.
Descripción: Guatemala : Universidad de San Carlos de Guatemala, Dirección General de Investigación, Unidad de Publicaciones y Divulgación, 2023 | Volumen 10, número 2. (julio/diciembre 2023).
Identificadores: ISSN impreso 2409-3459 | ISSN electrónico 2410-6356
Temas: LEMB: Alimentación. | Agronomía. | Biología. | Conservación de los recursos naturales. | Física. | Industrias. | Matemática. | Medicina. | Medio ambiente natural. | Recursos naturales. | Salud pública. | Química.
Clasificación: CDD 500 C569
Disponible en <https://revistas.usac.edu.gt/index.php/cytes>

Universidad de San Carlos de Guatemala

Walter Ramiro Mazariegos Biolis

Rector

Lic. Luis Fernando Cordón Lucero

Secretario General

Dra. Alice Burgos Paniagua

Directora General de Investigación, Digi

Julio R. Salazar Pérez

Coordinador General de Programas, Digi

Carlos René Sierra

Coordinador General, SEP

La correspondencia debe ser dirigida a:

Edificio S-11, 3^{er}. Nivel, Ciudad Universitaria, Zona 12

Teléfono: 2418 7950

Correo: cts@dig.usac.edu.gt



Descripción de la fotografía de portada: Cubiertas de la revista *Ciencia, Tecnología y Salud*, Vol. 2, Núm. 2; Vol. 3, Núm. 2; Vol. 4, Núm. 2; Vol. 5, Núm. 2; Vol. 6, Núm. 2; Vol. 7, Núm. 2; Vol. 8, Núm. 2; Vol. 9, Núm. 2.

La reproducción total o parcial del contenido e imágenes de esta publicación se rige de acuerdo a normas internacionales sobre protección a los derechos de autor, con criterios especificados en la licencia Creative Commons (CC BY-NC-SA 4.0)

©Universidad de San Carlos de Guatemala, Dirección General de Investigación, 2023
Los textos publicados en este documento son responsabilidad exclusiva de sus autores.

Ciencia, Tecnología y Salud

ISSN: 2410-6356 (impreso) / 2409-3459 (electrónico)

Vol. 10 Num. 2 jul/dic 2023

Directorio / Board-Staff

Director de la revista

Alice Patricia Burgos-Paniagua

Dirección General de Investigación, Usac, Guatemala

Editor en jefe

Alice Patricia Burgos-Paniagua

Dirección General de Investigación, Usac, Guatemala

Editor Adjunto

Armando Cáceres

Dirección General de Investigación, Usac, Guatemala

Co-editora y Editora Ejecutiva

Rosario Godínez

Sistema de Estudios de Postgrado, Usac, Guatemala

Andrea E. Rodas-Morán

Dirección General de Investigación, Usac, Guatemala
Asistente de Editores

Comité Editorial

Liuba M. Cabrera-Ovalle

Dirección General de Investigación, Usac, Guatemala

Erick J. Velásquez-Castillo

Secretaría Nacional de Ciencia y Tecnología, Guatemala

José A. Franco

Universidad del Norte de la Florida, Estados Unidos

Dennis Guerra-Centeno

Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Usac, Guatemala

Hugo R. Muñoz-Roldán

Facultad de Odontología, Usac, Guatemala

Oscar F. Nave

Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia,
Usac, Guatemala

Julio R. Salazar-Pérez

Dirección General de Investigación, Usac, Guatemala

Hilda E. Valencia-Marroquín

Dirección General de Investigación, Usac, Guatemala

Patricia Velez-Möller

Facultad de Ciencias Médicas, Usac, Guatemala

Consejo Editorial

Ania Torres

Centro Nacional Coordinador de Ensayos Clínicos
(Cencec), Cuba

Mary Almanzar Santos

Universidad Autónoma de Santo Domingo,
República Dominicana

Carolina Arévalo Valdéz

Instituto Guatemalteco de Seguridad Social, Guatemala

Byron Calgua

Naciones Unidas, Suiza

Fernando García-Santamaría

Universidad de Costa Rica (UCR), Costa Rica

Eduardo López-Bastida

Centro de Estudios de Energía y Medio Ambiente, Cuba

Werner Ovalle

Centro Guatemalteco de Investigación y Capacitación de la
Caña, Guatemala

Freddy Araya

Instituto Tecnológico de Costa Rica, Costa Rica

Carmen E. Madriz

Instituto Tecnológico de Costa Rica, Costa Rica

Ciencia, Tecnología y Salud

ISSN: 2410-6356 (impreso) / 2409-3459 (electrónico)

Vol. 10 Num. 2 jul/dic 2023

Directorio / Board-Staff

Leonardo J. Mendoza-Blanco

Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua (Unan-León),
Nicaragua

Enrique Pazos

Escuela de Física y Matemáticas, Usac, Guatemala

Francisco Romero-Royo

Universidad Tecnológica Nacional, Costa Rica

Igor I. Slowing-Umaña

Iowa State University, United States of America

Liseth Perez

Technische Universität Braunschweig, Alemania

Rafael Fernandez-Botran

Associate Professor of Pathology & Laboratory Medicine,
Estados Unidos

Benjamin A. Rosales Rivera

Universidad Nacional de Ingeniería, Nicaragua

Rodrigo J. Gonzalez

Blavatnik Institute, Harvard Medical School,
Estados Unidos

Stewart Oakley

Civil Engineering Department, California State University,
Estados Unidos

Cecilio Alvarez Toledano

Instituto de Química, Universidad Nacional Autónoma de
México, México

Unidad de Publicaciones y Divulgación

Marlene P. Pérez-Muñoz

Dirección General de Investigación, Usac, Guatemala

Asesores de edición

Dara S. Higueros Pellecer

Dirección General de Investigación, Usac, Guatemala

José D. Marroquín

Dirección General de Investigación, Usac, Guatemala

Ciencia, Tecnología y Salud

ISSN: 2410-6356 (impreso) / 2409-3459 (electrónico)

Vol. 10 Num. 2 jul/dic 2023

Contenido / Contents

Editorial / Editorial 115

Artículo Científico / Scientific Article

Metales en tejido muscular de peces y camarones de la Reserva Natural de Usos Múltiples Monterrico, Guatemala

Metals in muscle tissue of fish and shrimp collected at the Monterrico Multiple Use Nature Reserve, Guatemala

Bessie Oliva-Hernández, Manuel Muñoz-Wug, Gabriela Chaulón-Velez, Carlos Mazariegos-Ortiz, Marvin Xajil-Sabán, Francis Santos-Ruiz, Gabriela Quevedo-López, Francisco Pérez-Sabino 116

Efecto de la cobertura vegetal de terrenos deshabitados en la detección de recipientes ecológicamente viables disponibles para el desarrollo de *Aedes aegypti* Linnaeus, 1762

Effect of vegetation cover of uninhabited areas on the perception of ecologically viable containers available for the development of Aedes aegypti Linnaeus, 1762

Julio D. Soto-López; Carmen Vicira-Lista; Manuel Barrios-Izás 134

Evaluación de una aplicación basada en inteligencia artificial para el diagnóstico de parásitos intestinales

Evaluation of an application based on artificial intelligence (AI) for the diagnosis of intestinal parasites and its potential use in Guatemala

Blanca Samayoa-Herrera, Anneliese Moller-Sundfeldt, Martin Gil-Carrera, Mildred Alquijay-Pacheco 149

Efecto protector de Pericón (*Tagetes lucida*) contra daño renal inducido por gentamicina, nefropatía diabética y deshidratación por calor

Ameliorative effects of Tagetes lucida on gentamicin-induced nephrotoxicity, diabetic nephropathy and heat exposure in animal models

Rodrigo Castañeda, Caroline Aldana, Agustín Accituno, David Morales, Diana Velasquez, Cesar Rodriguez, Sully M. Cruz .. 164

Artículo de revisión / Review Article

Regulating Nanotechnology: Ensuring Responsible and SafeInnovation in the Advancement of Science and Technology

Regulación de la nanotecnología: garantizando la innovación responsable y segura en el avance de la ciencia y tecnología

José R. Vega-Baudrit, Melissa Camacho, Andrea Araya, Rebeca Corrales-Brenes 177

Ensayo Científico / Scientific Essay

Uso de software en clases de termodinámica para evaluar propiedades de sustancias puras

Using software to evaluate thermodynamics properties of pure substances in thermodynamics courses

Ana R. Herrera, William E. Fagiani 192

Reporte de Casos / Case Report

Prevalencia de la enfermedad de chagas en la aldea Las Palmas de Olopa, Chiquimula

Prevalence of Chagas Disease in Aldea las Palmas, Olopa, Chiquimula

J. Alonso, Jorge L. De León, A. Duarte-Tagua, M. López, Antonieta G. Rodas, O. Serrano, P. Tzorin, Karla Lange, Vivian Matta . 204

Instrucciones para autores

Instructions for authors 214

Ciencia, Tecnología y Salud

ISSN: 2410-6356 (impreso) / 2409-3459 (electrónico)

Vol. 10 Num. 2 jul/dic 2023

Editorial / Editorial

A continuación presentamos la nueva edición de la revista Ciencia, Tecnología y Salud, la cual destaca contribuciones significativas en distintos campos de la ciencia y la tecnología y salud. Este número aborda temas desde la nanotecnología hasta enfermedades vectoriales y la bioacumulación de metales pesados en peces, reflejando la diversidad y la profundidad de la investigación actual.

En esta edición se tiene un artículo de revisión donde los autores exploran los desafíos y oportunidades de las regulaciones de nanotecnología en Costa Rica. El artículo profundiza en cómo estas regulaciones pueden impulsar el desarrollo sostenible y la responsabilidad industrial. Se destaca la importancia de una cultura corporativa enfocada en la sostenibilidad y la cooperación internacional para establecer estándares globales.

Entre los artículos científicos podemos encontrar un estudio donde se aborda la presencia y riesgos de los metales pesados en organismos acuáticos de la Reserva Natural de Usos Múltiples Monterrico, evidenciando niveles preocupantes de cadmio en especies de peces y camarones, lo cual representa un riesgo significativo para la salud humana y el medio ambiente. Oliva y colaboradores subrayan la necesidad urgente de monitoreo y regulación para proteger tanto la biodiversidad como la salud de las comunidades locales. Seguidamente, presentamos una investigación que evalúa el impacto de la cobertura vegetal en terrenos deshabitados y su relación con la presencia de recipientes que sirven como criaderos para el mosquito *Aedes aegypti*. Soto y colaboradores sugieren una relación significativa entre la cobertura vegetal y la visibilidad de estos recipientes, permitiendo aportar información importante para las estrategias de control del vector. El tercer artículo presentado por Samayoa y colaboradores aborda el uso de una aplicación basada en inteligencia artificial para el diagnóstico de parásitos intestinales.

A pesar de los desafíos en la precisión y exactitud, este artículo científico destaca el potencial y las áreas de mejora necesarias para aplicaciones futuras en el campo médico. Además en esta edición presentamos un artículo muy interesante que examina el efecto protector del Pericón (*Tagetes lucida*) contra el daño renal inducido por gentamicina, nefropatía diabética y deshidratación por calor. Castañeda y colaboradores demuestran que la administración de este extracto protege significativamente contra la elevación de los niveles de creatinina y urea en orina y sangre.

El reporte de caso sobre la prevalencia de la enfermedad de Chagas en la aldea Las Palmas de Olopa, Chiquimula, resalta la persistencia de esta enfermedad parasitaria en regiones con condiciones de vivienda desfavorables. A pesar de no encontrar casos en la fase aguda, la prevalencia en la fase crónica sugiere la necesidad de continuar con las medidas de control del vector y la educación comunitaria.

Finalmente, abordamos el uso de software libre en la enseñanza de la termodinámica en la Escuela de Ingeniería Química de la Universidad de San Carlos de Guatemala a través de un ensayo científico. Este ensayo discute cómo herramientas tecnológicas pueden mejorar la comprensión de conceptos termodinámicos, aunque también destaca los retos en la adopción de nuevas tecnologías por parte de los estudiantes.

Cada una de las publicaciones presentadas en este número permite ampliar la comprensión de las temáticas abordadas. Queremos expresar nuestro más sincero agradecimiento a los autores por sus contribuciones. Confiamos que estos artículos fomenten el desarrollo de mejores investigaciones que contribuyan al bienestar de las personas y al desarrollo sostenible.

Andrea E. Rodas-Morán
Editora ejecutiva

Metales en tejido muscular de peces y camarones de la Reserva Natural de Usos Múltiples Monterrico, Guatemala

Metals in muscle tissue of fish and shrimp collected at the Monterrico Multiple Use Nature Reserve, Guatemala

Bessie Oliva-Hernández ^{1*}, Manuel Muñoz-Wug ¹, Gabriela Chaulón-Velez ¹,
Carlos Mazariegos-Ortiz ², Marvin Xajil-Sabán ², Francis Santos-Ruiz ¹,
Gabriela Quevedo-López ¹, Francisco Pérez-Sabino ¹

¹Escuela de Química, Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia, y ²Centro de Estudios Marinos y Acuáticos (CEMA), Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala

*Autor al que se dirige la correspondencia: bessieoliva@yahoo.com

Recibido: 21 de abril 2022 / Revisión: 28 de abril 2023 / Aceptado: 10 de octubre 2023

Resumen

La Reserva Natural de Usos Múltiples Monterrico (RNUMM), se encuentra ubicada entre los municipios de Chiquimulilla y Taxisco, Santa Rosa, abarcando parte del canal de Chiquimulilla. Es una zona de amplia biodiversidad de fauna y flora, y fuente de alimento para varias comunidades costeras. Una amenaza para este ecosistema es la carga de contaminación proveniente de las aguas residuales de la parte norte de la vertiente Pacífica que abarca desde ciudad de Guatemala y poblados aledaños. Las aguas residuales contienen diversos contaminantes entre ellos metales pesados, compuestos orgánicos y trazas de fármacos que interactúan con la fauna y la flora. En este trabajo se analizaron 61 organismos, correspondientes a seis especies de peces y una especie de camarón (*Penaeus vannamei*), colectados en abril de 2021, en los cuales se cuantificaron las concentraciones de cobre (Cu), zinc (Zn), cadmio (Cd) y plomo (Pb) por espectrofotometría de absorción atómica de llama. Se encontraron concentraciones promedio y desviación estándar de 13.10 (8.08) mg/kg de Cu, 2.46 (1.98) mg/kg de Zn, 1.71 (1.92) mg/kg de Cd, mientras que Pb no fue detectado en ninguno de los organismos. Este trabajo reporta por primera vez la presencia, por encima de límites permisibles de varias entidades reguladoras, de metales como el Cd en los peces y camarones de la región, entre ellos algunos de importancia comercial, lo que representa un riesgo para los consumidores. Es necesario realizar monitoreos para evaluar los efectos negativos a la salud humana, animal y ambiental y, evaluar el riesgo en el consumo.

Palabras clave: Toxicidad, bioacumulación, riesgo a la salud, cadmio, zinc

Abstract

The Monterrico Multiple Use Nature Reserve (MMUNR) is located between Chiquimulilla and Taxisco, Santa Rosa, covering part of the Chiquimulilla Channel. It is an area of broad biodiversity of fauna and flora and a food source for several coastal communities. A threat to this ecosystem is the pollution load from the wastewater of the northern part of the Pacific slope of Guatemala City and surrounding towns. Wastewater contains various pollutants, including heavy metals, organic compounds, and traces of drugs that interact with fauna and flora. Sixty-one organisms corresponding to six species of fish and one species of shrimp (*Penaeus vannamei*) were collected in April 2021. Concentrations of copper (Cu), zinc (Zn), cadmium (Cd), and lead (Pb) in the muscle of the organisms were determined by using flame atomic absorption spectrophotometry. Average concentrations and standard deviation of 13.10 (8.08) mg/kg of Cu, 2.46 (1.98) mg/kg of Zn, and 1.71 (1.92) mg/kg of Cd were found, while Pb was not detected in any of the organisms. This work reports for the first time the presence of metals such as Cd in fish and shrimp above the permissible limits of various regulatory entities, representing a risk for consumers. Therefore, it is necessary to monitor the adverse effects on human, animal, and environmental health and assess the consumption risk.

Keywords: Toxicity, bioaccumulation, health risk, cadmium, zinc



Introducción

La contaminación por metales ha sido un tema de preocupación a nivel global, ya que estos han contribuido a la contaminación ambiental, principalmente de mantos acuíferos. Varios contaminantes han sido el foco de atención, pero principalmente metales como el arsénico, cromo, cadmio, mercurio, zinc, cobre, manganeso y plomo (Jia et al., 2017; Tomailla & Lannacone, 2018). El origen de ellos está relacionado a actividades antropogénicas como la agricultura, la industria, la minería, el uso de pesticidas y otras causas (Hamid et al., 2022). Sin embargo, la presencia de metales también tiene un origen geológico, por lo que resulta importante discernir cuándo es de origen antropogénico y cuando es por causas naturales (Macías et al., 1993).

Los metales afectan a la biota ya que tienen una alta capacidad de permanecer en el ambiente y bioacumularse, lo cual puede afectar la cadena trófica (Escobar Sarabia et al., 2018). Además, pueden producir efectos adversos en los organismos que van desde bajas tasas de crecimiento, alteraciones en la fisiología, baja tasa de reproducción e incluso pueden ser letales (Pandey & Madhuri, 2014; Tomailla & Lannacone, 2018) o causar efectos adversos en el desarrollo (Han et al., 2019).

Entre los organismos más susceptibles a la presencia y bioacumulación de metales se encuentran los peces, ya que la presencia de ellos en niveles altos puede afectar nocivamente el desarrollo embrionario y a los juveniles (Qiao-Qiao et al., 2007). Los metales pueden entrar al cuerpo de los peces a través de tres formas: por las branquias, el sistema digestivo y la superficie del cuerpo (Afshan et al., 2014). Debido a que los peces constituyen uno de los productos de consumo humano más importantes a nivel mundial (Qiao-Qiao et al., 2007; Rashed, 2001), la bioacumulación de metales tóxicos en los peces representa un riesgo potencial para la salud (Qiao-Qiao et al., 2007).

En Guatemala es de esperar la presencia de metales tóxicos en peces, debido a la elevada contaminación de los lagos, la que ocurre también por causas naturales como se ha reportado por Pérez-Sabino y colaboradores (2015) en el lago de Atitlán. De esta forma se han realizado estudios que evidencian la presencia de metales en peces y otros organismos acuáticos, en diferentes cuerpos de agua del país. En el lago de Amatitlán, González (2008) registraron mercurio y plomo en músculo de tilapia (*Oreochromis niloticus*)

para consumo humano en concentraciones de hasta 0.46 mg/kg; Boy Mansilla (2015) reportó níquel (0.59 µg/g), zinc (0.53 µg/g), estroncio (0.17 µg/g) y arsénico (0.01 µg/g) en tejido muscular de peces del lago de Izabal. Elías Ogaldéz y González (2011) reportaron un promedio de 0.22 mg/kg de plomo para peces de talla grande y 0.25 mg/kg de plomo para peces de talla mediana del género *Arius* sp. colectados en la costa pacífica en los sitios de Las Lisas, Iztapa, Sipacate, Tulate y Champerico. Los metales tóxicos también se han estudiado en otros organismos acuáticos consumidos por el ser humano en cuerpos de agua de Guatemala. Así, en el lago de Atitlán, Pérez-Sabino y colaboradores (2019) estudiaron la presencia de metales en cangrejos del lago (*Potamocarcinus maguns*) reportando zinc en todos los organismos analizados (1195 +/- 216 mg/kg peso húmedo) y cobre en concentraciones de 728 +/- 324 mg/kg en peso húmedo.

El Canal de Chiquimulilla y la Reserva Natural de Usos Múltiples Monterrico (RNUMM) son importantes para la Universidad de San Carlos, por la biodiversidad que albergan, ya que cuenta con áreas administradas por el Centro de Estudios Conservacionistas (CECON), de la Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia, así como una estación experimental del Centro de Estudios del Mar y Acuicultura (CEMA), que realizan actividades de investigación y desarrollo en el área. De esta forma, el objetivo de esta investigación fue evaluar los niveles de metales pesados en peces y camarones del Canal de Chiquimulilla, al desconocerse la situación de estos contaminantes que pueden ingresar a la red trófica y llegar al ser humano. Se espera que la información generada sea de utilidad para los tomadores de decisiones, de manera que puedan adoptarse medidas de educación ambiental y considerar el tratamiento de aguas residuales en las localidades del área de estudio y sobre todo, evaluar el riesgo de la presencia de metales pesados en peces de consumo en la región.

Materiales y Métodos

Ubicación geográfica y temporalidad de la investigación/Obtención de información

El Canal de Chiquimulilla es parte de la RNUMM. Se encuentra ubicado en los departamentos de Santa Rosa y Escuintla, el cual presta diferentes

servicios ambientales a la población de estos departamentos, como el turismo, fuente de agua, la producción de alimentos, así como el transporte. Debido a las diferentes actividades agrícolas que se realizan en la región y al uso de agroquímicos, estas contribuyen a la contaminación por nutrientes y plaguicidas en el suelo y agua. Cabe mencionar que la contaminación también puede ser local, ya que diferentes poblados descargan sus aguas residuales directamente al canal, generando contaminación por nutrientes y bacteriológica.

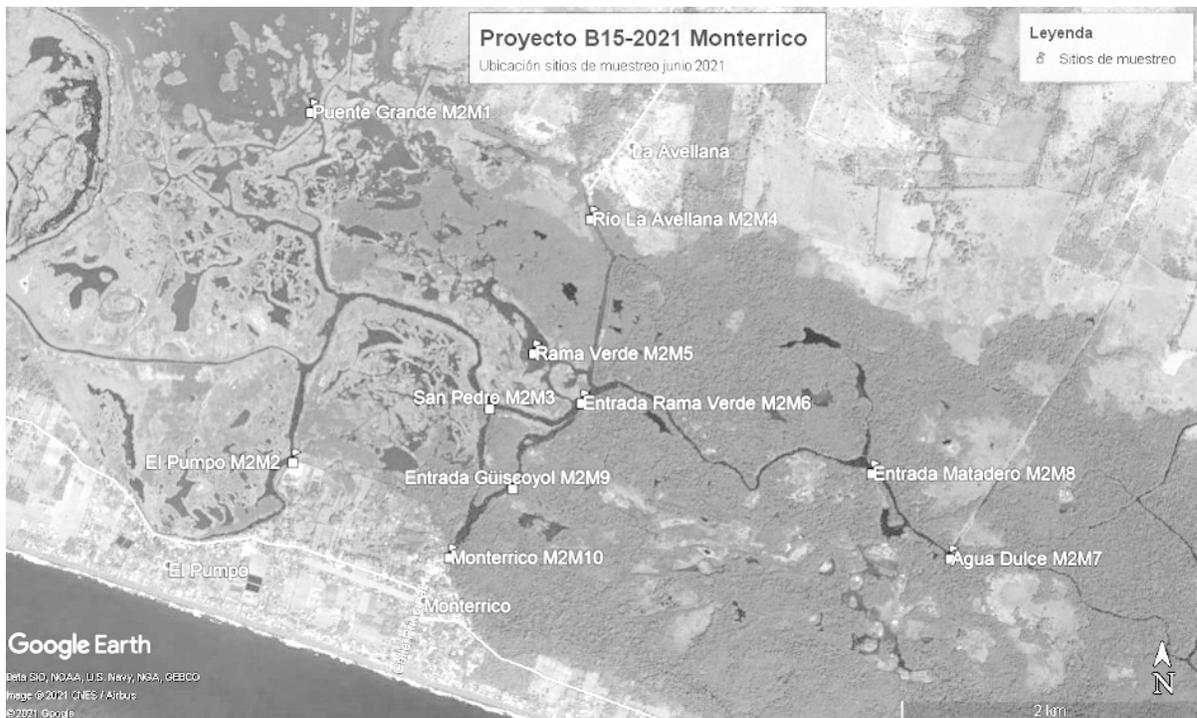
La RNUMM se encuentra ubicada al sureste del país, entre las coordenadas 13° 58' 28" y 14° 0' 38" N y 90° 26' 21" y 90° 30' 14" W (Castillo Cabrera et al., 2012). Es una de las 349 áreas protegidas registradas en Guatemala (Consejo Nacional de Áreas Protegidas [CONAP], 2021). Es una zona de alta biodiversidad de flora y fauna, con una cobertura de bosque de manglar que sirve de barrera ante fenómenos naturales, zona de anidación de aves, refugio y reproducción de

peces. Dentro de la RNUMM, el Canal de Chiquimulilla juega un papel fundamental en la dinámica de agua dulce y salada, creando condiciones únicas para este tipo de ecosistema (Castillo Cabrera et al., 2012).

Los puntos de muestreo se establecieron en base a estudios anteriores como el desarrollado por Mazariegos-Ortiz y colaboradores (2021). Se seleccionaron diez sitios de muestreo ubicados en Rama Verde (13°54.5370' N, 90°28.4390' O), El Pumpo (13°54.1400' N, 90°29.3410' O), La Avellana (13°55.0260' N, 90°28.2250' O), San Pedro (13°54.3360' N, 90°28.6040' O), Puente Grande (13°55.4170' N, 90°29.2740' O), Monterrico (13°53.7940' N, 90°28.7540' O), Agua Dulce (13°53.7900' N, 90°26.8820' O), El Dragado (13°54.3560' N, 90°28.2600' O), Güiscoyol (13°54.0440' N, 90°28.5170' O) y el Matadero (13°54.1000' N, 90°27.1760' O) (Figura 1). Es importante mencionar que, de los diez sitios de muestreo previamente seleccionados, únicamente fueron capturados peces en Puente Grande.

Figura 1

Mapa de ubicación de los sitios de muestreo ubicados en el Canal de Chiquimulilla y Reserva Natural de Usos Múltiples Monterrico



Muestreo y preparación de las muestras

Los peces fueron colectados en las primeras horas de la mañana (5 a 10 am), en abril de 2021. Se utilizó un arte de pesca activo: una atarraya de 3 m de diámetro y 3 m de longitud, con una abertura de malla de 5 cm. Los peces colectados fueron colocados en una hielera con abundante hielo a 4 °C hasta su traslado al laboratorio, en donde se almacenaron en congelación hasta su tratamiento.

Para su tratamiento, los peces se descongelaron, se identificaron por género y especie usando guías de identificación de peces (Fischer et al., 1995; Robertson & Allen, 2015). Posteriormente, se registró longitud total (cm) y peso (g). Finalmente, se realizó una disección a cada espécimen desde la parte ventral (ano) hasta la parte opercular. Cabe mencionar que únicamente se colectó la parte muscular del cuerpo de los peces y camarones para la extracción de los metales.

El músculo de cada individuo se secó en un horno de convección natural a 80 °C por un periodo de 24 h. Los trozos secos se maceraron en morteros hasta pulverizarlos; luego se pesaron aproximadamente 0.50 g y se colocaron en bombas de teflón para su digestión. Las muestras se digirieron siguiendo metodología de Barbieri y colaboradores (2010), variando proporciones de ácido nítrico y peróxido de hidrógeno, y digiriendo las muestras en baño de arena en vez de horno de microondas, así: a las bombas de teflón se les agregaron 5 mL de ácido nítrico (65% v/v) grado reactivo (Merck®) y 7 mL de peróxido de hidrógeno (30% v/v)

grado reactivo (J.T. Baker®), se cerraron y colocaron en baños de arena sobre estufas a 120 °C por un tiempo aproximado de 6 h. Se obtuvo un digesto traslúcido, color amarillo pajizo, el cual se almacenó en recipientes ámbar de vidrio.

Determinación de metales por espectrofotometría de absorción atómica

Se tomaron alícuotas de las muestras preparadas, que luego se llevaron a un volumen de 25 mL en balones aforados clase A. De estas diluciones, se realizaron las mediciones de absorbancia para los distintos metales Cd, Cu, Pb, y Zn por medio de un espectrofotómetro de absorción atómica de llama (Thermo Electron Corporation *S Series*) (Barbieri et al., 2010).

Los metales se cuantificaron a través de curvas de calibración preparadas a partir de estándares primarios certificados marca Merck® para cobre (1,000 mg/L), zinc (10,000 mg/L), cadmio (1,000 mg/L) y plomo (10,000 mg/L). Se preparó una disolución madre para cada metal con las siguientes concentraciones: cobre 20.0 mg/L, cadmio 10.0 mg/L, plomo 50.0 mg/L, zinc 5.0 mg/L. De cada una de estas disoluciones se tomaron diferentes alícuotas para preparar una curva multielemental, con las concentraciones que se detallan en la Tabla 1 del Material Suplementario. Finalmente, para los cálculos de las concentraciones en las muestras, fueron tomados en cuenta los factores de dilución y la masa de pescado seco.

Tabla 1

Concentración promedio de metales pesados en músculo de peces y camarones de la Reserva Natural de Usos Múltiples Monterrico.

Especie	n	Zn	Cd	Cu	Pb
<i>Cathorops fuerthii</i>	1	2.41	1.01	ND	ND
<i>Cathorops steindachneri</i>	1	6.58	2.62	ND	ND
<i>Diapterus peruvianus</i> *	9	2.80 (0.62)	3.36 (2.96)	4.19 (0.42)	ND
<i>Dormitator latifrons</i>	29	1.30 (0.35)	0.84 (1.31)	ND	ND
<i>Eleotris picta</i>	1	0.76	0.45	ND	ND
<i>Gobionellus microdon</i>	2	1.60 (0.70)	1.13 (0.16)	ND	ND
<i>Lile stolifera</i>	2	5.95 (4.05)	2.29 (1.39)	ND	ND
<i>Mugil curema</i>	4	0.99 (0.65)	0.92 (0.28)	ND	ND
<i>Penaeus vannamei</i>	12	4.74 (2.1)	2.83 (1.92)	14.58 (7.77)	ND

Nota. *se excluyó de los cálculos a la muestra M43 por presentar un resultado de Zn muy alejado del resto.

Procesamiento y análisis de información

Los datos se procesaron haciendo un resumen descriptivo con estadísticos de tendencia central, tablas y gráficas. La concentración de los metales está expresada en mg/kg en peso húmedo. Se realizó un análisis de regresión lineal entre Se analizó la relación entre el peso y longitud total en todos los peces y camarones con las concentraciones de Cd y Zn. Las concentraciones de metales encontradas en los organismos analizados se compararon con límites permisibles de diferentes entidades internacionales (Tabla 2), en vista que en Guatemala no hay regulación sobre límites permisibles de metales pesados en pescado o camarón. Gráficos de dispersión con intervalos de confianza al 95% fueron creados para evaluar la relación entre las variables biológicas y los metales. Los análisis fueron desarrollados en R (R version 1.1.383; R Core Team, 2020)

Resultados

Se analizaron 49 peces y 12 camarones previamente identificados utilizando guías para la identificación de la fauna ictiológica y de camarones del Pacífico oriental (Fischer et al., 1995; Robertson & Allen, 2015). Entre los peces, fueron identificados 29 individuos de la especie *Dormitator latifrons* (Richardson, 1844) o dormilón gordo; nueve *Diapterus peruvianus* (Cuvier, 1830) o mojarra; dos *Gobionellus microdon* (Gilbert, 1892) gobio plateado; dos *Lile stolifera* (Jordan & Gilbert, 1882) o sardina rayada; cuatro *Mugil curema* (Valencienne, 1836) o lisa; uno de *Cathorops fuerthii* (Steindachner, 1876) pez gato o bagre; uno de *Cathorops steindachneri* (Gilbert & Starks, 1904) pez gato o bagre y un individuo de *Eleotris picta* (Kner, 1863) o guavina. Los 12 camarones fueron identificados como *Penaeus vannamei* (Boone, 1931) o camarón blanco.

Tabla 2

Límites máximos de tolerancia para metales en tejido muscular de peces de consumo humano en peso fresco (mg/kg)

Metal	ANVISA, Brasil ¹	Unión Europea ^{2,3}	Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, Inglaterra (CEFAS) ⁴
Cu	30 (peces)	---	20 (peces) 20 - 30 (crustáceos)
Zn	50 (peces)	---	50 (peces) 100 crustáceos
Cd	0.05 - 0.30 (peces) 0.5 (crustáceos)	0.05 - 0.25 (peces) ^{2,3} 0.50 (crustáceos) ²	0.2 (peces) 0.3 (crustáceos)
Pb	0.3 (peces) 0.50 (crustáceos)	0.2 - 0.4 (peces) ³ 0.50 (crustáceos) ³	2.0 (peces) 10.0 (crustáceos)

Nota. De ¹“Metals and arsenic in marine fish commercialized in the NE Brazil: Risk to human health” por C. A. da Silva, S. de Oliveira Santos, C. A. Borges Garcia, G. Cugler de Pontes & J. C. Wasserman, 2020, *Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal*, 26(3), p.3 (<https://doi.org/10.1080/10807039.2018.1529552>); ²“Comission Regulation (EC) No 78/2005 of 19 January 2005 amending Regulation (EC) No 466/2001 as regards heavy metals (Text with EEA relevance)” por Unión Europea, 2005, Official Journal of the European Union, p.16; ³“Comission Regulation (EC) No 488/2014 of 12 May 2014 amending Regulation (EC) No 1881/2006 as regards maximum levels of cadmium in foodstuffs (Text with EEA relevance)” por Unión Europea, 2014, Official Journal of the European Union, p.79; ⁴Center for Environment, Fisheries and Aquaculture Science, 2000; ⁵“Assessment Level of Heavy Metals in Penaeus Monodon and Oreochromis Spp in Selected Aquaculture Ponds of High Densities Development Area” por M. B. Mokhtar, A. Z. Aris, V. Munusamy & S. M. Praveena, 2009, *European Journal of Scientific Research*, 30, p.357 (<https://doi.org/10.4236/ns.2016.86030>).

En promedio los peces analizados presentaron una longitud de 13.11 cm y un peso de 37.92 g mientras que los camarones (*P. vannamei*) una longitud promedio de 9.92 cm y peso promedio de 5.98 g (Tabla 3, Material Suplementario).

En la Tabla 1 se presentan los resultados de las concentraciones de metales en peso húmedo en los individuos de diferentes especies de peces y camarón colectados en la Reserva de Usos Múltiples Monterrico, durante abril de 2021. El Cd se reportó en la mayoría de los peces y camarones analizados, con un promedio de 1.71 mg/kg para todos los organismos analizados (Tabla 2, Material Suplementario) y un promedio máximo de 3.36 (2.96) mg/kg para los peces de la especie *D. peruvianus* y 2.83 (1.92) mg/kg para los camarones analizados. El zinc se encontró en una concentración promedio de 2.46 mg/kg para todos los organismos analizados (Tabla 2, Material Suplementario). Debe aclararse que en el cálculo del promedio de Zn para todos los organismos no se incluyó la concentración

de 63.78 mg/kg, encontrada en un individuo de *D. peruvianus* (muestra 43, Tabla 2 de Material Suplementario), muy superior las concentraciones de Zn encontradas para los demás de organismos, por lo que tampoco se incluyó en el cálculo del promedio para la misma especie (Tabla 1). En el resto de los organismos, un individuo de la especie *Lile stolifera* presentó la mayor concentración de Zn (8.81 mg/kg). El Cu se encontró únicamente en peces de la especie *D. peruvianus* con 4.19 (.42) mg/kg y en los camarones *P. vannamei* con 14.58 (7.77) mg/kg. El Pb no fue detectado en ninguno de los organismos analizados.

Del análisis de regresión, los valores de Cd y Zn en mg/kg (peso húmedo) no muestran un aumento en relación al peso de los peces ($R^2 = .18$, $p = .003$, $y = 44.8 - 6.62 x$; $R^2 = .20$, $p = .001$, $y = 56.40 - 9.52 x$, respectivamente) (Figura 2); similares resultados se pueden apreciar en el peso de los camarones para Cd y Zn ($R^2 = .009$, $p = .001$, $y = 6.21 - .08 x$; $R^2 = .48$, $p = .49$, $y = 8.46 - .52 x$, respectivamente) (Figura 3).

Figura 2

Relación del peso y longitud total de peces con los valores de Cd y Zn registrados en la Reserva Natural de Usos Múltiples Monterrico

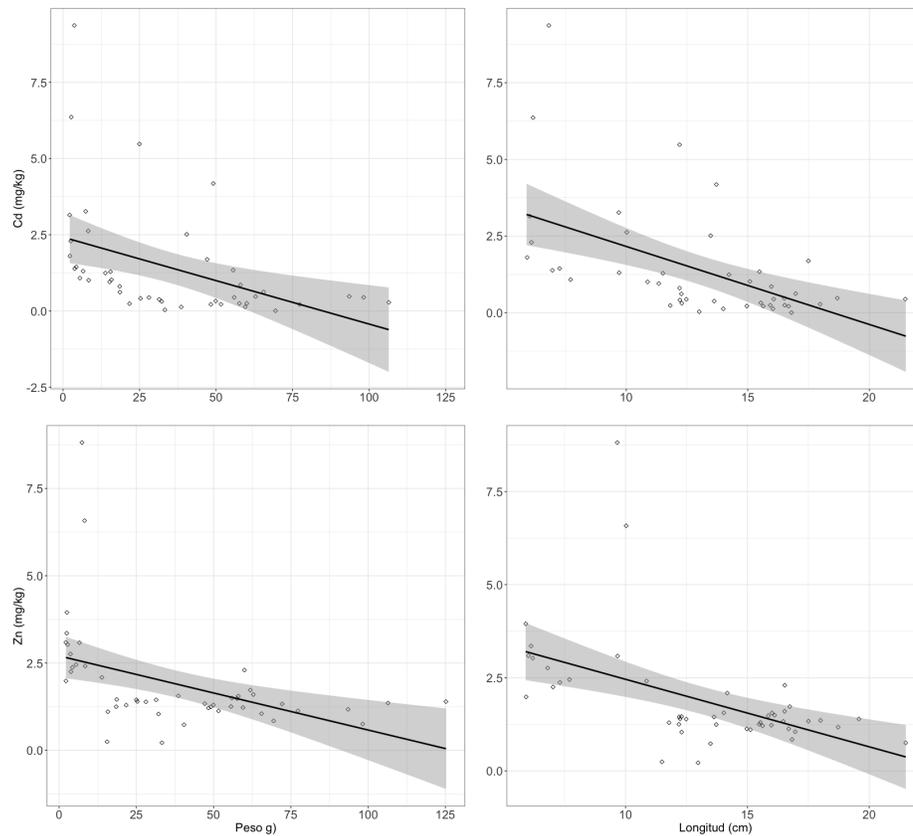
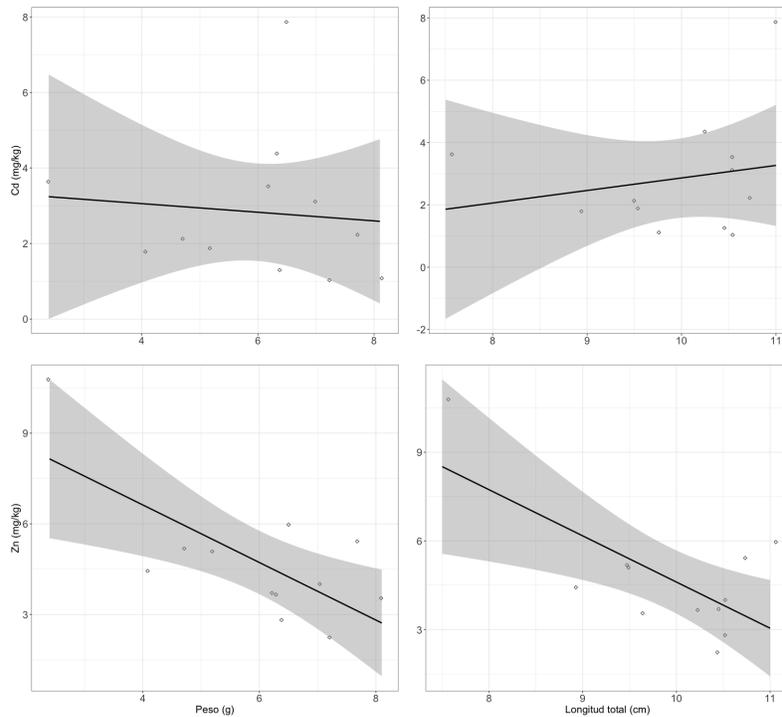


Figura 3

Relación del peso y longitud de camarones con los valores de Cd y Zn registrados en la Reserva Natural de Usos Múltiples Monterrico



Discusión

Los estudios sobre la concentración de metales pesados en peces de los ecosistemas acuáticos de Guatemala son escasos. Sin embargo, algunas investigaciones indican la presencia de Cd y Pb en pez blanco (*Petenia splendida*) en el lago Petén Itzá (Reyes Morales, 2007), en chumbimba (*Vieja maculicauda*) en el lago de Izabal (Boy Mansilla, 2015), así como Pb en tilapia (*Oreochromis niloticus*) en el lago de Amatitlán (González, 2008), siendo importante la determinación de los niveles de metales en organismos acuáticos en vista de la contaminación de cuerpos de agua importantes para el país.

Dada la ausencia de valores de referencia o límites permisibles de concentración de metales en organismos acuáticos en Guatemala, los resultados de este estudio se compararon los que mencionan otras agencias internacionales. En nuestro estudio, la concentración máxima de Cd en el músculo de los peces fue de 9.37 mg/kg (peso húmedo) y en camarones

4.37 mg/kg (peso húmedo), sobrepasando los límites permisibles para Cd en peces y camarones por la Agencia Nacional de Vigilancia Sanitaria de Brasil (ANVISA), la Unión Europea (UE) y el Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación de Inglaterra (MAFF). Sin embargo, los valores de Cu y Zn no superaron los valores permisibles (Tabla 2).

Los niveles de Cd encontrados en este estudio son superiores a los encontrados por Reyes Morales (2007) en *P. splendida* del lago Petén Itzá, con una concentración promedio de .051 mg/kg de Cd, así como a los niveles de Cd encontrados en tilapia (*O. niloticus*) de estanques de acuicultura en las regiones de Bandar (.006 mg/kg) y Jugra (.015 mg/kg) en Malasia (Mokhtar et al., 2009). En otro estudio realizado en Brasil por Silva y colaboradores (2019), no detectaron Cd (Límite de detección de .19 mg/kg) en cinco especies de peces de estuario bagre (*Netuma Barba*), tainha o lisa de agua dulce (*Mugil platanus*), pintado (*Pimelodus maculatos*), tararira o traira (*Hoplias malabaricus*) y corvina (*Micropogonias furnieri*) de la laguna de los

Patos, de Rio Grande del Sur (Silva et al., 2019), lo que revela las diferencias entre varias regiones geográficas.

Se ha demostrado que el Cd puede bioacumularse en las branquias, en el hígado y en los riñones de los peces, presentando factores de bioconcentración menores a 100 (Wren et al., 1995). Al-Najjar y colaboradores (2016), encontraron concentraciones promedio de Cd de 7.64 mg/kg en riñón, 1.81 mg/kg en el estómago, 1.64 mg/kg en escamas, 1.41 mg/kg en las gónadas, 1.08 mg/kg en las branquias, .81 mg/kg en el hígado y .41 mg/kg en el músculo de la especie *Cheilinus trilobatus* en el golfo de Aqaba, Jordania; mientras que Barbieri y colaboradores (2010) encontraron concentraciones promedio de Cd de 1.65 mg/kg en hígado, 2.81 mg/kg en riñón y .71 mg/kg en músculo de *Cathorops spixii*. De acuerdo con los autores el Cd se acumula en el organismo al unirse con las metalotioneinas, siendo nocivo para el ser humano que lo acumula a través de la ingesta.

Silva y colaboradores (2019), reportó .06 mg/kg de Cd en el camarón *Farfantepenaeus paulensis* de la laguna de los Patos, Rio Grande del Sur, y Nascimento y colaboradores (2016) reportaron .02 mg/kg en músculo y .05 mg/kg en exoesqueleto de *Litopenaeus schmitti* en la bahía de Sepetiba, Río de Janeiro. Mokhtar y colaboradores (2009), en una región impactada por la contaminación en Malasia, encontraron concentraciones promedio de Cd de .254 mg/kg en langostinos Tigre (*Penaeus monodon*) de estanques de acuicultura, siendo más de diez veces inferior a la encontrada en camarones en este estudio. Concentraciones de Cd entre .05 y .09 mg/kg se encontraron en músculo de camarón de las especies *Macrobrachium rosenbergii* y *P. monodon* de ríos y granjas de cultivo de la región Khulna-Satkhira en Bangladesh (Sarkar et al., 2016), mientras que *P. monodon* y *Penaeus semisulcatus* de la zona costera del sur de Irán presentaron concentraciones promedio de .144 mg/kg (Rahimi et al., 2012), siendo también concentraciones inferiores a las encontradas en el presente estudio para *P. vannamei*, lo que evidencia el amplio rango de concentraciones en que se encuentra el Cd en camarones, dependiendo del ecosistema que habitan.

En un estudio sobre los efectos de la contaminación del agua por Zn, Pb y Cd sobre camarones juveniles de *P. vannamei*, Núñez-Nogueira y colaboradores (2012) encontraron que estos organismos pueden regular al Zn y Pb, pero el Cd se acumula y no es excretado por lo que estos organismos pueden servir como indicadores para Cd. Por otra parte, el Cd es un

metal clasificado como carcinogénico para el ser humano, que se acumula en el cuerpo humano, pudiendo causar daños en el sistema nervioso, riñones, huesos, pulmones y sistema cardiovascular, muerte celular e incremento de la mutagénesis (Zuluaga et al., 2015)

Es común que el Zn se encuentre en elevadas concentraciones en especies ícticas sin superar los límites máximos permisibles para pescado. Mokhtar y colaboradores (2009) encontraron concentraciones de Zn en *O. niloticus* de 1.915 y 2.364 mg/kg para las regiones de Bandar y Jugra, respectivamente, mientras que Barbieri y colaboradores (2010) encontraron concentraciones de Zn de 229.48 mg/kg en hígado, 312.55 mg/kg en riñón y de 15.57 mg/kg en músculo de *C. spixii* en Brasil. En otro estudio en Bangladesh, langostinos tigre (*P. monodon*) presentaron concentraciones de 11.27 y 13.03 mg/kg de Zn en las regiones de Bandar y Jugra respectivamente (Mokhtar et al., 2009), mientras que en Brasil, Silva y colaboradores (2019) reportaron concentraciones promedio entre 26.8 y 29.2 mg/kg en camarón rosa (*F. paulensis*) de tres localidades de la laguna de los Patos en Rio Grande del Sur, Brasil mientras que Nascimento y colaboradores (2016) reportaron concentraciones de Zn de 34.94 mg/kg en músculo del camarón *Litopenaeus schmitti* de la bahía de Sepetiba, en Rio de Janeiro.

Mokhtar y colaboradores (2009) encontraron concentraciones de Cu de entre 3.567 y 2.213 mg/kg de Cu en los langostinos tigre (*P. monodon*) en las regiones de Bandar y Jugra, en Malasia, respectivamente, mientras que Nascimento y colaboradores (2016) reportaron concentraciones más altas de Cu (20.86 mg/kg) en músculo de *Litopenaeus schmitti*. Es importante considerar que Cu y el Zn son elementos esenciales y son regulados los organismos por medio de mecanismos fisiológicos, acumulándose en porfirinas y enzimas (Yilmaz et al., 2007). Los bajos niveles de Cu y Zn encontrados en músculo de peces y camarones en este estudio pueden deberse a bajos niveles de metalotioneinas en el músculo (Yilmaz et al., 2007) y no son nocivos para estos organismos ni para el ser humano, pero en concentraciones altas podría ser mayor el riesgo.

En este estudio no se encontró correlación entre las concentraciones de Cd y Zn en el músculo de los peces y camarones analizados con la longitud y el peso de los mismos. En estudios en otras especies de peces, se ha reportado esta ausencia de correlación entre la concentración de Cd con el tamaño. Por ejemplo en el pez *Scomberomorus cavalla* del Golfo de México (Zuluaga et al., 2015), mientras que Al-Najjar y

colaboradores (2016) reportan que para la especie *C. trilobatus* del golfo de Aqaba, Jordania, las concentraciones de los metales analizados (Ni, Mg, Co, Cr, Cd y Cu) y la longitud de los organismos evidencian una correlación débil, lo que fue atribuido por los autores a que el rango de tamaño de los organismos colectado fue entre 20-28 cm.

