



Revista de la Universidad del Valle de Guatemala

Año 2025 ♦ No. 47





REVISTA No. 47
AÑO 2025

EDICIÓN

Ingo S. Wehrtmann

CONSEJO EDITORIAL

Mónica Stein

Vicerrectora de Investigación y Vinculación

Adrián Gil

Director General de Estudios

Pamela Pennington

Decana, Facultad de Ciencias y Humanidades

Linda Asturias

Decana, Facultad de Ciencias Sociales

Carolin Roca

Decana, Facultad de Educación

Celia Córdón

Directora, Centro de Estudios en Salud

Xiomara Juárez

Representante Decana de Colegio Universitario
y Asuntos Estudiantiles

Eduardo Álvarez

Director, Departamento de Física

Fernando Paiz

Decano, Facultad de Ingeniería

Carlos Rolz

Miembro exoficio

CORRESPONDENCIA:

Editorial Universitaria:

Vanessa Granados Barnéond

ivgranados@uvg.edu.gt

Oficina II2-106-B Ext. 21705

Revista UVG:

Ingo S. Wehrtmann

iswehrtmann@uvg.edu.gt

Oficina II2-106-A Ext. 21859

ISSN 2311-7648 (electrónico)

Revista UVG 47

[https://doi.org/10.60885/RepoUVG/](https://doi.org/10.60885/RepoUVG/RevistaUVG.y2025.n47.complete)

[RevistaUVG.y2025.n47.complete](https://doi.org/10.60885/RepoUVG/RevistaUVG.y2025.n47.complete)

Publicado 25 de octubre 2025

DISEÑO / DIAGRAMACIÓN:

Compudiseño

compudiseño1@gmail.com



MIEMBROS DEL CONSEJO DIRECTIVO

Universidad del Valle de Guatemala

Rector

Roberto Moreno Godoy

Vice-Rector Académico

Fernando Paiz Mendoza

Secretaria General

Floralma Correa Diemeke

Director de Estudios

Adrián Gil Méndez

Secretario Ejecutivo de la FUVG

Fausto Arimany Ruiz

Vocales Asesores

Mónica Stein Coronado

Maribel Cruz Barth

Luis Fernando Andrade Bourdet

Erick Alejandro Pérez De La Rosa

Maricruz Álvarez Mury

Victor Hugo Ayerdi Bardales

Alejandra Briset Muralles Pineda

Invitada Permanente

Yolanda Toledo de Leal

Contenido |

EDITORIAL

Ingo S. WEHRTMANN

3 - 6

ARTÍCULO INVITADO

Environmental health of communities in the Lake Atitlán watershed, Guatemala: creating a global model for community-based solutions

Frank A. VON HIPPEL

7 - 15

ARTÍCULOS DE INVESTIGACIÓN

Vacunas contra neumococo en adultos mayores en Guatemala: un análisis de costo-utilidad sobre su inclusión

Jaime ORDÓÑEZ, Ingrid SAJMOLO, Ingrid CONTRERAS-ROLDÁN, Mario MELGAR & Angélica ORDÓÑEZ

16 - 25

Fortaleciendo a higiene de manos en salud pública: un enfoque participativo para el desarrollo de materiales educativos en Quetzaltenango, Guatemala

Paulina GARZARO, Anna VALDEZ, Antonio ALCÁNTARA, Christina CRAIG, Celia CORDON-ROSALES & Brooke M. RAMAY

26 - 34

Análisis *in silico* de los metabolitos secundarios del ajo y sus propuestas de modificación como potenciales antagonistas de los receptores muscarínicos M3

Walter MONTERROSO & Felipe RAMÍREZ

35 - 46

Evaluación técnica de la capacidad de adsorción del char de cáscara y semilla de aguacate a escala laboratorio