En el presente trabajo, los autores no consideran concluyente la ausencia de correlación entre las concentraciones de metales y la longitud y peso de los organismos analizados, ya que el número de individuos fue reducido, con diferencias en la talla y peso de los peces de cada especie. Es necesario analizar un mayor número de individuos de distintos tamaños y nivel trófico para mejorar la comprensión de la bioacumulación de metales en los organismos que habitan el Canal de Chiquimulilla en la RNUMM. Adicionalmente, se requiere analizar los metales pesados en un mayor número de individuos por cada especie, especialmente el Cd y metales no analizados como el Hg, en los diferentes órganos de peces (hígado y riñón, por ejemplo) y camarones (exoesqueleto), para evaluar el impacto de la contaminación.

Aunque nuestro estudio no consideró la evaluación de las fuentes de contaminación, es posible que la contaminación por Cd en los peces y camarones del Canal de Chiquimulilla en la RNUMM provenga de las distintas actividades que se dan alrededor del área protegida o cuenca arriba. El Cd es un metal tóxico para los organismos acuáticos y el ser humano, por lo que su presencia en peces que son consumidos por los pobladores alrededor de la RNUMM representa un riesgo de bioacumulación y biomagnificación con posibles efectos tóxicos a largo plazo. Por esta razón, es importante adoptar medidas como el tratamiento de aguas residuales en las cuencas de los ríos que desembocan en el Canal de Chiquimulilla. Finalmente, los autores consideran importante estos resultados dado que en Guatemala no se tiene valores de referencia, por lo que esta información podría ayudar a considerar la ruta para hacer evaluaciones más profundas del estado de contaminación de los cuerpos de agua y los organismos que los habitan.

Agradecimientos

Los autores agradecen a la Dirección General de Investigación de la Universidad de San Carlos de Guatemala, por el financiamiento de esta investigación (DIGI B15-2021). También se agradece a Nelson Ávila

y Armando Orantes de la Estación Experimental Monterrico, quienes ayudaron en las jornadas de colecta de muestras.

Contribución de los autores

Coordinación, elaboración y revisión del Documento: BO-H, FP-S, CM-O

Diseño de la recolección de datos o del trabajo en campo: BO-H, FP-S, CM-O

Recolección o contribución de datos o realización del trabajo de campo: BO-H, FP-S, CM-O, MM-W, GC-V, MX-S, FS-R, GQ-L

Limpieza, sistematización, análisis o visualización de datos: BO-H, FP-S, CM-O, MX-S

Participación en análisis de datos, estructura y en la escritura del documento: BO-H, FP-S, CM-O

Materiales suplementarios

Los materiales suplementarios de este artículo se encuentran en la página web de la revista a través de doi: <https://doi.org/10.36829/63CTS.v10i2.1357>

Referencias

- Afshan, S., Ali, S., Ameen, U. S., Farid, M., Bharwana, S. A., Hannan, F., & Ahmad, R. (2014). Effect of different heavy metal pollution on fish. *Research Journal of Chemical and Environmental Science*, 2(1), 74-79.
- Al-Najjar, T., Al-Momani, R., Khalaf, M., Wahsha, M., Sbaihat1, M., Khalaf, N., Khadra, K. A. Magames, H. Al-Najjar, T., Al-Momani, R., Khalaf, M., Wahsha, M., Sbaihat, M., Khalaf, N., Khadra, K. A., & Magames, H. (2016). Levels of Heavy Metals in Fishes (*Cheilinus trilobatus*) from the Gulf of Aqaba, Jordan. *Natural Science*, 8(6), 256-263. <https://doi.org/10.4236/ns.2016.86030>
- Barbieri, E., Passos, E. A., Araga, K. A. S., Santos, D. B., & Garcia, C. A. B. (2010). Assessment of Trace Metal Levels in Catfish (*Cathorops spixii*) from Sal River Estuary, Aracaju, State of Sergipe, Northeastern Brazil. *Water Environment Research*, 82(12), 2301-2305. <https://doi.org/10.2175/106143009X12465435982935>

- Boy Mansilla, A. P. (2015). *Determinación de metales pesados en agua, peces, almejas e Hidrilla verticilata del lago de Izabal* [Tesis de licenciatura, Universidad de San Carlos de Guatemala]. http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/06/06_3741.pdf
- Castillo Cabrera, F. J., Dávila Perez, C. V., Morales, A. S., & García Fuentes, A. (2012). *Actualización del Plan Maestro de la Reserva de Usos Múltiples Monterrico: El levantamiento detallado de la vegetación y la cartografía botánica* (Inf-2011-025). Universidad de San Carlos de Guatemala, Dirección General de Investigación, Herbario USCG y Centro de Datos para la Conservación del Centro de Estudios Conservacionistas.
- Centre for Environment, Fisheries and Aquaculture Science. (2000). Monitoring and Surveillance of Non-Radioactive Contaminants in the Aquatic Environment and Activities Regulating the Disposal of Wastes at Sea 1997. *Aquatic Environment Monitoring Report* (No. 52).
- Consejo Nacional de Áreas Protegidas. (2021). Rendición de cuentas. Primer cuatrimestre 2021. Primer informe de ejecución presupuestaria, cuatrimestre enero-abril 2021. <https://conap.gob.gt/wp-content/uploads/2021/05/Informe-de-Rendicio%CC%8In-de-cuentas.pdf>
- da Silva, C. A., de Oliveira Santos, S., Borges Garcia, C. A., Cugler de Pontes, G., & Wasserman, J. C. (2020). Metals and arsenic in marine fish commercialized in the NE Brazil: Risk to human health. *Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal*, 26(3), 695-712. <https://doi.org/10.1080/10807039.2018.1529552>
- Elías Ogáldez, G. A., & González, P. (2011). *Cuantificación de la contaminación por plomo y mercurio en el músculo del género Arius sp. Para consumo humano, en el litoral Pacífico de Guatemala* (FODECYT 18-2009). Guatemala, Consejo Nacional de Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología.
- Escobar Sarabia, L., Pérez de Jesús, D., Zavala Hernández, F., Rodríguez Torres, C. del A., & Flores Lopez, M. L. (2018). Metales pesados bioacumulables en Tilapia (*Oreochromis niloticus*) en el cauce del Río Balsas, Tierra Caliente de Guerrero. *Revista Biológico Agropecuaria*, 6(2), 65-70. <https://doi.org/10.47808/revistabioagro.v6i2.155>
- Fischer, W., Krupp, F., Schneider, W., Sommer, C., Carpenter, K. E., & Niem, V. H. (1995). *Guía FAO para la identificación de especies para los fines de la pesca. Pacífico centro-oriental Plantas e Invertebrados* (Vol. 1). Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, Roma.
- González Barrios, P. R. (2008). *Análisis de la contaminación por plomo y mercurio en el músculo de las tilapias Oreochromis niloticus provenientes del lago de Amatitlán* [Tesis de licenciatura, Universidad de San Carlos de Guatemala]. http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/24/24_0159.pdf
- Hamid, G., Rehman, K., Aneesul, M., & Qadri, H. (2022). *Freshwater pollution and aquatic ecosystems*. Apple Academic Press.
- Han, J., Liu, K., Wang, R., Zhang, Y., & Zhou, B. (2019). Exposure to cadmium causes inhibition of otolith development and behavioral impairment in zebrafish larvae. *Aquatic Toxicology*, 214, Artículo 105236. <https://doi.org/10.1016/j.aquatox.2019.105236>
- Jia, Y., Wang, L., Qu, Z., Wang, C., & Yang, Z. (2017). Effects on heavy metal accumulation in freshwater fishes: Species, tissues and sizes. *Environmental Science and Pollution Research*, 24, 9379-9386. <https://doi.org/10.1007/s11356-017-8606-4>
- Macías, F., Veiga Vila, A., & Calvo de Anta, R. (1993). Influencia del material geológico y detección de anomalías en el contenido de metales pesados en horizontes superficiales de suelos de la Provincia de A Coruña. *Cadernos do Laboratorio Xeolóxico de Laxe*, 18, 317-323.
- Mazariegos-Ortiz, C., Xajil-Saban, M., Blanda, E., & Delvalle-Borrero, D. (2021). Ocurrencia de microplásticos en el tracto digestivo de peces de la Reserva Natural de Usos Múltiples Monterrico, Guatemala. *Ecosistemas* 30(2), Artículo 2188. <https://doi.org/10.7818/ECOS.2188>
- Mokhtar, M. B., Aris, A. Z., Munusamy, V., & Praveena, S. M. (2009). Assessment Level of Heavy Metals in *Penaeus Monodon* and *Oreochromis Spp* in Selected Aquaculture Ponds

- of High Densities Development Area. *European Journal of Scientific Research*, 30, 348-360. <https://doi.org/10.4236/ns.2016.86030>
- Nascimento, J. R., Bidone, E. D., Rolão-Araripe, D., Keunecke, K. A., & Sabadini-Santos, E. (2016). Trace metal distribution in white shrimp (*Litopenaeus schmitti*) tissues from a Brazilian coastal area. *Environmental Earth Sciences*, 75, Artículo 990. <https://doi.org/10.1007/s12665-016-5798-8>
- Núñez-Nogueira, G., Laura Fernández-Bringas, L., Ordiano-Flores, A., Alejandro Gómez-Ponce, A., Ponce de León-Hill, C., & González-Farías, F. (2012). Accumulation and Regulation Effects from the Metal Mixture of Zn, Pb, and Cd in the Tropical Shrimp *Penaeus vannamei*. *Biological Trace Element Research*, 150, 208-213. <https://doi.org/10.1007/s12011-012-9500-z>
- Pandey, G., & Madhury, S. (2014). Heavy metals causing toxicity in animals and fishes. *Research Journal of Animal, Veterinary and Fishery Science*, 2(2), 7-23.
- Pérez-Sabino, J. F., Martínez, R., & Hernández, E. (2019). Determinación de biomarcadores fisiológicos de arsénico y malatión en tilapia (*Oreochromis sp.*) y cangrejo (*Potamocarcinus sp.*) para establecer la calidad ambiental del lago de Atilán (FODECYT No. 2017-012). Guatemala, Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, Universidad de San Carlos de Guatemala & Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia.
- Pérez-Sabino, F., Valladares-Jovel, B., Hernández, E., Oliva, B., Del Cid, M., & Jayes-Reyes, P. (2015). Determinación de arsénico y mercurio en agua superficial del lago de Atilán. *Ciencia, Tecnología y Salud*, 2(2), 37-44. <https://doi.org/10.36829/63CTS.v2i2.58>
- Qiao-qiao, C., Guang-wei, Z., & Langdon, A. (2007). Bioaccumulation of heavy metals in fishes from Taihu Lake, China. *Journal of Environmental Sciences*, 19, 1500-1504. [https://doi.org/10.1016/S1001-0742\(07\)60244-7](https://doi.org/10.1016/S1001-0742(07)60244-7)
- R Core Team. (2020). R: A Language and Environment for Statistical Computing. Foundation for Statistical Computing, Vienna.
- Rahimi, E. Zaker, Sh., Dehghani Farfani, M. H. Roghani Araghi, M. Vafaei, M., & Goudarzi, M. A. (2012). Cadmium concentrations in shrimp (*Penaeus semisulcatus* and *Penaeus monodon*) caught from the coastal areas in southern Iran. *Toxicology and Industrial Health*, 29(3), 272-275. <https://doi.org/10.1177/0748233711432572>
- Rashed, M. (2001). Monitoring of environmental heavy metals in fish from Nasser Lake. *Environmental International*, 27, 27-33. [https://doi.org/10.1016/S0160-4120\(01\)00050-2](https://doi.org/10.1016/S0160-4120(01)00050-2)
- Reyes Morales, E. M. de F. (2007). *Evaluación de la contaminación del pez blanco (Petenia splendida) en tejido muscular y su relación con los niveles de calidad de agua del lago Petén Itzá, Guatemala* [Tesis de licenciatura, Universidad de San Carlos de Guatemala]. http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/06/06_2608.pdf
- Robertson, D. R., & Allen, G. R. (2015). *Peces costeros del Pacífico Oriental Tropical: Sistema de información en línea* (Version 2.0). Instituto Smithsonian de Investigaciones Tropicales, Balboa, Republica de Panamá.
- Sarkar, T., Masihul Alam, M., Parvina, M., Fardousb, Alamgir, Z., Chowdhuryb, Z., Hossainc, S., Haqued, M. E., & Biswas, N. (2016). Assessment of heavy metals contamination and human health risk in shrimp collected from different farms and rivers at Khulna-Satkhiraregion, Bangladesh. *Toxicology Reports*, 3, 346-350. <https://doi.org/10.1016/j.toxrep.2016.03.003>
- Silva, S. A., Bonemann, D. H., Silva, J. S., Timm, J. G., Ribeiro, A. S., & Vieira, M. A. (2019). Determination of metals in fish and shrimp (*Farfantepenaeus paulensis*) from Patos Lagoon (Pelotas - RS, Brazil) by MIP OES. *Brazilian Journal of Food Technology*, 22, Artículo e2018049. <https://doi.org/10.1590/1981-6723.04918>
- Tomaila, J., & Lannacone, J. (2018). Lethal and sublethal toxicity of arsenic, cadmium, mercury and lead on fish *Paracheirodon inessi neon tetra* (Characidae). *Revista de Toxicología*, 35(2), 95-105.
- Unión Europea. (2005). Comisión Regulation (EC) No 78/2005 of 19 January 2005 amending Regulation (EC) No 466/2001 as regards heavy metals (Text with EEA relevance). *Official Journal of the European Union*.

- Unión Europea. (2014). Comission Regulation (EC) No 488/2014 of 12 May 2014 amending Regulation (EC) No 1881/2006 as regards máximum levels of cadmium in foodstuffs (Text with EEA relevance). *Official Journal of the European Union*.
- Wren, C., Harris, S., & Harttrup, N. (1995). Ecotoxicology of mercury and cadmium. En D. J. Hoffmann, B. A. Rattner, G. A. Burton & J. Cairns (Eds.), *Handbook of Ecotoxicology* (pp. 392-423). Lewis Publishers.
- Yılmaz, F., Özdemir, N., Demirak, A., & Tuna, A. L. (2007). Heavy metal levels in two fish species *Leuciscus cephalus* and *Lepomis gibbosus*. *Food Chemistry*, *100*, 830-835. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2005.09.020>
- Zuluaga Rodríguez, J., Gallego Ríos, S. E., & Ramírez Botero, C.M. (2015). Content of Hg, Cd, Pb and As in fish species. A review. *Vitae, Revista de la Facultad de Ciencias Farmacéuticas y Alimentarias*. *22*(2), 148-159. <http://dx.doi.org/10.17533/udea.vitae.v22n2a09>

Metales en tejido muscular de peces y camarones de la Reserva Natural de Usos Múltiples Monterrico, Guatemala

Metals in muscle tissue of fish and shrimp collected at the Monterrico Multiple Use Nature Reserve, Guatemala

Bessie Oliva-Hernández ^{1*}, Manuel Muñoz-Wug ¹, Gabriela Chaulón-Velez ¹,
Carlos Mazariegos-Ortiz ², Marvin Xajil-Sabán ², Francis Santos-Ruiz ¹,
Gabriela Quevedo-López ¹, Francisco Pérez-Sabino ¹

¹Escuela de Química, Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia, y ²Centro de Estudios Marinos y Acuáticos (CEMA), Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala

*Autor al que se dirige la correspondencia: bessicoliva@yahoo.com

Materiales suplementarios

Tabla 1

Curva estándar multielemental de las diferentes concentraciones de cadmio, cobre, plomo y zinc utilizadas en la cuantificación de metales en peces y camarones del Canal de Chiquimulilla

Volumen de disolución madre (mL)	Cadmio-Cd- (mg/L)	Cobre -Cu- (mg/L)	Plomo -Pb- (mg/L)	Zinc -Zn- (mg/L)
0,5	0,1	0,2	0,5	0,05
1,0	0,2	0,4	1,0	0,1
2,0	0,4	0,8	2,0	0,2
3,0	0,6	1,2	3,0	0,3
4,0	0,8	1,6	4,0	0,4
5,0	1,0	2,0	5,0	0,5

Nota. Límite de detección: Cd = .0144 mg/L - Cu = .0015 mg/L - Pb = .0036 mg/L - Zn = .0180 mg/L
Datos del Laboratorio de Investigación Química y Ambiental (LIQA).

Tabla 2

Concentración promedio de metales en peces y camarones (mg/kg, peso húmedo) colectados en el Canal de Chiquimulilla y Reserva de Usos Múltiples Monterrico, durante abril de 2021

Código	Cu	Zn	Cd	Pb
M1	ND	1.26	1.34	ND
M2	ND	1.56	0.86	ND
M3	ND	1.60	0.47	ND
M4	ND	1.30	0.32	ND
M5	ND	1.13	0.21	ND
M6	ND	1.56	0.13	ND
M7	ND	1.40	ND	ND
M8	ND	1.33	ND	ND
M9	ND	1.73	ND	ND
M10	ND	1.48	0.25	ND
M11	ND	1.04	0.31	ND
M12	ND	1.45	5.48	ND
M13	ND	1.25	4.18	ND
M14	ND	0.73	2.51	ND
M15	ND	1.34	1.69	ND
M16	ND	1.05	0.63	ND
M17	ND	1.30	0.24	ND
M18	ND	0.84	0.01	ND
M19	ND	1.13	0.22	ND
M20	ND	0.22	0.04	ND
M21	ND	2.30	0.25	ND
M22	ND	1.36	0.28	ND
M23	ND	1.23	0.13	ND
M24	ND	1.21	0.21	ND
M25	ND	1.45	0.38	ND
M26	ND	1.39	0.44	ND
M27	ND	1.50	0.45	ND
M28	ND	1.17	0.48	ND
M29	ND	1.40	0.41	ND
M30	ND	0.76	0.45	ND
M31	ND	0.24	1.29	ND
M32	ND	ND	0.95	ND
M33	ND	1.46	0.61	ND
M34	ND	1.25	0.81	ND
M35	ND	6.58	2.62	ND

Tabla 2 (continuación)

Código	Cu	Zn	Cd	Pb
M36	ND	2.41	1.01	ND
M37	ND	3.08	1.31	ND
M38	ND	8.81	3.27	ND
M39	ND	2.09	1.24	ND
M40	ND	1.11	1.02	ND
M41	ND	3.95	ND	ND
M42	ND	3.09	3.15	ND
M43	ND	63.77*	2.28	ND
M44	ND	2.25	1.39	ND
M45	ND	1.99	1.80	ND
M46	ND	3.36	2.29	ND
M47	ND	2.45	1.08	ND
M48	ND	2.38	1.44	ND
M49	4.49	2.76	9.37	ND
M50	3.90	3.03	6.36	ND
M51	22.46	5.97	7.89	ND
M52	26.65	3.67	4.37	ND
M53	16.81	3.70	3.51	ND
M54	20.35	4.00	3.13	ND
M55	13.59	2.24	1.02	ND
M56	14.15	3.54	1.09	ND
M57	19.56	5.42	2.21	ND
M58	18.92	5.19	2.14	ND
M59	7.31	4.43	1.79	ND
M60	0.00	10.77	3.63	ND
M61	9.79	5.09	1.90	ND
M62	5.39	2.81	1.28	ND
Promedio	13.10	2.46*	1.71	ND
Desv. Std.	8.08	1.98*	1.92	ND

Nota. *Promedio y desviación estándar de Zn calculados excluyendo el resultado de la muestra M43, por estar muy alejado del resto.

ND: No detectado

Tabla 3

Registro de variables biológicas y porcentaje de humedad de organismos colectados en el Canal de Chiquimulilla y Reserva Natural de Usos Múltiples Monterrico, durante abril 2021

No. *	Especie	Peso (g)	Long total (cm)	% humedad
1	<i>Dormitator latifrons</i> (Richardson, 1844)	55.6	15.5	78.08
2	<i>Dormitator latifrons</i> (Richardson, 1844)	58	16	79.18
3	<i>Dormitator latifrons</i> (Richardson, 1844)	62.9	16.5	80.05
4	<i>Dormitator latifrons</i> (Richardson, 1844)	49.9	15.5	79.19
5	<i>Dormitator latifrons</i> (Richardson, 1844)	77.3	16.7	78.92
6	<i>Dormitator latifrons</i> (Richardson, 1844)	38.6	14	78.48
7	<i>Dormitator latifrons</i> (Richardson, 1844)	125.2	19.6	79.17
8	<i>Dormitator latifrons</i> (Richardson, 1844)	72.2	16.5	79.67
9	<i>Dormitator latifrons</i> (Richardson, 1844)	61.9	16.7	78.91
10	<i>Dormitator latifrons</i> (Richardson, 1844)	57.6	15.9	79.02
11	<i>Dormitator latifrons</i> (Richardson, 1844)	32.2	12.3	79.20
12	<i>Dormitator latifrons</i> (Richardson, 1844)	25	12.2	78.75
13	<i>Dormitator latifrons</i> (Richardson, 1844)	49.1	13.7	78.65
14	<i>Dormitator latifrons</i> (Richardson, 1844)	40.4	13.5	79.37
15	<i>Dormitator latifrons</i> (Richardson, 1844)	47.1	17.5	79.75
16	<i>Dormitator latifrons</i> (Richardson, 1844)	65.5	17	76.93
17	<i>Dormitator latifrons</i> (Richardson, 1844)	21.7	11.8	79.81
18	<i>Dormitator latifrons</i> (Richardson, 1844)	69.4	16.8	79.35
19	<i>Dormitator latifrons</i> (Richardson, 1844)	51.6	15	78.65
20	<i>Dormitator latifrons</i> (Richardson, 1844)	33.3	13	97.79
21	<i>Dormitator latifrons</i> (Richardson, 1844)	60	16.5	79.60
22	<i>Dormitator latifrons</i> (Richardson, 1844)	106.4	18	77.81
23	<i>Dormitator latifrons</i> (Richardson, 1844)	59.5	16	79.34
24	<i>Dormitator latifrons</i> (Richardson, 1844)	48.3	15.6	79.56
25	<i>Dormitator latifrons</i> (Richardson, 1844)	31.4	13.6	79.64

Tabla 3 (continuación)

No. *	Especie	Peso (g)	Long total (cm)	% humedad
26	<i>Dormitator latifrons</i> (Richardson, 1844)	28.1	12.5	77.07
27	<i>Dormitator latifrons</i> (Richardson, 1844)	55.9	16.1	79.18
28	<i>Dormitator latifrons</i> (Richardson, 1844)	93.5	18.7	78.46
29	<i>Dormitator latifrons</i> (Richardson, 1844)	25.3	12.2	78.54
30	<i>Eleotris picta</i> (Kner, 1863)	98.2	21.5	79.63
31	<i>Mugil curema</i> (Valencienne, 1836)	15.5	11.5	75.53
32	<i>Mugil curema</i> (Valencienne, 1836)	15.2	11.3	73.72
33	<i>Mugil curema</i> (Valencienne, 1836)	18.6	12.3	73.51
34	<i>Mugil curema</i> (Valencienne, 1836)	18.5	12.2	72.38
35	<i>Cathorops steindachneri</i> (Gilbert & Starks, 1904)	8.2	10	72.72
36	<i>Cathorops fuerthii</i> (Steindachner, 1876)	8.4	10.9	71.93
37	<i>Lile stolifera</i> (Jordan & Gilbert, 1882)	6.6	9.7	73.86
38	<i>Lile stolifera</i> (Jordan & Gilbert, 1882)	7.4	9.7	38.71
39	<i>Gobionellus microdon</i> (Gilbert, 1892)	13.8	14.2	73.08
40	<i>Gobionellus microdon</i> (Gilbert, 1892)	15.8	15.1	75.02
41	<i>Diapterus peruvianus</i> (Cuvier, 1830)	2.5	5.9	75.80
42	<i>Diapterus peruvianus</i> (Cuvier, 1830)	2.2	6	75.00
43	<i>Diapterus peruvianus</i> (Cuvier, 1830)	3.5	6.8	73.41
44	<i>Diapterus peruvianus</i> (Cuvier, 1830)	3.8	7	75.65
45	<i>Diapterus peruvianus</i> (Cuvier, 1830)	2.2	5.9	77.28
46	<i>Diapterus peruvianus</i> (Cuvier, 1830)	2.5	6.1	75.06
47	<i>Diapterus peruvianus</i> (Cuvier, 1830)	5.5	7.7	74.01
48	<i>Diapterus peruvianus</i> (Cuvier, 1830)	4.3	7.3	75.51
49	<i>Diapterus peruvianus</i> (Cuvier, 1830)	3.7	6.8	74.15
50	<i>Diapterus peruvianus</i> (Cuvier, 1830)	2.7	6.2	77.92
51	<i>Penaeus vannamei</i> (Boone, 1931)	6.5	11	20.55

Tabla 3 (continuación)

No. *	Especie	Peso (g)	Long total (cm)	% humedad
52	<i>Penaeus vannamei</i> (Boone, 1931)	6.3	10.2	36.83
53	<i>Penaeus vannamei</i> (Boone, 1931)	6.2	10.5	46.15
54	<i>Penaeus vannamei</i> (Boone, 1931)	7	10.5	35.79
55	<i>Penaeus vannamei</i> (Boone, 1931)	7.2	10.5	63.40
56	<i>Penaeus vannamei</i> (Boone, 1931)	8.1	9.7	45.23
57	<i>Penaeus vannamei</i> (Boone, 1931)	7.7	10.7	11.53
58	<i>Penaeus vannamei</i> (Boone, 1931)	4.7	9.5	16.62
59	<i>Penaeus vannamei</i> (Boone, 1931)	4.1	8.9	33.63
60	<i>Penaeus vannamei</i> (Boone, 1931)	2.4	7.5	36.13
61	<i>Penaeus vannamei</i> (Boone, 1931)	5.2	9.5	17.95
62	<i>Penaeus vannamei</i> (Boone, 1931)	6.4	10.5	54.35
	<i>Promedio</i>	31.19	12.39	68.71

Nota: *El número corresponde al código de los organismos de la Tabla 2.
Fuente: Datos propios, proyecto B15-2021.

Efecto de la cobertura vegetal de terrenos deshabitados en la detección de recipientes ecológicamente viables disponibles para el desarrollo de *Aedes aegypti* Linnaeus, 1762

Effect of vegetation cover of uninhabited areas on the perception of ecologically viable containers available for the development of Aedes aegypti Linnaeus, 1762

Julio D. Soto-López ^{1,2*}; Carmen Vieira-Lista²; Manuel Barrios-Izás ¹

¹Instituto de Investigaciones, Centro Universitario de Zacapa, Universidad de San Carlos de Guatemala

²Instituto de Investigaciones Biomédicas de Salamanca-Centro de Investigación de Enfermedades Tropicales de la Universidad de Salamanca (IBSAL-CIETUS), Facultad de Farmacia, Universidad de Salamanca

*Autor al que se dirige la correspondencia: jdjuliosoto@gmail.com

Recibido: 21 de febrero 2023 / Revisión: 17 de octubre 2023 / Aceptado: 29 de diciembre 2023

Resumen

En Guatemala el vector del virus del dengue es el mosquito *Aedes aegypti* Linnaeus, 1762 (Diptera: Culicidae) y se encuentra distribuido en todo el país. Al ser antropofílico, el insecto suele encontrarse en cualquier recipiente que almacene agua como toneles, llantas usadas, pilas o incluso en cáscaras duras de algunos frutos como el coco. Concluida la epidemia de Zika en 2015, se propuso la existencia de una posible relación entre la presencia de terrenos con cobertura vegetal deshabitados y la persistencia de contenedores disponibles para el desarrollo del mosquito. Con el fin de comprobar esto, se efectuó un estudio en terrenos con abundante vegetación en la persistencia de contenedores inconspicuos dentro de la vegetación circundante de estos. Para conseguir este objetivo se visitaron terrenos deshabitados con cobertura vegetal en dos municipios de Petén para registrar el número de recipientes y larvas de *Aedes* por sitio de evaluación, además de la toma de fotografías de toda la zona para calcular índices de cobertura vegetal (GRVI y VARI). Con esta información se evaluó la posible relación de las variables mediante el ajuste de modelos lineales generalizados con distribución de *Poisson* con ceros inflados. El ajuste de los datos obtenidos señala que es posible encontrar 78 recipientes por terreno evaluado ($\sigma = 9$), y tomando en cuenta el número de ceros existe un 70% ($\sigma = 2$), de probabilidad de no percibirlos en las zonas de evaluación. De esta manera se puede inferir el efecto que la cobertura vegetal juega en la visibilidad de los recipientes ecológicamente viables para *A. aegypti*. Claramente se comprueba que se incrementa proporcionalmente a mayor cobertura.

Palabras clave: Zika, Modelos Lineales Generalizados, Índices de cobertura vegetal, Control de vectores, Enfermedades transmitidas por mosquitos

Abstract

In Guatemala, the dengue virus vector transmitted by *Aedes aegypti* Linnaeus, 1762 (Diptera: Culicidae) is distributed throughout the country. Being anthropophilic, it is usually found in any human-associated container that stores water, such as domestic water basins, used tires, batteries or even inside the hard husks of fruits like coconuts. After the Zika epidemic of 2015, it was suggested that there is a relationship between the presence of non-residential larval habitats with little or no vegetation cover and the persistence of ecologically viable containers for mosquito populations. Consequently, we conducted a study around the cities of San Benito and Santa Elena, Petén to establish the effect that non-residential larval habitats have on containers hidden by vegetation. To achieve this, we visited non-residential larval habitats with vegetation cover in each area to record the number of potential water containers and larvae per evaluation site. We also photographed the study area to calculate vegetation cover indices (GRVI and VARI). With this information, the possible relationship of the variables was evaluated by fitting generalized linear models with *Poisson* distribution with inflated zeros. According to our model, the average number of containers that we could find per evaluated non-residential larval habitat is 78 ($\sigma = 9$); and considering the number of zeros obtained during the study there is 70% probability ($\sigma = 2$) of not detecting them in the evaluation areas. These findings demonstrate how the presence of plant cover influences the visibility of suitable breeding containers for *Aedes aegypti*, and the occurrence of false negatives rises accordingly.

Keywords: Zika, Generalized Linear Models, Vegetation Cover Indices, Vector Control, Mosquito-Borne Diseases



Introducción

Aedes aegypti Linnaeus, 1762 (Díptera: Culicidae) es uno de los principales vectores de la fiebre amarilla (Jentes et al., 2011), zika (World Health Organization [WHO], 2017), chikungunya (Leparc-Goffart et al., 2014) y dengue (Simmons et al., 2012; Villatoro, 2006) en todo el mundo. De origen africano, se ha adaptado a ambientes domésticos, peridomésticos, urbanos, rurales y otros donde se puede encontrar ocupando hábitats silvestres en Asia, el oeste de África y en todo el hemisferio occidental (Rogers et al., 2006).

En Guatemala este mosquito es la principal especie responsable de la transmisión de arbovirus como el dengue, chikungunya y Zika. Actualmente, de acuerdo con la sección de Entomología Médica del Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social (MSPAS), y a diversos autores, se encuentra distribuido en casi todo el territorio del país (Lepe López et al., 2017; MSPAS-Organización Panamericana de la Salud [OPS], 2015).

El ciclo de vida del vector posee cuatro estadios principales, huevo, larva, pupa e imago, siendo este último el único capaz de transmitir el virus (MSPAS-OPS, 2015). Para el control de las arbovirosis, en Guatemala se procede al manejo integrado de vectores, labor que se basa en establecer un aproximado de la distribución y densidad de las poblaciones de los mosquitos. Esto se alcanza a través de la delimitación de zonas de riesgo de transmisión de arbovirus, por medio de las denominadas “encuestas larvales” (MSPAS-OPS, 2015). Este método es poco sensible y específico, en especial porque la dinámica espacio - temporal del vector ha mostrado ser heterogénea múltiples veces (Diéguez et al., 2006; Lepe López et al., 2017; Rodríguez-Flores et al., 2018; Villatoro, 2006).

Una de las variables que se encuentran condicionando la dinámica espacio - temporal del vector es la disponibilidad de espacios de crecimiento idóneos. En su mayoría, se reporta la presencia de larvas y pupas en recipientes que almacenan agua producto de actividades humanas, como contenedores desechados tipo toneles (Nelson, 1986) y otros recipientes que puedan guardar agua como cubetas, tinajas o palanganas (Rogers et al., 2006). También incluye tanques públicos de agua, latas, recipientes de barro, cemento o madera (Carter, 1924) y cualquier otro objeto que pueda almacenar agua limpia (Hamlyn-Harris, 1927).

Los sitios con productividad larvaria suelen diferir respecto a la época de estudio, pudiéndose diferenciar en época lluviosa y época seca. Durante la época

seca, se suelen encontrar larvas de estadios avanzados (larvas IV, pupas), en toneles, llantas de hule y botes de metal.

En épocas lluviosas la formación de nuevos criaderos y la densidad en estos permiten el aumento de la movilidad de los estadios inmaduros a sitios donde en otras épocas del año no se encuentran presentes (Thomas, 1910). Este factor permite que los reportes de presencia de este vector en época lluviosa, en estadios de importancia para la salud pública sugiera una predisposición para toneles y recipientes sin uso como macetas, latas, vasos de duroport, ollas metálicas, nilón, botellas plásticas, llantas e incluso en cáscaras de frutos duros (*Cocos nucifera*), y orificios en árboles (Rodríguez-Flores et al., 2018).

Debido a la diversidad de espacios que pueden utilizar como criaderos, se desconoce la distribución y densidades de estos individuos a escalas operativamente asequibles para los trabajadores del sistema de salud del país. En 2019, el proyecto Zika Community Response y The Zika Airs Project, presentaron los resultados obtenidos luego de trabajar en distintas zonas del país para el control del virus del Zika al MSPAS. En estos informes se evidenció el monitoreo de estadios inmaduros de *A. aegypti*, especialmente la monitorización de larvas y huevecillos en ovitrampas. La distribución de los mosquitos evidenció patrones temporales mostrando los mayores picos en julio y agosto; como espaciales en zonas con abundantes terrenos deshabitados.

El primer punto en tomar en cuenta para diseñar estos modelos es establecer la distribución *a priori* del número de contenedores y estadios larvales, que se pueden encontrar en un terreno con las características de nuestro estudio.

De acuerdo con distintos autores, los valores en el número de contenedores positivos suelen variar de acuerdo con la forma de recolecta, la época del año, el tamaño del contenedor o en menor medida el tipo contenedor. Centrándonos en el número de contenedores, se ha reportado valores muy variables (Tabla 1, Material suplementario). Lo anterior sugiere un valor medio de 89 recipientes por mes (Costa et al., 2012; Devera et al., 2013; Diéguez-Fernández et al., 2015; Monroy et al., 1999; Monzón et al., 2019; Ogata & López, 1996; Sanabria et al., 2017; Stein et al., 2002);). En el caso del número de larvas encontradas mensualmente, en diversos estudios se han reportado valores también muy dispares (Tabla complementaria 2) que en conjunto muestran un valor promedio de 41 larvas

por mes (Devera et al., 2013; Honório & Lourenço-de-Oliveira; Monroy et al., 1999; Ogata & López, 1996; Rey et al., 2006; 2001; Stein et al., 2002, 2011).

Con base en lo anteriormente expuesto hipotetizamos que la presencia de contenedores y larvas encontradas durante las encuestas larvales se ven influenciadas con la cobertura vegetal de las zonas circundantes. Con el objetivo de determinar si existe una relación entre la presencia de terrenos deshabitados con cobertura vegetal y el número de contenedores ecológicamente viables para larvas de *Aedes aegypti*, se evaluó la relación entre estas variables por medio de modelos con distribución de *Poisson*, en terrenos deshabitados en las cabeceras municipales de San Benito y Santa Elena, en el departamento de Petén, Guatemala.

Materiales y métodos

Sitio de estudio

El estudio se realizó en las cabeceras municipales de los municipios de San Benito y Santa Elena, Petén (Figura 1), sitios con conglomerados poblacionales priorizados por el sistema de salud del país, con alta concentración humana, con abundantes edificios como casas, instituciones educativas, cementerios, lotes urbanos abandonados, llanteras y rellenos sanitarios. Todos disponibles para albergar contenedores de agua.

San Benito, Petén: municipio muy cercano a Santa Elena, tiene una población de 54,189 habitantes en 2022, y una extensión territorial de 112 km².

Tabla 1

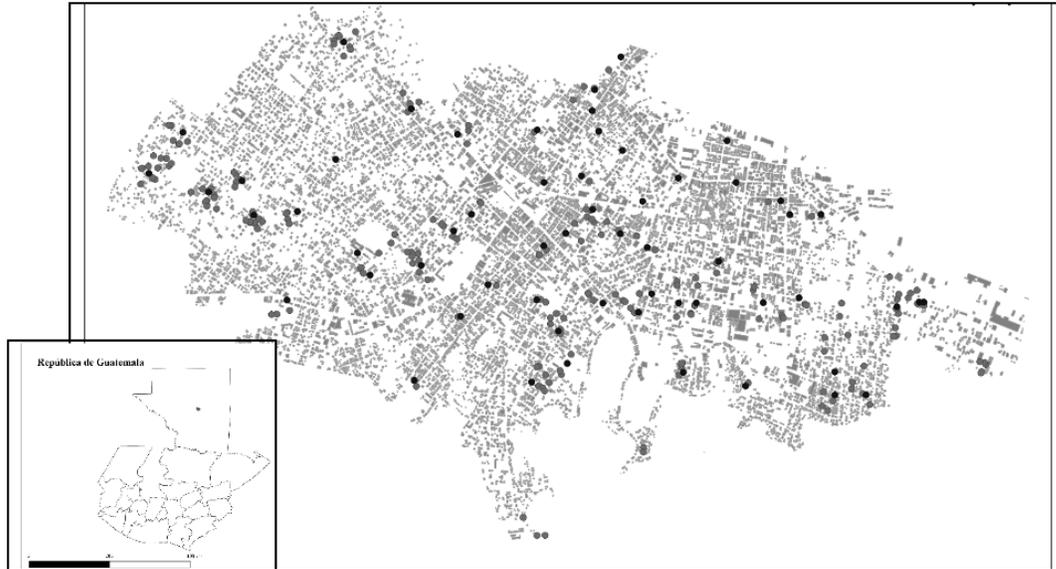
Resultado de la comparación de modelos de larvas y recipientes, por medio de la validación cruzada del muestreo de importancia suavizado por Pareto y el Criterio de información ampliamente aplicable

	PSIS	SE	WAIC	SE	dPSIS	dSE	dWAIC	dSE	pPSIS	pWAIC	Weight PSIS	Weight WAIC
L3	262.41	99.79	264.58	102.3	0	NA	0.00	NA	44.15	45.24	0.999	1.00
L2	296.60	117.14	301.03	118.87	34.19	56.71	36.45	58.55	27.04	29.26	3.76E-08	0.00
L1	334.55	150.55	337.51	150.78	72.13	92.77	72.93	94.31	23.10	24.58	2.17E-16	0.00
R3	168.32	22.27	167.85	21.80	0.00	NA	0.00	NA	9.69	9.45	9.69	1.00
R2	294.84	87.15	294.65	85.93	126.52	66.72	126.80	66.81	10.14	10.05	10.14	0.00
R1	443.72	136.39	444.41	134.91	275.40	116.56	276.56	117.05	27.39	27.73	27.39	0.00

Nota. L: modelo de larvas. R: modelo de recipientes. WAIC y PSIS = riesgo de sobreajuste, SE = Error estándar, dPSIS = diferencia entre cada modelo, pWAC y pPSIS = número efectivo de parámetros, Weight = peso del modelo.

Figura 1

Zona de estudio en Santa Elena y San Benito, Petén



Nota. Los puntos color negro muestran las coordenadas de toma de fotografías seleccionadas para el análisis. Los puntos color rojo muestran las localidades que fueron establecidas como terrenos deshabitados con cobertura vegetal.

Se encuentra a 2 km de la ciudad de Flores, la cabecera departamental. Está a 130 metros sobre el nivel del mar, y tiene un clima tropical monzónico. Santa Elena de la Cruz, Petén, unida a la ciudad de Flores, forman parte de la cabecera departamental de Petén. Tiene cerca de 90 000 habitantes y una extensión territorial de 4336 km². Se encuentra en las coordenadas 16°55'02"N 89°53'56"O. Tiene un clima igual a la localidad anterior. La región se caracteriza por la alta densidad poblacional en zonas rurales (más del 79%), con bajo acceso a los servicios básicos, y una alta tasa de pobreza, por debajo de la media nacional (3%) (Secretaría de Planificación y Programación de la Presidencia, 2013).

Puntos de muestreo: terrenos deshabitados con cobertura vegetal

Las fotografías fueron tomadas en 60 puntos seleccionados al azar por la herramienta de puntos aleatorios de QuantumGIS3 (QGIS Development Team,

2022), durante las visitas entre los meses de octubre y noviembre, tomando las coordenadas geográficas de cada sitio. Se realizó una visita a todos los terrenos deshabitados con cobertura vegetal circundantes a los puntos de muestreo y una búsqueda de contenedores con evidencia de presencia del vector por medio de la búsqueda hombre/hora. Las colectas fueron realizadas durante la primera semana del mes de octubre hasta la última semana del mes de noviembre de 2022.

Para registrar la cobertura vegetal circundante a los terrenos evaluados, se realizó un sobrevuelo en las cabeceras municipales con un dron Phantom 4, a 450 metros sobre el nivel del suelo, que efectuó la toma de fotografías aéreas con un 60-70% de traslape en las localidades visitadas, obteniendo de esta forma imágenes en formato jpg. Se realizó la representación geoespacial de las coordenadas de las imágenes de dron con Python y Folium en un notebook de Jupyter, para establecer el área de barrido y extraer las fotografías correspondientes a las coordenadas de los terrenos seleccionados. A continuación, se buscó las coordenadas que coincidieran con las de los terrenos baldíos en QGIS3.

Las fotografías tomadas por el dron fueron analizadas en QGIS para calcular el índice de vegetación verde-rojo (Green-Red Vegetation Index) (Gitelson et al., 2002; Motohka et al., 2010) y el índice de resistencia atmosférica visible (Visible Atmospherically Resistant Index) (Gitelson et al., 2002; Motohka et al., 2010), de los terrenos que se encontraban alrededor de los puntos evaluados (terrenos deshabitados con cobertura vegetal). Esto se realizó con el objetivo de cuantificar los elementos vegetales presentes en las fotografías y de esta manera determinar la cobertura vegetal colindante con los sitios de interés.

$$\text{GRVI} = (\text{Green} - \text{Red}) / (\text{Red} + \text{Green})$$

$$\text{VARI} = (\text{Green} - \text{Red}) / (\text{Green} + \text{Red} - \text{Blue})$$

Posteriormente a calcular el valor de ambos índices por píxel, se promediaron los valores y se codificaron los valores medios por fotografía. Valores por encima de 0 muestran la presencia de vegetación verde, valores alrededor de 0 muestran una fase temprana del reverdecimiento de la hoja, agua y valores por debajo de 0 muestran la presencia de suelos expuestos (Motohka et al., 2010). El índice VARI definirá la medida en la que una zona territorial presenta fracciones verdes. Se ha demostrado que es mínimamente sensible a los efectos atmosféricos, lo que permite la estimación de la fracción vegetal en una fotografía con un error de < 10% en una amplia gama de espesores ópticos atmosféricos, por lo que es un índice que se puede utilizar en vuelos de drones a baja altitud (Gitelson et al., 2002).

Para el índice GRVI, en este trabajo se tomó valores de cero como presencia de suelos, valores por debajo de cero como presencia de techos de viviendas (el color suele ser rojo o gris) y valores por encima de 0 como presencia de vegetación que se recodificó de la siguiente manera: 0.01-0.03 escasa vegetación (1), 0.031-0.06 vegetación media (2), 0.061-0.09 vegetación abundante (3). En el caso del índice VARI la recodificación que se utilizó fue la siguiente: 0.0-0.09 escasa vegetación (1), 0.099-0.15 vegetación media (2) y 0.151-0.25 vegetación abundante (3).

En cada zona deshabitada con cobertura vegetal se efectuó una búsqueda de contenedores con evidencia de presencia del vector por medio de la búsqueda hombre/hora. En cada colecta se extrajeron todas las larvas contenidas en cada recipiente que contuviera agua, con ayuda de una pipeta Pasteur, y se transfirieron a tubos eppendorf de 1.5 ml rellenos con alcohol al 70%. Los recipientes fueron luego transportados a sitios de

extracción de desechos. Las larvas retenidas fueron trasladadas al laboratorio, donde fueron examinadas e identificadas con claves dicotómicas: *Morphological Differentiation of the Eggs of North American Container-Inhabiting Aedes Mosquitoes*, *Scanning Electron Microscopy of Mosquitoes: II. The egg surface structure of 13 species of Aedes from Taiwan* y *A Rapid Identification Guide for Larvae of the Most Common North American Container-Inhabiting Aedes Species of Medical Importance* (Bova et al., 2016; Farajollahi & Price, 2013; Matsuo et al., 1974), y claves elaboradas por el programa de enfermedades transmitidas por vectores del Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social. Por último, se registró el número de larvas y pupas encontradas.

Vegetación como variable condicionante del número de contenedores y estadios inmaduros de *Aedes*

Siguiendo el supuesto propuesto por nuestra hipótesis sobre la existencia de contenedores viables ecológicamente para *Aedes*, los cuales son irreconocibles para el personal de salud (así como para nuestro equipo de investigación), se ajustaron seis modelos lineales generalizados con distribución de *Poisson* con ceros inflados. Los primeros tres modelaron la distribución de la media del número de contenedores que podrían esperarse en los terrenos evaluados, mientras los últimos tres modelaron la distribución de la media de número de larvas que podíamos encontrar en los sitios evaluados.

$$y_i \sim \text{ZIPoisson}(\pi_i, \square_i)$$

$$\text{logit}(\pi_i) = \alpha \pi[\text{VARI}] + \text{GRVI} \quad \text{Probabilidad de no encontrar larvas / contenedores}$$

$$\log(\square_i) = \alpha \square[\text{VARI}] + \text{GRVI} \quad \text{Número de larvas / contenedores}$$

ZIPoisson = Zero Inflated Poisson distribution

Los modelos se diseñaron con la función *ulam* en el paquete *rethinking* (McElreath, 2020), en el software estadístico R (R Core Team, 2021), con probabilidades a priori regularizados de contenedores de acuerdo con lo reportado de ochenta y nueve por mes y un valor de larvas de cuarenta y una por mes, para establecer la distribución *a priori* de estos valores. En el caso de la variable de búsqueda, nuestra hipótesis sugiere que existe una gran dificultad en la detección tanto de con-

tenedores como larvas en los sitios estudiados, por lo que se modeló una incapacidad de detección de larvas del 90% y un 80 % de recipientes viables ecológicamente *a priori*. Se utilizaron cuatro cadenas de Markov de Monte Carlo Hamiltoniano y 2000 iteraciones para cada una. Los modelos asumieron los índices de vegetación verde-rojo y el índice de resistencia atmosférica visible recodificados como predictores. Se ajustaron tres modelos distintos para cada uno de los parámetros de interés: número de larvas y número de recipientes. En el primero de los modelos en ambos casos no se utilizaron predictores. En el segundo modelo se utilizó únicamente el VARI o GRVI como predictores. En el tercer modelo para larvas y para recipientes se utilizó VARI o GRVI y la adición del efecto del índice GRVI / VARI respectivamente.

Resultados

Se visitaron 206 terrenos con cobertura vegetal gramínea, arbustiva y arbórea, y se encontraron 1,809 larvas distribuidas en distintos recipientes: en toneles (1), llantas descartadas (16), botellas plásticas (17), bo-

tellas de vidrio (4), cáscaras de coco (2), cubetas (1), recipientes de plástico (8), recipientes de aluminio (8), pilas (1), carretas de metal (1), concreteras (1), siendo el más predominante las botellas plásticas. De estos terrenos se escogieron 38 aleatoriamente y se les realizó la toma de fotografías a los terrenos que se encontraban circundantes, esto debido a las dificultades para poder alcanzar todos los terrenos de las cabeceras municipales por la ubicación del aeropuerto en Santa Elena, el cual restringe el vuelo de drones en esta zona.

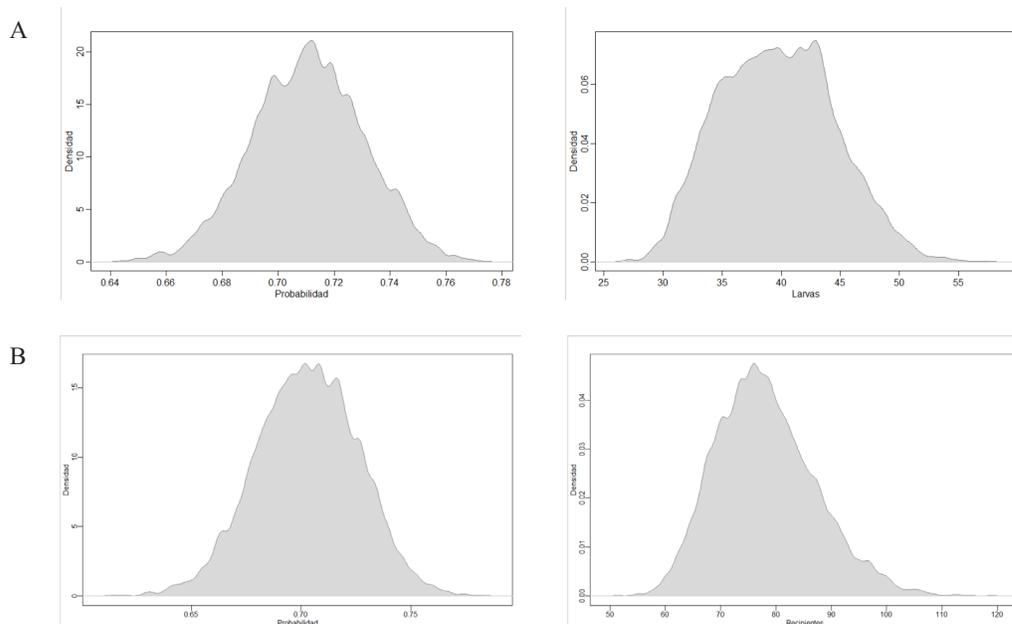
Ajuste de modelos

De acuerdo con el modelo tres para los modelos de número de larvas, la media que podríamos encontrar por terreno evaluado es de cuarenta ($\sigma = 5$), y tomando en cuenta el número de ceros obtenidos durante el estudio existe un 71% ($\sigma = 1$), de probabilidad de que el personal encargado de buscar las larvas, no sea capaz de encontrarlas en los terrenos evaluados (Figura 2A).

De acuerdo con el modelo tres para los modelos de número de recipientes, la media que podríamos encontrar por terreno evaluado es de 78 recipientes

Figura 2

Distribución de probabilidad de no encontrar larvas, distribución de la media de cantidad de larvas (A) y recipientes (B) que podrían encontrarse en terrenos evaluados



Nota. La zona sombreada muestra el 95% HPDI (Highest Posterior Density Intervals).

($\sigma = 9$), y tomando en cuenta el número de ceros obtenidos durante el estudio existe un 70% ($\sigma = 2$), de probabilidad de que el personal encargado de buscar los recipientes, no sean capaces de encontrarlos en los terrenos evaluados (Figura 2B).

Evaluación de los modelos y las variables utilizadas:

Los modelos ajustados para evaluar las larvas que podrían encontrarse en los terrenos deshabitados fueron comparados por medio de la validación cruzada del muestreo de importancia suavizado por Pareto (PSIS) (Vehtari et al., 2015) y con el Criterio de información ampliamente aplicable (WAIC) (Watanabe, 2010). Ambas estrategias permiten predecir la penalización por predicción en distribuciones fuera de la muestra.

Al calcular el índice de vegetación verde-rojo se pudo observar que es capaz de diferenciar zonas cubiertas por zonas vegetales de zonas que no contengan vegetación. De acuerdo con nuestros resultados, valores por encima de 0 muestran zonas con cobertura vegetal, y valores iguales o menores a cero muestran zonas desprovistas de vegetación (Figura 3).

Ambas metodologías (PSIS y WAIC), muestran valores similares en los resultados de la evaluación de los tres modelos para cada variable de interés. En ambos casos se puntúa de mejor forma el riesgo de sobreajuste y el peso del modelo tres, tanto para el

modelo de larvas como para el modelo de recipientes. En ambos se toman en cuenta GRVI y VARI.

En el caso de los modelos de larvas, las diferencias con los otros modelos indican que el modelo tres se encuentra a 34 unidades de desviación del modelo dos y el modelo uno (sin predictores), a 72 unidades. Además, el número efectivo de parámetros es superior en el modelo mejor calificado, alcanzando más de cuarenta en comparación con los menos de treinta en el resto de los modelos.

En el caso de los modelos de recipientes, las diferencias con los otros modelos indican que el modelo tres se encuentra a 126 unidades de desviación que el modelo dos y a 275 unidades que el modelo uno (el cual no utiliza predictores). El número efectivo en este caso es menor en el modelo tres, en comparación al resto de modelos.

Existe certeza en que la dirección de los efectos de las variables, no encontrar larvas estratificada por VARI, número de larvas estratificada por VARI y GRVI 2 y 3 sean positivos, GRVI 1 sea negativo y pueden considerarse significativos en el modelo de larvas. Además, existe certeza de que los efectos de las variables, no encontrar recipientes estratificada por GRVI, número de recipientes, estratificadas por GRVI seas positivos, que VARI 1 y 2, sean negativos y pueden considerarse significativos en el modelo de recipientes, con excepción a VARI 3 (Tabla 2) (Makowski, Ben-Shachar, & Lüdecke, 2019; Makowski, Ben-Shachar, Chen, et al., 2019).

Figura 3

Comparación de imágenes tomadas por dron Phantom 4 (A), con imágenes al calcular el índice de vegetación verde-rojo (B)

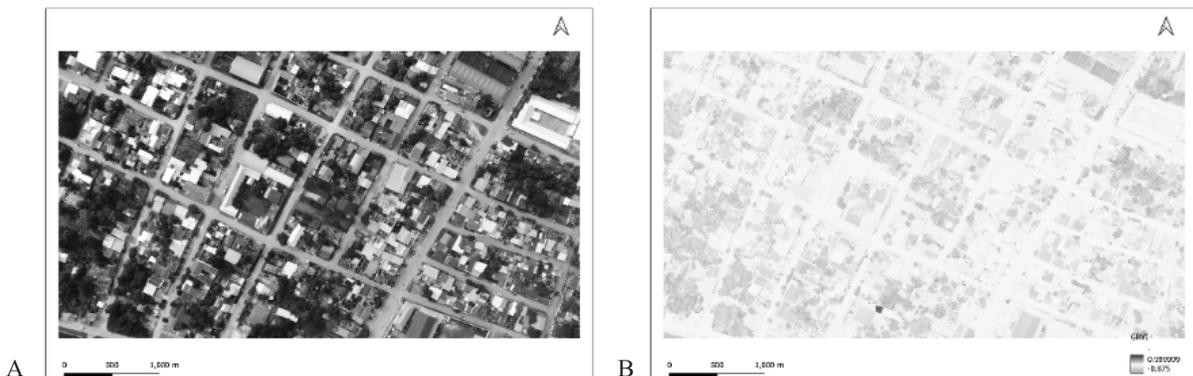


Tabla 2

Probabilidad de dirección (pd), y Región de equivalencia práctica (ROPE), de las variables estratificadas en el modelo tres para la corrección de búsqueda de larvas y recipientes

Variable	Pd %	Media	Sd	89% IC [HPDI _{sup}]	89% IC [HPDI _{inf}]	ROPE % [-0.08, 0.08]
No_en_VARI1	> 99.9	0.89	0.10	0.73	1.06	< 1
No_en_VARI2	> 99.9	0.90	0.10	0.75	1.06	< 1
No_en_VARI3	> 99.9	0.91	0.09	0.76	1.06	< 1
Larv_VARI1	> 99.9	3.56	0.08	3.43	3.69	< 1
L Larv_VARI2	> 99.9	3.76	0.08	3.63	3.89	< 1
Larv_VARI3	> 99.9	3.70	0.10	3.54	3.86	< 1
GRVI1	> 99.9	-1.17	0.27	-1.62	-0.75	< 1
GRVI2	> 99.9	0.45	0.09	0.30	0.60	< 1
GRVI3	> 99.9	0.57	0.10	0.41	0.74	< 1
No_en_GRVI1	> 99.9	0.80	0.10	0.65	0.96	< 1
No_en_GRVI2	> 99.9	0.86	0.10	0.71	1.01	< 1
No_en_GRVI3	> 99.9	0.92	0.10	0.76	1.08	< 1
Reci_GRVI1	> 99.9	4.43	0.10	4.27	4.59	< 1
R Reci_GRVI2	> 99.9	4.28	0.09	4.13	4.42	< 1
Reci_GRVI3	> 99.9	4.34	0.09	4.19	4.49	< 1
VARI1	> 99.9	-2.41	0.22	-2.78	-2.07	< 1
VARI2	> 99.9	-2.30	0.16	-2.58	-2.06	< 1
VARI3	95.71	0.81	0.47	0.08	1.54	3.95

Nota. No_en_V1: No encontrar larvas/recipientes en escasa vegetación de acuerdo con índice, No_en_V2: No encontrar larvas/recipientes en vegetación media de acuerdo con índice, No_en_V3: No encontrar larvas/recipientes en abundante vegetación de acuerdo con índice. Larv/Reci_V1: Número de larvas/recipientes en escasa vegetación de acuerdo con índice, Larv/Reci_V2: Número de larvas/recipientes en vegetación media de acuerdo con índice, Larv/Reci_V3: Número de larvas/recipientes en vegetación abundante de acuerdo con índice. Pd: Probabilidad de dirección, sd, desviación estándar, IC: intervalos creíbles, HPDI: Intervalos de densidad posterior más altos.

Ambos modelos, tanto para larvas como para recipientes, muestran evidencia sobre el efecto que la cobertura vegetal juega en la visibilidad de los recipientes ecológicamente viables para *Aedes aegypti*. A mayor cobertura vegetal, es menos probable encontrar recipientes, y el fenómeno de falsos negativos se incrementa (número de falsas ausencias).

Por otro lado, la cobertura vegetal parece jugar también un papel importante en la presencia de larvas de cuarto estadio en terrenos deshabitados, pudiéndose encontrar un mayor número de larvas al aumentar la cobertura vegetal de los terrenos; con excepción de los terrenos con poca cobertura, donde se observa un comportamiento de disminución en el número de larvas. La cobertura vegetal también parece influenciar el número de falsas ausencias que se suelen reportar durante los muestreos realizados.

Discusión

En Guatemala, las especies de vectores que transmiten arbovirus pueden variar sustancialmente en el tiempo y el espacio en términos de comportamientos de búsqueda de hospedero, reposo y oviposición, y la información que pretende explicar dichos patrones es escasa. La información sobre el comportamiento y la biología son fundamentales para comprender mejor que intervenciones de control de vectores pueden ser más efectivas en el control de estos.

Actualmente se basa en el conocimiento de la distribución departamental, aproximados de la densidad de las poblaciones del principal vector y posterior delimitación de zonas de riesgo de transmisión. Uno de los principales inconvenientes para la realización de estos estudios es la gran variabilidad de la dinámica espacio temporal del vector (Diéguez et al., 2006; Lepe López et al., 2017; Rodríguez-Flores et al., 2018; Villatoro, 2006).

Elegimos como puntos de muestreo los terrenos deshabitados con cobertura vegetal, con base en lo observado en los informes de distintos proyectos para el control del Zika en el país (Zika Community Response y The Zika Airs Project), en los que queda patente la prevalencia de mosquitos (estadios inmaduros), en zonas con terrenos deshabitados. Además, distintos autores a lo largo del tiempo han reportado la presencia de larvas y pupas en todo tipo de contenedores y recipientes resultantes de la actividad humana, capaces de almacenar agua (Carter, 1924; Nelson, 1986; Rogers et al., 2006).

Las condiciones antropogénicas encontradas en las localidades evaluadas con relación al acceso al agua para consumo humano son en gran medida distintas a las reportadas en los proyectos para el control del ZIKA y por el MSPAS en zonas secas del país como los municipios intervenidos en Zacapa. Estas regiones suelen caracterizarse por la ausencia de sistemas de traslado de aguas residuales entubados, presencia de letrinas y desagües en vía pública, que fomenta la necesidad de mantener contenedores de agua que suplan las necesidades mínimas de este a lo largo del año en las comunidades. Sin embargo, en Santa Elena y San Benito la ausencia de estos servicios básicos no es evidente y la explicación a cerca de la ubicación de los huevecillos durante las épocas de baja prevalencia del mosquito tampoco es evidente.

Al evaluar la relación del efecto de la cobertura vegetal medido como el índice de vegetación GRVI y el índice VARI a baja altitud, en la búsqueda de contenedores ecológicamente viables por parte de los observadores, pudimos observar un patrón positivo entre estas variables. De acuerdo con los modelos lineales generalizados con distribución de *Poisson* con ceros inflados escogidos, el número de contenedores encontrados durante las encuestas larvales y la cobertura vegetal muestran una relación positiva (Tabla 2). Esta relación se puede deber a que los contenedores son ocultados por la cobertura vegetal circundante. Las condiciones de estos son propicias para la oviposición por parte de las hembras del vector. En conjunto ambos efectos favorecen el mantenimiento de huevecillos que podrán eclosionar en los momentos en que la época lluviosa comience. Efectos similares han sido evaluados y modelizados por medio de índices distintos como el NDVI (Martín et al., 2022), o islas de calor urbanas (UHI) (de Jesús Crespo & Rogers, 2021).

Este efecto agrega una dimensión a tomar en cuenta en las estrategias de control del vector por parte de las entidades gubernamentales. La forma de intervenir en el control de *A. aegypti* ha ido de la mano con las intervenciones realizadas para el control de los vectores de la malaria *Anopheles albimanus*, *A. vestitipennis*, *A. pseudopunctipennis* y *A. darlingi*, a partir de 1956.

Para el control de los vectores de malaria una larga lista de insecticidas ha servido en las campañas del Ministerio de Salud, incluyendo dieldrín, dicloro difenil tricloroetano (DDT), carbamatos, organofosforados (OPS/OMS et al., 2008) y actualmente piretroides como la deltametrina y la alfa-cipermetrina (The Global Fund, 2015). Estos han sido reemplazados

durante el tiempo de acuerdo con la evidencia de resistencia de los mosquitos ante los compuestos utilizados.

El control de *A. aegypti* por medio de métodos químicos comienza en 1949 con la campaña de erradicación del *A. aegypti* con DDT 4% (Reunión Binacional de Salud Pública Guatemala-México, 1984) y Malatión en polvo humectable al 50% en concentraciones al 5%, como larvicida (Abate) 1% (Servicio Nacional de Erradicación de la Malaria, 1975) hasta la actualidad (MSPAS/OPS, 2015).

Sin embargo, el uso de insecticidas en ambas modalidades presenta inconvenientes metodológicos si tomamos en cuenta la hipótesis del estudio propuesto. El uso de DDT elimina a los imagos que se encuentran en vuelo activo. Por otro lado, el larvicida elimina únicamente los estadios larvales que se encuentran en los recipientes tratados. La presencia de contenedores viables ecológicamente y no encontrados durante las campañas de control de vectores en los terrenos con cobertura vegetal explican la incapacidad de eliminar las poblaciones de estos mosquitos desde hace más de 70 años en el país y la reincorporación de poblaciones viables en las épocas de retransmisión. Y claramente no puede dejarse de lado el efecto sobre la biodiversidad producto del uso de insecticidas. Una forma alternativa para paliar esta deficiencia es colocar contenedores para recolección de basura de forma más frecuente en estas comunidades para evitar la acumulación de contenedores que puedan servir como criaderos de larvas. Junto a la distribución de nuevos contenedores se debe realizar campañas para el uso correcto de los mismos entre la población haciendo énfasis en el beneficio que conlleva esta práctica.

Es evidente la necesidad de estudios que amplíen la visión del comportamiento de las poblaciones de los mosquitos si el objetivo final de los organismos de salud del país, son el control de las enfermedades por medio del control vectorial.

Agradecimientos

Agradecemos la valiosa colaboración de Valeska Jimena Contreras Paz, Mario Santiago Zetina Maldonado y a el licenciado Jimmy Vargas. Este artículo es uno de los resultados de la investigación Relación entre la resiliencia en la densidad *Aedes aegypti* Linnaeus, 1762 y *Aedes albopictus*, Skuse 1895 con terrenos deshabitados con cobertura vegetal. Fue cofinanciada con recursos del Fondo de Investigación de la Digi de la

Universidad de San Carlos de Guatemala a través de la partida presupuestaria 4.8.58.0.74 con código B3CU-2022 en el Programa Universitario de Investigación de Ciencias Básicas.

Contribución de los autores

Coordinación, elaboración y revisión del Documento: Todos los autores

Diseño de la recolección de datos o del trabajo en campo: JDS-L

Recolección o contribución de datos o realización del trabajo de campo: MB-I

Limpieza, sistematización, análisis o visualización de datos: JDS-L, CV-L

Participación en análisis de datos, estructura y en la escritura del documento: Todos los autores

Materiales suplementarios

Los materiales suplementarios de este artículo se encuentran en la página web de la revista a través <https://doi.org/10.36829/63CTS.v10i1.1544>.

Referencias

- Bova, J., Paulson, S., & Paulson, G. (2016). Morphological differentiation of the eggs of North American container-inhabiting *Aedes* mosquitoes. *Journal of the American Mosquito Control Association*, 32(3), 244-246. <https://doi.org/10.2987/15-6535.1>
- Carter, H. (1924). Preferential and compulsory breeding places of *Aedes* (stegomyia) *aegypti* and their limits. *Annals of Tropical Medicine and Parasitology*, 18(4), 493-503. <https://doi.org/10.1080/00034983.1924.11684429>
- Costa, F., Fattore, G., & Abril, M. (2012). Diversity of containers and buildings infested with *Aedes aegypti* in Puerto Iguazú, Argentina. *Cadernos de Saúde Pública*, 28(9), 1802-1806. <https://doi.org/10.1590/S0102-311X2012000900019>
- Crespo, de J. R., & Rogers, R. E. (2021). Habitat Segregation Patterns of Container Breeding Mosquitos: The Role of Urban Heat Islands, Vegetation Cover, and Income Disparity in Cemeteries of New Orleans. *International*

- Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(1), Artículo 245. <https://doi.org/10.3390/ijerph19010245>
- Devera, R., Devera, Z., & Velásquez, V. (2013). Presencia de *Aedes aegypti* en el cementerio jobo liso de Ciudad Bolívar, Estado Bolívar, Venezuela. *Saber*, 25(4).
- Diéguez, L., Hernández, C. A., Zacarías, R., & Salazar, V. (2006). Contribución al estudio de la familia Culicidae de Guatemala: Relación y distribución geográfica de las principales especies en la región norte. *Revista Cubana Medicina Tropical*, 58(1), 30-35.
- Diéguez-Fernández, L., Andrés-García, J., Martín-Martínez, J., Fimia-Duarte, R., Iannacone, J., & Alarcón-Elbal, P. (2015). Comportamiento estacional y relevancia de los depósitos permanentes y útiles para la presencia de *Aedes* (*Stegomyia*) *Aegypti* en Camagüey, Cuba. *Neotropical Helminthology*, 9(1), 103-111.
- Farajollahi, A., & Price, D. C. (2013). A rapid identification guide for larvae of the most common North American container-inhabiting *Aedes* species of medical importance. *Journal of the American Mosquito Control Association*, 29(3), 203-221. <https://doi.org/10.2987/11-6198R.1>
- Gitelson, A. A., Kaufman, Y. J., Stark, R., & Rundquist, D. (2002). Novel algorithms for remote estimation of vegetation fraction. *Remote Sensing of Environment*, 80(1), 76-87. [https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(01\)00289-9](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(01)00289-9)
- Hamlyn-Harris, R. (1927). Notes on the breeding places of two mosquitoes in Queensland. *Bulletin of Entomological Research*, 17(4), 411-414. <https://doi.org/10.1017/S0007485300019519>
- Honório, N. A., & Lourenço-de-Oliveira, R. (2001). Freqüência de larvas e pupas de *Aedes aegypti* e *Aedes albopictus* em armadilhas, Brasil. *Revista de Saúde Pública*, 35(4), 385-391. <https://doi.org/10.1590/S0034-89102001000400009>
- Jentes, E. S., Pomeroy, G., Gershman, M. D., Hill, D. R., Lemarchand, J., Lewis, R. F., Staples, J. E., Tomori, O., Wilder-Smith, A., & Monath, T. P. (2011). The revised global yellow fever risk map and recommendations for vaccination, 2010: Consensus of the Informal WHO Working Group on Geographic Risk for Yellow Fever. *The Lancet Infectious Diseases*, 11(8), 622-632. [https://doi.org/10.1016/S1473-3099\(11\)70147-5](https://doi.org/10.1016/S1473-3099(11)70147-5)
- Leparc-Goffart, I., Nougairede, A., Cassadou, S., Prat, C., & de Lamballerie, X. (2014). Chikungunya in the Americas. *The Lancet*, 383(9916), 514. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(14\)60185-9](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(14)60185-9)
- Lepe López, M. A., Dávila, M., Canet, M., Lopez, Y., Flores, E., Dávila, A., & Escobar, L. E. (2017). Distribución de *Aedes aegypti* y *Aedes albopictus* en Guatemala 2016. *Ciencia, Tecnología y Salud*, 4(1), 21-31. <https://doi.org/10.36829/63CTS.v4i1.239>
- Makowski, D., Ben-Shachar, M., & Lüdtke, D. (2019). bayestestR: Describing Effects and their Uncertainty, Existence and Significance within the Bayesian Framework. *Journal of Open Source Software*, 4(40), 1541. <https://doi.org/10.21105/joss.01541>
- Makowski, D., Ben-Shachar, M. S., Chen, S. H. A., & Lüdtke, D. (2019). Indices of Effect Existence and Significance in the Bayesian Framework. *Frontiers in Psychology*, 10. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2019.02767>
- Martín, E., Alonso, A., Faraone, J., Stain, N., & Estallo, E. (2022). *Aedes aegypti* and *Aedes albopictus* abundance, landscape coverage and spectral indices effects in a subtropical city of Argentina. *BioRxiv*. <https://doi.org/10.1101/2022.01.11.475665>
- Matsuo, K., Yoshida, Y., & Lien, J. C. (1974). Scanning electron microscopy of mosquitoes: II. The egg surface structure of 13 species of *Aedes* from Taiwan. *Journal of Medical Entomology*, 11(2), 179-188. <https://doi.org/10.1093/jmedent/11.2.179>
- McElreath, R. (2020). *Rethinking: Statistical Rethinking book package* (R package version 2.13).
- Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social/Organización Panamericana de la Salud. (2015). *Manual operativo de vigilancia y control entomológico de Aedes aegypti vector del dengue y Chikungunya en Guatemala*.
- Monroy, C., Yuichiro, T., Rodas, A., Mejía, M., Pichilla, R., Mauricio, H., & Pérez, M. (1999). Distribución de *Aedes albopictus* (Diptera:

- Culicididad) en Guatemala, seguimiento a una colonización de 1995. *Revista Científica*, 12(1), 29-32.
- Monzón, M. V., Rodríguez, J., Diéguez, L., Alarcón-Elbal, P. M., & San Martín, J. L. (2019). Hábitats de cría de *Aedes aegypti* (Diptera: Culicidae) en Jutiapa, Guatemala. *Novitates Caribaea*, 14, 111-120. <https://doi.org/10.33800/nc.v0i14.203>
- Motohka, T., Nasahara, K. N., Oguma, H., & Tsuchida, S. (2010). Applicability of Green-Red Vegetation Index for Remote Sensing of Vegetation Phenology. *Remote Sensing*, 2(10), 2369-2387. <https://doi.org/10.3390/rs2102369>
- Nelson, M. J. (1986). *Aedes aegypti Biología y Ecología*. Organización Panamericana de la Salud.
- Ogata, K., & López Samayoa, A. (1996). Discovery of *Aedes albopictus* in Guatemala. *Journal of the American Mosquito Control Association*, 12(3), 503-506.
- Organización Panamericana de la Salud, Organización Mundial de la Salud (OPS/OMS), Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), & Fondo para el Medio Ambiente Mundial (FNAM). (2008). El caso del proyecto de demostración de Guatemala. En *Programa regional de acción y demostración de alternativas sostenibles para el control de vectores de la malaria sin uso de DDT en México y América Central* (No. GFL-2328-2760-4680, pp. 89-92).
- QGIS Development Team. (2022). *QGIS Geographic Information System*. Open Source Geospatial Foundation Project. [Software]. <https://qgis.org>.
- R Core Team. (2021). *R: A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing [Software]. <https://www.R-project.org/>.
- Reunión Binacional de Salud Pública Guatemala-México. (1984). *Informe del programa de malaria de Guatemala*. Ministerio de Salud y Asistencia Social.
- Rey, J. R., Nishimura, N., Wagner, B., Braks, M. A. H., O'Connell, S. M., & Lounibos, L. P. (2006). Habitat Segregation of Mosquito Arbovirus Vectors in South Florida. *Journal of Medical Entomology*, 43(6), 1134-1141. <https://doi.org/10.1093/jmedent/43.6.1134>
- Rodríguez-Flores, J., Monzón-Muñoz, M. V., Diéguez-Fernández, L., Yax-Caxaj, P. M., & Iannacone, J. (2018). Culícidos de relevancia médico-veterinario de Jutiapa, Guatemala: 2009-2017. *Biotempo*, 15(1), 49-57. <https://doi.org/10.31381/biotempo.v15i1.1695>
- Rogers, D. J., Wilson, A. J., Hay, S. I., & Graham, A. J. (2006). *The global distribution of yellow fever and dengue* (pp. 181-220). [https://doi.org/10.1016/S0065-308X\(05\)62006-4](https://doi.org/10.1016/S0065-308X(05)62006-4)
- Sanabria, E., Rodríguez, N., Samudio, M., Martínez, N., Torales, M., & Aguayo, N. (2017). Criaderos de *Aedes aegypti* en la ciudad de Asunción, Paraguay durante los años 2011-2014. *Revista de Salud Pública del Paraguay*, 7(1), 33-36. <https://doi.org/10.18004/rspp.2017junio.33-36>
- Servicio Nacional de Erradicación de la Malaria. (1975). *Memoria Anual 1974*. Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social.
- Simmons, C. P., Farrar, J. J., van Vinh Chau, N., & Wills, B. (2012). Dengue. *New England Journal of Medicine*, 366(15), 1423-1432. <https://doi.org/10.1056/NEJMr1110265>
- Stein, M., Ludueña-Almeida, F., Willener, J. A., & Almirón, W. R. (2011). Classification of immature mosquito species according to characteristics of the larval habitat in the subtropical province of Chaco, Argentina. *Memórias do Instituto Oswaldo Cruz*, 106(4), 400-407. <https://doi.org/10.1590/S0074-02762011000400004>
- Stein, M., Oria, G. I., & Almirón, W. R. (2002). Principales criaderos para *Aedes aegypti* y culícidos asociados, Argentina. *Revista de Saúde Pública*, 36(5), 627-630. <https://doi.org/10.1590/S0034-89102002000600013>
- The Global Fund. (2015). Results Report 2015. <https://www.theglobalfund.org/en/archive/annual-reports/>
- Thomas, H. W. (1910). The sanitary conditions and diseases prevailing in Manaus and chart. *Annals of Tropical Medicine Parasitology*, 4(1), 7-55.

- Vehtari, A., Simpson, D., Gelman, A., Yao, Y., & Gabry, J. (2015). *Pareto Smoothed Importance Sampling*. <https://doi.org/10.48550/arXiv.1507.02646>
- Villatoro, G. R. (2006). *Historia del dengue en Guatemala* [Tesis de Maestría, Universidad de San Carlos de Guatemala].
- Watanabe, S. (2010). Asymptotic Equivalence of Bayes Cross Validation and Widely Applicable Information Criterion in Singular Learning Theory. *Journal of Machine Learning Research*, *11*, 3571-3594
- World Health Organization. (2017). Dengue y dengue grave. *Centro de Prensa: Nota Descriptiva*. <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs117/es/>
- Zika AIRS Project. (2019). *Final Report*. The Zika AIRS Project, Abt Associates Inc. https://pdf.usaid.gov/pdf_docs/PA00TZZP.pdf
- Zika Community Response Project. (2019). *Final activity report*. USAID Zika program. https://pdf.usaid.gov/pdf_docs/PA00WK9H.pdf

Efecto de la cobertura vegetal de terrenos deshabitados en la detección de recipientes ecológicamente viables disponibles para el desarrollo de *Aedes aegypti* Linnaeus, 1762

Effect of vegetation cover of uninhabited areas on the perception of ecologically viable containers available for the development of Aedes aegypti Linnaeus, 1762

Julio D. Soto-López ^{1,2*}; Carmen Vieira-Lista²; Manuel Barrios-Izás ¹

¹Instituto de Investigaciones, Centro Universitario de Zacapa, Universidad de San Carlos de Guatemala

²Instituto de Investigaciones Biomédicas de Salamanca-Centro de Investigación de Enfermedades Tropicales de la Universidad de Salamanca (IBSAL-CIETUS), Facultad de Farmacia, Universidad de Salamanca

*Autor al que se dirige la correspondencia: jdjuliosoto@gmail.com

Materiales suplementarios

Tabla 1

Contenedores reportados por distintos autores en encuestas larvarias

Autor	Número de contenedores	Periodo de tiempo en meses	Tasa (contenedores/mes)
Devera et al. (2013)	7	1	1
Stein et al. (2002)	142	4	36
Sanabria et al. (2017)	6589	48	137
Costa et al. (2012)	312	3	104
Monroy et al. (1999)	744	2	372
Ogata & López (1996)	117	4	29
Monzón et al. (2019)	3993	84	48
Diéguez-Fernández et al. (2015)	967	12	81



Tabla 2

Larvas de cuarto estadio en recipientes reportados por distintos autores en encuestas larvarias

Autor	Número de larvas	Periodo de tiempo en meses	Tasa (larvas/contenedor)
Devera et al. (2013)	97	7	14
Rey et al. (2006)	981	15	65
Honório & Lourenço-de-Oliveira (2001)	146	4	37
Stein et al. 2002)	869	85	10
(Stein et al. (2011)	466	3	155
Monroy et al. (1999)	893	744	1
Ogata & López (1996)	929	117	8

Evaluación de una aplicación basada en inteligencia artificial para el diagnóstico de parásitos intestinales

Evaluation of an application based on artificial intelligence (AI) for the diagnosis of intestinal parasites and its potential use in Guatemala

Blanca Samayoa-Herrera ¹, Anneliese Moller-Sundfeldt ¹, Martin Gil-Carrera ¹,
Mildred Alquijay-Pacheco ²

¹Escuela de Química Biológica. ²Programa de Experiencias Docentes con la Comunidad de la Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia, Universidad de San Carlos de Guatemala

*Autor al que se dirige la correspondencia: besamayoah@gmail.com

Recibido: 07 de abril 2022 / Revisión: 08 de mayo 2023 / Aceptado: 14 de noviembre 2023

Resumen

En Guatemala, las infecciones parasitarias intestinales representan una de las prevalencias más altas en Latinoamérica, sin embargo, la observación de la morfología microscópica de estos microorganismos sigue siendo el estándar de oro para su diagnóstico. Esta metodología compromete los resultados en cuanto a la calidad y disponibilidad de personal calificado, por lo que la búsqueda de alternativas basadas en inteligencia artificial (IA) representan un método preciso y complementario en este campo. El objetivo de este estudio fue determinar la exactitud y precisión de una herramienta de uso gratuito para la identificación de parásitos intestinales basada en IA. Se procesaron 314 muestras, se encontraron 266 parásitos y se generaron 1,051 fotografías. De este archivo, 181 imágenes fueron seleccionadas, como patrón de referencia, que luego fue comparado con la identificación a través de la aplicación de IA Parasite ID (<https://parasite.id/>). El análisis se realizó a través de las métricas de sensibilidad, especificidad, exactitud, concordancia y curva ROC, con un intervalo de confianza del 95%. Los resultados para Parasite ID fueron: sensibilidad 25.2%, IC 95% [17.2,34.4]; especificidad 79.5%, IC 95% [69.8,87.8]; exactitud 48.6%, IC 95% [41.1,56.1] y la concordancia de un 4.3%, IC 95% [-6.9,15.5]. El área bajo la curva ROC, fue de 59.9%, IC 95% [52.4 - 67.1]. Con estos resultados se evidenció la necesidad de mejorar las métricas evaluadas y ampliar el catálogo de los parásitos de importancia clínica en el caso que se desarrolle una aplicación a nivel local.

Palabras clave: Parásitos intestinales, inteligencia artificial, concordancia, validez

Abstract

In Guatemala, intestinal parasitic infections represent one of the highest prevalence in Latin America; however, the observation of the microscopic morphology of these microorganisms continues to be the gold standard for their diagnosis. This methodology compromises the results in terms of the quality and availability of qualified personnel, subsequently the search for alternatives based on artificial intelligence (AI) represents a precise and complementary method in this field. The objective of this study was to determine the accuracy and precision of a free-to-use AI-based parasite identification tool; 314 samples were processed, 266 parasites were found, and 1,051 photographs were generated. From this file, 181 images were selected, as a reference standard, which was then compared with the identification through the AI application Parasite ID (<https://parasite.id/>). The analysis was carried out through the metrics of sensitivity, specificity, accuracy, agreement grade, and ROC curve, with a 95% confidence interval. The results for Parasite ID were sensitivity 25.2%, CI 95% [17.2,34.4]; specificity 79.5%, 95% CI [69.8,87.8]; accuracy 48.6%, 95% CI [41.1,56.1] and agreement grade 4.3%, 95% CI [-6.9,15.5]. The area under the ROC curve was 59.9%, 95% CI [52.4 - 67.1]. These results highlighted the need to improve the evaluated metrics and expand the catalog of parasites of clinical importance in the event that an application is developed at the local level.

Keywords: Intestinal parasites, artificial intelligence, agreement, validity



Introducción

Las infecciones parasitarias intestinales presentan altas prevalencias en el mundo, especialmente en los trópicos y en países en vías de desarrollo. Para el 2020, la Organización Mundial de la Salud (OMS) estimó que en los países latinoamericanos una de cada tres personas estaba infectada, siendo Guatemala uno de los países con más infecciones (OPS/OMS, 2022). La observación microscópica de la morfología de los parásitos continúa siendo el estándar de oro para su diagnóstico (Smith et al., 2020), este método tiene las ventajas de ser accesible, económico y fácil de efectuar; aunque presenta inconvenientes como una baja sensibilidad y especificidad para detectar algunos protozoos intestinales, esto se explica por los métodos de tratamiento de las muestras, falta de recursos humanos y el consumo de tiempo dedicado a la observación, lo que provoca cansancio en el personal (Ryan et al., 2017). En Guatemala, el método de elección para el diagnóstico de los parásitos sigue siendo la observación directa de la morfología (Cook et al., 2009). Por otro lado, ha sido documentado que el uso de una aplicación basada en inteligencia artificial (IA) podría optimizar la observación microscópica de parásitos al apoyar en su identificación (Mathison et al., 2020).

La búsqueda de alternativas como la detección automatizada de parásitos y el análisis de las imágenes, a través de IA pueden convertirse en una solución a esta problemática. Este tipo de análisis representa una analogía de la conectividad de la óptica humana y puede mejorarse a través de una serie de algoritmos en programas de computación que utilizan inteligencia artificial (Smith et al., 2020).

A pesar de que este tipo de aplicaciones no se ha desarrollado en el país, se tuvo la oportunidad de evaluar una aplicación de uso gratuito, Parasite ID (<https://parasite.id/>) que presenta la opción de cargar imágenes de parásitos captadas desde un teléfono móvil, una cámara en un microscopio óptico convencional o tomar las imágenes a partir de un foldoscopio acondicionado a un teléfono móvil; sin embargo, cuenta con una gama limitada de parásitos para identificar.

Por esta razón, el uso de esta creó un espacio de oportunidad para el desarrollo a futuro, de una aplicación a nivel local y por lo tanto apropiarla al contexto guatemalteco.

En consecuencia, el objetivo de esta investigación fue evaluar una aplicación basada en inteligencia artificial para el diagnóstico de parásitos y determinar las brechas para su potencial uso en Guatemala. Para el efecto se evaluó, la sensibilidad, especificidad, exactitud, concordancia y curva ROC de la aplicación Parasite ID (<https://parasite.id/>) para la identificación de parásitos con respecto a un patrón de referencia que incluyó parásitos endémicos reportados en el contexto guatemalteco.

Materiales y Métodos

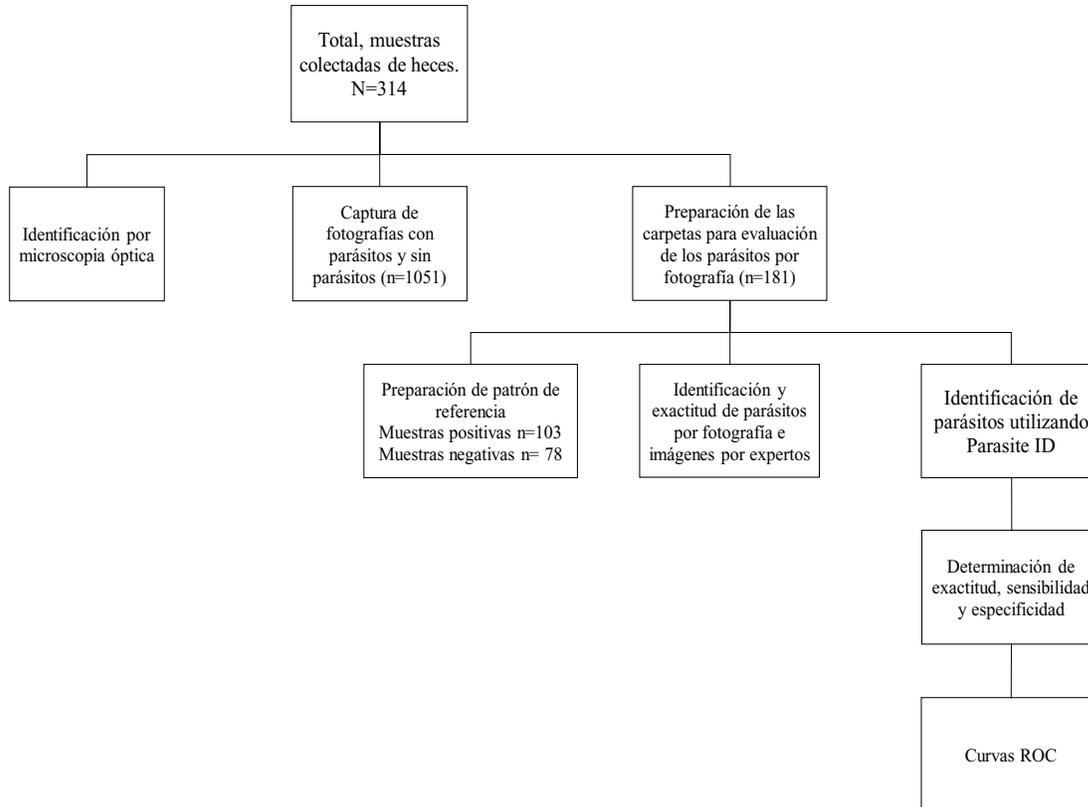
El diseño de esta investigación fue de tipo observacional descriptivo, se desarrolló con el apoyo de los estudiantes en prácticas del Ejercicio Profesional Supervisado (EPS) de la Escuela de Química Biológica en diferentes centros del país, quienes recolectaron y enviaron alícuotas de muestras de heces preservadas en formalina al 10% durante el segundo semestre de 2021. En el diagrama de la Figura 1 se presenta el flujo de trabajo para la selección de parásitos e imágenes, la evaluación por los expertos del proyecto y la aplicación de Parasite ID (<https://parasite.id/>).

Recolección de datos

Para la recolección de la información de las muestras enviadas por los estudiantes en EPS, se preparó un formulario en *Google Forms*, los campos incluidos fueron: fecha y código de colección de la muestra, datos de edad y sexo de los pacientes, parásito observado. También se agregaron campos de las características para cada parásito, que luego fueron codificadas para la clasificación de estos. Se agregó una variable denominada decodificación para el análisis final de la base de datos.

Figura 1

Diagrama de trabajo para la evaluación de la exactitud y concordancia de la aplicación Parasite ID



Técnicas e instrumentos

Las muestras se recibieron preservadas en formalina al 10% y se procesaron en los laboratorios del Departamento de Microbiología de la Escuela de Química Biológica, Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia de la Universidad de San Carlos de Guatemala. Todos los especímenes, fueron identificados con un código. Las muestras se procesaron mediante sedimentación rápida (centrifugación) por 5 min a 3,000 rpm. para concentrar cualquier parásito presente. Los sedimentos se prepararon en solución salina y yodo de lugol (García, 2021), luego se examinaron con microscopio óptico. Sobre estas preparaciones se llevaron a cabo las evaluaciones manuales y se tomaron las fotografías pertinentes a cada parásito utilizando un microscopio óptico Leica DM750 con cámara o con un teléfono móvil; para esto último se utilizó el adaptador diseñado por Quinn y colaboradores (2016).

Identificación de los parásitos

Los parásitos seleccionados en cada una de las muestras fueron identificados según las características descritas previamente en el manual de identificación de la Organización Mundial de la Salud y literatura complementaria (García, 2021). El parasitólogo del grupo de investigación efectuó a las confirmaciones necesarias como control de calidad.

Digitalización de imágenes

Para la digitalización de imágenes se utilizó un microscopio óptico (Leica DM750) equipado con una cámara de 5.0 megapíxeles (Leica ICC50) con aumentos de 100x, 400x y 1000x, la digitalización se realizó por medio del programa LAS V49 en formato tif. Para todas las fotografías se utilizó la fuente de luz a

una intensidad apropiada con un difusor y colimador para evitar la luz punteada. Las imágenes captadas por medio de teléfonos móviles se tomaron con la cámara en su máximo acercamiento óptico, con enfoque automático, en formato jpg. Estas imágenes fueron almacenadas digitalmente en archivos específicos para cada parásito o como muestras con resultados negativos, con las siguientes etiquetas: (a) morfología básica de identificación del parásito; (b) presencia de uno o varios parásitos en la misma fotografía; (c) identificación del parásito, aunque estuviera parcialmente oculto; y (d) en el caso de las muestras negativas se seleccionaron aquellas estructuras que simulaban la morfología de un parásito.

Tamaño de muestra para el patrón de referencia

Para el cálculo del tamaño de muestra se asumió que la aplicación de Parasite ID ([https:// parasite.id/](https://parasite.id/)), como una nueva prueba de diagnóstico a comparar con un patrón de referencia de una cohorte en la que se desconocía la prevalencia (Akoglu, 2022). El tamaño de muestra se estimó con un poder del 80% y un error marginal del 5%. La exactitud de la aplicación fue tomada del sitio web de la aplicación (<https://parasite.id/>) menor o igual a un 99%; mientras que para el patrón de referencia se consideró en $\leq 95\%$. El tamaño de muestra ascendió a 181 muestras con la corrección de Yates para continuidad (<https://turkjemergmed.com/calculator>). Este número se distribuyó en imágenes con ($n = 103$) y sin imágenes de parásitos ($n = 78$), las cuales conformaron el patrón de referencia.

Patrón de referencia

Las imágenes incluidas en el patrón de referencia fueron evaluadas por los expertos en Parasitología del equipo de investigación. Estas observaciones fueron ingresadas en una base de datos registrándolas como parásitos/no parásitos según fuera el caso. A su vez el género y especie fueron anotados en las imágenes con presencia de parásitos. Con lo anterior, el patrón de referencia consistió en imágenes con parásitos ($n = 103$) que incluyó a cuatro parásitos endémicos de Guatemala que aparecían en el catálogo Parasite ID (Parasite ID, n.d.). Con esto se esperaba que Parasite ID, debería identificar 103 parásitos correctamente de la siguiente manera: *Ascaris lumbricoides* ($n = 30$),

Hymenolepis nana ($n = 31$), *Trichuris trichiura* ($n = 30$) y *Taenia* sp ($n = 12$). Las imágenes sin parásitos incluyeron 48 imágenes con otros parásitos y 30 imágenes que presentaban imágenes de artefactos que simulaban parásitos; de estas se esperaba que fueran reconocidas como imágenes negativas.

Uso de la aplicación de IA - Parasite ID

Para el reconocimiento de las imágenes se utilizó una plataforma de uso gratuito Parasite ID ([https:// parasite.id/](https://parasite.id/)) la cual puede identificar huevos de *Schistosoma mansoni*, *S. haematobium*, *S. japonicum*, *Ascaris lumbricoides*, *Trichuris trichiura*, *Taenia* sp, *Hymenolepis nana* y *Fasciola hepatica*, con una sensibilidad y especificidad, según se indica, menor o igual a un 99% para ambas mediciones. La imagen de cada parásito o artefacto incluido en el estudio, se descargó en esta aplicación en formato jpg, con 300 a 900 kbs. La exactitud de la identificación se anotó y evaluó posteriormente al decodificar cada muestra.

Procesamiento y análisis de la información

Luego de que cada imagen fue subida a la aplicación Parasite ID (<https://parasite.id/>), el rendimiento en cuanto a exactitud y precisión de la aplicación fue medido a través de las métricas de sensibilidad, especificidad, exactitud, cocientes de probabilidad positivo y negativo, la curva ROC (Donis, 2012) y la concordancia (Abraira, 2001). Para ello se construyeron tablas 2x2 para calcular la relación entre la identificación de una imagen con parásitos y sin parásitos en correspondencia con los resultados obtenidos a través del patrón de referencia y Parasite ID (<https://parasite.id/>); Bravo-Grau & Cruz Q., 2015), mientras los cálculos se efectuaron a través de MedCalc Statistical Software, versión 22.009 (MedCalc Software bv, Ostend, Belgium; <https://www.medcalc.org>; 2023). Con respecto al patrón de referencia la sensibilidad se determinó como la identificación correcta de una imagen con parásitos o positiva y la especificidad como la identificación correcta de una imagen sin parásitos o negativa y la exactitud fue definida como el porcentaje de las imágenes clasificadas correctamente por Parasite ID (verdaderos positivos y verdaderos negativos) (Arias & Molina, 2013a). Mientras el cociente de probabilidad positivo (CP+) se definió como los resultados de las imágenes positivas en relación a la proporción de imágenes sin

parásitos con imagen positiva por Parasite ID, los valores mayores de CP+ indicaron mejor capacidad para identificar los parásitos (CP+ = sensibilidad/1-especificidad); mientras el cociente de probabilidad negativo (CP-), se estimó al dividir la proporción de imágenes con imágenes negativas entre la proporción de imágenes sin parásitos con prueba negativa por Parasite ID (CP+ = 1-sensibilidad/ especificidad). Los valores de CP- menores indicaron una mejor identificación por la aplicación (Gómez González et al., 2007). Con la curva ROC (receiver operating characteristic) se relacionó la proporción de verdaderos positivos (sensibilidad) con la proporción de falsos positivos (1-especificidad) y el área bajo la curva ROC (AUC, area under the curve) para determinar la mejor identificación de las imágenes con o sin parásitos según estos parámetros (Arias & Molina, 2013a; Landis & Koch, 1977). El análisis de concordancia se midió como el acuerdo o grado de coincidencia entre los resultados derivados del patrón de referencia y Parasite ID, para ello se estimó el índice Kappa (Abaira, 2001; Gómez González et al., 2007; Landis & Koch, 1977).

Todas las métricas se estimaron con un intervalo de confianza del 95% (Arias & Molina, 2013b; Bravo-Grau & Cruz Q., 2015; O'Brien & Yi, 2016). Las comparaciones de las proporciones se efectuaron a través de tablas de contingencia y una prueba de ji-cuadrado con un nivel de significancia del .05 (MedCalc Software bv, Ostend, Belgium; <https://www.medcalc.org>; 2023).