Lourdes María Betzabé BERREONDO-LÓPEZ & Luis Ernesto NÚÑEZ-GONZÁLEZ

47 - 52

Evaluación técnica de un aditivo de ligantes bituminosos para mezclas asfálticas

Ana Paula ANDRINO-GONZÁLEZ, Luis Ernesto NÚÑEZ-GONZÁLEZ & Gamaliel Giovanni ZAMBRANO-RUANO

53 - 62

- 63 - 67 **Obtención de ganancias para maniobra de detumbling de CubeSats basado en Regulador Cuadrático Lineal**
Julio Andrés AVILA
- 68 - 73 **Influencia de la altitud en el sitio de producción sobre la tasa de respiración del banano Gros Michel (*Musa acuminata*)**
Paola GODOY & Ana Silvia COLMENARES
- 74 - 93 **Diversidad de mariposas diurnas y nocturnas (Nymphalidae, Papilionidae, Pieridae, Saturniidae y Sphingidae) en el sistema de plantaciones de palma de aceite en Guatemala**
Anna Rocío LEÓN-COLOMA & José MONZÓN-SIERRA
- 94 - 116 **Orquídeas en el área de la Hidroeléctrica Renace, San Pedro Carchá, Alta Verapaz, Guatemala**
José MONZÓN-SIERRA & Edgar Alfredo MÓ
- 117 - 146 **Análisis de la efectividad del cuadernillo de matemáticas en estudiantes de Primero Básico de una institución privada, Guatemala**
Alexandra Floridalma Anabell MONTALVO-GUERRERO
- 147 - 158 **"Exponerse a otro mundo" - Nueva perspectiva tras el intercambio de aprendizaje, conociendo el ecosistema de innovación del Instituto Tecnológico de Massachusetts, EE.UU.**
Regina FANJUL DE MARSICOVETERE, Judith L. GIBBONS & Camila DEL CID SAAVEDRA

ARTÍCULOS DE REVISIÓN

- 159 - 166 **Ciencia abierta: importancia, desafíos y oportunidades para el desarrollo científico en Guatemala**
Silvia Verónica VIVAR
- 167 - 174 **La utilidad de la interseccionalidad en el monitoreo y evaluación de proyectos de desarrollo**
Lourdes María BLANCO-PINEDA

Estrategias innovadoras en la enseñanza de la matemática en la educación superior <i>Nancy ZURITA-VILLAGRÁN & Amalia RUBALLOS-JUÁREZ</i>	175 - 184
--	-----------

Tratamiento de residuos sólidos utilizando pirólisis: explorando las posturas sobre su aplicación <i>Luis Ernesto NÚÑEZ-GONZÁLEZ, Angie Nohemí VITOLA-SANCHINELLI & Gamaliel Giovanni ZAMBRANO-RUANO</i>	185 - 191
--	-----------

Re-framing the <i>Rilaj Mam</i> in Santiago Atitlán: A discussion of evidence which suggests the "primordial" origin of <i>Maximón</i> <i>David Matthew SCHAEFER</i>	192 - 207
--	-----------

RESEÑA DEL LIBRO

Antropoceno: sustentabilidad o extinción ¿Fin de la modernidad capitalista? <i>Luis-Alberto PADILLA</i>	208 - 209
---	-----------

CONTRIBUCIONES CIENTÍFICAS DESTACADAS DE ESTUDIANTES

Síndrome de <i>Burnout</i> y calidad de vida de los sacerdotes y las religiosas de una vicaría de Guatemala <i>Jimena SANTA CRUZ-ESPINOZA</i> , Ganadora de la XIV Feria Científica 2025 Facultad de Ciencias Sociales	210 - 211
--	-----------

Efecto de diferentes concentraciones de ácido naftalenacético (ANA) y ácido indolbutírico (AIB) sobre el enraizamiento <i>in vitro</i> de plántula de <i>Lycaste cochleata</i> y <i>Sobralia macrantha</i> <i>Sara MONTERROSO-CIFUENTES</i> Ganadora de la XIV Feria Científica 2025 Facultad de Ciencias y Humanidades	211 - 212
---	-----------

INFORMACIÓN GENERAL

Procedimiento editorial y guía de instrucciones para los autores	213 - 217
---	-----------

AGRADECIMIENTO

Se agradece la labor de las personas que durante el año 2025 revisaron los artículos publicados en el presente número. Los comentarios efectuados y las sugerencias incorporadas contribuyeron para que el material publicado fuese claro en su exposición y estuviese al nivel de las características que una revista científica demanda.