Aspectos Éticos

Los datos de este estudio fueron codificados apropiadamente sin identificadores personales de los pacientes. El estudio fue aprobado por el Comité de Bioética en Investigación en Salud de la Universidad de San Carlos de Guatemala (AC-024-2020).

Resultados

En 314 muestras recibidas, 160 (51.0%) presentaron parásitos y en 154 (49%) no se observaron parásitos. De las muestras, 224 (71.3%) provenían de mujeres y 87 (27.7%) de hombres; la edad osciló desde niños menores de un año hasta personas de 78 años. La mayoría de las muestras positivas a parásitos se encontraron en 117 (52.2%) mujeres; 169 (53.9%) personas en los grupos de edad de 19 a los 50 años; 81 (41.38%)

de los centros de salud y 79 (66.9%) de los hospitales nacionales, ver la Tabla 1.

En relación con el género y especie de los parásitos identificados ($N = 266$); la mayor frecuencia la presentaron las amebas ($n = 209$), con predominio de *E. coli* ($n = 70$). Otros parásitos identificados fueron los nematodos en los que *A. lumbricoides* ($n = 12$) fue el parásito más frecuentemente observado, ver la Figura 2. Los demás grupos presentaron menor cantidad de observaciones o no se encontraron.

Tanto de las muestras, positivas como negativas, se lograron capturar 1,051 fotografías de las cuales se seleccionaron 181 como patrón de referencia, el que fue evaluado por el equipo de expertos parasitólogos. Las estimaciones de este proceso fueron similares tanto para la sensibilidad como la especificidad, 94.7%; IC 95% [90,97] e idénticos para la concordancia, 85.6%, IC 95% [75.8,95.3]). Aunque el principal desacuerdo de los expertos giró alrededor las imágenes correspondientes a huevos de *Enterobius vermicularis* por sus características morfológicas y ooquistes de *Cystoisospora belli* por su grado de inmadurez, sin embargo, se llegó al acuerdo de que fueran presentadas a Parasite ID (<https://parasite.id/>) en la categoría de otros parásitos. El total de imágenes ($n = 181$) así evaluadas por el panel de expertos fueron mostrados para su identificación, ante Parasite ID, tal y como se describió anteriormente, ver Figura 3, Figura 4, Figura 5 y Figura 6.

Los resultados de la evaluación de la exactitud y fiabilidad de Parasite ID, se presentan en la Tabla 2. Se observa que la sensibilidad de Parasite ID fue de 25.2%, IC 95% [17.2,34.4], con una identificación correcta de uno de cada cuatro parásitos. Con respecto a la especificidad fue de 79.5%; IC 95% [69.8,87.8]. En cuanto a la concordancia, esta fue considerada como pobre (McHugh, 2012) ya que alcanzó un 4.3%, IC 95% [-6.9,15.54], mientras que los valores de los coeficientes de probabilidad positivos y negativos alcanzaron valores cercanos a uno. Por último, la exactitud encontrada fue de un 48.6%, IC 95% [41.1,56.1], considerada como baja. En cuanto a la curva ROC, el área bajo la curva (Figura 1. Materiales Suplementarios) fue de 59.9% IC 95% [52.4 - 67.1] (Metz, 2008); la sensibilidad fue de un 26.5%, IC 95% [19.6 - 34.3] y la especificidad de 93.3%, IC 95% [77.9-99.2]. Al comparar ambos resultados no se encontró diferencia significativa para la sensibilidad ($\chi^2 (1,103) = 0.09, p = .77$) mientras que para la especificidad sí fue significativo ($\chi^2 (1,78) = 6.28, p < .01$) entre una y otra medición. En lo que concierne a los valores del CPP aumentó a 3.9%

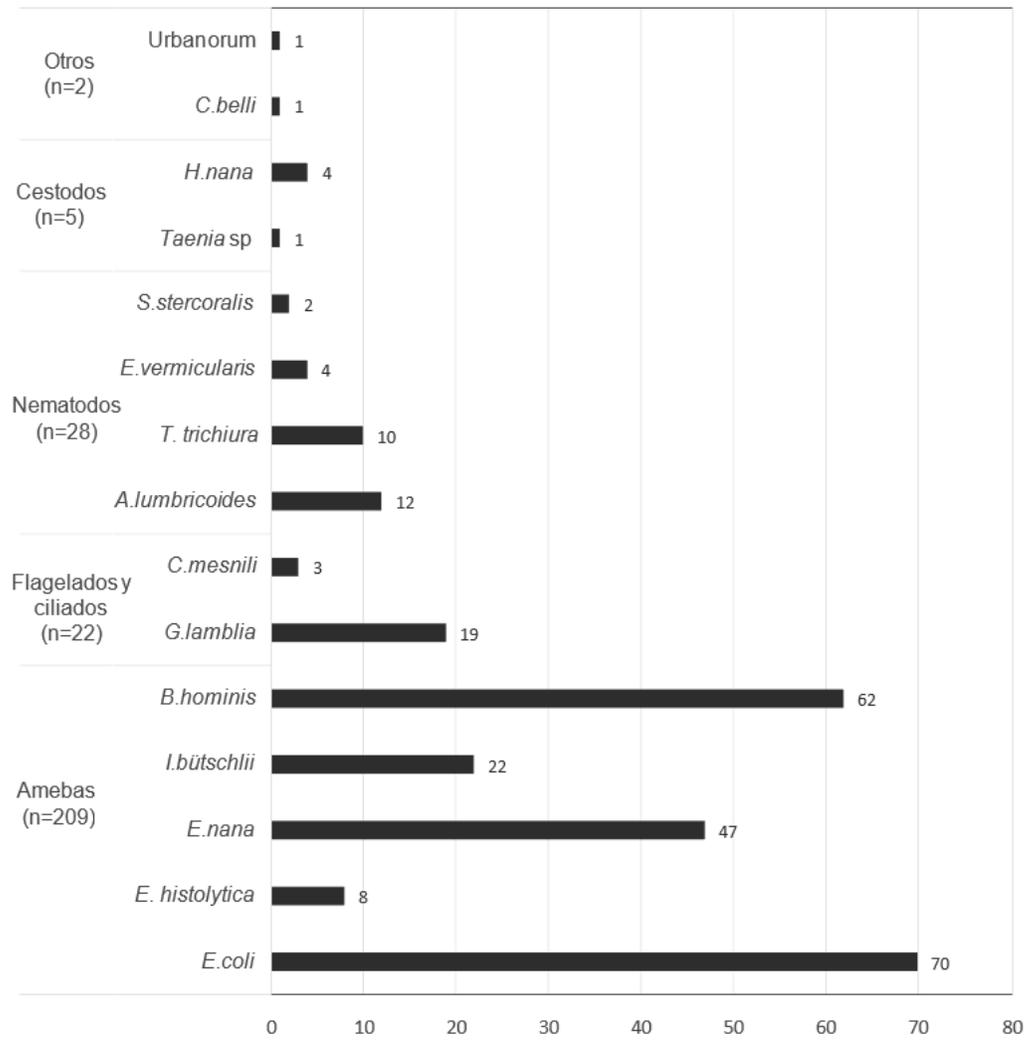
Tabla 1
Características demográficas y diagnóstico de parásitos intestinales

Características	Diagnóstico de parásitos					
	Total		Presencia		Ausencia	
	n	%	n	%	n	%
Sexo						
Femenino	224	(71.3)	117	(52.2)	107	(47.8)
Masculino	87	(27.7)	40	(46.0)	47	(54.0)
ND	3	(01.0)	3	(01.0)	(-)	(-)
Grupos de edad en años ^a						
0-1	5	(01.6)	5	(100)	0	(-)
2-12	26	(08.3)	11	(42.3)	15	(57.7)
13-18	30	(09.6)	14	(46.7)	16	(53.3)
19-30	101	(32.2)	57	(56.4)	44	(43.6)
31-50	68	(21.7)	41	(60.2)	27	(39.8)
51-78	30	(09.6)	16	(53.3)	14	(46.7)
ND	54	(17.2)	10	(18.5)	44	(81.5)
Centro de atención						
Centro de salud	196	(62.4)	81	(41.3)	115	(58.7)
Hospital	118	(37.6)	79	(66.9)	39	(33.1)

Nota. La tabla describe la procedencia de las muestras. $N = 314$ ($n = 160$, Presencia: $n = 154$, Ausencia)

^aLa media de edad de los participantes fue de 28.9 años ($DE = 15.99$ años; mediana = 26 años; rango intercuartil = 18 años)

ND = No determinado

Figura 2*Género y especies de parásitos identificados*

Nota. N = 314

Figura 3

Imágenes de parásitos identificados en la aplicación Parasite ID. Identificación correcta de huevos de *Hymenolepis nana*

Try it!

1. Click a sample image above to test this tool.
2. Click "Get Prediction!" below to see it in action.

- OR -

Upload your own microscopy image to get a prediction:

Choose File | 21-185-7az.tif.jpg

Yes, this image may be saved by Parasite ID. This helps us further our research and improve the tool.

Get prediction!

This app is not FDA approved for commercial use.

Results according to our analysis of your image:

Object	Parasite	Percent Confidence
1	Dwarf tapeworm (<i>Hymenolepis nana</i>)	99.99%

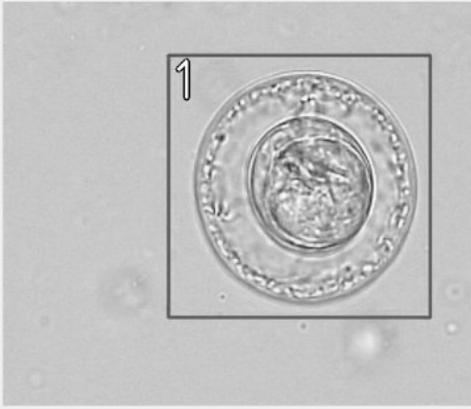


Figura 4

Imágenes de parásitos identificados en la aplicación Parasite ID. Identificación correcta de Huevos de *Ascaris lumbricoides*

- OR -

Upload your own microscopy image to get a prediction:

Choose File | 21-011-44 cmra.tif.jpg

Yes, this image may be saved by Parasite ID. This helps us further our research and improve the tool.

Get prediction!

This app is not FDA approved for commercial use.

Results according to our analysis of your image:

Object	Parasite	Percent Confidence
1	Roundworm (<i>Ascaris lumbricoides</i>)	90.74%

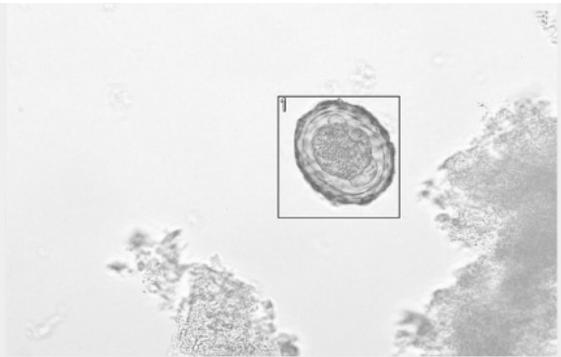


Figura 5

Imágenes de parásitos identificados en la aplicación Parasite ID. Identificación incorrecta de un artefacto

1. Click a sample image above to test this tool.
2. Click "Get Prediction!" below to see it in action.

- OR -

Upload your own microscopy image to get a prediction:

Choose File 20210728_115201.jpg

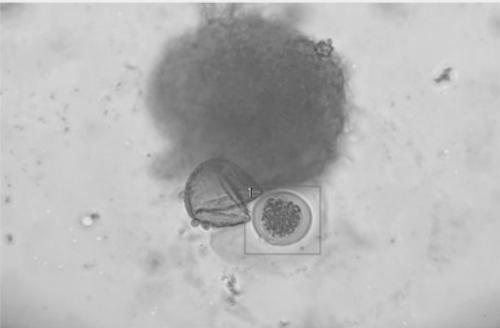
Yes, this image may be saved by Parasite ID. This helps us further our research and improve the tool.

Get prediction!

This app is not FDA approved for commercial use.

Results according to our analysis of your image:

Object	Parasite	Percent Confidence
1	<i>Schistosoma japonicum</i>	91.77%


Figura 6

Imágenes de parásitos identificados en la aplicación Parasite ID. Identificación correcta de Huevos de Taenia sp

Try it!

1. Click a sample image above to test this tool.
2. Click "Get Prediction!" below to see it in action.

- OR -

Upload your own microscopy image to get a prediction:

Choose File 20211027_111127-202.jpg

Yes, this image may be saved by Parasite ID. This helps us further our research and improve the tool.

Get prediction!

This app is not FDA approved for commercial use.

Results according to our analysis of your image:

Object	Parasite	Percent Confidence
1	Tapeworm (<i>Taenia</i> sp.)	94.30%

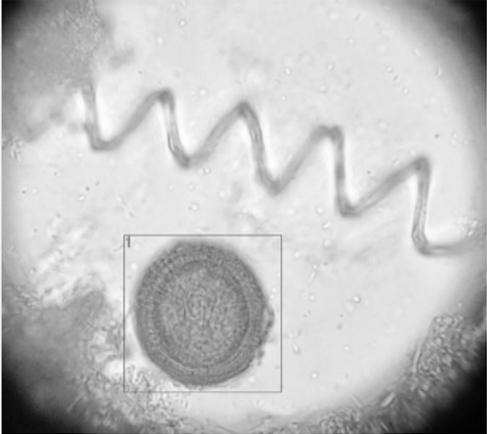


Tabla 2*Exactitud en la identificación de imágenes de parásitos por Parasite ID*

Evaluación	Sensibilidad			Especificidad			CPP ¹	CPN ¹
	N	%	[IC 95 %]	N	%	[IC 95 %]	[IC 95 %]	[IC 95 %]
Parasite ID	26/103	25.2	[17.2,34.4]	62/78	79.5	[69.8,87.8]	1.2 [07,2.1]	0.9 [0.8,1.1]
Curva ROC Parasite ID	27/103	26.5	[19.6,34.3]	73/78	93.3	[77.9,99.2]	3.9 [1.0,15.6]	0.8 [0.7,0.9]

Nota: IC= Intervalo de Confianza; ²CP Positivo= Coeficiente de probabilidad positivo S/1-E; ³CPN=Coeficiente de probabilidad negativo (1-S)/E.

($\chi^2(1,181) = 2.65, p = .10$) mientras el CPN disminuyó a 0.8% ($\chi^2(1,181) = 0.01, p = .91$).

En la Figura 7, se observa la comparación de las imágenes de parásitos intestinales incluidos en el patrón de referencia y las identificadas por Parasite ID. Se observó que de las imágenes de los parásitos contenidos en el menú de esta, fueron reconocidos *A. lumbricoides* en un 20% ($n = 6/30$), *H. nana* 39% ($n = 12/31$) y *Taenia* sp en un 66.7%, ($n = 8/12$) mientras que los huevos de *T. trichiura* no fueron distinguidos correctamente. En el caso de las imágenes sin parásitos fueron reconocidas correctamente en un 93.3% ($n = 28/30$) y otros parásitos que no estaban incluidos en la aplicación fueron clasificados como verdaderos negativos en un 70% ($n = 34/48$).

Discusión

Las infecciones parasitarias provocan millones de casos al año, además de consecuencias sanitarias y socioeconómicas en los países en vías de desarrollo. En toda América Latina y el Caribe estas afectan los grupos más desfavorecidos (Saboyá et al., 2013; World Health Organization [WHO], 2017). A pesar de esto, los métodos de diagnóstico de parásitos intestinales se ven obstaculizados por la falta de mano de obra calificada y equipo de diagnóstico especializado en los países en desarrollo (van Lieshout & Roestenberg, 2015). Por lo anterior, las aplicaciones de inteligencia artificial para la identificación de imágenes de parásitos podrían aumentar la capacidad diagnóstica, así como, la calidad de los resultados con el uso de dispositivos robustos económicos y precisos (Rajchgot et al., 2017).

En este estudio se evaluó una aplicación basada en inteligencia artificial de uso gratuito, para el diagnóstico de parásitos intestinales con respecto a un patrón de referencia validado previamente por un grupo de expertos. Todas las imágenes de parásitos que fueron identificadas por dicho grupo llenaron las características morfológicas descritas en la literatura (García, 2021). Esto último, fue necesario ya que el reconocimiento efectuado por los expertos conformaría el patrón de referencia y de forma análoga sería utilizado como una herramienta de inteligencia artificial en el reconocimiento de las imágenes de los parásitos incluidas en la presente investigación.

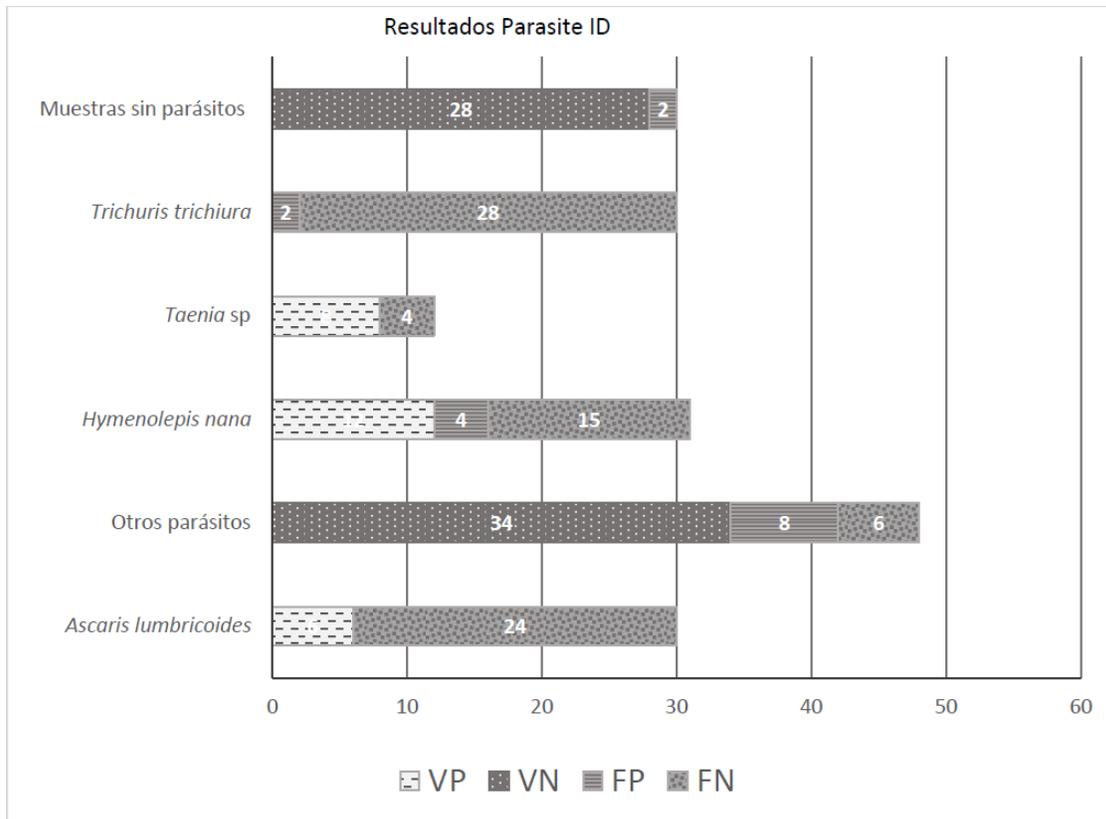
Para el estudio se determinó que Parasite ID, globalmente identificó 1 de cada cuatro de los siguientes parásitos: *Ascaris lumbricoides*, *Hymenolepis nana* y *Taenia* spp. Del total de imágenes correspondientes a *T. trichiura*, ninguna fue identificada.

Este resultado no fue congruente con lo informado en el sitio web de la aplicación, de un 90% a un 99% para la sensibilidad y especificidad. En este aspecto, Bogoch y colaboradores con un teléfono móvil, como una herramienta similar a Parasite ID, informaron una sensibilidad del 69.4% para detectar cualquier huevo de helmintos y sensibilidades del 81.0% y 54.4% para el diagnóstico de *Ascaris lumbricoides* y *T. trichiura* respectivamente, en comparación con el microscopio óptico. Por ende, Parasite ID presentó una baja sensibilidad además de no detectar a *T. trichiura*. Con respecto a la especificidad de esta aplicación, las clasificó en un 79.5%, mientras que en el mismo estudio de Bogoch y colaboradores (2013) esta estimación alcanzó un 61.5%.

La concordancia en la identificación por Parasite ID con respecto al patrón de referencia fue de 4.3%,

Figura 7

Identificación de imágenes de parásitos por Parasite ID y patrón de referencia



Nota. VP= Verdadero positivo; VN=Verdadero negativo; FP= Falso positivo; FN= Falso negativo; N= 181.

porcentaje que indicó un acuerdo pobre (McHugh, 2012) entre el patrón de referencia y la aplicación; con lo que el uso de esta aplicación en su estado actual no se podría considerar reproducible. La sensibilidad de 25.2%, con un área bajo la curva de 0.59, y con una baja concordancia de 4.3 y exactitud de 48.6% alcanzada por Parasite ID, revelan que, en una aplicación a desarrollar se deben mejorar estas métricas con base a la variedad de parásitos que se diagnostican en Guatemala. Así mismo, sería necesario mejorar la identificación con respecto a Parasite ID de los huevos de *Taenia* spp. ya que fueron identificados dos tercios las imágenes (66.7%); una de cada cinco de los huevos de *A. lumbricoides* (20%); menos de la mitad para los huevos de *H. nana* (39%); mientras los huevos de *T. trichiura* en ninguna ocasión. Estos resultados mos-

traron a su vez que la exactitud (48.6%) de aplicación fue baja y no contaba con el suficiente entrenamiento.

Alva y colaboradores (2017), evaluaron un algoritmo a través de un modelo de regresión logística, con el que se logró identificar automáticamente huevos de *Taenia* sp., *Trichuris trichiura*, *Diphyllobothrium latum* y *Fasciola hepatica*. Los resultados así obtenidos mostraron entre un 99.1% a un 100% de sensibilidad y 98.13% a 98.3% de especificidad, sin positividad cruzada para otros parásitos (Alva et al., 2017). La metodología de análisis de este modelo podría ser útil al momento de desarrollar una aplicación a nivel local.

Con respecto a las imágenes falso positivas identificadas por Parasite ID, los resultados mostraron que una potencial aplicación a desarrollar necesitaría incluir características de entrenamiento más específicas

y sensibles de la morfología de los parásitos a identificar a nivel local. Por consiguiente, las tipologías de las imágenes de parásitos endémicos en diferentes estadios o presentaciones se deberán describir de forma minuciosa en el desarrollo de una aplicación para Guatemala.

Aun cuando en esta investigación se logró identificar aspectos importantes para el desarrollo de una aplicación IA para el reconocimiento de parásitos, se identificaron las siguientes limitaciones: (a) el catálogo de identificación de Parasite ID no abarcó la amplia gama de parásitos que se reportan como endémicos a nivel local, por lo que no fue posible evaluar en su totalidad y (b) las fotografías clasificadas como no claras por Parasite ID, pudieron haber provocado algún tipo de sesgo para su clasificación tales como imágenes negativas, sin embargo, estas fotografías fueron identificadas correctamente por los expertos participantes en el estudio.

En conclusión, los ajustes a las brechas identificadas en este estudio, el diagnóstico de parásitos utilizando aplicaciones basadas en inteligencia artificial serían obligatorios para mejorar los resultados en cuanto a la exactitud y precisión de una potencial aplicación en el país. Las instituciones de enseñanza superior pueden apoyar en el desarrollo de estas herramientas y así integrar nuevas formas de enseñanza, investigación y a su vez mejorar el servicio de atención en salud que se prestan a nivel local.

Agradecimientos

Apoyo en el envío de muestras: Estudiantes EPS, Werner González T, Werner, Ana Cecilia Cocón U, Ana Lucía Morales, Ayde Raquelina Jiménez Domingo, Jaqueline Cano, Cindy Mazariegos, Vivel Morales, Nancy Pineda S, Sofia Mariana García F, Gabriela Segura M, Pamela Coronado, Programa de Experiencias Docentes con la Comunidad, Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia.

Coordinación de estudiantes de EPS: M.Sc. Emilio García, Coordinador Programa de Ejercicio Profesional Supervisado Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia.

Apoyo en el uso de recurso e instalaciones: Licda. Rosa María Zannuncini de Menéndez, Coordinadora Laboratorio Clínico Popular (LABO- CLIP) Programa de Experiencias Docentes con la Comunidad, Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia. M.Sc. Osberth

Morales, director de Escuela Química Biológica, Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia.

Apoyo institucional: Dra. Eunice Enríquez PhD, Instituto de Investigaciones Químico Biológicas, Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia.

Apoyo uso de aplicación Parasite ID: Kiersten Henderson, Vicki Foss. Parasite ID. (s.f.). Parasite ID. <https://parasite.id/>

Contribución de los autores

Coordinación, elaboración y revisión del Documento: BS

Diseño de la recolección de datos o del trabajo en campo: AM-S

Recolección o contribución de datos o realización del trabajo de campo: AM-S

Limpieza, sistematización, análisis o visualización de datos: AM-S

Participación en análisis de datos, estructura y en la escritura del documento: AM-S, MG-C, MA-P

Materiales suplementarios

Los materiales suplementarios de este artículo se encuentran en la página web de la revista a través <https://doi.org/10.36829/63CTS.v10i1.1344>.

Referencias

- Abraira, V. (2001). El índice kappa. *Semergen-Medicina de Familia*, 25(5), 247-249.
- Akoglu, H. (2022). User's guide to sample size estimation in diagnostic accuracy studies. *Turkish Journal of Emergency Medicine*, 22(4), 177-185. <https://doi.org/10.4103/2452-2473.357348>
- Alva, A., Cangalaya, C., Quiliano, M., Krebs, C., Gilman, R. H., Sheen, P., & Zimic, M. (2017). Mathematical algorithm for the automatic recognition of intestinal parasites. *PLoS ONE*, 12(4), 1–13. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0175646>
- Arias, M. M., & Molina, M. (2013a). Características de las pruebas diagnósticas. *Pediatría Atención Primaria*, 15(58), 169-173. <https://doi.org/10.4321/S1139-76322013000200013>

- Arias, M. M., & Molina, M. (2013b). El significado de los intervalos de confianza. *Pediatría Atención Primaria, 15*(57), 91-94. <https://doi.org/10.4321/S1139-76322013000100016>
- Bogoch, I. I., Andrews, J. R., Speich, B., Utzinger, J., Ame, S. M., Ali, S. M., & Keiser, J. (2013). Short report: Mobile phone microscopy for the diagnosis of soil-transmitted helminth infections: A proof-of-concept study. *American Journal of Tropical Medicine and Hygiene, 88*(4), 626-629. <https://doi.org/10.4269/ajtmh.12-0742>
- Bravo-Grau, S., & Cruz Q., J. P. (2015). Estudios de exactitud diagnóstica: Herramientas para su Interpretación. *Revista Chilena de Radiología, 21*(4), 158-164. <https://doi.org/10.4067/S0717-93082015000400007>
- Cook, D. M., Swanson, R. C., Eggett, D. L., & Booth, G.M. (2009). A Retrospective Analysis of Prevalence of Gastrointestinal Parasites among School Children in the Palajunoy Valley of Guatemala. *Journal of Health, Population, and Nutrition, 27*(1),31. <https://doi.org/10.3329/JHPN.V27I1.3321>
- Donis, J. H. (2012). Evaluación de la validez y confiabilidad de una prueba diagnóstica (Assessment of the validity and reliability of a diagnostic test). *Avances en Biomedicina, 1*(2), 73-81.
- García, L. S. (2021). *Practical guide to diagnostic parasitology* (3rd ed.). ASM Press.
- Gómez González, C., Pérez Castán, J. F., & Martín, J. L. R. (2007). Capítulo 8: Pruebas diagnósticas. Concordancia. *SEMERGEN - Medicina de Familia, 33*(10), 509-519. [https://doi.org/10.1016/S1138-3593\(07\)73955-2](https://doi.org/10.1016/S1138-3593(07)73955-2)
- Landis, J. R., & Koch, G. G. (1977). The Measurement of Observer Agreement for Categorical Data. *Biometrics, 33*(1), 159-174. <https://doi.org/10.2307/2529310>
- Mathison, B. A., Kohan, J. L., Walker, J. F., Smith, R. B., Ardon, O., & Couturier, M. R. (2020). Detection of intestinal protozoa in trichrome-Stained stool specimens by use of a deep convolutional neural Network. *Journal of Clinical Microbiology, 58*(6), Artículo e02053. <https://doi.org/10.1128/JCM.02053-19>
- McHugh, M. L. (2012). Interrater reliability: The kappa statistic. *Biochemia Medica, 22*(3), 276-282. <https://doi.org/10.11613/bm.2012.031>
- Metz, C. E. (2008). ROC analysis in medical imaging: A tutorial review of the literature. *Radiological Physics and Technology, 1*(1), 2-12. <https://doi.org/10.1007/S12194-007-0002-1>
- O'Brien, S. F., & Yi, Q. L. (2016). How do I interpret a confidence interval? *Transfusion, 56*(7), 1680-1683. <https://doi.org/10.1111/TRF.13635>
- OPS/OMS. (2022). Geohelminthiasis. <https://www.paho.org/es/temas/geohelminthiasis>
- Parasite ID. (n.d.). Parasite ID | Home. Retrieved June 28, 2020, from <https://parasite.id/>
- Quinn, J. A., Nakasi, R., Mugagga, P. K. B., Byanyima, P., Lubega, W., & Andama, A. (2016). Deep convolutional neural networks for microscopy Based point of care diagnostics. *arXiv:1608.02989*, 1-12. <http://arxiv.org/abs/1608.02989>
- Rajchgot, J., Coulibaly, J. T., Keiser, J., Utzinger, J., Lo, N. C., Mondry, M. K., Andrews, J. R., & Bogoch, I. I. (2017). Mobile-phone and handheld microscopy for neglected tropical diseases. *PLoS Neglected Tropical Diseases, 11*(7). <https://doi.org/10.1371/JOURNAL.PNTD.0005550>
- Ryan, U., Paparini, A., Oskam, C. (2017). New technologies for detection of enteric parasites. *Trends in Parasitology, 33*(7), 532-546. <https://doi.org/10.1016/j.pt.2017.03.005>
- Saboyá, M. I., Catalá, L., Nicholls, R. S., & Ault, S.K. (2013). Update on the Mapping of Prevalence and Intensity of Infection for Soil-Transmitted Helminth Infections in Latin America and the Caribbean: A Call for Action. *PLoS Neglected Tropical Diseases, 7*(9). <https://doi.org/10.1371/JOURNAL.PNTD.0002419>
- Smith, K. P., Wang, H., Durant, T. J. S., Mathison, B. A., Sharp, S. E., Kirby, J. E., Long, S. W., & Rhoads, D. D. (2020). Applications of Artificial Intelligence in Clinical Microbiology Diagnostic Testing. *Clinical Microbiology Newsletter, 42*(8), 61-70. <https://doi.org/10.1016/j.clinmicnews.2020.03.006>

van Lieshout, L., & Roestenberg, M. (2015). Clinical consequences of new diagnostic tools for intestinal parasites. *Clinical Microbiology and Infection*, 21(6), 520-528. <https://doi.org/10.1016/J.CMI.2015.03.015>

World Health Organization. (2017). Integrating neglected tropical diseases into global health and development: Fourth WHO report on neglected tropical diseases. <https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/255011/9789241565448-eng.pdf>

Evaluación de una aplicación basada en inteligencia artificial para el diagnóstico de parásitos intestinales

Evaluation of an application based on artificial intelligence (AI) for the diagnosis of intestinal parasites and its potential use in Guatemala

Blanca Samayoa-Herrera ¹, Anneliese Moller-Sundfeldt ¹, Martin Gil-Carrera ¹,
Mildred Alquijay-Pacheco ²

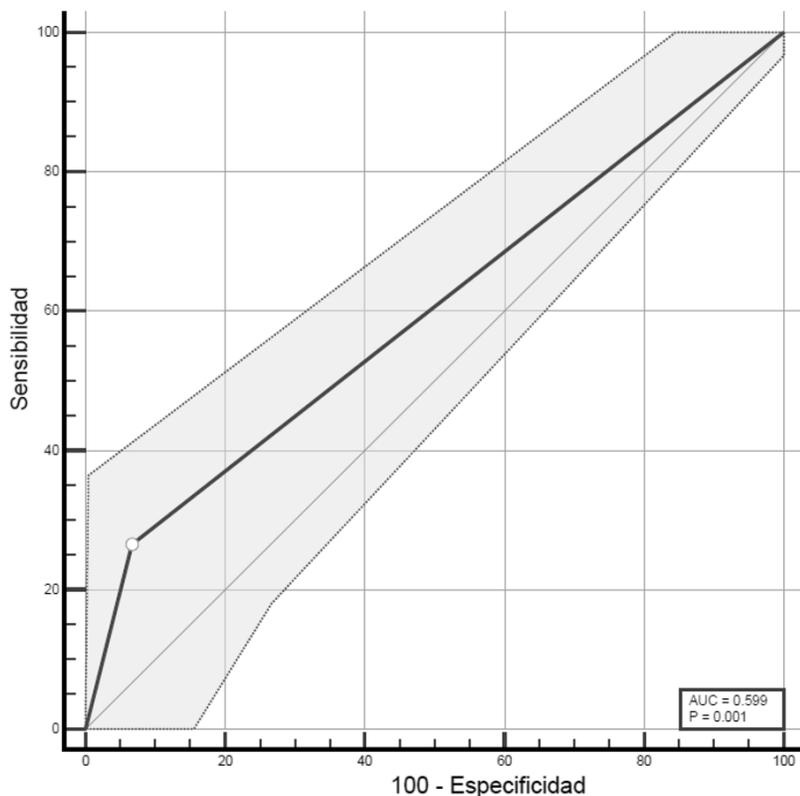
¹Escuela de Química Biológica. ²Programa de Experiencias Docentes con la Comunidad de la Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia, Universidad de San Carlos de Guatemala

*Autor al que se dirige la correspondencia: besamayoah@gmail.com

Materiales suplementarios

Figura 1

Área bajo la curva del receptor operador (ROC) de la aplicación para identificación de imágenes parásitos Parasite ID



Nota. $N = 181$. Área bajo la curva (AUC, por sus siglas en inglés) = 59.9% IC 95% [52.4,67.1]



Efecto protector de Pericón (*Tagetes lucida*) contra daño renal inducido por gentamicina, nefropatía diabética y deshidratación por calor

Ameliorative effects of Tagetes lucida on gentamicin-induced nephrotoxicity, diabetic nephropathy and heat exposure in animal models

Rodrigo Castañeda ^{1,2*}, Caroline Aldana¹, Agustín Aceituno¹, David Morales¹,
Diana Velasquez ¹, Cesar Rodriguez¹, Sully M. Cruz ^{2,3}

¹Laboratorio de investigación de farmacología experimental y Bioterio, ²Escuela de Química farmacéutica, y ³Laboratorio de investigación de productos naturales, Facultad de Farmacia, Universidad San Carlos, Guatemala

*Autor al que se dirige la correspondencia: castaneda.rodrigo@usac.edu.gt

Recibido: 22 de mayo 2022 / Revisión: 11 de marzo 2023 / Aceptado: 30 de mayo 2023

Resumen

Existe un gran número de especies utilizadas tradicionalmente en Guatemala para el tratamiento de condiciones asociadas al riñón, con una importante relación con el sistema de purificación de sangre, de excreción de sustancias y de protección renal. Sin embargo, hasta la fecha no ha sido explorada la actividad nefroprotectora de especies tradicionalmente reportadas en Guatemala para afecciones renales. El objetivo de este estudio fue evaluar *in vivo* un extracto etanólico de *Tagetes lucida* Cav. en modelos *in vivo* de daño renal por nefrotoxicidad inducida por gentamicina, nefropatía diabética inducida por estreptozotocina, y deshidratación por exposición a calor. Para ello, se indujo nefrotoxicidad en ratas con administración de gentamicina (100 mg/kg I.P.) durante 8 días, diabetes inducida por estreptozotocina (110 mg/kg I.P.) con evaluación por 3 meses de progresión diabética, y deshidratación por calor tras 5 semanas de exposición a 37° C por 1.5 h, con evaluaciones de peso corporal, evaluaciones de glucosa, creatinina y urea en sangre y en orina. La administración oral de 100 mg/Kg de *T. lucida*, protegió significativamente ($P \leq .05$) ante la elevación de los niveles de creatinina y urea en orina y sangre, inducida por gentamicina en ratas y en nefropatía diabética en ratones. Finalmente, el extracto de *T. lucida* suprimió significativamente la elevación de los niveles de urea en orina comparado con el grupo control deshidratado por calor privado de agua. Estos datos sugieren que *T. lucida* tiene un potencial efecto nefroprotector y metabólico que podría ser beneficioso en prevenir daño renal.

Palabras clave: *In vivo*, Aminoglucósidos; hiperglucemia; nefropatía de etiología desconocida; Pericón

Abstract

There are multiple noxious factors for the kidney that have a considerable impact on public health, such as hypertension, diabetes, exposure to nephrotoxic drugs, polluting environmental factors such as heavy metals or pesticides, and chronic dehydration, among others. Several species are traditionally used for the treatment of conditions associated with the kidney, with an important relationship with the blood purification system, substance excretion, and renal protection. However, the nephroprotective activity of species traditionally reported in Guatemala for kidney disorders has not been explored to date. This study aimed to evaluate the *in vivo* protective effects of an ethanolic extract of *Tagetes lucida* Cav. against gentamicin-induced nephrotoxicity, streptozotocin-induced diabetic nephropathy, and dehydration produced by heat exposure. Nephrotoxicity was induced in male rats by the administration of intraperitoneal gentamicin (IP, 100 mg/kg) for 8 days; diabetes was induced by streptozotocin (110 mg/kg IP) with evaluation of diabetic progression for 3 months; and dehydration was produced by continuous heat exposure of 1.5 hours at 37° C for 5 weeks, assessing body weight, blood glucose, creatinine, urea and protein in blood and urine. Oral administration of 100 mg/Kg of *T. lucida* significantly attenuated ($P \leq .05$) the elevation of creatinine and urea levels in rats exposed to gentamicin and in diabetic nephropathy in mice. Finally, the *T. lucida* extract significantly suppressed the elevation of urea levels in urine compared to the water-deprived heat-dehydrated control group. These data suggest that *T. lucida* has potential nephroprotective and metabolic effects that could be beneficial in preventing kidney damage.

Keywords: Aminoglycosides; hyperglycemia; dehydration, kidney, *in vivo*



Introducción

Aproximadamente 1.2 millones de personas fallecen al año por enfermedad renal crónica, con un aumento global del 32% desde 2005, y alrededor de 1.7 millones por daño de tipo agudo (Luyckx et al., 2018). Esto se relaciona con una tremenda carga económica para los sistemas de salud, sobre todo en países en vías de desarrollo (Nugent et al., 2011). Existen múltiples factores nocivos para el riñón que tienen un impacto considerable en salud pública, como hipertensión, diabetes, envejecimiento, exposición a fármacos nefrotóxicos, factores ambientales contaminantes como metales pesados, deshidratación crónica, entre otros. Esto ha impactado la investigación preclínica a partir del desarrollo de modelos animales que permitan comprender la fisiopatología en el riñón, además de utilizarlos para proponer distintos agentes farmacológicos que puedan proteger o regular funciones renales (Castañeda et al., 2020). Entre los factores etiológicos en modelos celulares y en modelos animales destacan el daño agudo producido por fármacos nefrotóxicos como aminoglucósidos (Abdel-Azeem et al., 2017; El-Kashef et al., 2015; Mahmoud, 2017). Existen otros factores con mayor impacto en clínica que tiene un factor crónico, como nefropatía diabética (Deshpande et al., 2008) o recientemente deshidratación por calor (Laux et al., 2016), que tienen el inconveniente en modelos animales a ser costosos y/o prolongados, por lo que puede resultar útil asociarlos a un modelo de tamizaje farmacológico de nefroprotección, como el modelo agudo de daño renal inducido por un nefrotóxico, para el desarrollo de nuevas opciones farmacológicas.

Mesoamérica es una región que se ha destacado por su patrimonio cultural y por ser una de las regiones con mayor biodiversidad del mundo, siendo uno de los centros más eminentes de domesticación de plantas (Pickersgill, 2016). Existen varias especies utilizadas tradicionalmente para el tratamiento de condiciones con importante relación con el sistema de purificación de sangre y de excreción de sustancias asociado al riñón (Castañeda et al., 2023). Hasta la fecha, ningún estudio etnofarmacológico enfocado a poblaciones guatemaltecas se ha buscado elucidar directamente la actividad nefroprotectora de las especies tradicionalmente reportadas en funciones renales. Entre estas especies, se encuentra *Tagetes lucida* Cav, conocida popularmente como pericón, la cual es una especie nativa muy importante en medicina tradicional de Guatemala, usada principalmente para enfermedades del sistema nervioso central, para problemas gastroin-

testinales, y para afecciones urinarias y purificación de la sangre (Hitziger, 2016). La administración oral de extractos crudos acuosos y etanólicos de las partes aéreas de *T. lucida*, así como las fracciones de acetato de etilo y acetato de etilo: hexano del extracto orgánico, han demostrado actividades de tipo ansiolítico, sedante y antidepresivo en ratones y ratas (Guadarrama-Cruz et al., 2008, 2012; Pérez-Ortega et al., 2016). Así mismo, recientemente se ha demostrado su actividad anti-inflamatoria, antiespasmodica y antidiarreica *in vivo* en varios modelos animales (Hernandez-Leon et al., 2020; Nayeli et al., 2020; Ventura-Martinez et al., 2020). Tomando en cuenta que en los últimos años se ha incrementado considerablemente el conocimiento de los mecanismos fisiopatológicos asociados a muerte celular renal, donde se conocen algunos productos naturales que podrían ser propuestos por su afinidad en bloquear mecanismos en común de enfermedad renal, no existen reportes donde exploren la protección de células renales a partir de especies vegetales usadas tradicionalmente en la población guatemalteca para proteger al riñón.

Es por ello que el objetivo de este estudio fue evaluar la actividad nefroprotectora de *T. lucida* en distintos modelos de daño renal en roedores inducido por nefrotoxicidad, nefropatía diabética y deshidratación por exposición a calor. Para ello, se indujo nefrotoxicidad en ratas macho, con administración de gentamicina intraperitoneal (I.P., 100 mg/kg) durante 8 días, diabetes inducida por estreptozotocina (STZ, 110 mg/kg I.P.) con evaluación de 3 meses de progresión diabética, y por deshidratación por calor tras 5 semanas de exposición a 37° C por 1.5 h, con evaluaciones de peso corporal, evaluaciones de glucosa, creatinina, y urea, en sangre y en orina. Los datos muestran que *T. lucida* tiene un potencial efecto nefroprotector y metabólico *in vivo* que podría ser beneficioso en prevenir daño renal, siendo el primer reporte de confirmación de su uso tradicional en función renal.

Materiales y Métodos

Declaración ética

Todos los protocolos y procedimientos *in vivo* se realizaron en acorde a la guía del Instituto Nacional de Salud de Estados Unidos para el Cuidado y Uso de animales de laboratorio (NIH 8023, revisado en 1996) y fueron aprobados por el comité de ética institucional de la Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia, Universidad de San Carlos de Guatemala (CICUALCCQQF-01-2020).

Animales

Todos los animales se mantuvieron desde su nacimiento a una temperatura de $22^{\circ}\text{C} \pm 3$, humedad de 40-60%, con un ciclo de luz oscuridad 12/12, con comida y agua *ad libitum* y con control diario de sus comportamientos innatos. Ratas Wistar macho de 7 semanas de edad de generación 1 y ratones de 7 semanas de edad CD-1 generación 4, fueron obtenidas y almacenadas en el Bioterio de la Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia (obtenidas de Charles River Laboratories, Massachusetts, USA). En el inicio de cada experimento se utilizaron animales de la misma fecha de nacimiento con una variación máxima de ± 3 días y se balancearon los grupos en función del peso y otros parámetros propios de cada modelo.

Modelos *in vivo*

Nefrotoxicidad en ratas se realizó tras la administración de una solución de gentamicina intraperitoneal (I.P.) durante 8 días con pretratamiento 1 h antes (Sun et al., 2018). Posteriormente en las drogas vegetales activas se evaluó daño renal producido por diabetes inducida por STZ tras 14 semanas de daño diabético en ratones CD-1 (Calvin et al., 2010); y deshidratación tras un modelo de 5 semanas de exposición de ratas Wistar a 1-2 h diarias a 37°C en incubadora para roedores (Ugo Basile, Geronio, Varase, Italia) con administración oral posterior a la inducción (García-Arroyo et al., 2019). La administración oral y registro de pesos se realizó a diario en todos los experimentos, excepto en deshidratación por calor, en donde se realizaba 5 veces por semana.

Drogas vegetales

El extracto etanólico al 70% de hojas de *Tagetes lucida* (rendimiento 48.1%) fue realizado en el Laboratorio de Investigación de Productos Naturales (LIPRONAT), Facultad de Farmacia (USAC). Todos los parámetros de colección de la muestra vegetal fueron registrados y almacenados con número de espécimen de herbario (BIGU1127, Herbario de la Escuela de Biología, Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia, USAC).

Drogas de referencia o inducción

Para los modelos de nefrotoxicidad se utilizó solución de gentamicina 100 mg/mL (Gentex, Queretaro,

México). Para los modelos de diabetes se utilizó STZ (MP Biochemicals, LLC, Illkirch, Francia) preparada inmediatamente en buffer de citratos (pH 4.5). Los extractos secos fueron diluidos en dimetilsulfoxido (Merck, Darmstadt, Alemania), ketamina 100 mg/mL (Dutchfarm. Mederhost den Berg, Holanda) y xilazina 20 mg/mL (Dutchfarm. Mederhost den Berg, Holanda) fueron utilizados para inducir anestesia en el momento de eutanasia. Glibenclamida (Sigma-Aldrich, St. Louis, USA) fue utilizada como control positivo en diabetes y N-acetilcisteína (NAC; Sigma-Aldrich, St. Louis, USA) como control positivo en nefrotoxicidad.

Marcadores renales y metabólicos

La colección de orina se realizó en cajas metabólicas y los volúmenes de orina colectada de cada animal fueron medidos volumétricamente. La colección de 3 mL sangre fue obtenida vía punción cardiaca, recolectada en tubos de polipropileno sin aditivos de 3 mL, centrifugada a 5000 rpm por 10 min. El plasma y la orina obtenidas fueron analizadas usando un método colorimétrico (Espectrofotómetro Microlab 300) siguiendo los protocolos de los kits de prueba (DiaSys, Holzheim, Alemania). Se midieron creatinina en plasma y orina, urea en plasma y orina, glucosa excretada en orina. Para las evaluaciones de creatinina y urea en orina se realizaron diluciones 1:50. Las evaluaciones de glucosa en sangre se realizaron en punción de cola con usando un sistema de monitoreo de glucosa en sangre (One Touch; Lifescan, Milpitas, NV).

Análisis estadístico

Los datos se analizaron utilizando el software estadístico Prism 8 (GraphPad, San Diego, CA, USA). Todos los datos se expresaron como la media \pm error estándar de la media (EEM). Las comparaciones estadísticas de las pruebas metabólicas, análisis de plasma y orina se realizarán utilizando ANOVA de una vía con comparación múltiple posterior a la prueba de Dunnett. Las comparaciones estadísticas en pesos y glucosa en diferentes días (o sus diferenciales con valores basales al inicio del experimento) se realizaron a partir de ANOVA de dos vías entre los grupos tratados con vehículo y los tratados con el daño experimental y tratamientos farmacológicos, seguido de la prueba de comparación de Bonferroni. Los valores de $P < .05$ se consideraron estadísticamente significativos.