Asumir el cargo de editor de una revista científica con una larga trayectoria siempre es un reto. Por un lado, se espera que mantenga y continúe con la línea editorial establecida, pero por otro lado también se espera que introduzca cambios que hagan la revista más atractiva y más exitosa.

La *Revista UVG* se ha publicado de forma ininterrumpida una vez al año desde 1992, lo cual evidencia la importancia que las autoridades de la Universidad del Valle de Guatemala otorgan a esta plataforma de divulgación, así como el interés de los y las investigadoras en dar a conocer los resultados de sus estudios.

Divulgar los hallazgos de la investigación es de suma importancia, no solo para cada investigador e investigadora, sino también para la UVG, ya que la publicación de estos resultados visibiliza el trabajo científico de la institución. Además, compartir estos hallazgos permite que otros puedan citarlos en sus propias publicaciones, lo cual adquiere cada vez más relevancia, especialmente en el contexto de las evaluaciones y acreditaciones de universidades (*rankings*).

Actualmente nos encontramos en un proceso de mejora continua de la calidad de las contribuciones, lo que incluye, entre otras cosas, una revisión crítica de los manuscritos con la participación de expertos externos a la UVG. Además de estos avances, ¿qué es nuevo o diferente en este número de la *Revista UVG*? Tal vez lo más destacado en este número de la *Revista UVG* es que cada artículo ahora cuenta con su propio DOI (Identificador de Objeto Digital, por sus siglas en inglés), lo que permite a cualquier persona acceder directamente al artículo utilizando este código único.

Este importante avance facilitará el acceso a cada uno de los artículos publicados en la *Revista UVG* y, por lo tanto, incrementará las posibilidades de citarlos en otras publicaciones. Quiero aprovechar esta oportunidad para expresar mi más sincero agradecimiento a todas las personas que nos han apoyado durante este proceso, ya que la implementación del DOI es una novedad para la UVG, lo que significa que no contamos con experiencias previas en este ámbito.

Además de la inclusión del DOI, cada contribución ahora indica la fecha de recepción y aceptación, un detalle crucial para revistas indexadas como la *Revista UVG*. Otro de los cambios implementados es que, para facilitar la comprensión de los artículos a un público más amplio, hemos incorporado en las contribuciones en español los títulos, resúmenes y ahora también leyendas de figuras y cuadros en inglés, lo que permitirá una mejor comprensión de los artículos por parte de personas que no dominan el español.

Otra novedad es la inclusión de la categoría “Artículo invitado” en la cual el editor invita a una persona destacada (de la UVG o externa, pero vinculada con la UVG) a enviar un manuscrito sobre un tema de su especialidad y de interés general. Para este número invité al *Dr. Frank von Hippel*, un reconocido eco-toxicólogo de la University of Arizona, EE.UU., con una impresionante trayectoria científica, para abordar el tema de la salud ambiental de las comunidades en la cuenca del Lago Atitlán. Con más que 30 años de experiencia de trabajar en Guatemala, el *Dr. F. von Hippel* concluye su artículo señalando que los esfuerzos de investigación e intervenciones con participación comunitaria, orientados a garantizar aire y aguas limpios, podrían convertir al Lago Atitlán en un modelo global de soluciones de salud ambiental basadas en la comunidad, lo que eleva el tema de un interés nacional a una contribución de relevancia internacional.

Otra categoría recientemente incorporada es “Contribuciones científicas destacadas de estudiantes”, cuyo propósito es visibilizar los aportes importantes de estudiantes de la UVG en el ámbito de la investigación. En este número se presentan *Sara Monterroso-Cifuentes* y *Jimena Santa Cruz-Espinoza*, ganadoras de la XIV Feria Científica 2025 de la UVG, quienes compartan una síntesis de sus trabajos sobre el enraizamiento *in vitro* de dos especies de orquídeas y el síndrome de burnout en sacerdotes y religiosas de una vicaría, respectivamente.

Confiamos en que estas medidas contribuirán a aumentar la visibilidad del trabajo científico de la UVG tanto a nivel nacional como internacional, promoviendo su reconocimiento y difusión. Mis puertas siempre están abiertas para apoyar a la comunidad universitaria de UVG para consultas sobre publicaciones y temas relacionados a contribuciones para la *Revista UVG*.

Ingo S. Wehrmann

Editor

Environmental health of communities in the Lake Atitlán watershed, Guatemala: creating a global model for community-based solutions

Salud ambiental de las comunidades en la cuenca del Lago Atitlán, Guatemala: creando un modelo global para soluciones comunitarias

Frank A. von HIPPEL

Department of Community, Environment & Policy, Mel & Enid Zuckerman College of Public Health, University of Arizona, Tucson, AZ, USA

Correspondence: Frank A. von Hippel (frankvonhippel@arizona.edu)

Received: 23/VI/2025; Accepted: 14/VII/2025

Abstract: The Lake Atitlán watershed exemplifies many of the environmental health problems in Guatemala, as well as the potential for community-based solutions. The most important of these problems are poor air and water quality, which impose a substantial public health burden. Several paradigms are useful to contextualize the environmental health of Lake Atitlán, including "developmental origins of health and disease" - DOHaD - (many diseases throughout the lifespan are caused by environmental stressors during development), "endocrine disruption" (alteration of hormone systems due to chemical exposure), and "planetary boundary threats" (anthropogenic impacts that imperil the integrity of life on Earth). Similarly, paradigms for public health solutions provide a way forward. One such paradigm is "One Health" (the concept of simultaneously addressing health at the interface of human, animal, and environmental health), which can facilitate powerful alliances with broadly overlapping goals. Another is "WASH" (water, sanitation, and hygiene), which is an approach to public health focused on clean water, availability of sanitation facilities, and good hygiene practices. Improved public health could be achieved by combining multiple societal assets with a focus on maternal and child health, using principles from One Health and WASH. The Lake Atitlán watershed could serve as a case study for Guatemala that leads to both scaling up local solutions and implementing effective policies at the national level. Solutions should be implemented within the cultural strengths of the K'iche', Kaqchikel, and the Tz'utujil communities, who proudly maintain their languages, customs, and worldview. Relevant resiliencies also include local governance and self-reliance, the cultural importance of water, expertise of universities such as the Universidad del Valle de Guatemala, community-engaged government programs such as those implemented by the Autoridad para el Manejo Sustentable de la Cuenca del Lago de Atitlán y su Entorno, and international partnerships. Ideally, the people in each community will have agency to improve environmental health and will do so through community-engaged research and interventions designed to arrive at the essential destination of clean air and clean water.

Keywords: air quality, DOHaD, endocrine disruption, maternal and child health, One Health, planetary boundary threats, WASH, water quality.