Resultados

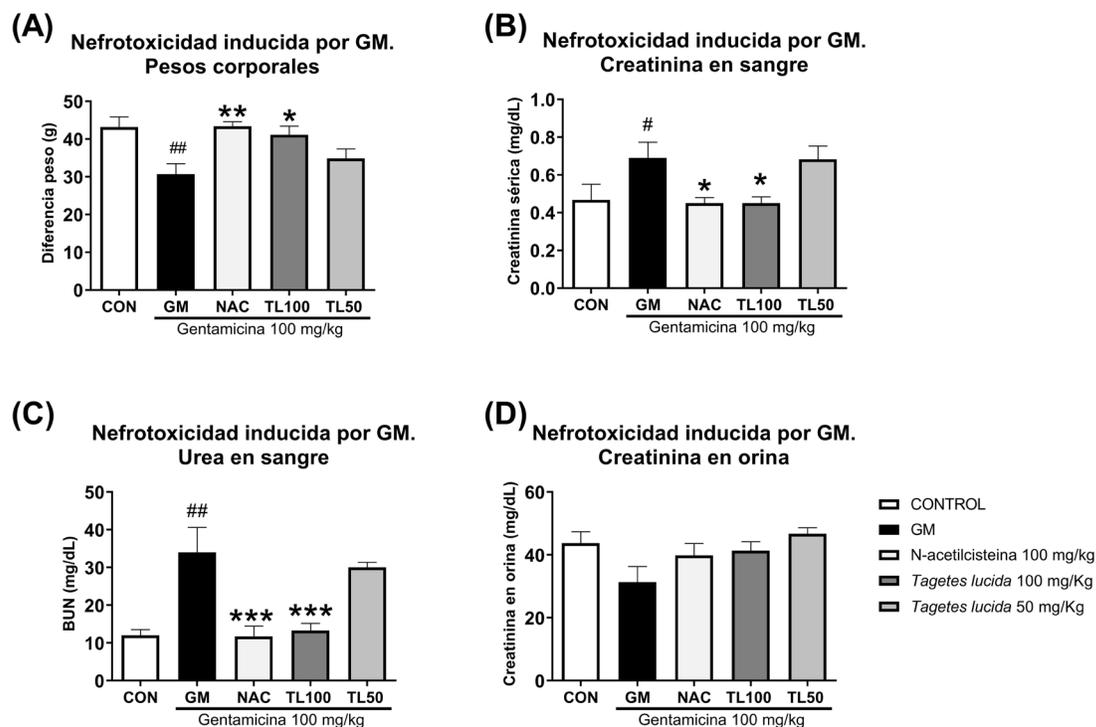
Inicialmente, se evaluó la actividad nefroprotectora aguda del extracto etanólico al 70% de hojas de *Tagetes lucida* en ratas Wistar ($n = 8$) en el modelo de nefrotoxicidad inducida por gentamicina comparado con NAC como control positivo. La evaluación preliminar de pesos corporales demostró una significativa reducción de pesos corporales en el grupo control administrado con gentamicina (GM) después de 8 días de administración ($P < .05$) comparado con el grupo control con salino (Figura 1A). La administración oral de NAC y *T. lucida* 100 mg/kg protegió significativamente

($P < .05$) la reducción de pesos inducidas por gentamicina, y la elevación de creatinina plasmática y de nitrógeno de urea en sangre (BUN), comparados con el grupo control administrado con gentamicina (Figura 1B, 1C). Los valores promedio de creatinina en orina fueron mayores en el grupo administrado con NAC y *T. lucida* comparado con el grupo GM, similares al grupo de control administrado con salino (Figura 1E).

Posteriormente, se evaluó la actividad nefroprotectora crónica en ratones CD-1 ($n = 8$) en el modelo de nefropatía diabética inducida por STZ 110 mg/Kg comparado con Glibenclamida como control positivo. La evaluación de pesos corporales reveló una significativa reducción producida por diabetes en el grupo control

Figura 1

Efectos de *Tagetes lucida* en ratas Wistar macho administradas con Gentamicina (GM) ($n = 8$)



Nota. Panel A: Cambios en peso corporal tras 8 días de administración concomitante de gentamicina con extractos o control positivo. Panel B: Evaluación en creatinina sérica tras 8 días de administración concomitante de gentamicina con extractos o control positivo. Panel C: Nitrógeno de urea en sangre tras 8 días de administración concomitante de gentamicina con extractos o control positivo. Panel D: Creatinina en orina tras 8 días de administración concomitante de gentamicina con extractos o control positivo. Se demostró una significativa protección de *T. lucida* a dosis de 100 mg/kg, sobre la elevación de peso corporal, creatinina y urea en sangre, producidas por GM comparado con el grupo control salino, de forma similar al control positivo N-acetilcisteína. Los valores de # $P < .05$, ## $P < .01$ fueron considerados significativos comparados con el grupo control salino (normal). Los valores de * $P < .05$, ** $P < .01$, *** $P < .001$ fueron considerados significativos comparados con el grupo control GM.

STZ comparada con el grupo control no diabético desde el día 22 de inducción de STZ (datos no mostrados). Posterior a las 4 semanas de inducción de diabetes (día 0), los grupos fueron asignados al azar según al valor promedio de pesos y niveles de glucosa comparable en cada grupo para que fuesen homogéneos, y se comenzó la administración oral del extracto de *T. lucida* durante 10 semanas, revelando un significativo menor peso corporal en los ratones diabéticos comparado con los ratones no diabéticos (Figura 2A). El grupo administrado con glibenclamida presentó valores promedio mayores al grupo control STZ. La administración oral diaria de *T. lucida* no mostró una protección a la pérdida de peso producida por diabetes inducida por STZ tras 10 semanas de evaluación. Después de 30 y 60 días de progresión diabética los valores de glucosa en sangre fueron aumentando significativamente en el grupo STZ control, comparado con el grupo control normal (Figura 2B, 2C). Después de 30 y 60 días de administración de tratamientos, glibenclamida y *T. lucida* redujeron significativamente los aumentos en los niveles de glucosa comparados con los valores basales (Figura 2C, 2D). La evaluación en creatinina sérica, orina de nitrógeno de urea, y excreción de glucosa, demostró que *T. lucida* protegió significativamente la elevación éstos valores comparado con el grupo control diabético de forma similar al control positivo hipoglucemiante glibenclamida (Figura 2E, 2I).

Posteriormente, se procedió a evaluar la actividad nefroprotectora de *T. lucida* en ratas macho de 7 semanas (n=8) en el modelo de deshidratación por calor. La evaluación de pesos corporales reveló una reducción de los valores promedio producida por deshidratación por calor desde el día 19, la cual fue ligeramente mayor en el grupo administrado con *T. lucida* (Figura 3A). La evaluación en orina de nitrógeno de urea y creatinina sérico demostró que *T. lucida* suprimió significativamente la elevación estos valores comparado con el grupo control deshidratado por calor privado de agua (Figura 3B, 3C). Sin embargo, aunque se observaron menores valores promedio, no se observaron alteraciones significativas en los valores de nitrógeno de urea en sangre y creatinina en orina (Figura 3D, 3E). Adicionalmente el control positivo, no demostró actividad nefroprotectora en este modelo.

Discusión

Mundialmente la nefropatía es la complicación más frecuente producida por diabetes, con 27.8% de

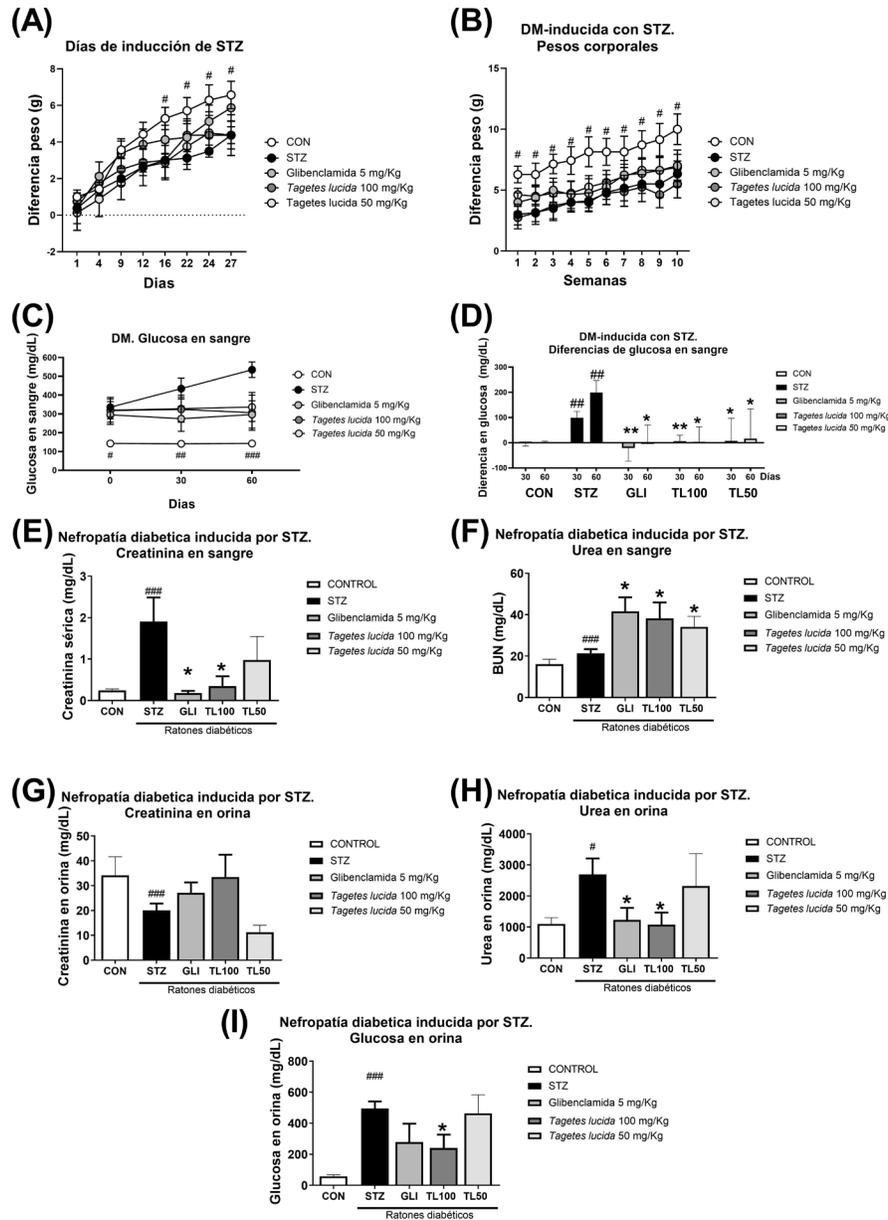
incidencia, seguida de pie diabético con 22.9%, y seguida de problemas visuales con 18.9% (Deshpande et al., 2008). Esto lo hace una complicación relevante a nivel mundial, sobre todo en países donde el índice de diabetes tiende a aumentar, como lo es en Guatemala, siendo un país que presenta dentro de las principales diez causas de mortalidad la insuficiencia renal crónica (Bream et al., 2018). Adicionalmente, existe una epidemia regional emergente en Guatemala de ERC de etiología es conocida en personas jóvenes, en trabajadores agrícolas principalmente en la costa sur del país, donde se ha desarrollado la hipótesis que el efecto de deshidratación sumada a exposición a calor genera daño renal crónico. Es por ello de suma importancia establecer un modelo de daño renal con estas características, que permita asociar con un mecanismo fisiopatológico de deshidratación y búsqueda de nuevos tratamientos que se puedan asociar a prevenir y disminuir el daño renal o sus complicaciones (Castañeda et al., 2020). Sin embargo, modelos animales que aproximen estas fisiopatologías son prolongadas, por lo que puede resultar útil asociarla a un modelo de tamizaje farmacológico de nefroprotección como el modelo agudo de daño renal inducido por un nefrotóxico.

En la actualidad, existen muchas plantas medicinales nativas utilizadas como medicina tradicional por varias comunidades guatemaltecas con un componente renal o relacionados con un proceso metabólico que puede involucrar al riñón en su prescripción (Ankli et al., 1999; Ayala Lemus, 1999; Barreno Ortiz, 2012; Cáceres et al., 1987; Cleaves Herrera, 2001; Giovannini et al., 2016; Girón et al., 1991; Hitziger, 2016; Hitziger et al., 2016; Kufer et al., 2010; Pardo Villegas et al., 2011; Sandoval, 1999; Tún, 2017; Vargas, 2019; Vargas & Andrade-Cetto, 2018).

Sin embargo, a la fecha aún no poseen evidencia en seguridad y eficacia, para ser utilizadas en prevenir y tratar el daño renal. Las implicaciones de estos productos naturales podrían representar una opción viable para su incorporación en el sistema de salud pública y apoyar a las personas que no tienen acceso a los tratamientos. Es por ello, que el presente estudio, evalúa la evaluación de una planta nativa con componente etnobotánico de daño renal, *Tagetes lucida*, en un modelo *in vivo* de daño renal inducido por gentamicina en ratas Wistar macho, en un modelo de nefropatía diabética inducido por STZ en ratones CD-1, y en un modelo de deshidratación por calor tras 5 semanas de exposición a 37° C por 1.5 h.

Figura 2

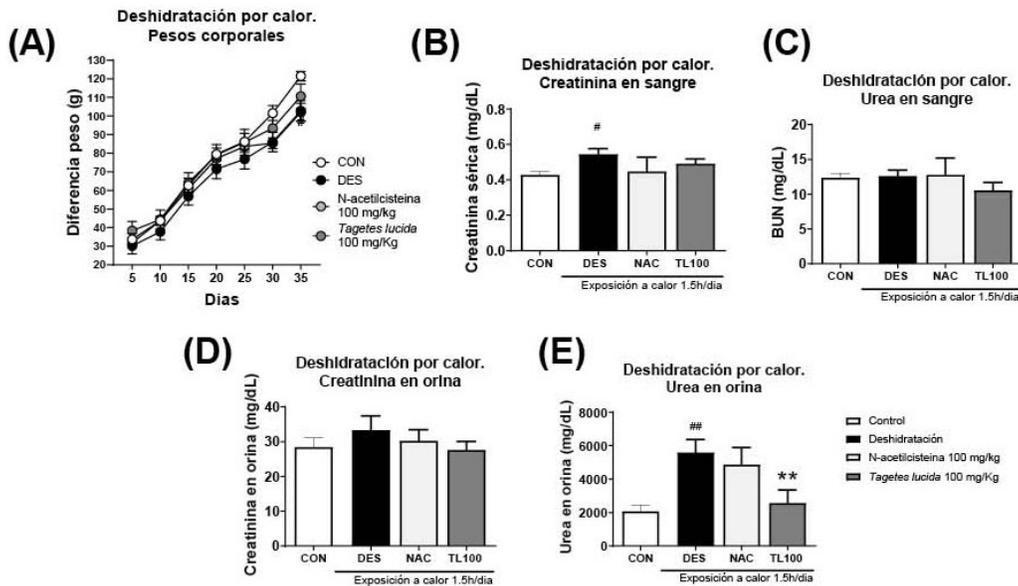
Evaluación de la administración oral de *Tagetes lucida* en ratones CD-1 macho en nefropatía diabética inducida por estreptozotocina (STZ) ($n = 8$)



Nota. Panel A: Cambios en peso corporal en inducción diabética tras 4 semanas de inyección de STZ. Panel B: Cambios en peso corporal en progresión diabética de 10 semanas. Panel C y D: Valores de glucosa en sangre posterior a la inducción de 4 semanas con STZ y sus diferenciales tras 30 y 60 días de administración de tratamientos, revelaron una significativa reducción en los diferenciales de glucosa comparados con los valores iniciales (día 0) tras la administración oral de glibenclámda y *T. lucida* (C,D). Panel E: Creatinina sérica tras 60 días de administración de tratamientos en progresión diabética. Panel F: Nitrógeno de urea en sangre tras 60 días de administración de tratamientos en progresión diabética. Panel G: Creatinina en orina tras 60 días de administración de tratamientos en progresión diabética. Panel H: urea en orina tras 60 días de administración de tratamientos en progresión diabética. Panel I: Excreción de glucosa tras 60 días de administración de tratamientos en progresión diabética. Estos resultados sugieren una protección de *T. lucida* sobre la elevación éstos valores comparado con el grupo control diabético de forma similar al control positivo glibenclámda. Los valores de $^*P < .05$ fueron considerados significativos comparados con el grupo control no diabético (normal). Los valores de $^{**}P < .01$ fueron considerados significativos comparados con el grupo control diabético.

Figura 3

Evaluación de la administración oral de *Tagetes lucida* en ratas Wistar macho en deshidratación por calor con privación de agua 1.5 horas diarias, 5 días a la semana, por 5 semanas ($n = 8$)



Nota. Panel A: Cambios en peso corporal durante 5 semanas de deshidratación por calor a 37 °C tras administración oral de *Tagetes lucida* 100 mg/Kg comparada con grupo control (vehículo sin exposición a calor), grupo deshidratado (vehículo con exposición a calor), y grupo control positivo (exposición a calor y administración de N-acetilcisteína). Panel B: Creatinina en sangre tras 5 semanas de administración concomitante de extracto o control positivo con deshidratación por calor. C: Urea en sangre tras 5 semanas de administración concomitante de extracto o control positivo con deshidratación por calor. Panel D: Creatinina en orina tras 5 semanas de administración concomitante de extracto o control positivo con deshidratación por calor. Panel E: Urea en orina tras 5 semanas de administración concomitante de extracto o control positivo con deshidratación por calor. El extracto de *T. lucida* suprimió significativamente la elevación de urea en orina. Los valores de # $P < .05$, ## $P < .01$ fueron considerados significativos comparados con el grupo control no expuesto a calor. Los valores de * $P < .05$ fueron considerados significativos comparados con el grupo control con exposición a calor.

Inicialmente se utilizó un modelo daño renal agudo por el aminoglucósido gentamicina que permitiera de forma preliminar mostrar actividad farmacológica en riñón. La GM es un antibiótico aminoglucósido utilizado de forma parenteral en clínica para infecciones bacterianas gramnegativo, que tiene entre sus efectos adversos más destacados una evidencia nefrotóxica al desarrollar en poco tiempo la elevación en los niveles de urea y creatinina en sangre, disminución de la tasa de filtración glomerular, lesiones tubulares y fibrosis (Al-Shabanah et al., 2010; Romero et al., 2009). Un gran número de estudios animales han demostrado que

GM en dosis entre 40-200 mg/kg vía intraperitoneal entre 4-10 días permiten tener datos consistentes de daño renal agudo (Abdel-Azeem et al., 2017; Arjajarn et al., 2016; Bae et al., 2014; El-Kashef et al., 2015; Guo et al., 2013). Uno de los mediadores que explican la muerte celular en distintas estructuras de la nefrona producida por aminoglucósidos es la activación de rutas apoptóticas a partir del aumento en estrés oxidativo mitocondrial que impacta la función renal (Castañeda et al., 2020). Es por ello que se seleccionaron antioxidantes como controles positivos, como N-acetilcisteína debido a su actividad en protección

renal (Mazzon et al., 2001). Experimentalmente se demostró una protección de funciones renales comparada con el vehículo al administrar dosis altas de *T. lucida* durante 8 días, al evitar algunas de las alteraciones metabólicas, como aumento de creatinina sérica, disminución de la creatinina urinaria, y aumento de urea sérica y urinaria. En este sentido *T. lucida* no ha sido una especie con actividad reportada en funciones renales, donde ha sido propuesta como agente activo en el sistema gastrointestinal, en reducir la presión y en el sistema nervioso central (Castañeda et al., 2022; Estrada-Soto et al., 2021; Ventura-Martinez et al., 2020). El aumento en los niveles de creatinina en plasma puede explicarse por la reducción en la filtración glomerular producto del daño producido en esta estructura. Esta especie ha sido poco explorada farmacológicamente en enfermedades metabólicas, sin embargo, se ha sugerido su actividad anti-inflamatoria que podría ser relevante en el proceso fisiopatológico producido por GM (Nayeli et al., 2020).

Entre los modelos animales diabéticos más utilizados en nefropatía diabética son aquellos donde la diabetes se induce químicamente a partir de la administración de STZ, la cual impacta la sobrevivencia de las células β de los islotes pancreáticos que se encargan de liberar insulina y mediante a ésta, disminuir los niveles de glucosa en sangre al promover el almacenamiento en los tejidos (Szkudelski, 2001). Esta elevación en los niveles de glucosa termina impactando el riñón, descompensando el sistema antioxidante celular, promoviendo la activación de cascadas que promueven el daño en la célula renal de forma que progresa la elevación de la glucosa en sangre (Tesch & Allen, 2007). Es por ello, que, como control positivo en los experimentos diseñados para evaluar protección renal producida por nefropatía diabética, se utilizó el antidiabético glibenclamida, ya que al regular los niveles de glucosa se previene de forma concomitante la reducción de parámetros metabólicos de daño renal. Los cambios morfológicos en los riñones de roedores producidos por elevación de los niveles de glucosa en sangre han demostrado al ratón CD-1 como un mejor modelo comparable con patologías asociadas con la nefropatía diabética humana avanzada. Es por ello que se seleccionó a esta cepa para evaluar el potencial nefroprotector de *T. lucida* en dos concentraciones.

Diferentes modelos de roedores se han utilizado para evaluar el impacto de la deshidratación en el daño renal crónico, con una intervención a partir de privación de agua y exposición a calor. Un estudio en ratones

C57BL/6J evaluó el efecto de deshidratación por calor, proponiendo un modelo con intervalos de deshidratación por calor durante 30 min/h durante 7 horas en 5 días por semana, comparando hidratación durante los 30 minutos de descanso entre periodos de deshidratación contra la privación de agua en este periodo (Roncal Jimenez et al., 2014). Este estudio demostró en ratones sin hidratación durante los 30 minutos de descanso, una mayor pérdida de peso por deshidratación y un significativo aumento en los niveles de creatinina sérica, presión arterial. Los ratones de tipo salvaje que recibieron hidratación tardía desarrollaron lesión tubular proximal e inflamación, fibrosis renal, y elevación en creatinina sérica elevada, comparado con los ratones que fueron hidratados durante las horas de deshidratación por calor. Esto sugiere que, en la construcción del modelo, el daño renal es más pronunciado al privar a los animales de hidratación. En otros estudios, este modelo, elaborado con intervalos de deshidratación por calor durante 30 min/h durante 7-8 horas (con privación de agua en periodos de descanso) en 5 días por semana, ha evidenciado aumento en la creatinina sérica, lesiones en el túbulo proximal (con pérdida de células en el borde en cepillo) e infiltración de macrófagos y fibrosis renal temprana tanto en la corteza renal como en la médula externa (Milagres et al., 2018; Roncal-Jimenez et al., 2017). También se han observado cambios glomerulares. Estos modelos con deshidratación aguda relativamente severa, resultan aproximadamente en un 14% de pérdida de peso diaria al final de cada período de deshidratación por calor, con un impacto en su reducción de peso a las 5 semanas de aproximadamente 4% comparadas con control. Esto está acompañado de un marcado aumento de la osmolalidad sérica en asociación con un aumento de la coceptina sérica y un aumento de la osmolalidad urinaria y creatinina urinaria, consistente con la concentración urinaria. Esto se encuentra en concordancia a lo observado en este estudio en la fase de validación y en la fase de experimentación, donde sorprendentemente se observan niveles elevados de creatinina urinaria, lo cual fue contrario a lo observado experimentalmente en los modelos de nefrotoxicidad y nefropatía diabética, donde la creatinina urinaria se encuentra generalmente disminuida. Sin embargo, la administración de *T. lucida* mostró una tendencia en reducir los valores promedio comparados con el grupo control. Estudios en ratas Wistar expuestas a deshidratación por calor 1 hora diaria con inmediata rehidratación posterior, han confirmado daño renal después de 4 semanas

(García-Arroyo et al., 2017, 2019; Sánchez-Lozada et al., 2018). En este estudio brinda un aporte complementario a los parámetros metabólicos observados en deshidratación por calor.

Los datos presentados en este estudio corresponden a los reportados en otros estudios de nefropatía diabética, donde un extracto etanólico de hoja (500 mg/kg) después de 5 semanas de administración oral en ratas diabéticas redujo la creatinina sérica, la urea y el ácido úrico, el estrés oxidativo (niveles de MDA en el riñón) y aumentando los niveles del sistema antioxidante renal (Abdel-Haleem et al., 2017). La evaluación de los compuestos activos ha sugerido que un compuesto aislado del aceite esencial de las partes aéreas, el α -cariofileno, puede ser el responsable de la actividad antiinflamatoria y analgésica en ratas (Hernandez-Leon et al., 2020). En este sentido, el α -cariofileno ha demostrado una actividad nefroprotectora en la nefrotoxicidad inducida por cisplatino (Horváth et al., 2012). Otro compuesto presente en esta especie que puede contribuir a la actividad nefroprotectora de esta especie es la umbeliferona, donde evidencias recientes sugieren su eficacia en la supresión del daño renal producido por agentes nefrotóxicos (gentamicina y cisplatino) y nefropatía diabética en ratas (Garud & Kulkarni, 2017; Hassanein et al., 2021; Naowaboot et al., 2020).

Por lo tanto, este estudio muestra por primera vez el potencial nefroprotector de *T. lucida*, en 3 modelos animales con diferencias fisiopatológicas, que permiten proponer como un candidato para estudios posteriores. Este estudio contribuye al uso etnofarmacológico de la especie en uso de afecciones urinarias, y propone que se evalué su impacto en enfermedad renal producida por deshidratación con calor, así mismo como su evaluación histopatológica, comparación de distintas dosis, y posteriores mecanismos moleculares y principios activos responsables de su actividad.

Agradecimientos

La siguiente investigación fue cofinanciada por la dirección general de investigación de la Universidad de San Carlos de Guatemala (DIGI-USAC), mediante el financiamiento de los proyectos B9-2020 y Des3-2021.

Contribución de los autores

Coordinación, elaboración y revisión del Documento: RC
 Diseño de la recolección de datos o del trabajo en campo: RC
 Recolección o contribución de datos o realización del trabajo de campo: CA, AA, DM, DV, CR, SMC
 Limpieza, sistematización, análisis o visualización de datos: RC
 Participación en análisis de datos, estructura y en la escritura del documento: RC

Materiales suplementarios

Este artículo no tiene archivos complementarios.

Referencias

- Abdel-Azeem, A. S., Hegazy, A. M., Zeidan, H. M., Ibrahim, K. S., & El-Sayed, E. M. (2017). Potential Renoprotective Effects of Rosemary and Thyme Against Gentamicin Toxicity in Rats. *Journal of Dietary Supplements*, 14(4), 380-394. <https://doi.org/10.1080/19390211.2016.1253632>
- Abdel-Haleem, S. A., Ibrahim, A. Y., Ismail, R. F., Shaffie, N. M., Hendawy, S. F., & Omer, E. A. (2017). *In-vivo* hypoglycemic and hypolipidemic properties of *Tagetes lucida* alcoholic extract in streptozotocin-induced hyperglycemic Wistar albino rats. *Annals of Agricultural Sciences*, 62(2), 169-181. <https://doi.org/10.1016/j.aogas.2017.11.005>
- Al-Shabanah, O. A., Aleisa, A. M., Al-Yahya, A. A., Al-Rejaie, S. S., Bakheet, S. A., Fatani, A. G., & Sayed-Ahmed, M. M. (2010). Increased urinary losses of carnitine and decreased intramitochondrial coenzyme A in gentamicin-induced acute renal failure in rats. *Nephrology Dialysis Transplantation*, 25(1), 69-76. <https://doi.org/10.1093/ndt/gfp457>

- Ankli, A., Sticher, O., & Heinrich, M. (1999). Medical ethnobotany of the Yucatec Maya: Healers' consensus as a quantitative criterion. *Economic Botany*, 53(2), 144-160. <https://doi.org/10.1007/BF02866493>
- Arjinajarn, P., Pongchaidecha, A., Chueakula, N., Jaikumkao, K., Chatsudthipong, V., Mahatheeranont, S., Norkaew, O., Chattipakorn, N., & Lungkaphin, A. (2016). Riceberry bran extract prevents renal dysfunction and impaired renal organic anion transporter 3 (Oat3) function by modulating the PKC/Nrf2 pathway in gentamicin-induced nephrotoxicity in rats. *Phytomedicine*, 23(14), 1753-1763. <https://doi.org/10.1016/j.phymed.2016.10.014>
- Ayala Lemus, M. L. (1999). *Etnobotánica con énfasis en el aspecto agronómico de las plantas medicinales usadas por el grupo étnico k'aqchikel en el municipio de Tecpán Guatemala, Chimaltenango* [Tesis de licenciatura, Universidad de San Carlos de Guatemala]. Centro de Documentación e Información Agrícola, Facultad de Agronomía. <http://fausac.usac.edu.gt/tesario/tesis/T-01805.pdf>
- Bae, E. H., Kim, I. J., Joo, S. Y., Kim, E. Y., Choi, J. S., Kim, C. S., Ma, S. K., Lee, J., & Kim, S. W. (2014). Renoprotective effects of the direct renin inhibitor aliskiren on gentamicin-induced nephrotoxicity in rats. *Journal of the Renin-Angiotensin-Aldosterone System*, 15(4), 348-361. <https://doi.org/10.1177/1470320312474853>
- Barreno Ortiz, F. M. (2012). *Estudio etnobotánico medicinal en 11 municipios de la Reserva de Usos Múltiples Cuenca del Lago de Atilán, Sololá* [Tesis de licenciatura, Universidad de San Carlos de Guatemala]. Centro de Documentación y Biblioteca de Farmacia, Facultad de ciencias Químicas y Farmacia. <https://biblioteca-farmacia.usac.edu.gt/Tesis/B238.pdf>
- Bream, K. D. W., Breyre, A., Garcia, K., Calgua, E., Chuc, J. M., & Taylor, L. (2018). Diabetes prevalence in rural Indigenous Guatemala: A geographic-randomized cross-sectional analysis of risk. *PLoS ONE*, 13(8), Artículo e0200434. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0200434>
- Cáceres, A., Girón, L. M., & Martínez, A. M. (1987). Diuretic activity of plants used for the treatment of urinary ailments in Guatemala. *Journal of Ethnopharmacology*, 19(3), 233-245. [https://doi.org/10.1016/0378-8741\(87\)90001-8](https://doi.org/10.1016/0378-8741(87)90001-8)
- Castañeda, R., Cáceres, A., Cruz, S. M., Aceituno, J. A., Marroquín, E. S., Barrios Sosa, A. C., Strangman, W. K., & Williamson, R. T. (2023). Nephroprotective plant species used in traditional Mayan Medicine for renal-associated diseases. *Journal of Ethnopharmacology*, 301, Artículo 115755. <https://doi.org/10.1016/j.jep.2022.115755>
- Castañeda, R., Cáceres, A., Velásquez, D., Rodríguez, C., Morales, D., & Castillo, A. (2022). Medicinal plants used in traditional Mayan medicine for the treatment of central nervous system disorders: An overview. *Journal of Ethnopharmacology* 283, Artículo 114746. <https://doi.org/10.1016/j.jep.2021.114746>
- Castañeda, R., Ortiz, E., Aldana, C., Cruz, S. M., & Cáceres, A. (2020). Biomarcadores traslacionales de modelos *in vitro* e *in vivo* de daño renal: Una perspectiva para abordar nefrotoxicidad desde múltiples factores etiológicos. *Ciencia, Tecnología y Salud*, 7(1), 107-128. <https://doi.org/10.36829/63cts.v7i1.893>
- Cleaves Herrera, C. I. (2001). *Etnobotánica médica participativa en siete comunidades de la zona de influencia del parque nacional laguna Lachuá, Cobán, Alta Verapaz, Guatemala* [Tesis de licenciatura, Universidad de San Carlos de Guatemala]. Centro de Documentación y Biblioteca de Farmacia, Facultad de ciencias Químicas y Farmacia. <https://biblioteca-farmacia.usac.edu.gt/Tesis/B120.pdf>
- Deshpande, A. D., Harris-Hayes, M., & Schootman, M. (2008). Epidemiology of diabetes and diabetes-related complications. *Physical Therapy*, 88(11), 1254-1264. <https://doi.org/10.2522/ptj.20080020>
- El-Kashef, D. H., El-Kenawi, A. E., Suddek, G. M., & Salem, H. A. (2015). Flavocoxid attenuates gentamicin-induced nephrotoxicity in rats. *Naunyn-Schmiedeberg's Archives of Pharmacology*, 388(12), 1305-1315. <https://doi.org/10.1007/s00210-015-1164-8>

- Estrada-Soto, S., González-Trujano, M. E., Rendón-Vallejo, P., Arias-Durán, L., Ávila-Villarreal, G., & Villalobos-Molina, R. (2021). Antihypertensive and vasorelaxant mode of action of the ethanol-soluble extract from *Tagetes lucida* Cav. aerial parts and its main bioactive metabolites. *Journal of Ethnopharmacology*, 266, Artículo 113399 <https://doi.org/10.1016/j.jep.2020.113399>
- García-Arroyo, F. E., Gonzaga, G., Muñoz-Jiménez, I., Osorio-Alonso, H., Iroz, A., Vecchio, M., Tapia, E., Roncal-Jimenez, C. A., Johnson, R. J., & Sánchez-Lozada, L. G. (2019). Antioxidant supplements as a novel mean for blocking recurrent heat stress-induced kidney damage following rehydration with fructose-containing beverages. *Free Radical Biology and Medicine*, 141, 182-191. <https://doi.org/10.1016/j.freeradbiomed.2019.06.016>
- García-Arroyo, F. E., Tapia, E., Blas-Marron, M. G., Gonzaga, G., Silverio, O., Cristóbal, M., Osorio, H., Arellano-Buendía, A. S., Zazueta, C., Aparicio-Trejo, O. E., Reyes-García, J. G., Pedraza-Chaverri, J., Soto, V., Roncal-Jimenez, C., Johnson, R. J., & Sánchez-Lozada, L. G. (2017). Vasopressin mediates the renal damage induced by limited fructose rehydration in recurrently dehydrated rats. *International Journal of Biological Sciences*, 13(8), 961-975. <https://doi.org/10.7150/ijbs.20074>
- Garud, M. S., & Kulkarni, Y. A. (2017). Attenuation of renal damage in type I diabetic rats by umbelliferone – a coumarin derivative. *Pharmacological Reports*, 69(6), 1263-1269. <https://doi.org/10.1016/j.pharep.2017.06.014>
- Giovannini, P., Howes, M. J. R., & Edwards, S. E. (2016). Medicinal plants used in the traditional management of diabetes and its sequelae in Central America: A review. *Journal of Ethnopharmacology*, 184, 58-71. <https://doi.org/10.1016/j.jep.2016.02.034>
- Girón, L. M., Freire, V., Alonzo, A., & Cáceres, A. (1991). Ethnobotanical survey of the medicinal flora used by the Caribs of Guatemala. *Journal of Ethnopharmacology*, 34(2-3), 173-187. [https://doi.org/10.1016/0378-8741\(91\)90035-C](https://doi.org/10.1016/0378-8741(91)90035-C)
- Guadarrama-Cruz, G., Alarcon-Aguilar, F. J., Lezama-Velasco, R., Vazquez-Palacios, G., & Bonilla-Jaime, H. (2008). Antidepressant-like effects of *Tagetes lucida* Cav. in the forced swimming test. *Journal of Ethnopharmacology*, 120(2), 277-281. <https://doi.org/10.1016/j.jep.2008.08.013>
- Guadarrama-Cruz, G., Alarcón-Aguilar Francisco, J., Vega-Avila, E., Vázquez-Palacios, G., & Bonilla-Jaime, H. (2012). Antidepressant-like effect of *Tagetes lucida* Cav. extract in rats: Involvement of the serotonergic system. *American Journal of Chinese Medicine*, 40(4), 753-768. <https://doi.org/10.1142/S0192415X12500565>
- Guo, X., Meng, Q., Liu, Q., Wang, C., Sun, H., Peng, J., Ma, X., Kaku, T., & Liu, K. (2013). JBP485 improves gentamicin-induced acute renal failure by regulating the expression and function of Oat1 and Oat3 in rats. *Toxicology and Applied Pharmacology*, 271(2), 285-295. <https://doi.org/10.1016/j.taap.2013.04.029>
- Hassanein, E. H. M., Ali, F. E. M., Kozman, M. R., & Abd El-Ghafar, O. A. M. (2021). Umbelliferone attenuates gentamicin-induced renal toxicity by suppression of TLR-4/NF- κ B-p65/NLRP-3 and JAK1/STAT-3 signaling pathways. *Environmental Science and Pollution Research*, 28(9), 11558-11571. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-11416-5>
- Hernandez-Leon, A., González-Trujano, M. E., Narváez-González, F., Pérez-Ortega, G., Rivero-Cruz, F., & Aguilar, M. I. (2020). Role of β -caryophyllene in the antinociceptive and anti-inflammatory effects of *Tagetes lucida* Cav. Essential oil. *Molecules*, 25(3), Artículo 675. <https://doi.org/10.3390/molecules25030675>
- Hitziger, M. (2016). *Mayan phytotherapy in Guatemala: A transdisciplinary study for ethnographic documentation and local empowerment* [Tesis de doctorado, ETH Zürich]. Repository for Publications and Research Data. ETH Zurich Research Collection. <https://doi.org/https://doi.org/10.3929/ethz-a-010735971>
- Hitziger, M., Heinrich, M., Edwards, P., Pöll, E., Lopez, M., & Krütli, P. (2016). Maya phytomedicine in Guatemala - Can cooperative research change ethnopharmacological paradigms? *Journal of Ethnopharmacology*, 186, 61-72. <https://doi.org/10.1016/j.jep.2016.03.040>
- Horváth, B., Mukhopadhyay, P., Kechrid, M., Patel, V., Tanchian, G., Wink, D. A., Gertsch, J., &

- Pacher, P. (2012). \square -Caryophyllene ameliorates cisplatin-induced nephrotoxicity in a cannabinoid 2 receptor-dependent manner. *Free Radical Biology and Medicine*, 52(8), 1325-1333. <https://doi.org/10.1016/j.freeradbiomed.2012.01.014>
- Kufer, J., Heinrich, M., Förther, H., & Pöll, E. (2010). Historical and modern medicinal plant uses - the example of the Ch'orti' Maya and Ladinos in Eastern Guatemala. *Journal of Pharmacy and Pharmacology*, 57(9), 1127-1152. <https://doi.org/10.1211/jpp.57.9.0008>
- Laux, T. S., Barnoya, J., Cipriano, E., Herrera, E., Lopez, N., Polo, V. S., & Rothstein, M. (2016). Prevalence of chronic kidney disease of non-Traditional causes in patients on hemodialysis in southwest Guatemala. *Revista Panamericana de Salud Publica/Pan American Journal of Public Health*, 39(4), 186-193.
- Luyckx, V. A., Tonelli, M., & Stanifer, J. W. (2018). The global burden of kidney disease and the sustainable development goals. *Bulletin of the World Health Organization*, 96(6), 414-422C. <https://doi.org/10.2471/BLT.17.206441>
- Mahmoud, Y. I. (2017). Kiwi fruit (*Actinidia deliciosa*) ameliorates gentamicin-induced nephrotoxicity in albino mice via the activation of Nrf2 and the inhibition of NF- \square B (Kiwi & gentamicin-induced nephrotoxicity). *Biomedicine and Pharmacotherapy*, 94, 206-218. <https://doi.org/10.1016/j.biopha.2017.07.079>
- Mazzon, E., Britti, D., De Sarro, A., Caputi, A. P., & Cuzzocrea, S. (2001). Effect of N-acetylcysteine on gentamicin-mediated nephropathy in rats. *European Journal of Pharmacology*, 424(1), 75-83. [https://doi.org/10.1016/S0014-2999\(01\)01130-X](https://doi.org/10.1016/S0014-2999(01)01130-X)
- Milagres, T., García-Arroyo, F. E., Lanaspá, M. A., García, G., Ishimoto, T., Andrés-Hernando, A., Kuwabara, M., Jensen, T., Sato, Y., Glaser, J., Sánchez-Lozada, L. G., Johnson, R. J., & Roncal-Jimenez, C. (2018). Rehydration with fructose worsens dehydration-induced renal damage. *BMC Nephrology*, 19, Artículo 180. <https://doi.org/10.1186/s12882-018-0963-9>
- Naowaboot, J., Somparn, N., & Saenthaweesuk, S. (2020). Renoprotective effect of umbelliferone in high-fat diet/streptozotocin-induced type 2 diabetic rats. *Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine*, 10(1), 11-17. <https://doi.org/10.4103/2221-1691.273089>
- Nayeli, M. B., Maribel, H. R., Enrique, J. F., Rafael, B. P., Margarita, A. F., Macrina, F. M., Ivan, M. D., & Manasés, G. C. (2020). Anti-inflammatory activity of coumarins isolated from *Tagetes lucida* Cav. *Natural Product Research*, 34(22), 3244-3248. <https://doi.org/10.1080/14786419.2018.1553172>
- Nugent, R. A., Fathima, S. F., Feigl, A. B., & Chyung, D. (2011). The burden of chronic kidney disease on developing nations: A 21st century challenge in global health. *Nephron - Clinical Practice*, 118(3), c269-c277. <https://doi.org/10.1159/000321382>
- Pardo Villegas, P. D., Burgos Barrios, C. L., & Cruz de León, H. W. (2011). *Plantas medicinales y comestibles de la reserva natural de usos múltiples Monterrico-RNUMM, Taxisco, Santa Rosa* (Inf-2011-24). Universidad de San Carlos de Guatemala, Dirección General de Investigación, Programa Universitario de Investigación en Recursos Naturales y Ambiente, Centro de Estudios Conservacionistas y Centro de Datos para la Conservación
- Pérez-Ortega, G., González-Trujano, M. E., Ángeles-López, G. E., Brindis, F., Vibrans, H., & Reyes-Chilpa, R. (2016). *Tagetes lucida* Cav.: Ethnobotany, phytochemistry and pharmacology of its tranquilizing properties. *Journal of Ethnopharmacology*, 181, 221-228. <https://doi.org/10.1016/j.jep.2016.01.040>
- Pickersgill, B. (2016). *Domestication of plants in Mesoamerica: An archaeological review with some ethnobotanical interpretations*. En R. Lira, A. Casas & J. Blancas (Eds.), *Ethnobotany of Mexico, Interactions of people and plants in mesoamerica* (pp. 207-231). Springer. https://doi.org/10.1007/978-1-4614-6669-7_9
- Romero, F., Pérez, M., Chávez, M., Parra, G., & Durante, P. (2009). Effect of uric acid on gentamicin-induced nephrotoxicity in rats - Role of matrix metalloproteinases 2 and 9. *Basic and Clinical Pharmacology and Toxicology*, 105(6), 416-424. <https://doi.org/10.1111/j.1742-7843.2009.00466.x>

- Roncal Jimenez, C. A., Ishimoto, T., Lakknasa, M. A., Rivard, C. J., Nakagawa, T., Ejaz, A. A., Cicerchi, C., Inaba, S., Le, M., Miyazaki, M., Glaser, J., Correa-Rotter, R., González, M. A., Aragón, A., Wesseling, C., Sánchez-Lozada, L. G., & Johnson, R. J. (2014). Fructokinase activity mediates dehydration-induced renal injury. *Kidney International*, 86(2), 294-302. <https://doi.org/10.1038/ki.2013.492>
- Roncal-Jimenez, C. A., Milagres, T., Andres-Hernando, A., Kuwabara, M., Jensen, T., Song, Z., Bjornstad, P., Garcia, G. E., Sato, Y., Sanchez-Lozada, L. G., Lanasa, M. A., & Johnson, R. J. (2017). Effects of exogenous desmopressin on a model of heat stress nephropathy in mice. *American Journal of Physiology. Renal Physiology*, 312(3), F418-F426. <https://doi.org/10.1152/ajprenal.00495.2016>
- Sánchez-Lozada, L.-G., García-Arroyo, F. E., Gonzaga, G., Silverio, O., Blas-Marron, M. G., Muñoz-Jimenez, I., Tapia, E., Osorio-Alonso, H., Madero, M., Roncal-Jiménez, C. A., Weiss, I., Glaser, J., & Johnson, R. J. (2018). Kidney injury from recurrent heat stress and rhabdomyolysis: Protective role of allopurinol and sodium bicarbonate. *American Journal of Nephrology*, 48(5), 339-348. <https://doi.org/10.1159/000494663>
- Sandoval, M. A. (1999). *Etnobotánica de las plantas medicinales usadas por la cultura K'aqchikel en el departamento de Guatemala*. Informe final del proyecto No. 32/97. Secretaria Nacional de Ciencia y Tecnología -Senacyt.
- Sun, H., Yang, H., Ruan, H., Li, W., He, X., Wang, L., Liu, F., & Zhang, J. (2018). The protective effect of sika deer antler protein on gentamicin-induced nephrotoxicity in Vitro and in Vivo. *Cellular Physiology and Biochemistry*, 50(3), 841-850. <https://doi.org/10.1159/000494471>
- Szkudelski, T. (2001). The mechanism of alloxan and streptozotocin action in B cells of the rat pancreas. *Physiological Research*, 50(6), 537-546.
- Tesch, G. H., & Allen, T. J. (2007). Rodent models of streptozotocin-induced diabetic nephropathy (methods in renal research). *Nephrology*, 12(3), 261-266. <https://doi.org/10.1111/j.1440-1797.2007.00796.x>
- Tún López, F. (2017). *Beneficios del uso de la medicina tradicional en la salud de las personas de la aldea La Unión cuarto pueblo, Ixcán, Quiché, Guatemala, C.A.* [Tesis de maestría inédita, Universidad de San Carlos de Guatemala].
- Vargas, J. M. (2019). *Etnofarmacología de las principales plantas medicinales utilizadas por los Q'eqchi'es en tres comunidades de Alta Verapaz, Guatemala* [Tesis de doctorado, Universidad Nacional Autónoma de México]. <https://biblioteca-farmacia.usac.edu.gt/Tesis/TD002.pdf>
- Vargas, J. M., & Andrade-Cetto, A. (2018). Ethnopharmacological field study of three Q'eqchi communities in Guatemala. *Frontiers in Pharmacology*, 9, Article 1246. <https://doi.org/10.3389/fphar.2018.01246>
- Ventura-Martinez, R., Angeles-Lopez, G. E., Gonzalez-Trujano, M. E., Carrasco, O. F., & Deciga-Campos, M. (2020). Study of antispasmodic and antidiarrheal activities of *Tagetes lucida* (mexican tarragon) in experimental models and its mechanism of action. *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine*, 2020, Article ID 7140642. <https://doi.org/10.1155/2020/7140642>

Regulating Nanotechnology: Ensuring Responsible and Safe Innovation in the Advancement of Science and Technology

Regulación de la nanotecnología: garantizando la innovación responsable y segura en el avance de la ciencia y tecnología

José R. Vega-Baudrit ^{1,2}, Melissa Camacho ¹, Andrea Araya ¹, Rebeca Corrales-Brenes ¹

¹Laboratorio Nacional de Nanotecnología, LANOTEC CENAT

²Escuela de Química, Universidad Nacional, San José, Costa Rica

*Autor al que se dirige la correspondencia: Jose.vega.baudrit@una.cr

Recibido: 25 de mayo 2023 / Revisión: 05 de junio 2023 / Aceptado: 24 de agosto 2023

Resumen

Nanotechnology has significant potential in industries, medicine, and technology, but its rapid development raises concerns about health and environmental risks. Implementing regulations is crucial for responsible and safe use. Costa Rica has adopted policies and strategies, including standardization processes, to promote innovation and sustainable development. However, challenges and opportunities persist in implementing nanotechnology regulations. This article examines key challenges and opportunities, such as corporate culture, training, education, and international cooperation. It concludes that appropriate regulations can create significant opportunities for sustainable industry and economic development. Corporate culture barriers can be addressed through policies promoting social responsibility and sustainability. Training and education are essential for risk awareness and mitigation. International cooperation establishes global standards and prevents fragmented regulation. Implementing suitable nanotechnology regulations in Costa Rica fosters industry responsibility, enhances reputation and competitiveness, and stimulates investment in sustainable technologies. Despite challenges, it is vital to implement regulations for the responsible and safe use of nanotechnology.