Resumen: La cuenca del lago Atitlán ejemplifica muchos de los problemas de salud ambiental en Guatemala, así como el potencial de las soluciones comunitarias. Los más importantes de estos problemas son la mala calidad del aire y del agua, los cuales representan una carga significativa para la salud pública. Varios paradigmas son útiles para contextualizar la salud ambiental del lago Atitlán, entre ellos los "orígenes del desarrollo de la salud y la enfermedad" (muchas enfermedades a lo largo de la vida son causadas por factores ambientales durante el desarrollo), la "disrupción endocrina" (alteración de los sistemas hormonales debido a la exposición a sustancias químicas), y las "amenazas a los límites planetarios" (impactos antropogénicos que ponen en peligro la integridad de la vida en la Tierra). De manera similar, los paradigmas en salud pública proporcionan una ruta clara para avanzar. Uno de estos paradigmas es el concepto de "Una Sola Salud" (abordaje simultáneo de la intersección entre la salud humana, animal y ambiental), lo cual puede facilitar alianzas poderosas con objetivos ampliamente coincidentes. Otro es el enfoque "ASH" (agua, saneamiento e higiene), que es una estrategia de salud pública centrada en el acceso a agua limpia, la disponibilidad de instalaciones de saneamiento y la promoción de buenas prácticas de higiene. La mejora de la salud pública podría lograrse mediante la combinación de múltiples recursos sociales, con un enfoque en la salud materna e infantil, utilizando principios de Una Sola Salud y ASH. La cuenca del lago Atitlán podría servir como un modelo/caso de estudio para Guatemala, tanto al escalar soluciones locales como al implementar políticas efectivas a nivel nacional. Las soluciones deben aplicarse respetando, integrando y aprovechando las fortalezas culturales de las comunidades K'iche', Kaqchikel y Tz'utujil, que mantienen con orgullo sus idiomas, cosmovisión y costumbres. Otras fortalezas también incluyen la gobernanza local y la autosuficiencia, la importancia cultural del agua, la experiencia de universidades como la Universidad del Valle de Guatemala, programas gubernamentales con participación comunitaria como los implementados por la Autoridad para el Manejo Sustentable de la Cuenca del Lago de Atitlán y su Entorno, y las alianzas internacionales. Idealmente, las personas en cada comunidad tendrán la capacidad de actuar para mejorar la salud ambiental, y lo harán mediante investigaciones e intervenciones con participación comunitaria, orientadas a alcanzar el objetivo esencial de tener aire y agua limpios.

Palabras clave: Amenazas a los límites planetarios, ASH, calidad del agua, calidad del aire, disrupción endocrina, orígenes del desarrollo de la salud y la enfermedad, salud materna e infantil, Una Sola Salud.

Personal Background in Guatemala

Guatemala's allure first captivated me in 1994 when my wife and I were both graduate students. At the time, inexpensive student tickets were available in student travel offices. We visited the Berkeley agent and asked for the least expensive tickets they had to Latin America, which turned out to be flights to Ecuador. As we purchased the tickets, the travel agent told us we could have a free stopover in Central America, and on a whim, we chose Guatemala.

We knew little about Guatemala, except that it was still in the midst (at the tail end) of a long civil war. When we arrived at the airport in Guatemala City, soldiers handed us a flier that specified where we could safely go (a few places) and where to avoid (most of the country). Ever since that visit, we have been hooked on Guatemala and visited many times, throughout the country, often with our children, who even attended an elementary school in Antigua during one of our extended stays to learn Spanish.

What is it about Guatemala that sparked our intense interest and warm feelings? The people: Guatemala is one of the friendliest countries, with a diverse cultural composition that varies from town to town in its food, language, clothing, customs, and coffee. It may be the best place to learn Spanish, facilitated by the welcoming nature of Guatemalans, who appreciate foreigners speaking with them in Spanish - even when they are just learning to do so. And Guatemala has a fascinating history with a rich heritage extending from the Mayan empire to the Spanish colonial period, to its modern melding of indigenous and Ladino cultures.

On one of these many trips to Guatemala, in 2013, Alberto Rivera Gutiérrez, the owner of Reserva Natural Atitlán, introduced me to a team of researchers who were investigating the eutrophication of Lake Atitlán. The lead investigators were Eliska Rejmánková from the University of California, Davis, and Sudeep Chandra from the University of Nevada, Reno. We met at the field station in Santa Catarina Polopó, operated by Amigos del Lago de Atitlán (Amigos). It turned out that the team lacked an ecotoxicologist. Given the potential importance of chemical pollution entering the lake from the surrounding watershed, I joined the research endeavor and have done research in Guatemala most years since.

One of the most rewarding things I did immediately after joining the team was to help teach environmental sampling techniques and aquatic ecology to Guatemalan students on a project funded by USAID. Although USAID funding for this program soon lapsed (and then a decade later the second Trump Administration eviscerated USAID), many Guatemalans who took our course went on to become environmental professionals who make important contributions to Guatemala's environmental agencies, universities, and NGOs. Some of

them are now collaborators in our ongoing research projects. This anecdote speaks to the importance of capacity building and of agencies such as USAID, which will need to be rebuilt or replaced. It also brings me to another highlight of my experiences in Guatemala: the ease with which I have been able to collaborate with Guatemalans at institutions such as Amigos, la Universidad del Valle de Guatemala (UVG), la Autoridad para el Manejo Sustentable de la Cuenca del Lago de Atitlán y su Entorno (AMSCLAE), the Center for Studies of Sensory Impairment, Aging and Metabolism (CeSSIAM), community health clinics throughout the Atitlán watershed, and others. This hunger for productive collaboration is an important asset for Guatemala's future.

Exposure Science and Risk Assessment

Lake Atitlán sits in a collapse caldera of the volcanic highlands of western Guatemala (Newhall 1987). The lake holds special status in Guatemala due to its size (the largest by volume in Guatemala at 24 km³), depth (the deepest in Central America with a maximum depth of 341 m and a mean depth of 183 m), and cultural and economic significance for the ~400,000 mostly indigenous people who live in its watershed (Rejmánková *et al.* 2011, Flores-Anderson *et al.* 2020; Neher *et al.* 2021). The drainage area into the lake comprises 414 km² (Farrás *et al.* 2018). The lake is fed by the San Francisco and Quiscab rivers, but it lacks a surface discharge outlet, leading to an unusually long hydraulic retention time of 80 years (Neher *et al.* 2021). Hence, inputs of pollutants to the lake are not diminished by surface outflows.

Although the lake is naturally oligotrophic, the constant inputs of fertilizers and sewage have shifted the lake to a more eutrophic state, which has led to cyanobacteria blooms (first reported in 2008) and depletion of dissolved oxygen (Fig. 1) (Rejmánková *et al.* 2011; Neher *et al.* 2021). Cyanobacteria can produce cyanotoxins, which, at high enough concentrations, pose a risk to human health through consumption of contaminated water and animals (Rejmánková *et al.* 2011). Reduced dissolved oxygen harms, and can eventually extinguish, aquatic animal populations, including important subsistence species for the Atitlán communities. Therefore, eutrophication also exacerbates food insecurity.

My first Guatemalan graduate student, Hugo Villavicencio, investigated the trophic ecology and concentrations of toxic metals and metalloids in Atitlán's populations of fishes, crabs, and snails (Villavicencio 2019). These are the kind of data that allow researchers to conduct quantitative risk assessments for public health endpoints such as cancer. Toxic metals, such as mercury and lead, and metalloids, such as arsenic, have both natural (e.g., volcanoes) and anthropogenic sources. In the Atitlán watershed, anthropogenic sources of these toxic elements