Palabras clave: Nanotechnology regulation, soft regulation, hard regulation, Costa Rica regulations, nanotechnology

Abstract

La nanotecnología tiene un gran potencial en industrias, medicina y tecnología, pero su rápido desarrollo plantea preocupaciones sobre riesgos para la salud y el medio ambiente. La implementación de regulaciones es crucial para un uso responsable y seguro. Costa Rica ha adoptado políticas y estrategias, incluyendo procesos de estandarización, para promover la innovación y el desarrollo sostenible. Sin embargo, persisten desafíos y oportunidades en la implementación de regulaciones para la nanotecnología. Este artículo examina los principales desafíos y oportunidades, como la cultura empresarial, la formación, la educación y la cooperación internacional. Concluye que regulaciones adecuadas pueden generar importantes oportunidades para el desarrollo sostenible de la industria y la economía. Las barreras culturales empresariales pueden abordarse a través de políticas que promuevan la responsabilidad social y la sostenibilidad. La formación y educación son esenciales para la conciencia y mitigación de riesgos. La cooperación internacional establece estándares globales y evita una regulación fragmentada. La implementación de regulaciones adecuadas en nanotecnología en Costa Rica fomenta la responsabilidad de la industria, mejora la reputación y competitividad, y estimula la inversión en tecnologías sostenibles. A pesar de los desafíos, es vital implementar regulaciones para el uso responsable y seguro de la nanotecnología.

Keywords: Regulación nanotecnológica, regulaciones blandas, regulaciones duras, regulaciones en Costa Rica, nanotecnología



Introduction

What is nanotechnology?

Nanotechnology involves exploring and manipulating individual atoms and molecules, harnessing their properties on atomic, molecular, and even supra-molecular scales for various industrial applications. Initially, nanotechnology was primarily associated with precisely manipulating atoms and molecules to create larger-scale products, a concept referred to as molecular nanotechnology. Later, a broader definition of nanotechnology emerged through the National Nanotechnology Initiative (NNI) efforts from the United States federal government. This definition characterizes nanotechnology as the manipulation of matter possessing at least one dimension within the 1 to 100 nanometers (nm) range, acknowledging the significance of quantum mechanical effects at this quantum-realm magnitude. Consequently, the focus of the definition evolved from a specific technological objective to a comprehensive research category encompassing all forms of research and technologies addressing the unique properties of matter occurring below the specified size threshold.

Nanotechnology and regulations

Nanotechnology is an emerging discipline that has become a field of research and application of great interest worldwide. Its importance is that a material's physical, chemical, and biological properties differ between 1 and 100 nanometers compared to the same material at a larger scale (Bordea et al., 2020; Foladori, 2016). Therefore, its potential to transform various sectors, such as medicine, energy, food, and technology, has generated significant expectations and opportunities for economic and social development. However, it has also raised concerns about its potential risks to human health and the environment (Foladori et al., 2013; Shea, 2005).

In addition, different regulations are used to characterize, measure qualitative properties, and even quantify at the nanoscale, as those followed for particle studies on a micro-scale. This is further increased in the synthesis processes of nanomaterials or their use as raw materials. Likewise, the treatment of waste at the nanoscale and its impact are mandatory points to consider in a regulation process.

In this context, the implementation of soft and hard regulations for nanotechnology has become essential to ensure responsible and safe use. Soft regulations promote responsible and ethical practices in the industry and are applied from the bottom up (Saldívar Tanaka, 2020). In contrast, hard regulations establish mandatory measures and sanctions to ensure compliance with standards and are applied from the top-down (Arnaldi, 2014).

Costa Rica, as a country that has adopted policies and strategies to promote innovation and sustainable development, has begun implementing nanotechnology regulations. However, there are still challenges and opportunities in its implementation. Some challenges include the lack of knowledge and technical capacity, the need to establish clear and agreed-upon standards, and the lack of stakeholder coordination. On the other hand, opportunities include the potential of nanotechnology to drive innovation and sustainable economic growth (Yadav et al., 2021).

This article aims to analyze the challenges and opportunities in implementing soft and hard regulations for nanotechnology in Costa Rica, considering factors such as business culture, training and education, and international cooperation, among others.

What is the importance of regulating nanotechnology?

Regulating nanotechnology is important for several reasons. Firstly, it is essential for private investment and participation in the market and for creating a platform for innovation and commercialization. Secondly, it is imperative to address the risks emerging nanotechnology poses to the environment and human health from a legal and regulatory perspective. So, regulations in nanotechnology are essential for several reasons:

- 1. Protection of human health and the environment:** Given that nanoparticles have unique properties that can have unpredictable effects on human health and the environment, it is essential to establish regulations that ensure their safety and minimize their negative impact (Foladori et al., 2013; Lee et al., 2014; Wani & Kothari, 2018; Yang et al., 2019; Zea, 2012).
- 2. Responsible research:** Appropriate regulations can promote responsible research and develop-

ment of nanotechnology, maximizing its benefits while minimizing risks. The European Union's Horizon 2020 program is an example of responsible innovation in nanotechnology (Vasen, 2015), aiming to develop governance mechanisms that align with European policies and regulations (Vargas Martínez et al., 2018)

3. **Build consumer trust:** Regulations can help build consumer confidence in the safety and responsible use of nanotechnology products (Foladori et al., 2012). Regulations can build consumer trust by setting clear standards and requirements for developing, manufacturing, and labeling nanotechnology products. These regulations can encompass safety assessments, quality control measures, and guidelines for accurate and transparent product labeling. By enforcing strict safety standards, regulations ensure that nanotechnology products undergo rigorous testing and evaluation to identify and mitigate potential risks. This assures consumers that their products have undergone thorough scrutiny and are safe for use. Also, regulations can require manufacturers to provide clear and accessible information about the presence of nanotechnology in their products. This includes detailed labeling, indicating nanomaterials' use, properties, and associated risks or benefits. Transparent and informative labeling empowers consumers to make informed choices and fosters a sense of trust in the products they purchase (Siegrist & Keller, 2011).
4. **Promote fair trade and competition:** Adequate regulations can ensure that products with nanotechnology meet required safety and quality standards, promoting fair competition and trade.
5. **Prevent unknown risks:** As nanotechnology evolves and new applications are developed, there may be unknown and unforeseen risks. Proper regulations can help prevent these risks (Becker, 2013).
6. **Safety assessment:** This is a critical aspect of nanotechnology regulations as it helps ensure that products are safe for human health and the environment. The safety assessment process may include evaluating the toxicity of nanomaterials, determining their potential for bioaccumulation and persistence in the environment, and assessing the potential risks of exposure to humans and the environment. Regulations may also require companies to submit safety data and information about using nanomaterials in their products.

This information can help regulatory agencies evaluate the safety of the products and determine whether they can be approved for commercial use. In addition, regulations may also require ongoing monitoring of products containing nanotechnology to ensure their safety over time. This can include post-market surveillance, regular safety evaluations, and reporting adverse events or incidents (Omlor et al., 2015; Shandilya et al., 2020; Tavernaro et al., 2021).

7. **Risk communication:** Regulations may include requirements for communicating risks associated with nanotechnology products to help consumers make informed decisions and workers take proper precautions (Boholm & Larsson, 2019; Joubert et al., 2020; Giurca, 2022).
8. **International cooperation:** Nanotechnology regulations may be necessary to establish international safety and responsible use standards, ensure practical international cooperation, and avoid misuse of nanotechnology. As nanotechnology knows no boundaries, it is essential to establish global safety and responsible use standards to ensure consistent practices across countries. Collaborative efforts between nations can facilitate the sharing of knowledge, research findings, and best practices in regulating nanotechnology. By promoting international cooperation, countries can work together to address common challenges and concerns related to nanotechnology. This collaboration can lead to harmonized regulatory frameworks prioritizing the safety of human health and the environment while fostering innovation and economic growth. International cooperation in nanotechnology regulation can also prevent nanomaterials' misuse or unethical application. By establishing standard guidelines, countries can discourage using nanotechnology for malicious purposes, such as weaponization or environmental exploitation. International cooperation can enhance the effectiveness of nanotechnology regulations through information sharing, joint research projects, and the exchange of expertise. It enables countries to learn from each other's experiences, leverage collective knowledge, and avoid duplicating efforts. This collaboration is valuable in addressing emerging risks and adapting regulations to keep pace with technological advancements (Ezema et al., 2014; Gao et al., 2016; Wu et al., 2019).

9. **Social Responsibility:** Adequate regulations can help ensure that nanotechnology is used in a socially responsible manner rather than solely benefiting certain companies or groups. The “nano dialogue” is necessary, and democratization rescues the care figure so that the private and public scientific community and industry can avoid extremes and ensure the responsible use of nanotechnology (Campillo Vélez & Zuleta Salas, 2014).
10. **Transparency:** Regulations can ensure transparency in developing and using nanotechnology, which is fundamental for generating trust and allowing informed public dialogue (Husain et al., 2023; Wiechers & Musee, 2010; Zia et al., 2023).
11. **Protect workers:** Regulations can also ensure the safety of workers handling nanotechnology and minimize risks associated with exposure. To ensure worker safety, regulations can establish guidelines for handling and disposing of nanomaterials, including proper labeling, storage, and transportation of materials. Regulations can also require employers to provide appropriate protective equipment, such as respirators and gloves, and monitor workers’ health exposed to nanomaterials. Additionally, regulations can mandate training and education for workers on the potential hazards associated with nanomaterials and how to handle them safely (Gomez-Villalba et al., 2023; Murashov & Howard, 2013; Schulte et al., 2014, 2022).
12. **Ethical research and development:** Regulations play a critical role in ensuring that research and development of nanotechnology are conducted ethically and with respect for human rights. Nanotechnology has the potential to revolutionize many aspects of our lives, but it also poses significant ethical challenges, particularly regarding human health and safety. To ensure that research and development of nanotechnology are conducted ethically, regulations may require researchers and developers to obtain informed consent from participants in clinical trials, conduct risk assessments, and implement measures to mitigate any identified risks. Regulations may also require that any potential negative impacts on human rights, such as privacy violations, be identified and addressed. Additionally, regulations may require researchers and developers to consider their work’s potential social, economic, and environmental impacts. For example, it may be necessary to consider the potential impact of nanotechnology on vulnerable populations or the environment and to take steps to mitigate any possible adverse effects. (Kim et al., 2012; Campillo Vélez & Zuleta Salas, 2014).
13. **Intellectual property protection:** Regulations can protect the intellectual property of companies and researchers working in nanotechnology, fostering innovation and the development of new products. By implementing robust measures to safeguard intellectual property rights, regulations can provide a conducive environment for companies and researchers to invest in and pursue innovative advancements in nanotechnology. Nanotechnology often involves significant research and development efforts, requiring substantial time, resources, and expertise investments. Intellectual property protection ensures that the companies and researchers involved in nanotechnology have the incentive and confidence to continue their innovative work, knowing that their ideas, inventions, and discoveries will be safeguarded from unauthorized use or exploitation. When companies and researchers have the assurance that their intellectual property rights will be protected, they are more likely to engage in collaborations, share knowledge, and commercialize their innovations. This adopts a culture of innovation and encourages the development of new products and technologies that can transform various industries (Fiedler & Welpé, 2010). Moreover, intellectual property protection incentivizes companies and researchers to disclose their findings and inventions, facilitating the dissemination of knowledge and contributing to the overall advancement of the field. It also promotes fair competition by ensuring that those who invest in research and development efforts are rewarded for their contributions, thus encouraging further innovation and investment in nanotechnology. Regulations incentivize innovation and attract investments in the nanotechnology sector by providing a legal framework for intellectual property protection. Investors are more likely to fund research and development initiatives when they have confidence that intellectual property rights will be respected and upheld (Chen, 2021; Tullis, 2012).
14. **Protect ecosystems:** Adequate regulations can help ensure that nanotechnology does not hurt ecosystems and biodiversity. Adequate regula-

- tions can help prevent or minimize these impacts by requiring proper disposal of nanomaterials and monitoring their release into the environment. Additionally, regulations can promote the development of sustainable and environmentally friendly nanotechnologies that minimize harm to ecosystems and promote biodiversity. By ensuring that nanotechnology is developed and used responsibly and sustainably, we can protect our natural resources and promote a healthy environment for current and future generations (Rodríguez-Ibarra et al., 2020).
15. **Corporate responsibility:** Regulations can help promote the corporate responsibility of companies working with nanotechnology, improving their reputation and relationship with consumers. By complying with these regulations, companies can demonstrate their commitment to ethical and responsible behavior, enhancing their reputation and improving their relationship with consumers. Furthermore, responsible practices can help companies avoid costly legal and financial consequences associated with non-compliance, making it a sound business decision to prioritize corporate responsibility using nanotechnology (Berger et al., 2017).
 16. **Promote sustainability:** Regulations can promote the sustainability of nanotechnology and ensure its responsible and sustainable use in the long term. Sustainability encompasses the preservation of natural resources, the reduction of environmental impacts, and the promotion of social well-being. Nanotechnology regulations can address these concerns by imposing requirements and guidelines that promote the development and use of nanomaterials and nanotechnology processes that are environmentally friendly, energy-efficient, and resource-efficient. For example, regulations can encourage using green nanomaterials with minimal ecological footprints and promote reducing or eliminating hazardous substances in nanotechnology applications. By encouraging the adoption of sustainable practices, regulations can minimize the potential adverse effects of nanotechnology on the environment and human health. Additionally, nanotechnology regulations can foster social sustainability by addressing potential social and ethical implications. They can promote responsible research and development practices that consider the social impact of nanotechnology, including issues related to worker safety, consumer protection, and equitable access to nanotechnology benefits (Kamarulzaman et al., 2020; Stone et al., 2018).
 17. **Protect privacy:** Regulations can ensure that nanotechnology is not misused to collect or process personal information from consumers. As nanotechnology advances, there is a growing concern about its potential to collect and process personal information without individuals' consent or knowledge. Therefore, regulations play a vital role in safeguarding privacy rights and preventing any inappropriate or unauthorized use of nanotechnology for data collection. To address this concern, regulations can establish clear guidelines and limitations on collecting, using, and storing personal information obtained through nanotechnology applications. These regulations can specify the conditions under which consent must be obtained, the purposes for which personal data can be collected, and the security measures that must be implemented to protect individuals' privacy (Corley et al., 2009; Kamarulzaman et al., 2020).
 18. **Public education:** Regulations can educate the public about nanotechnology's potential risks and benefits. By requiring companies to provide clear and accessible information about the products and processes involving nanotechnology, regulations can help promote transparency and informed decision-making. Additionally, regulations can support the development of public awareness campaigns and educational programs to increase understanding of the technology, its potential applications, and the measures to ensure its safety. Through public education initiatives, regulations can also help address concerns or misconceptions about nanotechnology in the broader community. By providing accurate information and highlighting the potential benefits of nanotechnology, such as improved medical treatments and more efficient energy production, regulations can help to build trust and confidence in the technology. Overall, public education is an essential component of responsible nanotechnology governance. By promoting greater understanding and awareness of the technology, regulations can help realize nanotechnology's potential benefits while minimizing potential risks to human health and the environment.

(Babatunde et al., 2020; Bostrom & Lofstedt, 2010; Kamarulzaman et al., 2020).

19. **Protect animal health:** Nanotechnology in products that may come into contact with animals, such as animal feed or veterinary products, raises concern about potential impacts on animal health and welfare. Adequate regulations can help ensure that these products are safe for animals to consume or use and do not pose any risks to their health. This can be achieved through careful evaluation of the potential risks associated with the use of nanotechnology in these products, as well as monitoring and testing to ensure their safety. By protecting animal health and welfare; these regulations can also promote the responsible use of nanotechnology and improve public confidence in products that contain it (Chandra Mohana et al., 2020; Kuzma, 2010; Rajwade, 2023; Ulucan Karnak et al., 2023).
20. **Prevent pollution:** Nanotechnology, with its unique properties and applications, has the potential to contribute to environmental sustainability by offering innovative solutions to address pollution challenges. Regulations play a crucial role in ensuring that nanotechnology is used to minimize pollution and its adverse environmental effects. By imposing strict guidelines and standards, regulations can promote responsible practices throughout the lifecycle of nanotechnology products, from manufacturing to disposal. One significant area where nanotechnology can contribute to pollution prevention is developing advanced pollution control technologies. Nanomaterials and nanotechnology-based processes can enhance the efficiency of pollution control systems, such as air filters, water treatment systems, and soil remediation methods. By harnessing the unique properties of nanomaterials, these technologies can capture and remove pollutants more effectively, reducing their release into the environment (Bodzek et al., 2020; Iravani, 2021; Yunus et al., 2012).
21. **Protect consumer rights:** Regulations can ensure that consumers have access to accurate and reliable information about products containing nanotechnology and that their privacy and security rights are respected. Regulations can require clear labeling and disclosure of nanotechnology-enabled products, allowing consumers to make informed choices based on their preferenc-

es and potential concerns. By providing accurate information about the presence of nanotechnology in products, consumers can better understand the potential benefits and risks associated with their use. Likewise, regulations can establish product safety assessments and testing guidelines to ensure that nanotechnology-enabled products meet the necessary quality and safety standards. This includes evaluating the potential risks of using nanomaterials, such as toxicity or allergenicity and setting limits or restrictions to protect consumers from potential harm (Kuzma & Kuzhabekova, 2011).

22. **Quality assurance:** Regulations can establish quality standards for products containing nanotechnology, improving the quality and safety of the products (Abbott et al., 2012; Laeque et al., 2006; Marchant et al., 2009)
23. **Monitoring and evaluation:** Regulations can include requirements for continuous monitoring and evaluation of nanotechnology and its products, helping to detect and prevent long-term safety problems (Aljenbaz & Çağnan, 2020; Becker, 2013; Kim et al., 2012; Zuo et al., 2009).

Hard and Soft Regulations

Regulations can be classified into two main categories: soft and hard. Soft regulations are those that are not mandatory and are based on recommendations and guidelines for good practices. These voluntary regulations encourage stakeholder cooperation and commitment (Fredriksson et al., 2012). However, there are occasions when these regulations become mandatory, changing expectations of what constitutes acceptable behavior (Saldívar Tanaka, 2020). On the other hand, hard regulations are mandatory and may be backed by sanctions and fines.

In the case of nanotechnology, soft regulations may include the development of codes of conduct, promoting transparency and open communication about potential risks, and implementing training and education programs. These regulations can help encourage the industry and other stakeholders to adopt responsible practices. Some soft regulations are proposed by institutions that need more authority to create laws that bind nanotechnology or are guidelines issued by regulatory agencies, such as UN agencies, or supranational bodies, such as the OECD and ISO (Abbott, 2012).

On the other hand, hard regulations may include legal requirements for labeling and risk assessment, pre-authorization of products and processes before commercialization, and the imposition of sanctions and fines for non-compliance. These regulations may be necessary to protect consumers and the environment from the potential risks of nanotechnology.

Considering the benefits and potential risks, a balanced and proportionate approach is needed to regulate nanotechnology. It is essential to encourage innovation and development of nanotechnology while ensuring it is used responsibly and safely.

Some possible soft regulations in the context of nanotechnology could include the following (Figure 1):

1. Development of codes of conduct for companies and organizations involved in nanotechnology, establishing ethical and social responsibility standards for developing, producing, and commercializing nanotechnology products and processes.
2. Promotion of transparency and open communication about potential risks associated with nan-

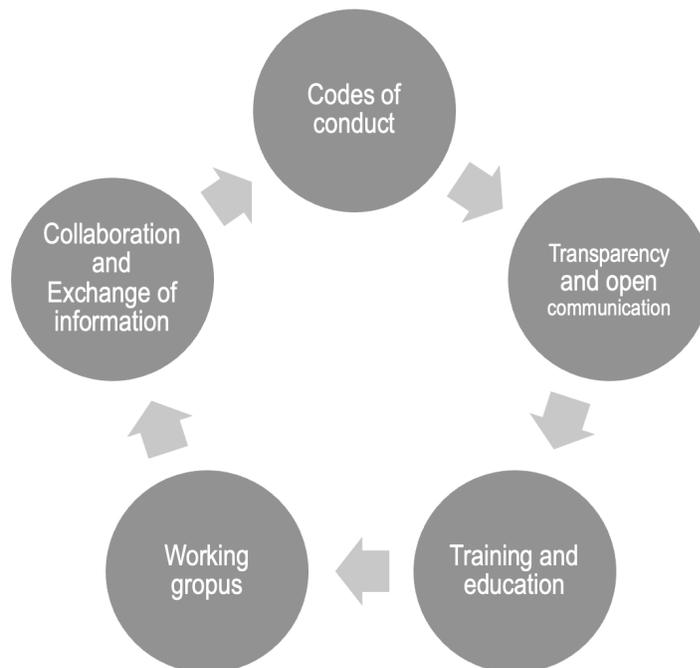
otechnology by disclosing clear and accessible information about the benefits, risks, and precautionary measures related to nanotechnology products and processes.

3. Development of training and education programs to promote awareness and understanding of nanotechnology's safety, health, and environmental aspects for the industry and the general public.
4. Establishment of interdisciplinary working groups involving experts in science, technology, law, ethics, health, and environment, to monitor and evaluate the development and application of nanotechnology, identify potential risks, and establish preventive and control measures.
5. Encouragement of collaboration and exchange of information among companies, organizations, governments, and other stakeholders involved in nanotechnology, through specialized networks and forums that allow for sharing of knowledge, good practices, and innovative solutions.

It is important to note that these are only some possible soft regulations and may vary depending on

Figure 1

Possible soft regulations in the context of nanotechnology



the country and region. Additionally, these soft regulations are not mandatory and are based on recommendations and guidelines for best practices so that compliance will depend on the willingness and commitment of the actors involved in nanotechnology. Some possible hard regulations in the context of nanotechnology could include the following (Figure 2):

1. Labeling requirement for products containing nanotechnology, including information on ingredients, risks, and precautionary measures for consumers (Akin et al., 2019).
2. Risk assessments for products and processes involving nanotechnology, conducted before commercialization and considering potential risks to health, safety, and the environment.
3. Pre-approvals for nanotechnology products and processes, based on risk assessment and granted by competent authorities.
4. Health and safety standards for workers exposed to nanotechnology, establishing exposure limits, preventive measures, and emergency procedures in cases of exposure.
5. Penalties and fines for non-compliance with nanotechnology regulations may be imposed on companies, organizations, and other actors involved in nanotechnology that do not comply with established standards.

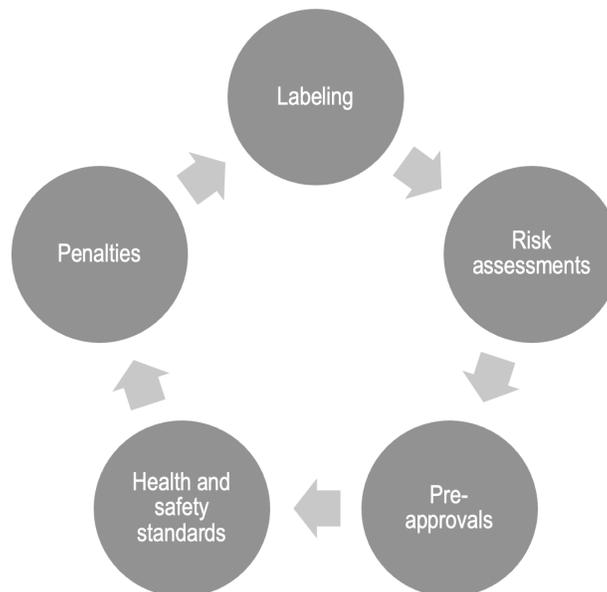
As with soft regulations, it should be considered that these are only some possible hard regulations and may vary depending on the country and region in question.

Some examples of soft regulations in the context of nanotechnology are:

1. **Codes of conduct:** The International Association of Nanotechnology (IANN) has developed a voluntary code of conduct for companies and organizations involved in nanotechnology. This code establishes ethical and social responsibility principles about the development, production, and marketing of products and processes with nanotechnology.
2. **Open communication:** The European Commission has developed a communication strategy on nanotechnology to promote transparency and open communication about the potential risks associated with nanotechnology. This strategy includes disseminating clear and accessible information on the benefits, risks, and precautionary measures related to nanotechnology products and processes.
3. **Training and education programs:** The US National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH) has developed a nanotechnology training program for workers and employers, which aims to promote awareness and under-

Figure 2

Possible hard regulations in the context of nanotechnology



standing of safety, health, and environmental aspects related to nanotechnology.

4. **Interdisciplinary working groups:** The Australian Nanotechnology Expert Group (AEN) is an interdisciplinary group of experts in science, technology, law, ethics, health, and the environment, which monitors and evaluates the development and application of nanotechnology in Australia. The AEN identifies potential risks and establishes preventive and control measures.
5. **Collaboration and information exchange:** The Nanoinnovation Network is a European network for collaboration and knowledge transfer in nanotechnology, which promotes collaboration and information exchange among companies, organizations, governments, and other stakeholders involved in nanotechnology.

Moreover, some examples of hard regulations include:

1. In the European Union, regulations have been implemented for labeling and risk assessment of nanotechnology products (Report on regulatory aspects of nanomaterials, European Parliament, 2008). These regulations require products containing nanotechnology to be explicitly labeled and risk assessments to be performed before commercialization. These hard regulations are necessary to ensure the safety of consumers and the environment of nanotechnology.
2. In the United States, the Occupational Safety and Health Administration (OSHA) has established exposure limits for nanomaterials in the workplace. It has issued guidelines to protect workers' health exposure to nanotechnology (OSHA, 2022). These hard regulations establish mandatory requirements to protect the health and safety of workers and reduce risks associated with exposure to nanomaterials.

Regulation in the field of nanotechnology in México-Brasil-Argentina

It exhibits significant variation across countries. While some countries have implemented specific regulatory frameworks to address the challenges and risks inherent to this discipline, others are develop-

ing more comprehensive regulations. Below, I will highlight examples of progress in regulation in some countries in the region:

In Brazil, it has emerged as one of the leaders in nanotechnology regulation in Latin America. In Brazil, ministerial meetings have been held to address the issue of regulating nanotechnologies. In addition, Brazil is one of the Latin American countries that participates in international and national organizations working on the formulation of regulations for nanomaterials, such as the Strategic Approach to International Chemicals Management (SAICM), the Organization for Economic Cooperation and Development (OECD), the International Organization for Standardization (ISO) and others. They are also attentive to regulations presented by Europe and the United States.

Argentina has actively promoted specific legislation in the field of nanotechnology. The National Government of Argentina approved the regulation of the Law for the Promotion of the Development and Production of Modern Biotechnology and Nanotechnology. Law N° 26.270 and its amendment N° 27.685 include nanotechnology within the regulations and are valid until December 31, 20341. The experience of regulating nanotechnologies in Argentina between 2001-2017 is analyzed based on the tracking and processing of legislative projects, institutional initiatives, and expert discourses committed to the co-production of "nano" scientific/legal knowledge.

Mexico also achieved significant advancements in nanotechnology regulation. The Metrology Program for Nanotechnologies (ProMetNano) is a program established by the National Center for Metrology (CENAM) to systematically address the current and foreseeable metrological needs of the country in support of nanosciences and for the use of nanotechnologies. The ProMetNano comprises a cross-functional working group from the four General Directorates of CENAM and currently has 4 scientific coordinators and 6 metrologists who carry out activities related to Nanoscience and Nanotechnologies (NyN). This program is positioned as one of the elements of a continuous and synergistic effort between federal regulatory agencies, industry, and the national scientific community, aimed at taking advantage of nanosciences and nanotechnologies in Mexico, always observing the protection and preservation of the environment and the health of the population.

Ethics-Military and Nanotechnology

Each reason mentioned above is important to ensure nanotechnology's safe and responsible use. No specific reason can be identified as the most important, as all are necessary to ensure that nanotechnology is used responsibly and sustainably. Appropriate regulations should address all safety, health, and environmental concerns while promoting responsible innovation and business competitiveness.

Regarding the military, it is important to note that nanotechnology can have applications in the military field, such as creating lighter and stronger materials and equipment, more precise and efficient sensors, and advanced weaponry systems. However, using nanotechnology in the military can also present risks and security concerns.

Therefore, nanotechnology regulations must also consider its use in the military and ensure that it is used responsibly and sustainably. This may include implementing regulations that address specific risks associated with nanotechnology in the military, such as soldiers' exposure to nanoparticles or the possible use of nanotechnology for biological warfare.

Ethics and nanotechnology in the military are complex issues requiring careful reflection and transparent dialogue (Delgado Ramos, 2022). Developing and using nanotechnology in the military can pose ethical challenges, as it can increase the effectiveness and precision of weaponry systems. Still, they can also increase the risk of injury and death for combatants and civilians.

It is essential to consider the ethical implications of using nanotechnology in the military, such as the responsibility to ensure that it is used responsibly and moderately and the need to protect the human life and dignity of those affected by armed conflict. Advances in nanotechnology can also raise broader ethical questions, such as the scientific community's responsibility in developing technologies that may have negative consequences for society.

Case Costa Rica: challenges and opportunities. INTECO and OECD

In Costa Rica, scientific research in nanotechnology is primarily carried out in state universities and the National Center for High Technology (Ce-NAT), where the National Laboratory of Nanotechnology (LANOTEC) was created in 2004 under a

state, academic, and business initiative. Working with the Costa Rican Institute of Technical Standards (INTECO), which has extensive experience in developing technical standards, a National Technical Committee on Nanotechnology (CTN-060) was established to create the technical basis for a national legal framework on issues related to nanotechnology and select the appropriate basis for the development of Nanometrology in the country. This Technical Committee has been able to work on more than 40 technical standards on the subject of nanotechnology, which include basic concepts, definitions, characterization, manufacturing processes, risk assessment, voluntary labeling guidelines, occupational health and safety practices, safety data sheets, toxicological evaluation, classification, and categorization (INTECO).

A study by Cabello et al. (2020) based on a survey of the business, government, and research sectors of Costa Rica showed the need to create a sustainable regulatory model for nanotechnology that protects consumers and provides specific regulations to different productive sectors due to the possible toxicity and increased exposure to nanomaterials. Hence, efforts are being developed in the country on this topic.

On the other hand, in May 2021, Costa Rica became the 38th member country of the Organization for Economic Cooperation and Development (OECD, 2020), the fourth Latin American country to take this step, concluding the accession process that began in 2015. The country underwent in-depth technical reviews by 22 OECD committees during those years. One of those committees corresponds to Chemicals and the Working Group on Chemicals, Pesticides, and Biotechnology, of which LANOTEC is a part and remains actively working on implementing substantive OECD legal instruments within the committee's competence and Costa Rica's policies and practices in the field of chemicals, (OSHA, 2022).

In addition, the laboratory is part of the Working Party on Manufactured Nanomaterials (WPMN-OECD), where the assessment of hazards and risks of nanomaterials is promoted. The main contribution of this group has been an evaluation to apply the current OECD testing guidelines to the 11 most frequently used nanomaterials. The OECD published the results in 2015.

Likewise, international cooperation is being carried out on human health and environmental safety issues of manufactured nanomaterials and other advanced materials for their respective regulation, considering voluntary, legislative, or other management

schemes. This includes working on the most common types of voluntary nanotechnology surveillance, such as registries, labeling, codes of conduct, risk management systems, technical guides, and standards (Chiancone et al., 2021).

Conclusions

Nanotechnology stands as a captivating and promising scientific realm, poised to reshape our daily lives profoundly. However, alongside its potential benefits, the utilization of nanotechnology carries inherent risks, particularly concerning human health and environmental impact. Thus, establishing judicious regulations is imperative to ensure nanotechnology's secure and ethical application. These regulations safeguard human well-being and our surroundings and serve as catalysts for conscientious innovation, cultivating consumer confidence, and fostering a climate of equitable competition.

Consequently, a collaborative effort among diverse stakeholders, encompassing governmental bodies, entrepreneurs, scientists, and consumers, is essential. An open dialogue must ensue to collectively determine the best strategies for managing and overseeing nanotechnology's multifaceted products, applications, and interests. While several tools are voluntary, the need for more robust and comprehensive measures becomes evident.

Costa Rica, notably, has exhibited commendable strides in both the advancement of nanotechnology and the establishment of regulatory frameworks for its prudent and accountable utilization. The country's inclusion in the OECD has further facilitated international collaboration, enabling active engagement in working groups and committees devoted to nanotechnology and chemical management. Despite these achievements, the journey towards effective implementation of regulations persists, propelling the pursuit of responsible and sustainable innovation in nanotechnology.

Author contributions

José Roberto Vega-Baudrit conceived the idea, the background research, and conceptualization, and Melissa Camacho did the background research, writing draft, and conceptualization. Andrea Araya did the

final writing, and Rebeca Corrales-Brenes did the conceptualization and final writing.

Conflicts of interest

We do not have any conflict of interest.

References

- Abbott, K. W., Marchant, G. E., & Corley, E. A. (2012). Soft law oversight mechanisms for Nanotechnology. *Jurimetrics*, 52(3), 279-312. <http://www.jstor.org/stable/23240003>
- Akin, H., Yeo, S. K., Wirz, C., Scheufele, D. A., Brossard, D., Xenos, M., & Corley, E. (2019). Are attitudes toward labeling nanoproducts linked to attitudes toward GMOs? Exploring a potential “spillover” effect for attitudes toward controversial technologies. *Journal of Responsible Innovation*, 6(1), 50-74. <https://doi.org/10.1080/23299460.2018.1495026>
- Aljenbaz, A. Z., & Çağnan, Ç. (2020). Evaluation of Nanomaterials for Building Production within the Context of Sustainability. *European Journal of Sustainable Development*, 9(1), Article 53. <https://doi.org/10.14207/ejsd.2020.v9n1p53>
- Arnaldi, S. (2014). ¿Qué tan suave debería ser la regulación nano? Identidades sociales y opciones regulatorias en las opiniones de los stakeholders italianos. *Mundo Nano*, 7(13), 6-27. <https://doi.org/10.22201/ceich.24485691e.2014.13.48704>
- Babatunde, D. E., Denwigwe, I. H., Babatunde, O. M., Gbadamosi, S. L., Babalola, I. P., Agboola, O. (2020). Environmental and Societal Impact of Nanotechnology. *IEEE Access*, 8, 4640-4667. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.296151>
- Becker, S. (2013). Nanotechnology in the marketplace: How the nanotechnology industry views risk. *Journal of Nanoparticle Research*, 15, Article 1426. <https://doi.org/10.1007/s11051-013-1426-7>
- Berger-Walliser, G., & Scott, I. (2017). Redefining Corporate Social Responsibility in an Era of Globalization and Regulatory Hardening. *American Business Law Journal*, Forthcoming, University of Connecticut School of Business

- Research Paper No. 17-10. <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.3054199>
- Bodzek, M., Konieczny, K., & Kwiecińska-Mydlak, A. (2020). Nanotechnology in water and wastewater treatment. Graphene – the nanomaterial for the next generation of semipermeable membranes. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 50(15), 1515-1579. <https://doi.org/10.1080/10643389.2019.1664258>
- Boholm, Å., Larsson, S. (2019). What is the problem? A literature review on challenges facing the communication of nanotechnology to the public. *Journal of Nanoparticle Research*, 21, Article 86 <https://doi.org/10.1007/s11051-019-4524-3>
- Bordea, I. R., Candrea, S., Alexescu, G. T., Bran, S., Băciuc, M., Băciuc, G., Lucaciu, O., Dinu, C. M., & Todea, D. A. (2020). Nano-hydroxyapatite use in dentistry: a systematic review. *Drug Metabolism Reviews*, 52(2), 319-332. <https://doi.org/10.1080/03602532.2020.1758713>
- Bostrom, A., & Löfstedt, R. E. (2010). Nanotechnology Risk Communication Past and Prologue. Risk analysis: An official publication of the Society for Risk Analysis, 30(11), Article 1645. <https://doi.org/10.1111/j.1539-6924.2010.01521.x>
- Cabello, R., Vega-Baudrit, J., Zuluaga, R., & Gañán, P. (2020). Statistical approach to regulation of nanotechnology: Need, advantages and disadvantages. *Journal of Biomaterials and Nanobiotechnology*, 11, 14-32. <https://doi.org/10.4236/jbnb.2020.111002>
- Campillo Vélez, B.E., & Zuleta Salas, G. (2014). Bioética y Nanotecnología. *Revista Lasallista de Investigación*, 11(1), 63-69.
- Chandra Mohana, N., Mithun, P., Yashavantha Rao, H., Mahendra, C., & Satish, S. (2020). Nanoparticle applications in sustainable agriculture, poultry, and food: Trends and perspective. *Nanotoxicity*, 341-353. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-819943-5.00016-6>
- Chen, H. (2021). The impact of intellectual property protection on the development of digital economy and regional entrepreneurial activity: Evidence from small and medium enterprises. *Frontiers in Psychology*, 13. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2022.951696>
- Chiancone, A., Sonrise López, M., & Vega Baudrit, J. R. (2021). Nanotechnology on the periphery: the cases of Costa Rica, Uruguay, and Venezuela. *Mundo Nano. Interdisciplinary Journal of Nanoscience and Nanotechnology*, 15(28), Article e00041. <https://doi.org/10.22201/ceiich.24485691e.2022.28.69688>
- Corley, E. A., Scheufele, D. A., & Hu, Q. (2009). Of risks and regulations: How leading U.S. nanoscientists form policy stances about nanotechnology. *Journal of Nanoparticle Research*, 11, 1573-1585. <https://doi.org/10.1007/s11051-009-9671-5>
- Delgado Ramos, G. C. (2022). Nanotecnología Militar Y Sus Implicaciones. *Revista Mexicana de Política Exterior*, (79-80 marzo), 185-221.
- Ezema, I. C., Ogbobe, P. O., & Omah, A. D. (2014). Initiatives and strategies for development of nanotechnology in nations: A lesson for Africa and other least developed countries. *Nanoscale Research Letters*, 9(1), Article 133. <https://doi.org/10.1186/1556-276X-9-133>
- Fiedler, M., & Welp, I. (2010). How do organizations remember? The influence of organizational structure on organizational memory. *Organization Studies*. <https://doi.org/10.1177/0170840609347052>
- Foladori, G. (2016). Políticas Públicas en Nanotecnología en América Latina. *Revista Problemas del Desarrollo*, 186(47), 59-81.
- Foladori, G., Bejarano, F., & Invernizzi, N. (2013). Nanotecnología: Gestión y Reglamentación de riesgos para la salud y medio ambiente en América Latina y el Caribe. *Trabalho, Educação e Saúde*, 11(1), 145-167.
- Foladori, G., Figueroa, S., Záyago-Lau, E., & Invernizzi, N. (2012). Características distintivas del desarrollo de las nanotecnologías en América Latina. *Sociologías*, 14(30), 330-363.
- Fredriksson, M., Blomqvist, P., & Winblad, U. (2012). Conflict and compliance in Swedish health care governance: Soft law in the “shadow of hierarchy.” *Scandinavian Political Studies*, 35(1), 48-70. <https://doi.org/10.1111/j.1467-9477.2011.00275.x>
- Gao, Y., Jin, B., Shen, W., Sinko, P. J., Xie, X., Zhang, H., & Jia, L. (2016). China and the United States—Global partners, competitors,

- and collaborators in nanotechnology development. *Nanomedicine: Nanotechnology, Biology, and Medicine*, 12(1), 13-19. <https://doi.org/10.1016/j.nano.2015.09.007>
- Giurca, A. (2022). Why is Communicating the Circular Bioeconomy so Challenging? *Circular Economy and Sustainability*, 3, 1223-1232. <https://doi.org/10.1007/s43615-022-00229-y>
- Gomez-Villalba, L. S., Salcines, C., & Fort, R. (2023). Application of Inorganic Nanomaterials in Cultural Heritage Conservation, Risk of Toxicity, and Preventive Measures. *Nanomaterials (Basel, Switzerland)*, 13(9), Article 1454. <https://doi.org/10.3390/nanol3091454>
- Husain S., Nandi A., Simnani F. Z., Saha U., Ghosh A., Sinha A., Sahay A., Samal, S. K., Panda, P. K., Verma, S. K. (2023). Emerging Trends in Advanced Translational Applications of Silver Nanoparticles: A Progressing Dawn of Nanotechnology. *Journal of Functional Biomater*, 14(1), Article 47. <https://doi.org/10.3390/jfb14010047>
- INTECO Instituto de Normas Técnicas de Costa Rica. (n.d.). Standards Development. https://www.inteco.org/en_US/page/inteco.standards_development
- Iravani, S. (2021). Nanomaterials and nanotechnology for water treatment: Recent advances. *Inorganic and Nano-Metal Chemistry*, 51(12), 1615-1645. <https://doi.org/10.1080/24701556.2020.1852253>
- Joubert, I. A., Geppert, M., Ess, S., Nestelbacher, R., Gadermaier, G., Duschl, A., Bathke, A. C., & Himly, M. (2020). Public perception and knowledge on nanotechnology: A study based on a citizen science approach. *NanoImpact*, 17, Article 100201. <https://doi.org/10.1016/j.impact.2019.100201>
- Kamarulzaman, N. A., Lee, K. E., Siow, K. S., & Mokhtar, M. (2020). Public benefit and risk perceptions of nanotechnology development: Psychological and sociological aspects. *Technology in Society*, 62, Article 101329. <https://doi.org/10.1016/j.techsoc.2020.101329>
- Kim, Y., Corley, E. A., & Scheufele, D. A. (2012). Classifying US nano-scientists: Of cautious innovators, regulators, and technology optimists. *Science and Public Policy*, 39(1), 30-38. <https://doi.org/10.3152/030234212X13113405157822>
- Kuzma, J. (2010). Nanotechnology in animal production—Upstream assessment of applications. *Livestock Science*, 130(1-3), 14-24. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2010.02.006>
- Kuzma, J., Kuzhabekova, A. (2011). Corporate social responsibility for nanotechnology oversight. *Medicine, Health Care and Philosophy*, 14, 407-419. <https://doi.org/10.1007/s11019-011-9330-3>
- Laeque, H., Boon, H., Kachan, N., Cohen, J. C., & D'Cruz, J. (2006). The Canadian Natural Health Products (NHP) regulations: industry perceptions and compliance factors. *BMC Health Services Research*, 6, Article 63. <https://doi.org/10.1186/1472-6963-6-63>
- Lee, C. H., Syu, S. H., Chen, Y. S., Hussain, S. M., Aleksandrovich Onischuk, A., Chen, W. L., & Steven Huang, G. (2014). Gold nanoparticles regulate the blimp1/pax5 pathway and enhance antibody secretion in B-cells. *Nanotechnology*, 25(12), Article 125103. <https://doi.org/10.1088/0957-4484/25/12/125103>
- Marchant, G. E., Sylvester, D. J., & Abbott, K. W. (2009, October 6). A New Soft Law Approach to Nanotechnology Oversight: A Voluntary Product Certification Scheme. *UCLA Journal of Environmental Law & Policy*, Forthcoming. <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.1483910>
- Murashov, V., & Howard, J. (2013). Protecting nanotechnology workers while waiting for Godot. *Journal of Occupational and Environmental Hygiene*, 10(8), D111–D115. <https://doi.org/10.1080/15459624.2013.803914>
- Parlamento Europeo. (2008). Informe sobre los aspectos reglamentarios de los nanomateriales 7.4.2009 - (2008/2208(INI)). https://www.europarl.europa.eu/doceo/document/A-6-2009-0255_ES.html
- Omlor, A. J., Nguyen, J., Bals, R., Dinh, Q. T. (2015). Nanotechnology in respiratory medicine. *Respiratory Research*, 16, Article 64. <https://doi.org/10.1186/s12931-015-0223-5>
- OECD Organization for Economic Cooperation and Development. (2020). Informe Evaluación de la Adhesión de Costa Rica a la OCDE en el Campo

- de Productos Químicos [OECD Accession Review of Costa Rica in the Field of Chemicals]. Occupational Safety and Health Administration. (2022). Health Effects and Workplace Assessments and Controls. <https://www.osha.gov/nanotechnology/health-effects>
- Rajwade, J. (2023). An overview of myconanoparticles applications in veterinary medicine. In K. A. Abd-Elsalam (Ed.), *Fungal cell factories for sustainable nanomaterials productions and agricultural applications* (pp. 657-691). <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-99922-9.00019-2>
- Rodríguez-Ibarra, C., Déciga-Alcaraz, A., Ispanixtlahuatl-Meráz, O., Medina-Reyes, E. I., Delgado-Buenrostro, N. L., & Chirino, Y. I. (2020). International landscape of limits and recommendations for occupational exposure to engineered nanomaterials. *Toxicology Letters*, 322, 111-119. <https://doi.org/10.1016/j.toxlet.2020.01.016>
- Saldívar Tanaka, L. (2020). Regulación blanda, normas técnicas y armonización regulatoria internacional, para la nanotecnología. *Mundo Nano. Revista Interdisciplinaria en Nanociencias y Nanotecnología*, 13(24), Article 1e-27e. <https://doi.org/10.22201/ceiich.24485691e.2020.24.69621>
- Schulte, P. A., Geraci, C. L., Murashov, V., Kuempel, E. D., Zumwalde, R. D., Castranova, V., Hoover, M. D., Hodson, L., & Martinez, K. F. (2014). Occupational safety and health criteria for responsible development of nanotechnology. *Journal of Nanoparticle Research: An Interdisciplinary Forum for Nanoscale Science and Technology*, 16(1), Article 2153. <https://doi.org/10.1007/s11051-013-2153-9>
- Schulte, P. A., Guerin, R. J., Cunningham, T. R., Hodson, L., Murashov, V., & Rabin, B. A. (2022). Applying Translational Science Approaches to Protect Workers Exposed to Nanomaterials. *Frontiers in Public Health*, 10, Article 816578. <https://doi.org/10.3389/fpubh.2022.816578>
- Shandilya, N., Marcoulaki, E., Barruetaña, L., Llopis, I. R., Noorlander, C., Jiménez, A. S., Oudart, Y., Puellas, R. C., Pérez-Fernández, M., Falk, A., Resch, S., Sips, A., & Fransman, W. (2020). Perspective on a risk-based roadmap towards the implementation of the safe innovation approach for the industry. *NanoImpact*, 20, Article 100258. <https://doi.org/10.1016/j.impact.2020.100258>
- Shea, C. M. (2005). Future management research directions in nanotechnology: A case study. *Journal of Engineering and Technology Management*, 22(3), 185-200. <https://doi.org/10.1016/j.jengtecman.2005.06.002>
- Siegrist, M., & Keller, C. (2011). Labeling of Nanotechnology Consumer Products Can Influence Risk and Benefit Perceptions. *Risk Analysis*, 31(11), 1762-1769. <https://doi.org/10.1111/j.1539-6924.2011.01720.x>
- Stone, V., Führ, M., Feindt, P. H., Bouwmeester, H., Linkov, I., Sabella, S., Murphy, F., Bizer, K., Tran, L., Ågerstrand, M., Fito, C., Andersen, T., Anderson, D., Bergamaschi, E., Cherrie, J. W., Cowan, S., Dalemcourt, J. F., Faure, M., Gabbert, S., ... Poortvliet, P. M. (2018). The Essential Elements of a Risk Governance Framework for Current and Future Nanotechnologies. *Risk Analysis*, 38(7), 1321-1331. <https://doi.org/10.1111/risa.12954>
- Tavernaro, I., Dekkers, S., Soeteman-Hernández, L. G., Herbeck-Engel, P., Noorlander, C., & Kraegeloh, A. (2021). Safe-by-Design Part II: A strategy for balancing safety and functionality in the different stages of the innovation process. *NanoImpact*, 24, Article 100354. <https://doi.org/10.1016/j.impact.2021.100354>
- Tullis, T. K. (2012). Current intellectual property issues in nanotechnology. *Nanotechnology Reviews*, 1, 189-205. <https://doi.org/10.1515/ntrev-2012-0501>
- Ulucan-Karnak, F., Kuru, C. İ., Türkcan, C., & Kulabhusan, P. K. (2023). Potential application of nanobiotechnology for creating various diagnostic approaches for diseases in livestock. *Nanobiotechnology for the Livestock Industry*, 157-174. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-98387-7.00021-5>
- Vasen, F. (2015). Innovación responsable: Un marco aún demasiado europeo. *SciDevNet* <http://www.scidev.net/america-latina/innovacion/opinion/innovacion-responsable-un-marco-aun-demasiado-europeo.html>

- Vargas Martínez, E. E., Bahena Álvarez, I. L., & Cordon Pozo, E. (2018). Innovación responsable: Nueva estrategia para el emprendimiento de mipymes. *Innovar*, 28(69), 9-27. <https://doi.org/10.15446/innovar.v28n69.71695>
- Wani, K. A., & Kothari, R. (2018). Agricultural Nanotechnology: Applications and Challenges. *Annals of Plant Sciences*, 7(3), 2146-2148. <https://doi.org/10.21746/aps.2018.7.3.9>
- Wiechers, J. W., & Musee, N. (2010). Engineered inorganic nanoparticles and cosmetics: Facts, issues, knowledge gaps, and challenges. *Journal Biomedical Nanotechnology*, 6(5), 408-431. <https://doi.org/10.1166/jbn.2010.1143>
- Wu, L., Zhu, H., Chen, H., & Roco, M. C. (2019). Comparing nanotechnology landscapes in the US and China: A patent analysis perspective. *Journal of Nanoparticle Research*, 21(8), 180. <https://doi.org/10.1007/s11051-019-4608-0>
- Yadav, N., Garg, V. K., Chhillar, A. K., & Rana, J. S. (2021). Detection and remediation of pollutants to maintain ecosustainability employing nanotechnology: A review. *Chemosphere*, 280, Article 130792. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.130792>
- Yang, L., Ji, W., Huang, J., & Xu, G. (2019). An updated review on the influential parameters on thermal conductivity of nanofluids. *Journal of Molecular Liquids*, 296, Article 111780. <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2019.111780>
- Yunus, I. S., Harwin, Adi Kurniawan, D., Adityawarman, D., & Indarto, A. (2012). Nanotechnologies in water and air pollution treatment. *Environmental Technology Reviews*, 1(1), 136-148. <https://doi.org/10.1080/21622515.2012.733966>
- Zea, H. R. (2012). Nanomaterials: Health effects and legislation. *Ingeniería e Investigación*, 32(1), 36-41.
- Zia, S., Islam Aqib, A., Muncer, A., Fatima, M., Atta, K., Kausar, T., Zaheer, C. F., Ahmad, I., Saeed, M., Shafique, A. (2023). Insights into nanoparticles-induced neurotoxicity and cope up strategies. *Frontiers in Neuroscience*, 17, Article 1127460. <https://doi.org/10.3389/fnins.2023.1127460>
- Zuo, P., Yin, B. C., & Ye, B. C. (2009). DNAzyme-based microarray for highly sensitive determination of metal ions. *Biosensors & Bioelectronics*, 25(4), 935-939. <https://doi.org/10.1016/j.bios.2009.08.024>

Uso de *software* en clases de termodinámica para evaluar propiedades de sustancias puras

Using software to evaluate thermodynamics properties of pure substances in thermodynamics courses

Ana R. Herrera-Soto ^{1*}, William E. Fagiani-Cruz ¹

¹Área de Investigación, Desarrollo Tecnológico e Innovación Escuela de Ingeniería Química, Universidad de San Carlos de Guatemala

*Autor al que se dirige la correspondencia: herrerana_29@yahoo.com

Recibido: 19 de julio 2023 / Revisión: 06 de noviembre 2023 / Aceptado: 29 de diciembre 2023

Resumen

En clases de termodinámica los estudiantes de ingeniería aprenden a estimar propiedades termodinámicas de sustancias, utilizando distintos modelos: ecuaciones de estado, tablas de datos termodinámicos o diagramas. Las tablas de datos termodinámicos son el resultado de tabular información que se obtiene de ecuaciones multiparamétricas, estos datos también pueden ser almacenados en distintos paquetes de *software*. El uso de esta tecnología aporta ventajas a un curso de termodinámica, permitiendo ahorrar tiempo en cálculos y enfocarse en el estudio de conceptos. El acceso a *software* con datos termodinámicos puede verse limitado por el valor económico que implica la adquisición de licencias de usuario. Pero es posible utilizar programas tipo *free and open source*, como *Cantera* y *CoolProp*, bibliotecas de datos termodinámicos a las que se puede acceder de forma gratuita utilizando distintos lenguajes de programación. El uso de *software* de este tipo requiere que los usuarios escriban códigos de programación para obtener los datos que tratan de estimar, lo cual podría parecer intimidante para una persona con poca experiencia en programación, pero también implica una ventaja pues podría propiciar que el estudiante comprenda la relación entre variables, conceptos termodinámicos y los códigos que necesita usar en sus cálculos. En el caso de un curso de termodinámica de la Escuela de Ingeniería Química de la Universidad de San Carlos de Guatemala se implementó el uso de *Cantera*, permitiendo observar que los estudiantes mostraban resistencia a utilizar este tipo de tecnología, además de problemas en el manejo de conceptos y del lenguaje del *software*.

Palabras clave: *Free and open source*, Jupyter notebook, *CoolProp*, *Cantera*, enseñanza de termodinámica, Python

Abstract

In thermodynamics courses engineering students learn to estimate the thermodynamic properties of substances, by using different models: equations of state, thermodynamics tables and charts. The thermodynamics tables are the result of tabulating the information obtained by using multiparameter equations, this data could also be saved in software. The implementation of this technology in a thermodynamics course brings different advantages, allowing to save time spent in calculations and to focus on the concept study. But the economic value associated with purchasing user licenses could be a limitation in the use of this software. To avoid this problem the implementation of free and open source software could be evaluated. Examples of this kind of software are the libraries of thermodynamic data: *Cantera* and *CoolProp*, which can be accessed by using different programming languages. The use of *Cantera* and *CoolProp* is free. When using this kind of software to estimate data the user must write programming codes. This may seem intimidating for a person with little experience in coding, but this could also be an advantage because it could lead the student to understand the relationship between the variables, the thermodynamic concepts and the codes needed in his calculations. The use of *Cantera* was part of a thermodynamic course from the Chemical Engineering School of the San Carlos University of Guatemala. This made it possible to observe resistance in the students to use this kind of technology, and problems in the concept management and in the use of the software language.

Keywords: Free and open source, Jupyter notebook, *CoolProp*, *Cantera*, teaching thermodynamics, Python



Introducción

Al trabajar con balances de masa y energía se hace necesario contar con información sobre el comportamiento de variables fisicoquímicas de las sustancias puras, por ejemplo, el valor de la entalpía o el volumen específico del agua que está pasando por un intercambiador de calor. El valor de estas propiedades se definirá según la presión y la temperatura en la que se encuentra la sustancia, y se podrán estimar sus valores utilizando las herramientas que ha desarrollado la termodinámica. Por ejemplo, la ecuación del gas ideal, ecuaciones de estado multiparamétricas, diagramas termodinámicos, tablas de datos termodinámicos, o *software* que almacena este tipo de información. Es en los cursos de termodinámica en donde los estudiantes de ingeniería aprenden a manejar e interpretar este tipo de herramientas (Martin et al., 2016).

El uso de herramientas básicas como tablas de vapor o diagramas termodinámicos ayuda al estudiante de termodinámica a comprender como las distintas variables se relacionan y cambian al modificar las condiciones de un sistema (Mayhew, 1991). En tanto que el uso de *software* para el cálculo de propiedades termodinámicas permite ahorrar el tiempo empleado en la resolución de un problema, permitiendo al profesor enfocarse en el estudio de los conceptos (Gourde & Akih-Kumgeh, 2017), ilustrando a los estudiantes de forma inmediata como los cambios realizados en el sistema pueden afectar el resultado final (Martin et al., 2016). El uso de ambos tipos de herramientas presenta ventajas y desventajas para el estudiante y el profesor de termodinámica. Sin embargo, la implementación de *software* en un curso de termodinámica debería llevar al profesor a hacerse cuestionamientos que normalmente no evaluaría al limitarse a la utilización de libros de texto. Aspectos como el acceso de sus estudiantes al *software* requerido es uno de los más importantes a evaluar. El profesor también debería de evaluar si el uso de *software* podría o debería de reemplazar por completo el uso de tablas y diagramas termodinámicos, cuestionando si el uso de ambos tipos de herramientas puede ser complementario e incluso ilustrativo para el estudiante.

La solución al problema que podría implicar la compra de *software* para el uso en clases de termodinámica se podría encontrar en la implementación de *software* tipo *open source*, y en el uso de *libraries* o bibliotecas que contengan información de modelos termodinámicos.

En la Universidad de San Carlos de Guatemala (USAC), la Escuela de Ingeniería Química imparte un curso de termodinámica, en donde uno de los objetivos de aprendizaje es que los estudiantes desarrollen la capacidad de utilizar tablas de datos termodinámicos, utilizándolas como herramientas para analizar balances de energía y ciclos. Se decidió implementar el uso de *software* en dicho curso de termodinámica para que los estudiantes aprendieran a utilizar este tipo de herramientas para hacer estimaciones que normalmente harían con la versión impresa de las tablas de datos termodinámicos. Sin embargo, el uso del *software* en el curso no anuló el uso de la versión impresa de las tablas de datos termodinámicos. El *software* utilizado fue *Cantera*, el cual es de tipo *open source*.

Contenido

Historia de las tablas de propiedades termodinámicas de sustancias puras

La termodinámica ha recorrido un largo camino en la descripción de propiedades termodinámicas, iniciando con el desarrollo de la ecuación del gas ideal hasta las ecuaciones de estado multiparamétricas que se utilizan hoy en día para describir el comportamiento de sustancias puras. Según Span (2000), fue la publicación de la ecuación de Van der Waals la que permitió empezar a describir el comportamiento de una sustancia en todos sus posibles estados de agregación, dando lugar a la aparición de las ecuaciones cúbicas. Luego aparecería la ecuación de Benedict-Web-Rubin, modelo que según Span (2000) presenta una exactitud superior a las ecuaciones cúbicas. Los avances tecnológicos desarrollados en las décadas posteriores dieron lugar a la aparición de nuevos modelos, basados inclusive en datos experimentales y que permitieron la creación de algoritmos de optimización, que luego se combinarían con formulaciones basadas en la energía de Helmholtz (utilizados hoy en día en modelos empíricos) (Span, 2000).

Las ecuaciones de estado multiparamétricas son la base para la obtención de datos termodinámicos utilizados en aplicaciones científicas e industriales (Span, 2000). Por ejemplo, el agua es una de las sustancias más utilizadas a nivel industrial, tanto es así que autores como Kim y colaboradores (2020) reconocen la importancia de calcular de manera adecuada sus propiedades termodinámicas, pues estos parámetros son ampliamente utilizados en la operación y diseño de

equipo industrial. Uno de los modelos más utilizados para evaluar las propiedades termodinámicas del agua es la formulación IAPWS-95 desarrollada por Wagner y Pruß en 1995. Según estos investigadores la importancia de la evaluación de las propiedades termodinámicas del agua radica en su uso en aplicaciones que van desde la generación de electricidad en termoeléctricas hasta evaluaciones del comportamiento del clima, además de su amplio uso en aplicaciones industriales (Wagner & Pruß, 2002).

A pesar de la importancia del desarrollo de modelos como el IAPWS-95, el estudio de ellos o de ecuaciones de estado paramétricas no son temas que sean abordados normalmente en los cursos de termodinámica (Span, 2000). Dada la complejidad de estas ecuaciones de estado, la información que se adquiere a partir de ellas suele representarse en tablas o diagramas termodinámicos (Çengel & Boles, 2015), y es con estas herramientas con las que suelen trabajar los estudiantes de ingeniería en cursos de termodinámica, pues resultan herramientas más fáciles y sencillas de comprender. Por ejemplo, en su libro *Thermodynamics: an engineering approach* Çengel y Boles (2015) no reproducen la formulación IAPWS-95 presentada por Wagner y Pruß, sino que presentan datos termodinámicos del agua calculados y tabulados a partir de este modelo.

En la literatura se pueden encontrar un sin número de ecuaciones y modelos que representan el comportamiento de las sustancias puras. Por ejemplo, la publicación científica *Journal of Physical and Chemical Reference Data*, que es el resultado del trabajo en conjunto del *National Institute of Standards and Technology* y el *American Institute of Physics*, para el año 2000 reportaba haber publicado más de 25 artículos científicos con tablas de datos termodinámicos y los modelos o ecuaciones multiparamétricas correspondientes (Span, 2000). Dos de los artículos más citados de la revista corresponden a la publicación de ecuaciones estándar de referencia para el dióxido de carbono y el agua (Harvey & Burgess, 2021).

Uso de tablas de propiedades puras en los cursos de termodinámica

Uno de los temas abordados en los cursos de termodinámica a nivel universitario, es el cálculo o estimación de propiedades de sustancias puras, que luego son utilizadas en balances de energía que involucran sistemas como el ciclo de Rankine, ciclos de refrige-

ración o aplicaciones psicrométricas. En estas clases los estudiantes deben aprender a manejar ecuaciones de estado y modelos, que van desde la ecuación del gas ideal, incluyendo las ecuaciones de estado cúbicas y modelos como los de Lee Kesler, hasta inclusive aprender a localizar estados en las tablas o diagramas de datos termodinámicos que se obtienen a partir de los modelos multiparamétricos. Autores como Martin y colaboradores (2016) consideran que el desarrollo de estas habilidades por parte de los estudiantes es un aspecto clave en la formación que reciben en los cursos de termodinámica.

Las tablas de vapor y los diagramas termodinámicos ofrecen la ventaja de ser exclusivos para una sustancia en particular y están divididos en regiones que permiten diferenciar entre fases. Las tablas de vapor generalmente están divididas en tres secciones: la región de líquido subenfriado, la región de saturación y la región de vapor sobrecalentado (Çengel & Boles, 2015). Además, al utilizar las tablas de vapor o los diagramas termodinámicos como fuentes de información en los balances de energía se evita el uso de ecuaciones que involucran integrales y derivadas.

En los cursos de termodinámica los estudiantes deberán aprender a ubicar los estados de manera adecuada en una de las regiones de la información tabulada. Al hacer esto deben utilizar los conceptos que han adquirido sobre el equilibrio líquido vapor, el cambio de fase, los procesos latentes y los procesos sensibles. También se hace necesario aprender a manejar el concepto de calidad de vapor y utilizar interpolaciones. Generalmente, para los estudiantes resulta complicado enlazar estos conceptos y los cálculos asociados. Autores como Liu (2011) han señalado que los estudiantes de termodinámica suelen presentar dificultades para ubicar los estados termodinámicos en las tablas de vapor, confundiendo las regiones de distintas fases señaladas en las tablas. Al respecto Martin y colaboradores (2016) opina que utilizar conceptos abstractos, como los que maneja la termodinámica, junto con el manejo de modelos, ecuaciones de estado, tablas de datos termodinámicos y operaciones básicas como la interpolación resulta en actividades retadoras para los estudiantes de ingeniería.

Generalmente, en los cursos de termodinámica los estudiantes tienen acceso a las tablas de vapor de diferentes sustancias a través de los libros de texto. Como se mencionó anteriormente, el libro *Thermodynamics: an engineering approach* de Çengel y Boles (2015) presenta tablas de vapor del agua, pero también incluye tablas de datos termodinámicos para el 1,1,1,2

Tetrafluoroetano (R-134 a). El libro *Introduction to Chemical Engineering Thermodynamics* de Smith y colaboradores (2018) también incluye tablas de vapor del agua, aunque en un formato distinto al que presenta el libro Çengel y Boles. Tablas de datos termodinámicos de distintas sustancias también pueden encontrarse en el *Manual de Ingeniero Químico de Perry* (Southard et al., 2019), aunque la adquisición de este tipo de documento puede tener un precio elevado para un estudiante a nivel licenciatura.

Es necesario considerar que los libros de texto no son las únicas herramientas en donde los estudiantes pueden encontrar las tablas de datos termodinámicos. Este tipo de información también puede ser obtenida a partir de paquetes de *software* que incluyen los modelos de las propiedades de sustancias puras. En las siguientes secciones se mencionan algunos ejemplos de este tipo de *software*, y se discute sobre su implementación en cursos de termodinámica, citando autores que han trabajado con estos programas, y describiendo la experiencia que se ha tenido al implementar su uso en un curso de termodinámica de la Escuela de Ingeniería Química, de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

Software para evaluar propiedades termodinámicas de sustancias puras:

Las tablas de datos termodinámicos no son los únicos productos que se obtienen a partir de las ecuaciones multiparamétricas. La información de estos modelos también puede ser representada en diagramas termodinámicos, como el diagrama de *Mollier*, o puede ser alojada en programas para computadora. Cualquiera de las dos opciones elimina la necesidad de realizar interpolaciones o de aplicar directamente el concepto de regla de la palanca, lo cual podría implicar una ventaja para ahorrar tiempo de cálculo. Sin embargo, es necesario resaltar que, al utilizar diagramas termodinámicos, la precisión de los datos obtenidos depende de que el estado que se está tratando de evaluar se encuentre posicionado cerca de una línea marcada en el diagrama, de lo contrario se tendrán que hacer aproximaciones. Esto último puede resultar en que dos personas, evaluando el mismo dato, hagan una aproximación distinta.

El uso de *software* para la evaluación de propiedades termodinámicas implica la creación de algoritmos de cálculo que involucren a las ecuaciones de estado multiparamétricas. En este caso si dos per-

sonas evalúan el mismo estado, utilizando el mismo programa deberían de obtener el mismo resultado, lo mismo sucedería con el uso de las tablas de datos termodinámicos.

Kazakov y colaboradores (2008) resaltan un aspecto clave del uso de *software* para el cálculo de propiedades termodinámicas: el fácil e inmediato acceso a la información sobre las sustancias ayuda en el desarrollo de aplicaciones industriales y científicas. Almacenar este tipo de información en una base de datos permite tener a la disposición del usuario información de propiedades termodinámicas de más de una sustancia, eliminando la necesidad de consultar distintas fuentes.

La aparición de *software* para estimar propiedades termodinámicas no es reciente. Sin embargo, sus características han ido evolucionando junto con el desarrollo de nuevas tecnologías. Por ejemplo, en 1996 *ChemicaLogic Coporation* creó una herramienta que permite calcular las propiedades del agua (en fase líquida o gaseosa) con base en la formulación IAPWS-95, utilizando hojas de cálculo de *Microsoft Excel* (Lide, 1996). Más adelante la misma compañía pondría a disposición del público el *software Thermodynamic and Transport Properties of Water and Steam*, el cual también puede ser utilizado para calcular las propiedades termodinámicas del agua, basándose en el modelo IAPWS-95. A diferencia de la hoja de cálculo, este programa es un archivo ejecutable con su propia interfaz gráfica, que solamente puede ser ejecutado en *Windows* (ChemicaLogic Corporation, 2003). El acceso a ambas herramientas es gratuito.

El *National Institute of Standards and Technology* de Estados Unidos (*NIST*) ha creado un sitio de internet denominado *NIST Chemistry WebBook* en donde se pueden consultar propiedades químicas y físicas de distintas sustancias (Linstrom & Mallard, 2023). El acceso a esta base de datos es gratuito. La información que aparece en ella no solamente proviene de fuentes del *NIST*, sino que también presenta información obtenida a partir de otras fuentes; según Linstrom y Mallard (2001) el sitio provee los metadatos necesarios para identificar a las fuentes de donde proviene la información. Linstrom y Mallard resaltan que el *Chemistry WebBook* ha sido utilizado en la industria, para el desarrollo de investigaciones e inclusive con fines educativos. Esta herramienta creada por el *NIST* es un ejemplo exitoso del almacenamiento y distribución de información de propiedades termodinámicas a través de dispositivos electrónicos (Kazakov et al., 2008).

También existe en el mercado *software* dedicado a cálculos termodinámicos que requiere la compra de una licencia de usuario para poder utilizarlos. Por ejemplo, el *Engineering Equation Solver* y *REFPROP*. El *Engineering Equation Solver* es un programa que puede ser utilizado para resolver problemas de cálculo, generar gráficas, etc. (F-chart Software, 2023). Además, el programa incluye una base de datos de propiedades termodinámicas de varias sustancias, entre ellas el agua, el etanol, la acetona, y el 1,1,1,2 Tetrafluoroetano (R-134a). Por su parte el *National institute of standards and Technology*, de Estados Unidos, creó el programa *REFPROP*. Este programa contiene una base de datos de propiedades termodinámicas y de transporte para sustancias puras y mezclas (Lemmon et al., 2018). Por su parte el programa *Steam97 Application* se caracteriza por almacenar información de las propiedades termodinámicas del vapor de agua basándose en la formulación IAPWS-IF97 (MegaWatSoft, s.f.), para usar este programa también es necesario adquirir una licencia.

Uso de software en cursos de termodinámica:

El uso de *software* y simulaciones en la educación de estudiantes de ingeniería se ha vuelto vital (Nehra & Tyagi, 2014).

En la actualidad los profesores de termodinámica están implementando el uso de *software* en la enseñanza de sus cátedras. Este es el caso que presentan Gourde y Akih-Kumgeh (2017), quienes crearon en *MATLAB* un programa destinado a ser utilizado por estudiantes de cursos de termodinámica para evaluar las propiedades del agua. El programa puede usarse para la evaluación de ciclos de potencia y de refrigeración, e incluso para la generación de diagramas termodinámicos que ilustren el comportamiento de las variables termodinámicas durante los procesos. En este caso es necesario recordar al lector que el uso de *MATLAB* tiene un precio económico asociado. El trabajo de Gourde y Akih-Kumgeh (2017) es un ejemplo de cómo la tecnología se ha ido incorporando en los cursos de termodinámica. Como lo dicen Mulop y colaboradores (2012) la enseñanza de la termodinámica ha evolucionado desde un enfoque tradicional en el aula hasta la incorporación de *software*. El uso de este tipo de materiales no se limita solamente a la evaluación de propiedades termodinámicas de las sustancias, sino que también contempla el estudio de ciclos termodinámicos y simulaciones. Un aspecto a favor de la utiliza-

ción de *software* en las clases de termodinámica es que su uso facilita la resolución de problemas, reduciendo el tiempo dedicado a hacer cálculos, permitiendo al profesor dedicar más tiempo de clase al estudio y evaluación de conceptos (Gourde & Akih-Kumgeh, 2017).

Desde el punto de vista de los estudiantes, puede que para algunos el uso de los programas de computadora pueda resultar más sencillo que utilizar los datos tabulados. Pero su uso también puede provocar efectos indeseados. Por ejemplo, que los estudiantes dejen de asociar y comprender los conceptos involucrados en un problema (Gourde & Akih-Kumgeh, 2017); o como lo señalan Bakrania y Mallouk (2017), su uso puede resultar en que los estudiantes no comprendan las relaciones existentes entre distintas variables termodinámicas utilizadas para describir el estado de sustancias puras. Esto hace necesario que los estudiantes ya estén familiarizados con el uso de las tablas de datos termodinámicos y los diagramas de propiedades, antes de aprender a utilizar el *software* que seleccione el profesor para el desarrollo del curso. De no tener estos conocimientos se corre el riesgo de que el estudiante se confunda y que pierda el enfoque en el estudio del concepto que se desea abordar en una clase en particular.

Se ha observado que la implementación de *software* en la enseñanza de termodinámica puede también influir en el estudiante, dándole más confianza para resolver problemas que necesitan métodos numéricos (Castier & Amer, 2011). Otro aspecto que considerar son los beneficios que puede aportar la utilización de *software* que requiera que el usuario escriba comandos para obtener información de él, lo cual sucede frecuentemente cuando se implementa *software* tipo *open source*. Los aspectos positivos y negativos del uso de este tipo de programas en cursos de termodinámica se discutirán en las siguientes secciones.

Valor económico asociado al uso de software y la alternativa open source:

Los párrafos anteriores muestran que existen distintos tipos de *software* o herramientas que pueden ser utilizados en los cursos de termodinámica. Algunos de ellos son gratuitos, mientras que para acceder a otros es necesario comprar una licencia de usuario. La adquisición de las licencias necesarias para trabajar con estos programas implica un costo económico que algunas instituciones educativas no pueden cubrir y que en ocasiones los estudiantes tampoco pueden pagar (Lehtola & Karttunen, 2022; Nehra & Tyagi, 2014;

Vallejo et al., 2022). Este es el caso que se observó al decidir implementar el uso de *software* en uno de los cursos de termodinámica de la Escuela de Ingeniería Química.

Para solventar el problema mencionado en el párrafo anterior instituciones académicas han adoptado el uso de *software* gratuito y de código abierto (*free and open source software*) en la enseñanza de diversas materias. Lehtola y Karttunen (2022) explican que la utilización de *software open source* presenta distintas ventajas cuando es utilizado en la educación, las cuales son: la posibilidad de acceder al *source code*, y el hecho de que el *software* podría seguir siendo utilizado en aplicaciones distintas a las evaluadas en las clases, por ejemplo, a nivel industrial. En la actualidad se considera que los programas *open source* han alcanzado el nivel necesario para poder ser utilizados en enseñanza de la ingeniería y en investigación (Nehra & Tyagi, 2014).

Lo anterior lo ejemplifican Martin y colaboradores (2016) quienes evaluaron la utilización de un programa de computadora en un curso de termodinámica. En este caso los investigadores utilizaron *PYro*, un programa gratuito tipo *open source*, ejecutado a través de *Python*. Estos investigadores utilizaron el programa para que los estudiantes evaluaran el ciclo de *Brayton*, y observaron que la implementación de la herramienta ayudaba a los estudiantes a realizar los cálculos de una manera más versátil, permitiéndoles inclusive manipular las condiciones en las que se evaluaba el ciclo con mayor facilidad que si los cálculos se hicieran con tablas de datos termodinámicos. Además, los investigadores resaltan la facilidad con la que se pueden obtener diagramas que representen los ciclos al utilizar *PYro*. Según Martin y colaboradores (2016) el hecho de que el uso de esta herramienta sea gratuito es un aspecto importante que considerar en su implementación en un curso de termodinámica.

Características del *free and open source software* y uso en cursos de termodinámica:

La característica que podría resultar más atractiva para el uso del *software* tipo *free and open source* en cursos de termodinámica es el hecho que los estudiantes y las instituciones educativas no deben de hacer inversiones económicas para adquirir este tipo de programas. Para poder utilizar este tipo de *software* bastará con que los estudiantes tengan acceso a una

computadora, utilizando su equipo personal o utilizando los laboratorios de computación que suelen tener las universidades.

Tener acceso al código de programación del *software* podría no resultar atractivo para un profesor de termodinámica, a menos que esté interesado en hacer modificaciones para implementar funciones en específico, o si quisiera enseñar a sus estudiantes a programar ciertos tipos de cálculos.

Sin embargo, hay un aspecto que debe ser tomado en cuenta al utilizar un programa tipo *open source*: su interfaz de usuario no será tan amigable como la interfaz de otros programas que funcionan con interfaces gráficas. En los programas tipo *open source* normalmente es necesario ingresar una serie de comandos en un lenguaje de programación en específico para obtener el resultado que se está buscando. Esto podría resultar desalentador para los usuarios que no están acostumbrados a trabajar en programas que requieren el ingreso de códigos. Lo anterior implica que antes de implementar un programa con estas características, el profesor deberá evaluar si sus estudiantes poseen los conocimientos necesarios para poder utilizar este tipo de *software*.

También es necesario tomar en cuenta que en la actualidad se pueden utilizar interfaces que hacen más fácil la interacción del usuario con algunos lenguajes de programación. Es el caso de *Jupyter Notebook*, una herramienta gratuita tipo *open source*, que permite escribir y ejecutar programas utilizando distintos lenguajes de programación (Granger & Perez, 2021). La interfaz que ofrece *Jupyter Notebook* resulta amigable con el usuario que normalmente no tiene mucha experiencia en el ámbito de la programación (Wang et al., 2023). Un lenguaje de programación que ha ganado popularidad en la comunidad científica es *Python*, cuyos usuarios suelen elogiar por su sintaxis simple, característica que lo hace fácil de emplear para personas que no tienen experiencia en programación, además de que el acceso a él es gratuito (Perkel, 2015). En la actualidad existen muchas *librerías* o bibliotecas con distintas funcionalidades y aplicaciones científicas a los que se puede acceder con el lenguaje *Python*, a través de *Jupyter Notebook*, y utilizando *Anaconda* (Craig et al., 2022). *Anaconda* es un *software* que da acceso al usuario a plataformas para escribir códigos en distintos lenguajes de programación, entre ellos *Jupyter Notebook* (Rolon-Mérette et al., 2020).

¿Es necesario utilizar *software* en las clases de termodinámica?

Los cursos de termodinámica generalmente están enfocados en que los estudiantes conozcan y comprendan los conceptos relacionados con esta rama de la ciencia. Por ejemplo, en un curso de termodinámica el estudiante debe aprender el significado de conceptos como capacidad calorífica, entalpía, energía interna, entre otros. Luego el estudiante podrá utilizar estos conceptos para plantear y resolver balances de energía, aplicándolos en evaluaciones propias de otras materias que forman parte del pensum de estudio de ingeniería.

Además de comprender los conceptos, el estudiante deberá desarrollar la habilidad para estimar estas propiedades, utilizando modelos matemáticos o tablas de datos termodinámicos, como las tablas de vapor del agua. El estudiante normalmente tendrá acceso a esta información a través de sus libros de texto, pero también puede utilizar *software*. Su uso presentará distintas ventajas: los cálculos se realizarán más rápidamente, se tendrá acceso a información de más sustancias, y el uso del *software* puede ser replicado en el ambiente laboral en el que se desarrollará el estudiante. En cursos avanzados de termodinámica, la implementación del *software* puede ser de gran beneficio, pues al reducir el tiempo de cálculo el profesor y los estudiantes pueden enfocarse en estudiar o analizar conceptos con mayor atención.

¿Es necesario que los estudiantes aprendan a buscar propiedades termodinámicas sin *software*?

El uso de *software* en las clases de termodinámica para buscar propiedades de sustancias puras no debería reemplazar por completo el uso de tablas o diagramas termodinámicos. El uso de estas herramientas impresas (o su versión digital) resulta una primera aproximación útil para que los estudiantes comprendan cómo se comportan las variables termodinámicas cuando las condiciones a las que se encuentra una sustancia pura cambian. Lo anterior se puede atribuir a que las tablas de datos termodinámicos de sustancias puras generalmente están separadas en secciones correspondientes a los estados de agregación en los que se puede encontrar la sustancia. Lo mismo sucede con los diagramas termodinámicos que generalmente ilustran las fronteras entre las fases líquida, vapor saturado y vapor sobrecalentado. En el caso del *software*

es necesario tomar en cuenta que algunos de ellos no hacen estas distinciones, por lo que el estudiante podría no saber en qué fase se encuentra una sustancia en un estado termodinámico determinado, haciendo que la interpretación del resultado matemático sea difícil para el estudiante.

Probablemente el uso de tablas de datos termodinámicos y diagramas ayude al estudiante a comprender mejor los conceptos evaluados. Permitir que el estudiante utilice en primera instancia este material lo preparará para comprender mejor cómo funciona un *software* para la búsqueda de propiedades termodinámicas; evitando que el estudiante sólo se dedique a ingresar datos al programa sin comprender lo que está haciendo (Mayhew, 1991).

Si el estudiante comprende los conceptos relacionados con el uso de tablas de datos para la evaluación de estados termodinámicos podrá utilizar de forma efectiva el *software* a su disposición, de lo contrario no comprenderá como ingresar datos al programa. Para buscar la información de un estado en particular se deben de calcular los grados de libertad, con ello se sabrá cuantas variables deben ser definidas para ubicar el resto de la información. El estado que localice el *software* dependerá de las variables definidas por el usuario, quien tendrá que hacer la distinción de cuantas de estas variables debe ingresar. Por ejemplo, si se busca la información de un estado que se encuentra dentro de la zona de saturación, el usuario debe reconocer la necesidad de ingresar el valor de la temperatura o la presión y el valor de la fracción de vapor. Si el usuario no comprende el concepto de fracción de vapor no podrá utilizar el programa de forma correcta y obtendrá un resultado erróneo. Este concepto generalmente se estudia cuando se aprende a utilizar las tablas de vapor y los diagramas termodinámicos. El uso de tablas de datos termodinámicos y diagramas ayuda a los estudiantes a comprender las relaciones que existen entre las distintas variables termodinámicas que describen estados (Mayhew, 1991).

Algunas de las características de los programas tipos *free and open source* podrían ayudar a reforzar el aprendizaje de conceptos en las clases de termodinámica. Al tener una interfaz que requiera el ingreso de códigos para estimar propiedades, obliga al usuario a relacionar los comandos con los conceptos que ha estudiado en la clase de termodinámica. Es decir, el estudiante debe ser capaz de analizar estos conceptos, ya que como lo sugieren autores como Reades (2020) la programación requiere la habilidad para manipular entidades abstractas. Entornos como *Jupyter* ayudan al

usuario a pensar, escribiendo los códigos que necesita utilizar y analizar los resultados que obtiene (Granger & Perez, 2021). En el caso de emplear la programación en el área de termodinámica, el usuario deberá conocer y saber interpretar los conceptos de grados de libertad y calidad de vapor antes de escribir los comandos necesarios para que el programa haga los cálculos. Al querer introducir el uso del *software* *Cantera* en una clase de termodinámica de la Escuela de Ingeniería Química, se tomó en cuenta lo anterior, pues se consideró imprescindible explicar los conceptos de grados de libertad y calidad de vapor a los estudiantes. Por otro lado, el uso de *software* en las clases prepara a los estudiantes para un ambiente laboral donde necesariamente tendrán que utilizar distintos tipos de programas y plataformas electrónicas.

Programas tipo open source para cursos de termodinámica:

Existen distintos programas y bases de datos que pueden ser utilizados para buscar propiedades termodinámicas de sustancias puras. Como se mencionó en párrafos anteriores algunos de ellos requieren la compra de una licencia de usuario y no se hablará sobre ellos en esta sección. La alternativa a ellos es utilizar *software* tipo *free and open source*.

Dados los avances que se han desarrollado en la creación y utilización de *software* tipo *open source*, se pueden encontrar distintas herramientas de este tipo que permiten la evaluación de propiedades termodinámicas. En este documento solamente se hará referencia a dos de ellas: *Cantera* y *CoolProp*, ambas pueden ser empleadas utilizando el lenguaje *Python*. Pero es necesario recalcar que una búsqueda de este tipo de herramientas llevará al lector a encontrar diversas opciones entre las que podrá evaluar cuál de ellas le resulta más útil según sus intereses.

Cantera es un programa tipo *open source*, creado por D. G. Goodwin, que cuenta con herramientas que pueden ser utilizadas para resolver problemas de termodinámica, cinética química y procesos de transporte (Goodwin et al., 2022). Si bien el objetivo con el que fue creado *Cantera* no es precisamente la búsqueda de propiedades de sustancias puras, este programa tiene almacenados modelos de 9 sustancias puras: dióxido de carbono, heptano, 1,1,1,2 Tetrafluoroetano (R-134a), hidrógeno, metano, nitrógeno, oxígeno y agua (Goodwin et al., 2022). Para acceder a esta información el usuario debe escribir el comando correspondiente al

modelo de la sustancia, y luego escribir los comandos necesarios para identificar los datos que definen al estado termodinámico que desea evaluar. Con esto el programa le proporcionará el valor de variables como energía interna, entalpía, entropía, calidad de vapor, entre otros. *Cantera* fue el *software* utilizado en el curso de termodinámica de la Escuela de Ingeniería Química en la USAC.

CoolProp también es una biblioteca tipo *open source*, que contiene la información termodinámica y física de 110 sustancias puras y pseudopuras, cuyas referencias pueden ser consultadas en su página web (Bell et al., 2014). Además de las sustancias antes mencionadas, *CoolProp* tiene incorporado un algoritmo que permite hacer cálculos psicrométricos. Se puede acceder a esta biblioteca a través de diferentes lenguajes de programación e interfaces, por ejemplo: *Excel*, *MATLAB* o *Python*, entre otros (Bell et al., 2014).

Para trabajar con *CoolProp* o *Cantera* un estudiante de termodinámica puede utilizar Anaconda para crear un *Jupyter Notebook*, y a través de él escribir los comandos necesarios para que la biblioteca calcule las propiedades termodinámicas de una sustancia en específico. Por ejemplo, estimar la energía interna del agua a una temperatura y presión determinada.

El estudiante puede utilizar *Cantera* o *CoolProp* para calcular la misma información que encuentra impresa en las tablas, por ejemplo, en las tablas de vapor del agua. Y también puede comparar la información con lo que encuentra en los diagramas termodinámicos. O inclusive comparar los resultados de los modelos almacenados en estos programas, con los modelos o ecuaciones de estado que ha estudiado en su clase de termodinámica. El uso de códigos también permite que usuario cree, con la ayuda de estas bibliotecas, programas que automaticen los cálculos realizados al evaluar ciclos termodinámicos. Esto lo ejemplifica el sitio web de *Cantera* al ofrecer al usuario, a modo de ejemplo, un algoritmo que puede ser utilizado para evaluar el ciclo de *Rankine*.

¿Tienen los estudiantes de ingeniería química las habilidades necesarias para trabajar con programas tipo free and open source?

La respuesta a la pregunta anterior dependerá del currículum bajo el que estén diseñadas las licenciaturas en ingeniería química en distintas universidades. Por lo tanto, el profesor de termodinámica debería evaluar si sus estudiantes han recibido algún tipo de enseñanza

que los condujera a escribir códigos o a programar, pues en algunos casos los cursos relacionados con el uso de computadoras podrían limitarse al uso de programas básicos, con interfaces gráficas de usuario. Sin embargo, utilizar programas que requieran codificación podría ayudar a los estudiantes a desarrollar habilidades que desconocían, y que en el mundo actual serán de utilidad en el campo laboral.

Por otro lado, si el estudiante no cuenta con el *hardware* para instalar los programas necesarios para trabajar en el curso de termodinámica, la implementación de *Jupyter Notebook* podría presentar una ventaja: este tipo de documento puede ser ejecutado en línea, utilizando elementos compartidos, como lo permite la herramienta *Binder*, sin la necesidad de instalar los programas en las computadoras. Al hacer esto, bastará con que el estudiante tenga acceso a la dirección de internet donde se ha almacenado el *Jupyter Notebook*, y con ello podrá trabajar, utilizando el programa o biblioteca que el profesor haya seleccionado.

Evaluación de la implementación del *software* *Cantera* en cursos de termodinámica

En el segundo ciclo del año 2019 se implementó el uso del *software* *Cantera* como parte del contenido de uno de los cursos de termodinámica impartidos en la Escuela de Ingeniería Química de la Universidad de San Carlos. La decisión de utilizar este *software* tipo *open source* se basó en la posibilidad de tener acceso a él, ya que su adquisición es gratuita.

Para acceder al *software* los estudiantes utilizaron *Anaconda* junto con *Jupyter Notebook* y el lenguaje de programación *Python*.

En este semestre el curso se desarrolló de forma presencial, lo cual influyó en la dificultad para que los estudiantes llevarán sus computadoras a la clase. Para solventar esto se daban demostraciones y ejemplos de uso del *software* en la clase magistral, dejando que el estudiante decidiera si podía o no llevar su computadora. Luego se les asignaba una tarea en la cual debían utilizar el *software*, pero esta tarea podía ser resuelta en casa. Se llevaron a cabo exámenes en donde se incluyeron problemas en los que los estudiantes debían utilizar el *software*. El *software* fue utilizado por los estudiantes para evaluar las propiedades de sustancias puras, inclusive analizando y utilizando el algoritmo publicado por *Cantera* en su página *web* para evaluar el ciclo de *Rankine*.

Durante las clases magistrales se pudo observar resistencia en los estudiantes a utilizar esta herramienta, lo cual podría ser atribuido a la falta de formación de competencias en programación a lo largo de todo su recorrido académico. También se observó en ellos dificultades para comprender el significado, sintaxis y estructura de los comandos a utilizar.

En una de las evaluaciones realizadas se les pidió a los estudiantes modificar el algoritmo de *Cantera* para el ciclo de *Rankine* con el fin de resolver un problema que incluyera regeneración. Un total de 37 estudiantes resolvieron la evaluación. Tomando en cuenta que este problema tenía un valor asignado de 10 puntos, es notorio que solamente el 51.35% de los estudiantes evaluados obtuvieron una nota superior al 50% del puntaje total del problema, pero el 72.97% mostraron dificultades para plantear el problema y el algoritmo, lo que tenía un valor del 30% de la nota total.

En otra oportunidad, durante el mismo ciclo académico, se realizó una evaluación en donde se incluyó un problema en el cual los estudiantes debían escribir un algoritmo para calcular el rendimiento de un ciclo de refrigeración por compresión de vapor utilizando *Cantera*. En esta ocasión el problema tenía un valor de 20 puntos, de los cuales 10 puntos correspondían al planteamiento del problema. De los 26 estudiantes evaluados, 30.76% de ellos mostró problemas para plantear la solución al problema, y solo el 11.53% obtuvo una nota superior al 50% del puntaje asignado.

Las dificultades observadas en ambos exámenes probablemente pueden atribuirse a dos factores relativamente independientes: las deficiencias en la comprensión conceptual del ciclo de refrigeración evaluados (*Rankine* y refrigeración por compresión de vapor) y la falta de habilidades para construir algoritmos y utilizar el lenguaje del *software*.

Conclusiones

La termodinámica, al igual que cualquier otra disciplina creada por el ser humano, ha evolucionado día a día. Esto se ve reflejado en la evolución de los modelos que se utilizan para describir el comportamiento termodinámico de las sustancias puras, partiendo del uso de la ecuación del gas ideal, llegando a las ecuaciones de estado multiparamétricas. Todo esto ha ofrecido la oportunidad de automatizar los cálculos de propiedades termodinámicas, utilizando *software* capaz de contener los modelos que son exclusivos de cada sus-

tancia. La implementación de este tipo de tecnología en los cursos de termodinámica puede tener aspectos positivos para el profesor y el estudiante. Al primero le permite ahorrar tiempo de cálculo y enfocarse en las explicaciones necesarias para lograr que sus estudiantes comprendan los conceptos. Para los estudiantes, el uso de *software* en su formación académica los prepara para el trabajo a nivel industrial, en donde seguramente tendrá que utilizar este tipo de tecnología, adaptándose a los diferentes tipos de productos tecnológicos que existen en el mercado. Pero también es necesario mencionar los aspectos negativos de la implementación de este tipo de tecnología en el aula, como el hecho de que los estudiantes pueden utilizar el *software* de forma automática, sin detenerse a evaluar el significado de las variables evaluadas, poniendo en riesgo la comprensión de los conceptos estudiados en el curso, o que desarrollen una dependencia de este tipo de herramientas que no les permita desarrollar las capacidades necesarias para utilizar las versiones impresas de las tablas de datos termodinámicos, reduciendo a la vez su capacidad de interpretar datos termodinámicos. El uso de *software* tipo *free open source* puede parecer intimidante para el usuario que no tiene experiencia en el mundo de la programación, como es el caso que se observó en los estudiantes del curso de termodinámica de la Universidad de San Carlos, descrito anteriormente. En esta oportunidad se pudo observar que los estudiantes mostraban problemas para manejar el *software* *Cantera* y su lenguaje, sumándose a las dificultades para la interpretación de conceptos propios de la termodinámica. Por ello es recomendable trabajar más en la implementación de estas herramientas en el aula para el estudio de la termodinámica, usándolas como complemento de las tablas de datos termodinámicos impresas, debido a que el uso combinado de ambas herramientas podría ayudar a que los estudiantes lleguen a comprender mejor las relaciones que existen entre las distintas variables que deben manejarse para estudiar un estado termodinámico. La experiencia en el curso de termodinámica de la Universidad de San Carlos, permite concluir que el uso de *software* debe ser un complemento en el curso, que no sustituye el uso de tablas de datos termodinámicos tradicionales. El acceso a programas gratuitos, como el tipo *open source* es importante, y asegura que casi todas las entidades académicas podrán trabajar con este tipo de programas sin la necesidad de la compra de licencias. En ese sentido la experiencia en la Universidad de San Carlos permite destacar el uso del lenguaje de programación

Python, ejecutado a través de *Jupyter Notebook*, en donde se puede trabajar con bibliotecas de información termodinámica como *Cantera* o *CoolProp*.

Contribución de los autores

Coordinación, elaboración y revisión del Documento: Todos los autores

Revisión y búsqueda de literatura: ARHS

Lectura y resumen de documentos: ARHS

Participación en la estructura y escritura del documento: Todos los autores

Materiales suplementarios

Este artículo no tiene archivos complementarios.