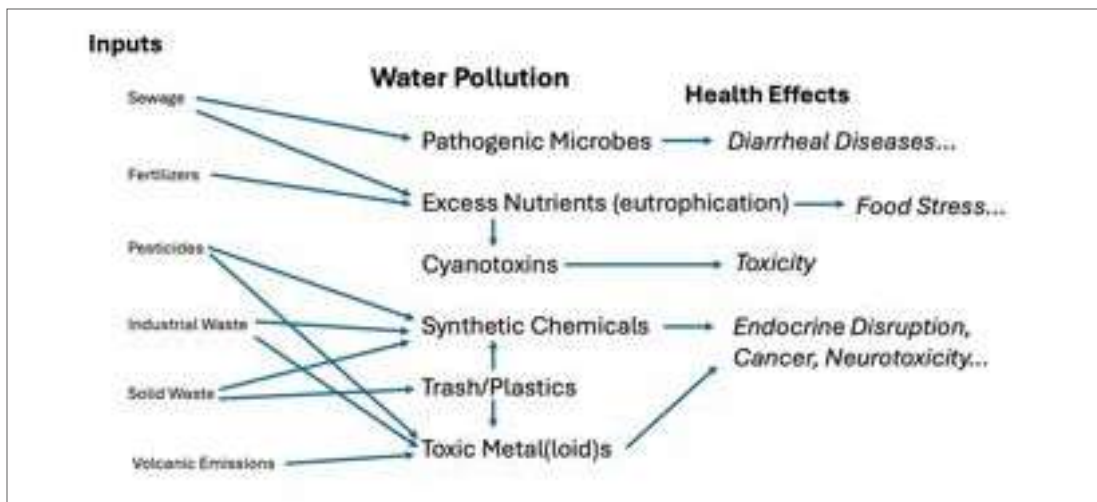


Figure 1. Schematic representation of pollution inputs to Lake Atitlán, and examples of resulting risks to human health.
Figura 1. Representación esquemática de las fuentes de contaminación en el Lago Atitlán y ejemplos de los riesgos resultantes para la salud humana.

include pesticides (e.g., fungicides and insecticides) and products used in urban and small industrial settings (Fig. 1).

But toxic metal(loid)s are only a small part of the chemical pollution of Lake Atitlán. The lands surrounding the lake are used extensively for agriculture, including both monocultures for cash crops and small land holdings for subsistence crops (Neher *et al.* 2021). Both rely on extensive use of pesticides and fertilizers. Pesticides, comprising hundreds of chemicals from many chemical classes, including banned or restricted compounds such as organochlorine insecticides (von Hippel 2020), accumulate in the lake and its organisms. Industrial chemicals, chemicals derived from household and personal care products, and microplastics also accumulate in the lake and its organisms (Dix & Romero 2020). Trash improperly disposed and trash burning also contribute an unknown chemical burden to the lake (Dix & Romero 2020; Neher *et al.* 2021).

Environmental Health Concerns in Guatemala

In the 1950s and 1960s, pollution in the United States had impacted the environment to such an extent that rivers caught on fire and cities such as Los Angeles had smog alerts more often than not. This assault on the environment and consequent degradation of public health led to pressure for the passage of seminal environmental legislation in the 1960s and early 1970s, such as the Clean Air Act, Clean Water Act, and Safe Drinking Water Act. These acts and other environmental legislation led to large improvements in environmental quality, including, for example, near universal safe drinking water throughout the U.S.

Guatemala's situation is similar to that of the U.S. prior to the implementation of these measures, but with additional and substantial pressures that the U.S. never faced. Guatemala has the fastest growing population in Central America, and

~59% of the population lives in poverty, with 40% of the indigenous population living in extreme poverty (Neher *et al.* 2021). In the Atitlán watershed, 70% of the population lives in poverty (Farráns *et al.* 2018). As in many other parts of Guatemala, the combination of a rapidly growing population and poverty have led to the common outcome of untreated or poorly treated sewage entering the drinking water supply (the lake) and contaminating the drinking water with pathogenic microbes (Neher *et al.* 2021). An estimated 45,500 m³ of sewage is produced daily in the Atitlán watershed, of which 80% is untreated and the remainder is treated at levels that do not meet Guatemalan regulations (Farráns *et al.* 2018). The lack of clean public drinking water imposes a substantial public health burden on Atitlán communities (Farráns *et al.* 2018) (as it does elsewhere in Guatemala), and leads to the otherwise unnecessary expense and associated plastic pollution of bottled water. Similarly, Guatemala's growing population and lack of environmental controls have led to terrible air pollution, which creates a burden of diseases that damages public health and economic development. Thus, clean water and clean air are the foremost goals of effective policies and actions to improve public health.