Referencias

- Bakrania, S., & Mallouk, K. (2017). Blowing off Steam Tables. 2017 ASEE Annual Conference & Exposition Proceedings. <https://doi.org/10.18260/1-2-27661>
- Bell, I. H., Wronski, J., Quoilin, S., & Lemort, V. (2014). Pure and pseudo-pure fluid thermophysical property evaluation and the open-source thermophysical property library CoolProp. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 53(6), 2498-2508. <https://doi.org/10.1021/ie4033999>
- Castier, M., & Amer, M. M. (2011). XSEOS: An evolving tool for teaching chemical engineering thermodynamics. *Education for Chemical Engineers*, 6(2), Artículo e62-e70. <https://doi.org/10.1016/j.ecc.2010.12.002>
- Çengel, Y. A., & Boles, M. A. (2015). Properties of pure substances. En *Thermodynamics: An engineering approach* (8th ed., pp. 124-134). McGraw-Hill.
- Chemica Logic Corporation. (2003). Thermodynamic and transport properties of water and steam (2.0). ChemicaLogic Corporation. <http://www.chemicallogic.com/Pages/DownloadnSteamTabCompanion.html>
- Craig, P. A., Nash, J. A., & Crawford, T. D. (2022). Python scripting for biochemistry and molecular

- biology in Jupyter Notebooks. *Biochemistry and Molecular Biology Education*, 50(5), 479-482. <https://doi.org/10.1002/bmb.21676>
- F-chart Software. (2023). Engineering Equation Solver (11.620 2023-06-11). <https://fchartsoftware.com/ees/>
- Goodwin, D. G., Moffat, H. K., Schoegl, I., Speth, R. L., & Weber, B. W. (2022). Cantera: An object-oriented software toolkit for chemical kinetics, thermodynamics, and transport processes (2.6.0). *Zenodo*. <https://doi.org/https://doi.org/10.5281/zenodo.6387882>
- Gourde, R. M., & Akih-Kumgeh, B. (2017). A Matlab program for the determination of thermodynamic properties of steam. *International Journal of Mechanical Engineering Education*, 45(3), 228-244. <https://doi.org/10.1177/0306419016682146>
- Granger, B. E., & Pérez, F. (2021). Jupyter: Thinking and toytelling with ode and Data. *Computing in Science & Engineering*, 23(2), 7-14. <https://doi.org/10.1109/MCSE.2021.3059263>
- Harvey, A. H., & Burgess, D. R. (2021). Fifty years of reference data. *Journal of Physical and Chemical Reference Data*, 50(1), Artículo 010401. <https://doi.org/10.1063/5.0040316>
- Kazakov, A., Muzny, C. D., Chirico, R. D., Diky, V. V., & Frenkel, M. (2008). Web thermo tables - an on-line version of the TRC Thermodynamic Tables. *Journal of Research of the National Institute of Standards and Technology*, 113(4), 209. <https://doi.org/10.6028/jres.113.016>
- Kim, C., Kim, H., & Mun, K. (2020). Use of the international association for the properties of water and steam (IAPWS) formulations, IAPWS-95 & IAPWS-IF97: Making of Mollier diagram and T-s diagram of water and steam. *Thermal Science and Engineering Progress*, 20, Artículo 100691. <https://doi.org/10.1016/J.TSEP.2020.100691>
- Lehtola, S., & Karttunen, A. J. (2022). Free and open source software for computational chemistry education. *WIREs Computational Molecular Science*, 12(5). <https://doi.org/10.1002/wcms.1610>
- Lemmon, E. W., Bell, I. H., Huber, M. L., & McLinden, M. O. (2018). NIST Standard Reference Database 23: Reference Fluid Thermodynamic and Transport Properties-(REFPROP) Version 10. National Institute of Standards and Technology, Standard Reference Data Program. <https://doi.org/https://doi.org/10.18434/T4/1502528>
- Lide, D. R. (1996). SteamTab: Thermodynamic and transport properties of steam. *Journal of Chemical Information and Computer Sciences*, 36(6), 1228-1228. <https://doi.org/10.1021/ci960123w>
- Linstrom, P. J., & Mallard, W. G. (2001). The NIST Chemistry WebBook: A chemical data resource on the internet. *Journal of Chemical & Engineering Data*, 46(5), 1059-1063. <https://doi.org/10.1021/je000236i>
- Linstrom, P. J., & Mallard, W. G. (Eds.). (2023). *NIST chemistry WebBook, NIST Standard Reference Database Number 69*. National Institute of Standards and Technology. <https://doi.org/10.18434/T4D303>
- Liu, Y. (2011). Development of instructional courseware in thermodynamics education. *Computer Applications in Engineering Education*, 19(1), 115-124. <https://doi.org/10.1002/cae.20297>
- Martin, C. R., Moore, J. P., & Ranalli, J. A. (2016). Teaching the foundations of thermodynamics with PYro. *2016 IEEE Frontiers in Education Conference (FIE)*, 1-6. <https://doi.org/10.1109/FIE.2016.7757589>
- Mayhew, Y. R. (1991). Does the methodology of teaching thermodynamics to engineers need changing for the 1990s? *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part A: Journal of Power and Energy*, 205(4), 283-286. https://doi.org/10.1243/PIME_PROC_1991_205_038_02
- MegaWatSoft. (s.f.). Steam97 Application. MegaWatSoft. Recuperado el 11 de junio de 2023, de <https://www.megawatsoft.com/steam-tables/steam97-application.aspx>
- Mulop, N., Yusof, K. M., & Tasir, Z. (2012). A review on enhancing the teaching and learning of thermodynamics. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 56, 703-712. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2012.09.706>
- Nehra, V., & Tyagi, A. (2014). Free open source software in electronics engineering education: A survey. *International Journal of Modern Education and Computer Science*, 6(5), 15-25. <https://doi.org/10.5815/ijmecs.2014.05.03>

- Perkel, J. M. (2015). Programming: Pick up Python. *Nature*, 518(7537), 125-126. <https://doi.org/10.1038/518125a>
- Reades, J. (2020). Teaching on Jupyter. *Region*, 7(1), 21-34. <https://doi.org/10.18335/region.v7i1.282>
- Rolon-Mérette, D., Ross, M., Rolon-Mérette, T., & Church, K. (2020). Introduction to Anaconda and Python: Installation and setup. *The Quantitative Methods for Psychology*, 16(5), S3-S11. <https://doi.org/10.20982/tqmp.16.5.S003>
- Smith, J. M., Van Ness, H. C., Abbot, M. M., & Swihart, M. T. (2018). Appendix E. Steam tables. En *Introduction to chemical engineering thermodynamics* (8th ed., pp. 684-723). McGraw-Hill.
- Southard, M. Z., Rowley, R. L., & Wilding, W. V. (2019). Physical and Chemical Data. En D. W. Green & M. Z. Southard (Eds.), *Perry's chemical engineers' handbook* (9th ed., pp. 191-265). McGraw-Hill.
- Span, R. (2000). *Multiparameter equations of state: An accurate source of thermodynamic property data*. Springer Science & Business Media. <https://doi.org/10.1007/978-3-662-04092-8>
- Vallejo, W., Díaz-Urbe, C., & Fajardo, C. (2022). Google Colab and virtual simulations: Practical e-learning tools to support the teaching of thermodynamics and to introduce coding to students. *ACS Omega*, 7(8), 7421-7429. <https://doi.org/10.1021/acsomega.2c00362>
- Wagner, W., & Pruß, A. (2002). The IAPWS formulation 1995 for the thermodynamic properties of ordinary water substance for general and scientific Use. *Journal of Physical and Chemical Reference Data*, 31(2), 387-535. <https://doi.org/10.1063/1.1461829>
- Wang, Y., Li, M., Wang, X.-S., Gildersleeve, A., & Turki, N. (2023). ATRP Kinetic Simulator: An online open resource educational tool using Jupyter Notebook and Google colaboratory. *Journal of Chemical Education*, 100(7), 2770-2775. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.2c01250>

Prevalencia de la enfermedad de chagas en la aldea Las Palmas de Olopa, Chiquimula

Prevalence of Chagas Disease in Aldea las Palmas, Olopa, Chiquimula

Jessica Alonzo¹, Jorge L. De León³, Andrea Duarte-Tagua¹, Monica López¹, Antonieta G. Rodas²,
Omar Serrano¹, Pablo Tzorin¹, Karla Lange¹, Vivian Matta ¹

¹Departamento de Citohistología, Escuela de Química Biológica, ²Laboratorio de Entomología Aplicada y Parasitología LENAP, ³Unidad de Bioinformática, Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia, Universidad de San Carlos de Guatemala

*Autor al que se dirige la correspondencia: vivian.matta@fulbrightmail.org

Recibido: 13 de febrero 2023 / Revisión: 10 de mayo 2023 / Aceptado: 14 de noviembre 2023

Resumen

La enfermedad de Chagas es una enfermedad parasitaria asociada a condiciones de pobreza y hacinamiento y constituye un problema de salud pública en Guatemala, por tal motivo se determinó la prevalencia de la fase aguda y crónica en 134 mujeres en edad fértil y 164 escolares de la aldea Las Palmas, Chiquimula y los factores sociodemográficos asociados. No se obtuvo ningún caso positivo para la fase aguda, pero si cuarenta positivos (13.42%) para crónica, tres niños y treinta y siete mujeres. Los grupos etarios mayormente afectados fueron el rango de 13 a 14 años con dos casos (1.22%, 2/164) y de 25 a 34 años con quince casos (11.19%, 15/134). La mayoría de participantes del estudio (190) pertenecían al sector 3 de la aldea, con veinte casos positivos en mujeres y tres en escolares. Los factores de la vivienda mayormente asociados a positividad fueron techo de lámina, pared de bajareque, paredes agrietadas y suelo de tierra, pero sin significancia estadística ($p < .05$). La mayoría de la población conoce el vector y la enfermedad, sin embargo, en los positivos únicamente el 12.5% (5/40) conocían las heces de la chinche, 42.5% (17/40) lo han observado dentro de la casa y 20% (8/40) reconocieron haber sido picados por el vector. Se evidenció el riesgo al que está expuesta la población y que sus condiciones de las viviendas favorecen el alojamiento al vector por lo que se recomienda continuar con las acciones de control de vector y de educación a la población.

Palabras clave: Enfermedad de Chagas, *Trypanosoma cruzi*, Prevalencia, Mujeres en edad fértil, Anticuerpos IgG contra *T. cruzi*

Abstract

Chagas disease is a parasitic disease associated with conditions of poverty and overcrowding and it is considered a public health problem in Guatemala. For this reason, the prevalence of the acute and chronic phase was determined in 134 women of childbearing age and 164 schoolchildren living in the village. Las Palmas, Chiquimula and the associated sociodemographic factors. No positive cases were obtained for the acute phase, but there were forty positive cases (13.42%) for the chronic phase, three children and thirty-seven women. The most affected age groups were the range of 13 to 14 years with two cases (1.22%, 2/164) and 25 to 34 years with fifteen cases (11.19%, 15/134). The majority of study participants (190) belonged to sector 3 of the village, with twenty positive cases in women and three in schoolchildren. The housing factors most associated with positivity were tin roof, mud wall, cracked walls and dirt floor, but without statistical significance ($p < .05$). The majority of the population knows the vector and the disease, however, in the positive cases only 12.5% (5/40) were aware of the bedbug feces, 42.5% (17/40) have observed it inside the house and 20% (8/40) acknowledged having been bitten by the vector. The risk to which the population is exposed was evident and that their housing conditions favor the accommodation of the vector, so it is recommended to continue with vector control actions and education of the population.

Keywords: Chagas disease, *Trypanosoma cruzi*, Prevalence, Women of childbearing age, IgG antibodies against *T. cruzi*



Introducción

La enfermedad de Chagas es una infección parasitaria ocasionada por *Trypanosoma cruzi*, que constituye un problema de salud pública significativo en América Latina, y cuya distribución va desde el sur de los Estados Unidos hasta Argentina y Chile. Puede ser asintomática o con síntomas inespecíficos, a excepción del chagoma en la fase aguda, y persistir durante años ocasionando problemas cardíacos o del tracto gastrointestinal, años o décadas después de haberse adquirido (Organización Panamericana de la Salud (OPS), Organización Mundial de la Salud (OMS) s.f.). La transmisión congénita ocurre en regiones endémicas y depende directamente de la infección en las mujeres en edad fértil, quienes han adquirido *T. cruzi* principalmente por transmisión vectorial (Carlier et al., 2011).

En Guatemala las actividades de vigilancia epidemiológica para la enfermedad de Chagas han contemplado encuestas serológicas en la población en riesgo para verificar la interrupción de la transmisión, así como encuestas entomológicas que se realizan en localidades seleccionadas de acuerdo con factores de riesgo entomológico y epidemiológico. Las encuestas serológicas se han dirigido a niños de 1 a 6 años y en edad escolar, embarazadas y mujeres en edad fértil, encontrando positividad que varían de 0.57% (niños de 1 a 6 años en 2004), hasta 24.36% (en mujeres en edad fértil en 2016-2018) (Chávez, 2020). Entre las medidas de control que se han implementado está el rociamiento residual intradomiciliario, la búsqueda de triatominos y el mejoramiento de viviendas (Ministerio de salud pública y asistencia social, 2016).

Según el Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social (MSPAS), el departamento de Chiquimula y principalmente el municipio de Olopa, es considerado área endémica y de alta prevalencia para esta enfermedad (Agencia de Cooperación Internacional del Japón (JICA), 2014; MSPAS, 2016; Matta, 1993).

Chávez (2020) estimó que la prevalencia de casos para Chiquimula en el año 2018 es de 0.22% (IC 0.00-0.2984) con una tasa de incidencia por 10,000 habitantes de 1.0 (IC 1.2680755 - 8.5915) para el año 2004 y 3.0 (IC 0.2976 - 3.7077) para el 2018, lo que demuestra que la positividad ha aumentado con el transcurso del tiempo.

Este estudio se realizó por reportes de la presencia *Rhodnius prolixus* en la aldea Las Palmas (Rodas, comunicación personal, enero 10, 2017) donde no se han realizado estudios previos de seroprevalencia en la población, por lo que se consideró importante estudiar a las mujeres en edad fértil, ya que pueden encontrarse

infectadas al momento de embarazarse y ser un grupo de riesgo de transmisión congénita de la enfermedad, así como en niños en edad escolar. De encontrar un caso positivo se les brindaría el tratamiento oportuno.

Presentación de caso

El estudio se llevó a cabo en la aldea Las Palmas, Olopa, Chiquimula, la que de acuerdo a su ubicación geográfica se divide en tres sectores. Participaron 164 niños en edad escolar comprendidos entre 5 a 14 años de edad y 134 mujeres en edad fértil entre 15 a 49 años de edad, para un total de 298 participantes. Todos fueron convocados a participar por medio del Consejo Comunitario de Desarrollo (Cocodes). Inicialmente se impartió a los habitantes de la aldea una plática sobre la enfermedad de Chagas, su importancia y el estudio a realizar, y se invitó a participar voluntariamente. Cada participante firmó consentimiento informado, en el caso de los niños fueron los padres quienes lo llenaron. Posteriormente se recolectaron los datos de cada uno utilizando una ficha epidemiológica y se realizó la extracción de la muestra de sangre.

Los datos demográficos se presentan en la Tabla 1, encontrando que, en el caso de los niños, la población mayoritaria correspondía al sexo femenino con 86 (52.44%). Los grupos etarios con mayor cantidad de participantes en el caso de los niños fue el de 9 y 10 años con 40 (13.42%) y en el caso de las mujeres de 15 a 24 con 52 participantes (17.45%). La mayoría de los participantes provenían del sector tres, con 100 niños (33.56%) y 90 mujeres (30.20%).

En el caso de los niños se les realizó hemocultivo con medio BHI y serología, mientras que en el de las mujeres se les realizó un frotis sanguíneo con coloración de Giemsa para la fase aguda y serología. No se encontró ningún caso positivo para la fase aguda de la enfermedad de Chagas, en el caso de los niños en el hemocultivo con BHI y en las mujeres en la tinción de Giemsa de concentrado leucocitario.

Para la serología se utilizó Hemaglutinación Inversa (HAI), ensayo inmuno enzimático (ELISA) lisado y ELISA recombinante. Las muestras discordantes fueron referidas al Laboratorio Nacional de Salud, para su confirmación. El análisis estadístico se realizó por medio de estadística descriptiva y la asociación de variables por Odds ratio (OR) y X^2 con el programa EpiInfo versión 7, con un IC de 95%.

Para la fase crónica, un total de 40 muestras fueron positivas para anticuerpos IgG contra *T. cruzi*, lo que equivale a una prevalencia global de 13.42%, tres

casos positivos en los niños (1.83%) y 37 en mujeres (27.61%). El grupo etario mayormente afectado en los niños fue el rango de 13 a 14 con dos casos (1.22%) y en el caso de las mujeres, el de 25 a 34 años con un total de 15 casos (11.19%) (Tabla 1).

La aldea Las Palmas está dividida en tres sectores, por lo que los participantes fueron clasificados de acuerdo al sector de domicilio. Al comparar la positividad por sector, se observó que el sector 3 fue el de mayor participación en el estudio con un total de 90 mujeres y 100 niños, encontrándose 20 casos positivos en mujeres y tres casos en niños, lo que equivalen al 57.50%. El sector 2, con cinco casos, obtuvo un 12.5%

de positividad, mientras que en el sector 1 se encontraron cuatro casos, que representan el 10.0% (Tabla 1). Se encontró que 18 mujeres no refirieron el sector en el que viven y de ellas ocho fueron positivas (20.0%).

Los tres casos en niños corresponden al sexo masculino, de 5, 13 y 14 años. Tales casos presentaban malestar general, dificultad para tragar y dolor abdominal. Los niños positivos detectados fueron referidos al Área de Salud de Chiquimula, en donde se les proporcionó como tratamiento, nifurtimox por un período de 2 meses. Cabe mencionar que únicamente uno de los tres casos positivos de este estudio, su madre presentó la misma afección.

Tabla 1

Características sociodemográficas de la población a riesgo (N = 298)

			Positivos		Negativos	
			n	%	n	%
Grupo etario (años)						
		5 a 6	1	0.61	36	21.95
		7 a 8	0	0.00	37	22.56
		9 a 10	0	0.00	40	24.39
		11 a 12	0	0.00	29	17.68
		13 a 14	2	1.22	19	11.59
		Subtotal	3	1.83	161	98.17
		15-24	6	4.48	46	34.33
		25-34	15	11.19	33	24.63
		35-44	10	7.46	15	11.19
		45-49	6	4.48	3	2.24
		Subtotal	37	27.61	97	72.39
		TOTAL	40	13.42	258	86.58
Sector						
	1	Niños	0	0.0	30	10.07
		Adultos	4	1.34	9	3.02
	2	Niños	0	0.0	34	11.41
		Adultos	5	1.68	8	2.68
	3	Niños	3	1.01	97	32.55
		Adultos	20	6.71	70	23.49
		No refiere	8	2.68	10	3.36
		TOTAL	40	13.42	258	86.58

Nota. Ficha epidemiológica

Al preguntarles sobre el conocimiento del vector y de la enfermedad de Chagas, se observó que 29 de las pacientes positivas y los tres niños positivos conocían al vector (80.00%, 32/40). Sin embargo, únicamente cuatro (10.81%) de las mujeres positivas y un niño (33.33%) conocían las heces de la chinche, el 42.5% de las mujeres y niños positivos (17/40) lo han observado

dentro de la casa. En relación al haber sentido la picadura del vector, el 20% de los positivos que incluyen a un niño y 7 mujeres lo reconocieron (Tabla 2).

Con respecto al material de construcción de las viviendas, de las 37 mujeres positivas y los tres niños positivos se observó que la mayoría vivían en condiciones precarias, donde el 75.0% (30/40) eran casas con

Tabla 2

Antecedentes de exposición y conocimientos generales sobre la enfermedad de Chagas (N = 298)

Conocimientos generales	Positivos				Negativos			
	n mujeres	n niños	Total	%	n mujeres	n niños	Total	%
Conocimiento del vector								
Si	29	3	32	80	72	130	202	78.3
No	8	0	8	20	25	31	56	21.7
Conocimiento de las heces del vector								
Si	4	1	5	12.5	7	13	20	7.8
No	33	2	35	87.5	90	148	238	92.2
Vector dentro de la casa								
Si	14	3	17	42.5	41	71	112	43.4
No	23	0	23	57.5	56	90	146	56.6
La ha picado el vector								
Si	7	1	8	20	15	24	39	15.1
No	30	2	32	80	82	135	217	84.1
No refiere	0	0	0.0	0	0	2	2	0.8
Familiar con antecedentes de picadura del vector								
Si	6	3	9	22.5	22	38	60	23.3
No	31	0	31	77.5	75	123	198	76.7
Familiar con antecedentes de la Enfermedad de Chagas								
Si	4	1	5	12.5	4	14	18	7.0
No	33	2	35	87.5	93	147	240	93.0
Historial de transfusión								
Si	0	0	0	0	3	2	5	1.9
No	37	3	40	100	94	159	253	98.1

Nota. Ficha epidemiológica

paredes de bajareque, lo que implicó una probabilidad de riesgo de 1.67 veces más de las que no lo tienen. Además, se encontró que el 67.5% (27/40) de las mujeres y 66.7% (2/3) de los niños reportaron tener las paredes agrietadas de sus casas, lo que incrementó en 1.14 veces el riesgo de alojar al vector en contraste con las viviendas sin grietas. El 90.0% (36/40) de las mujeres positivas y 100.0% (3/3) de los niños positivos poseían techo de lámina lo que implicó una probabilidad de riesgo de 0.79 veces. Asimismo, 78.37% (29/37) de las mujeres positivas y el 100% de los niños positivos, indicaron no haber tenido mejoras en su vivienda en los últimos 5 años; sin embargo, al realizar el análisis estadístico no se encontró diferencia estadísticamente

significativa entre la positividad y la mejora de vivienda ($p < .05$). (Tabla 3).

En el grupo de los niños, se encontró que el 64.63% (106/164) fumigaron sus casas, y de ellos, 35 (33.02%) utilizaron deltametrina por iniciativa del MSPAS, 7 (6.60%) utilizaron Baygon y 64 (60.38%) no refirieron. Además, el 163 (99.39%) mencionaron que suelen recoger la leña y los encargados de hacerlo son, en la mayoría de los casos, los padres con 116 (71.17%). Se encontró que la mayoría de los niños (108, 65.85%) tienen mascotas en sus viviendas y 105 (64.02%) mencionaron que no tienen gallineros próximos a su vivienda. Los encargados de limpiar a los animales son los padres con 46 (38.6%) (Tabla 4).

Tabla 3

Características de vivienda de la población a riesgo y su asociación con la presencia de anticuerpos anti-T. cruzi (N = 298)

Variables	Positivos				Negativos				OR*	IC 95%**	p***
	n mujeres	n niños	TOTAL	%	n mujeres	n niños	TOTAL	%			
Pared de bajareque											
Si	28	2	30	75	62	106	168	65.1	1.67	0.75 - 3.44	0.22
No	9	1	10	25	35	55	90	34.9			
Paredes agrietadas											
Si	27	2	29	72.5	67	113	180	69.8	1.14	0.54 - 2.4	0.35
No	10	1	11	27.5	30	45	75	29.1			
No refiere	0	0	0	0.0	0	3	3	1.2			
Techo de lámina											
Si	36	3	39	97.5	96	157	253	98.1	0.77	0.09 - 6.77	0.81
No	1	0	1	2.5	1	4	5	1.9			
Suelo de tierra											
Si	35	3	38	95	95	155	250	96.9	0.6	0.12 - 2.97	0.54
No	2	0	2	5	2	6	8	3.1			
Mejora de vivienda											
Si	8	0	8	20	21	35	56	21.7	0.9	0.39 - 2.07	0.80
No	29	3	32	80	76	126	202	78.3			
Gallinero próximo a la vivienda											
Si	13	1	14	35	37	54	91	35.3	0.98	0.49 - 1.99	0.97
No	24	2	26	65	60	103	163	63.2			
No refiere	0	0	0	0.0	0	4	4	1.6			

Nota. Ficha epidemiológica

Datos o, *OR=Odds Ratio: Son significativos los valores $> a 1$. **IC=Intervalo de Confianza. ***Valor p = Significancia estadística ($p < .05$)

Tabla 4

Riesgo de exposición de los niños del estudio por animales domésticos (N = 164)

Datos de vivienda	Total n (%)
Animales domésticos	
Si	108 (65.85)
No	56 (34.15)
Encargado de limpiar a los animales	
Todos	37 (31.09)
Padres	46 (38.66)
Hijos	2 (1.68)
No refiere	34 (28.57)

Nota. Ficha epidemiológica

Discusión

El presente estudio fue realizado en junio de 2016 con el fin de determinar la prevalencia de la enfermedad de Chagas en niños en edad escolar y en mujeres de edad fértil de la aldea Las Palmas, municipio de Olopa departamento de Chiquimula, principalmente por los reportes de la presencia de *R. prolixus* en la aldea, especie que se considera erradicada desde el año 2008 (Hashimoto & Schofield, 2012).

Este municipio pertenece al departamento de Chiquimula y tiene una extensión de 112 km², comprende la localidad de Olopa y 29 aldeas, y tiene una población de 22,944 habitantes con una ruralidad de 90.96%. En el territorio se identifican dos grupos grandes de personas, entre los que se mencionan los ladinos o mestizos y el grupo étnico Ch'orti, siendo este último el que más prevalece en relación a la totalidad de pobladores del municipio, donde el 65.21% pertenecen a este grupo étnico (Secretaría de Planificación y Programación de la Presidencia, 2010).

La prevalencia general de la enfermedad de Chagas encontrada fue de 13.42%, de los cuales tres casos corresponden a niños (1.00%) y 37 a mujeres (12.42%). La prevalencia en niños es bastante similar a la reportada en el estudio realizado por Médicos Sin Fronteras (MSF), en 2003-2006 en el cual se determinó una seropositividad de 1.4% para la enfermedad de Chagas en 8,927 niños de menores de 15 años en varias aldeas del municipio de Olopa (Yun et al., 2009) y aunque es baja, debe de ser tomada en cuenta, ya que indica la

presencia de transmisión activa, por lo que debe de continuarse con los estudios a fin de determinar el foco de transmisión y tomar las acciones necesarias para su control. Así como el seguimiento de los niños por las autoridades de salud, con el fin de establecer la aparición de los síntomas característicos de la enfermedad.

La positividad encontrada en las mujeres en edad fértil demuestra que se encuentran en riesgo de desarrollar la enfermedad de Chagas y de transmitir la infección por vía congénita. Esta prevalencia fue mayor a la reportada por el MSPAS con siete casos (3.70%) de 189 evaluados en el departamento de Chiquimula en el 2015. Sin embargo, debe tomarse en cuenta que este fue el primer estudio de seroprevalencia que se realiza en mujeres en edad fértil en esta comunidad, por lo que no puede realizarse ninguna comparación (MSPAS, 2016). Por otro lado, Solares y Guerra (2018), reportaron una prevalencia de 19.79% en mujeres en edad fértil en las aldeas La Prensa y El Guayabo ambas del mismo municipio, la cual es más alta que la obtenida en este estudio (Solares & Guerra, 2018).

Al evaluar la fase aguda de la enfermedad de Chagas no se detectó ningún caso positivo, esta fase se consideró necesario evaluarla en vista de los reportes recientes de *R. prolixus* en esa aldea. Posiblemente no se detectaron casos agudos de la enfermedad porque la presencia de *R. prolixus* se encontró en tres viviendas que se ubican bastante lejanas al resto de la aldea. Cabe mencionar, que los habitantes de dichas viviendas decidieron no participar, ya que algunos de estos habían sido evaluados previamente por el MSPAS, por lo

que no constituyen parte del presente estudio (Monroy et al., 2003; Rodas, A., comunicación personal, 10 de enero de 2017).

Otra de las razones probables por las que no se detectaron casos agudos es por las actividades de rociamiento con deltametrina, el cual es un insecticida piretroide efectivo utilizado en el control del vector (Angulo Silva et al., s.f.) las cuales se llevaron a cabo en febrero del año 2016 en todos los sectores de la aldea, incluyendo las tres viviendas infestadas por el vector a fin de conservar su erradicación (Hashimoto & Schofield, 2012; Rodas, A, comunicación personal, 28 de octubre 2016). Estas actividades de rociamiento son importantes ya que eliminan al vector, pero es importante tomar en cuenta que la población infectada debe estar en constante control a fin de evitar la aparición de la sintomatología propia de la enfermedad.

Otro factor que pudo haber contribuido en los resultados obtenidos fue el mejoramiento de las viviendas realizado por los habitantes en la comunidad, ya que el 21.48% de los habitantes refirió haber hecho algún tipo de mejora, el cual constituye una de las actividades más significativas para el control de la transmisión vectorial de la enfermedad. Un estudio llevado a cabo por Monroy y colaboradores (1998) acerca de la efectividad de los emplastos y repellos de pared como medida para el control de vectores en la enfermedad de Chagas, evidencia que estos disminuyen considerablemente, en un corto plazo, la población de vectores de esta enfermedad.

En cuanto a los resultados por edad, en niños los casos positivos con infección crónica, se encontraban en las edades de 5, 13 y 14 años, los cuales probablemente se infectaron antes de que *R. prolixus* fuera erradicado a consecuencia de las medidas de control vectorial implementadas, o adquirieron la infección por otros vectores capaces de transmitir *T. cruzi*. A partir de agosto del 2000, el gobierno de Guatemala conjuntamente con JICA inició el rociamiento de viviendas en los departamentos de Santa Rosa, Jutiapa, Zacapa y Chiquimula logrando la erradicación del vector en el 2008 (Hashimoto & Schofield, 2012), periodo en el cual dos de los casos positivos detectados ya habían nacido (13 y 14 años).

En el caso de las mujeres, el más afectado es el rango de 25 a 34 años, lo cual es preocupante ya que las madres pueden, en caso de quedar embarazadas transmitirles la infección a sus hijos, o bien ser una fuente de contagio para el resto de la familia, si en las casas aún se observa la presencia del vector. En este caso las mujeres no reportaron ningún síntoma característico

de la enfermedad, pero al estar positivas el riesgo que en el futuro lo desarrolle existe, por lo que deben ser monitoreadas por las autoridades de salud.

Barillas Mendoza y López López Escobar (2015) en el departamento de Jutiapa, encontraron en la comunidad de Tepenance que el rango más afectado fue el de 31-40 años, mientras que en El Comalito el grupo más afectado fue el de 21-30 años, rangos bastante similares a los de este estudio. En otro estudio realizado por Ramírez Gómez y Flores Aquino (2014) se encontró que, en dos aldeas del municipio de San Pedro Pinula, Jalapa los grupos etarios más afectados en mujeres en edad fértil, fueron los comprendidos entre 16-29 años y 30-39 años obteniendo un porcentaje de 58.0% y 27.3% respectivamente.

También se indagó sobre reconocimiento y presencia de heces del vector en las viviendas, encontrando que solamente 11 de las 134 mujeres y 14 de los 164 niños encuestados refirieron conocer las heces del vector, a pesar de que estas constituyen un foco de infección de *T. cruzi*, por lo que es importante educar a la población sobre su identificación y eliminación. Los tres casos detectados con infección crónica en niños coinciden con los antecedentes de exposición anteriormente mencionados, lo que sugiere que estos pueden ser factores de predisposición a padecer la enfermedad.

Este estudio no demostró una relación entre madres e hijos infectados con *T. cruzi* ya que solamente uno de los tres niños con enfermedad de Chagas su madre tiene la misma infección. Cabe mencionar que en otros estudios se ha encontrado una asociación en cuanto a la infección por *T. cruzi* en la infancia y tener una madre seropositiva, lo cual puede ser debido a la transmisión vertical (Fumadó et al., 2014); sin embargo, en el presente estudio demostrar dicha asociación no fue posible a causa del escaso número de casos positivos detectados, por lo que se hace necesario continuar con estos estudios.

Se observó que los tres sectores poseían características similares en el tipo de construcción y que la intervención en esta aldea ha sido muy baja. De acuerdo a la ficha epidemiológica utilizada, la aldea Las Palmas, se caracterizó por poseer casas con paredes de bajareque, techo predominantemente de lámina y piso de tierra, lo que las convierte en sitios vulnerables e insalubres. En la población estudiada, la mayor parte de las viviendas presentaron por lo menos un elemento estructural de riesgo para la infestación por triatomíneos y 75.67% mujeres seropositivas y 66.66% de los niños seropositivos reportaron habitar en casas con paredes de bajareque (OR = 1.67). Las casas con pared de baja-

requen tienen 1.67 más veces la probabilidad de riesgo de estar en contacto con el vector, ya que permiten la infestación de triatominos al favorecer temperatura, humedad y formación de grietas adecuadas para la proliferación del vector, aunque no se encontró significancia estadística ($p < .05$) (Badel-Mogollón et al., 2017)

Se sabe que los lugares preferidos por estos insectos adultos y sus estadios larvarios son los hábitats domésticos y peridomésticos donde viven y se reproducen en grietas y hendiduras de construcciones precarias (Sanmartino & Crocco, 2000; Badel-Mogollón et al., 2017), es por ello que se indagó sobre la presencia de paredes agrietadas en las casas. Noventa y cuatro de las mujeres que habitaban en casas con paredes agrietadas dijeron tenerlas y de ellas 72.97% (27/37) fueron seropositivas y en el caso de los niños, 115 indicaron poseerlas y dos dieron un resultado positivo. En el análisis estadístico, este factor aumentó en 1.14 veces la probabilidad de riesgo de ser seropositivo. En relación al piso de tierra en las casas, 35 mujeres seropositivas y todos los niños seropositivos dijeron tenerlo, lo cual aumentó en .6 veces la probabilidad de riesgo de ser positivas. Ninguna de estas características de las viviendas presentó significancia estadística ($p < .05$).

Otros estudios en mujeres seropositivas como el de Ramírez Gómez y Flores Aquino (2014), encontraron que los materiales de construcción más utilizados en sus casas fueron paredes de adobe (92.0%), techo de lámina (67.3%), piso de tierra (75.3%) y uso de paredes sin repello (68.0%). Asimismo, Santisteban Ruiz (2014) encontró que en las viviendas de pacientes seropositivas los materiales más usados fueron paredes de adobe (48.6%), techo de lámina (53.8%) y piso de tierra (44.1%). Estos datos fueron concordantes con este estudio, ya que el tipo de material observado fue similar lo cual favoreció el anidamiento de los vectores, dando así la oportunidad para la infección con *T. cruzi*. El 97.3% de las pacientes positivas y el 100% de los niños, tenían casas con techo de lámina, observando que poseer techo de lámina aumentó 0.79 veces la probabilidad de riesgo de infección para la enfermedad de Chagas. Datos similares se observan en el estudio de Ramírez Gómez y Flores Aquino (2014) en el que se observó que el 80% de los casos positivos sus casas poseían techo de lámina. En resumen, en ambos estudios el material más representativo del techo fue la lámina.

La presencia del vector depende del estado de las viviendas y las condiciones favorables para su existencia. Al recabar datos para conocer la situación de las

casas, se observó que 105 mujeres indicaron no haber tenido mejoras en su vivienda desde su construcción y de ellas el 27.6% fueron seropositivas, y en el caso de los niños 129 indicó no haber realizado mejoras en sus casas y de ellos tres fueron positivos (2.3%), sin embargo, este factor no presentó significancia estadística ($p < .05$).

Otro de los factores analizados fue la presencia de gallineros cercanos a la vivienda. Se observó que un total de 84 mujeres y 103 niños reportaron no tener gallineros, aunque refirieron que dormían junto con sus animales domésticos dentro de la vivienda. En el ciclo vital doméstico de la enfermedad de Chagas participan los triatominos domiciliarios y animales domésticos. La posibilidad de infección por *T. cruzi* aumenta con la disponibilidad de sangre proporcionada por los animales domésticos, la elevada densidad de triatominos domiciliarios y el contacto con el ser humano (Ramsey & Schofield, 2005).

La prevalencia de 13.42% encontrada en este estudio evidenció el riesgo al que está expuesta la población de la aldea Las Palmas, sumado a esto, las condiciones de las viviendas que proporcionan alojamiento al vector, constituyen un foco de infección. Se recomienda continuar con las acciones de control de vector como el rociamiento de las viviendas, limpieza y mejora de las viviendas, así como con la educación a la población para favorecer la identificación del vector.

Agradecimientos

Al personal de vectores del Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social. Al Consejo Comunitario de Desarrollo (Cocode) de la aldea Las Palmas.

Contribución de los autores

Coordinación, elaboración y revisión del Documento: KL, VM

Diseño de la recolección de datos o del trabajo en campo: KL, AR, VM

Recolección o contribución de datos o realización del trabajo de campo: Todos los autores

Limpieza, sistematización, análisis o visualización de datos: Todos los autores

Participación en análisis de datos, estructura y en la escritura del documento: Todos los autores

Referencias

- Agencia de Cooperación Internacional del Japón. (2014). *Buenas prácticas en el Control de la Enfermedad de Chagas en Guatemala, El Salvador, Honduras y Nicaragua. 2000-2014.*
- Angulo Silva, V. M., Cáceres Carrera, L., Fortuny, A., Molina de Fernández, D., Moncayo, A., Picollo, M. I., Sandoval, C., Soto Vivas, A., & Zerba, E. (s.f.). *Monitoreo de la resistencia a insecticidas en Triatominos en América Latina.* Red Latinoamericana de control de Triatominos. [https://www.mundosano.org/download/bibliografia/Monografia 1.pdf](https://www.mundosano.org/download/bibliografia/Monografia%201.pdf)
- Badel-Mogollón, J., Rodríguez-Figueroa, L., & Parra-Henao, G. (2017). Análisis espacio-temporal de las condiciones biofísicas y ecológicas de *Triatoma dimidiata* (Hemiptera: Reduviidae: Triatominae) en la región nororiental de los Andes de Colombia. *Biomédica*, 37(2), 106-123. <https://doi.org/10.7705/biomedica.v34i2.3496>
- Barillas Mendoza, M. F., & López Escobar, M. V. (2015). *Determinación de la frecuencia de la enfermedad de Chagas en mujeres de edad fértil del municipio de Comapa, Jutiapa* [Seminarario de investigación, Universidad de San Carlos de Guatemala]. <https://biblioteca-farmacia.usac.edu.gt/Tesis/QB1130.pdf>
- Carlier, Y., Torrico, F., Sosa-Estani, S., Russomando, G., Luquetti, A., Freilij, H., & Vinas, P. A. (2011). Congenital Chagas disease: Recommendations for diagnosis, treatment and control of newborns, siblings and pregnant women. *PLoS Neglected Tropical Diseases*, 5(10), Artículo e1250. <https://doi.org/10.1371/journal.pntd.0001250>
- Chávez, E. (2020). Evolución de la Enfermedad de Chagas e infestación con triatominos en Chiquimula, Guatemala, 2000-2018. *Revista Médica. Colegio de Médicos y Cirujanos de Guatemala*, 159(2), 85-90. <https://doi.org/10.36109/rmg.v159i2.254>
- Fumadó, V., Juncosa, T., Posada, E., Fisa, R., Gállego, M., & Gascón, J. (2014). Chagas pediátrico en zona no endémica. *Enfermedades Infecciosas y Microbiología Clínica*, 32(5), 293-296. <https://doi.org/10.1016/j.eimc.2013.04.024>
- Hashimoto, K., & Schofield, C. J. (2012). Elimination of *Rhodnius prolixus* in Central America. *Parasites & Vectors*, 5, Article 45. <https://doi.org/10.1186/1756-3305-5-45>
- Matta, V. L. (1993). Enfermedad de Chagas en Guatemala: Prevalencia y transmisión. *Revista Científica*, 9(1), 2-6.
- Monroy, C., Rodas, A., Mejía, M., Rosales, R., & Tabaru, Y. (2003). Epidemiology of Chagas disease in Guatemala: Infection rate of *Triatoma dimidiata*, *Triatoma nitida* and *Rhodnius prolixus* (Hemiptera, Reduviidae) with *Trypanosoma cruzi* and *Trypanosoma rangeli* (Kinetoplastida, Trypanosomatidae). *Memorias do Instituto Oswaldo Cruz*, 98(3), 305-310. <https://doi.org/10.1590/S0074-02762003000300003>.
- Monroy, C., Rodas, A., Mejia, M., & Tabaru, Y. (1998). Wall plastering and paints as methods to control Chagas disease in Guatemala. *Medical Entomology and Zoology*, 49(3), 187-193.
- Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social (MSPAS). (2016). Informe anual. Situación de las Enfermedades transmisibles y no transmisibles prioritaria de vigilancia epidemiológica. Guatemala 2016. 121pp.
- Organización Panamericana de la Salud & Organización Mundial de la Salud. (s.f.). Chagas disease <https://www.paho.org/en/topics/chagas-disease>
- Ramírez Gomez, A. L., & Flores Aquino, E. J. (2014). *Determinación de la frecuencia de la enfermedad de Chagas en mujeres en edad fértil, en dos aldeas del municipio de San Pedro Pinula, Jalapa, Guatemala* [Seminarario de investigación, Universidad de San Carlos de Guatemala]. Repositorio del Sistema Bibliotecario, Universidad de San Carlos de Guatemala.
- Ramsey, J. M., & Schofield, C. J. (2005). Control de vectores de la enfermedad de Chagas. *Salud Pública de México*, 45(2), 123-128.
- Sanmartino, M., & Crocco, L. (2000). Conocimientos sobre la enfermedad de Chagas y factores de riesgo en comunidades epidemiológicamente diferentes de Argentina. *Revista Panamericana de Salud Pública*, 7(3), 172-178.
- Santisteban Ruiz, G. A. (2014). Prevalencia de anticuerpos IgG contra *Trypanosoma cruzi* en

- habitantes mayores de 14 años de la Aldea “Pie de la Cuesta” del municipio de San Pedro Pinula, Jalapa* [Tesis de licenciatura, Universidad de San Carlos de Guatemala].
- Secretaría de Planificación y Programación de la Presidencia (Segeplan). (2010). Plan de desarrollo Olopa, Chiquimula. 2011-2015. https://portal.segeplan.gob.gt/segeplan/wp-content/uploads/2022/08/PDM_2006.pdf
- Solares Barrera, A. J., & Guerra García, M. B. (2018). Determinación de la frecuencia de enfermedad de Chagas en mujeres en edad fértil del municipio de Olopa, Chiquimula. Seminario de investigación, Universidad de San Carlos de Guatemala]. http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/06/06_4162.pdf
- Yun O, Lima MA, Ellman T, Chambi W, Castillo S, et al. (2009) Feasibility, Drug Safety, and Effectiveness of Etiological Treatment Programs for Chagas Disease in Honduras, Guatemala, and Bolivia: 10-Year Experience of Médecins Sans Frontières. *PLOS Neglected Tropical Diseases* 3(7), e488. <https://doi.org/10.1371/journal.pntd.0000488>

Instrucciones para autores

Ciencia, Tecnología y Salud es la Revista de Investigación y Postgrado de la Universidad de San Carlos de Guatemala, orientada a divulgar los conocimientos de las áreas científicas, tecnológicas y de la salud humana y animal a la comunidad científica nacional e internacional. Constituye una publicación de carácter semestral no lucrativa en formato digital (Open Journal System-OJS) y en forma impresa, cuyos manuscritos, aceptados para publicación son sometidos a procesos de revisión y arbitraje por pares ciegos y externos, lo que garantiza al lector y autores un alto nivel y rigor académico.

Instrucciones generales (lea detenidamente todas las instrucciones para autor)

1. La Revista publica los siguientes tipos de manuscritos:
 - a. Artículos científicos
 - b. Artículos de revisión
 - c. Ensayos
 - d. Reseñas
 - e. Reporte de casos
 - f. Comunicaciones cortas
 - g. Conferencias de congresos científicos
 - h. Resúmenes de congreso
2. La revista presta consideración editorial a artículos originales inéditos en idioma español e inglés. Si el material a publicar ha sido presentado en forma parcial en algún Congreso Científico, indíquelo al final del resumen o en carta al editor.
3. Para enviar un manuscrito regístrese como autor en la plataforma OJS, (sección registrarse), los artículos incompletos que no cumplan las Instrucciones para Autores, serán devueltos sin evaluación.
4. Todos los trabajos deben presentarse en formato MS Word (versión 2007) o formato LaTeX (por medio de la plantilla que puede descargar en <https://github.com/hepfpeh/cts-DIGI>). Tamaño carta, letra Times New Roman 12 puntos, interlineado de 1.5, márgenes de 2.5 cm, a una columna, sin justificar, páginas numeradas y las citas y referencias de acuerdo al Manual de Publicaciones de la *American Psychological Association* (APA) 7a. edición. El sistema de medidas utilizado debe ser el sistema métrico decimal y las palabras en otro idioma deben aparecer en cursiva, excepto las abreviaturas comunes en el idioma en que se escribe (et al., per se, a priori, etc.)
5. Todos los trabajos deben incluir una portadilla, donde se consigne el título corto (no mayor a 11 palabras), título en español e inglés, los nombres de los autores (nombre, apellido), su afiliación institucional (utilizar números arábigos en superíndice) y dirección electrónica para enviar correspondencia (se indicará al autor con un asterisco).
6. Los manuscritos que informen investigaciones con seres humanos o animales, deben incluir una sección de Aspectos Éticos del trabajo, incluyendo la aprobación por un Comité de Ética cuando corresponda, el consentimiento informado en caso de estudios con seres humanos y los procedimientos utilizados para el manejo ético de animales de laboratorio.

7. Las tablas, figuras e imágenes, deben ser enviadas en archivos separados (archivos complementarios OJS) y en el formato original utilizado (Ej. .doc, .docx, .xls, .xlsx, .png, .jpg, TIFF). Las imágenes en colores, deben tener un mínimo de 300 dpi de resolución. Para el caso de mapas, se debe colocar los créditos, sistema de coordenadas y escala.

Instrucciones específicas:

Se recomienda a los autores revisar un número anterior de la revista para visualizar el contenido del artículo previo a su envío.

1. Artículo científico

Son artículos que informan sobre resultados de proyectos de investigación. La extensión máxima es de 20 páginas e incluye lo siguiente:

- a. Resumen: Objetivos, metodología, resultados más relevantes y conclusión. No más de 250 palabras. Incluir 5 palabras clave
- b. Abstract (inglés): Objetivos, metodología, resultados más relevantes y conclusión. No más de 250 palabras, incluir 5 keywords
- c. Introducción
- d. Métodos
- e. Resultados
- f. Discusión
- g. Agradecimientos (incluir fuente y número de financiamiento)
- h. Referencias (Normas APA)
- i. Tablas y Figuras (Normas APA)

2. Artículos de revisión

Los artículos de revisión presentan temas de importancia tratados por expertos y únicamente se aceptan por invitación del Consejo Editorial. La extensión máxima es de 20 páginas y deben incluir lo siguiente:

- a. Resumen: no más de 250 palabras. Incluir 5 palabras clave
- b. Abstract (inglés): incluir 5 keywords
- c. Introducción
- d. Contenido
- e. Conclusiones
- f. Referencias (mínimo 50 referencias)
- g. Tablas y Figuras (Normas APA)



3. Ensayos

Los ensayos son trabajos en que el autor aborda su interpretación de un tema relevante a la ciencia, la tecnología o la salud. Plantea argumentos y opiniones personales basados en literatura científica, concluyendo con una posición sobre el tema seleccionado. La extensión máxima es de 20 páginas e incluye lo siguiente:

- a. Resumen: no más de 250 palabras. Incluir 5 palabras clave
- b. Abstract
- c. Introducción
- d. Contenido
- e. Conclusiones
- f. Referencias (Normas APA)

4. Reseñas

Las reseñas son revisiones y comentarios sobre nuevos libros (con ISBN), videos u otras obras. Su extensión máxima es de dos páginas y su formato es libre. Debe incluir la referencia bibliográfica completa, fotografía de la obra y dirección electrónica cuando aplique.

5. Reporte de casos

Estos artículos presentan en forma detallada y documentada casos especiales que merezcan la atención del ámbito de la revista. Pueden ser casos clínicos, tecnológicos o de otros campos de la ciencia. La extensión máxima es de 10 páginas e incluye lo siguiente:

- a. Resumen: no más de 250 palabras. Incluir 5 palabras clave
- b. Abstract: incluir 5 keywords
- c. Introducción
- d. Presentación del caso
- e. Discusión
- f. Referencias (Normas APA)
- g. Tablas y Figuras (Normas APA)

6. Comunicaciones cortas

Estos artículos presentan datos de interés sobre un estudio limitado o resultados preliminares de una investigación de impacto. Los artículos breves incluyen (pero no se limitan): desarrollo de nuevos materiales, experimentos y teoría de vanguardia, novedad en simulación y modelación, elucidación de mecanismos químicos. La extensión máxima es de 10 páginas e incluye lo siguiente:

- a. Resumen: no más de 250 palabras. Incluir 5 palabras clave
- b. Abstract: incluir 5 keywords
- c. Introducción
- d. Métodos
- e. Resultados
- f. Discusión
- g. Agradecimientos
- h. Referencias

7. Conferencias de congresos científicos

Son conferencias presentadas en congresos o eventos científicos acordes a la temática de la revista. El Comité Organizador del congreso o evento científico hace una solicitud formal al Comité Editorial para la asignación editorial. Las conferencias son revisadas, editadas y seleccionadas por el Comité Organizador y no son evaluadas por pares. La extensión máxima es de 20 páginas e incluye lo siguiente:

- a. Portadilla
- b. Resumen: no más de 250 palabras. Incluir 5 palabras clave
- c. Abstract y keywords
- d. Introducción
- e. Contenido
- f. Conclusiones
- g. Referencias (Normas APA)

8. Resúmenes de congreso

Se publicarán ponencias orales o de poster de Congresos que así lo soliciten. Los trabajos incluyen:

- a. Título en español e inglés
- b. Nombre y afiliación de los autores
- c. Nombre del autor responsable al que se dirige la correspondencia
- d. Resumen: objetivo, metodología, resultados más relevantes y conclusión. Máximo 250 palabras, incluir 5 palabras clave.
- e. Abstract (resumen en inglés), incluir 5 keywords.
- f. Nombre del Congreso, lugar y fecha, y modo en que fue presentado (Oral o Póster)

Proceso de publicación

El proceso de publicación tiene tres etapas. La primera realizada por el Comité Editorial para revisar formato, redacción, estructura y estadística; con las observaciones se devuelve al autor para su corrección. La segunda etapa consiste en el envío a pares ciegos externos, en caso de opiniones contradictorias, se enviará a un tercer par. La última etapa consiste en la edición final (filología), diagramación y aceptación de prueba de imprenta. Los autores deberán contestar las demandas de corrección en cada etapa, en un máximo de 30 días, en caso contrario, el manuscrito se declarará rechazado y deberá comenzar el trámite de aceptación nuevamente.

Editorial

Artículos Científicos

Análisis comparativo de tecnologías sustitutivas para la medición del potencial eólico en las instalaciones del Instituto Tecnológico Universitario Guatemala Sur

Sergio A. López

Síntesis y caracterización de dos materiales azo: Comparación entre un compuesto sulfonado y su análogo no sulfonado

Byron López-Mayorga, Edward M. A. Guerrero-Gutiérrez, Allan Vásquez-Bolaños, José Castillo-Arroyave, Heriberto Pfeiffer

Optimización de la biosíntesis de polihidroxicanoatos por bacterias nativas de Guatemala utilizando suero lácteo como sustrato

Ricardo Figueroa, Osberth Morales, Gustavo Álvarez, María del Carmen Bran

Ensayo Científico

Desarrollo de un prototipo para la vinculación de los actores del ecosistema de innovación universitario

Edward M. A. Guerrero-Gutiérrez, Johanna Pelay, Zoila Guerra de Castillo

Reseña

Plantas con semillas introducidas en Guatemala
Jorge Jiménez Barrios

Los artículos científicos son indexados en:

latindex ROAD

DOAJ DIRECTORY OF
OPEN ACCESS
JOURNALS

LILACS

BASE

<http://digi.usac.edu.gt/ojsrevistas>