Community resources such as Lake Atitlán often suffer degradation due to the "tragedy of the commons" (Hardin 1968) - that is, when people extract benefits from a communal resource, they will tend to overuse it and even destroy it as they race to benefit from the resource before others can outcompete them. Overfishing is a classic example of this problem. But this tragedy can also be extended to ecosystem services. Lake Atitlán, due to its size, provided safe drinking water and abundant food resources for thousands of years, but it can no longer sustain these services due to the population growth in the watershed. For example, sewage inputs now outstrip natural degradation processes, and the water is no longer safe to drink.

Paradigms for an Improved Understanding of Public Health Needs in Guatemala

Developmental Origins of Health and Disease. Many diseases throughout the lifespan are caused by environmental stressors during development, a concept known as "developmental origins of health and disease", or DOHaD (Heindel & Vandenberg 2015). These stressors may include poor nutrition, infections, and chemical exposures, with later-onset health problems ranging from cancer to obesity to infertility to neurological disorders (Painter *et al.* 2005; Barker 2007; Heindel & Vandenberg 2015). Adverse health outcomes of developmental exposures are often mediated by altered epigenetics, which can lead to transgenerational effects (Heindel & Vandenberg 2015). Effects depend on the timing of exposure relative to sensitive windows of development as different systems are forming at different times, such as during a particular trimester or post-natally (Heindel & Vandenberg 2015). The latency between an exposure and adverse outcome can range from months to decades, leading to difficulty attributing causality in human studies (Heindel & Vandenberg 2015). The timing, severity, and incidence of diseases can all be affected by early developmental exposures, and effects often vary by sex and genetics (Heindel & Vandenberg 2015). These early developmental stressors often lead to permanent effects, or so-called organizational effects, due to the changes that are induced in tissues and organs that are plastic early in development and then take on their permanent structures (as opposed to activational effects that occur after development is complete, which are reversible). For example, the development of infertility due to chemical exposure in the womb is an organizational effect, whereas chemical-induced hypothyroidism in an adult that resolves upon termination of the exposure is an activational effect.

Endocrine Disruption. An important pathway of DOHaD is alteration of hormone systems due to chemical exposure. Chemicals may disrupt any part of the life cycle of a hormone, including synthesis, storage, transportation in the blood, binding to a receptor, post-binding action, and degradation, and this disruption may occur through many mechanisms (La Merrill *et al.* 2020). For example, estrogenic effects, which are commonly induced by synthetic chemicals, can profoundly alter development and lead to outcomes ranging from undescended testes in babies to estrogen-mediated cancers in adults (La Merrill *et al.* 2020).

Planetary Boundary Threats. We can perhaps better understand the environmental health of Lake Atitlán by putting the issues in the context of planetary boundary threats, which define anthropogenic impacts that imperil the integrity of life on Earth (Persson *et al.* 2022). For example, approximately half of the Earth's terrestrial surface has been converted from natural to human altered habitats (Riggio *et al.* 2020), and this land use/land cover change is the number one cause of extinction

(Wilcove *et al.* 1998). In the paradigm of planetary boundary threats, this is known as land-system change. We can use this as a starting point in a simplified model of the environmental health of Lake Atitlán (Fig. 2).

Paradigms for Public Health Solutions

One Health. "One Health", or "Una Sola Salud", is the concept of simultaneously addressing health at the interface of human, animal, and environmental health (Fig. 3) (Lebov *et al.* 2017). The need for this is obvious for zoonotic diseases (infections that are transmitted between animals and humans) as these cannot be adequately combatted without understanding the ecological conditions (e.g., a warming climate allows insect vectors of disease to expand their range to higher latitudes), the vectors and animal reservoirs (both domestic and wild), and the ecology of the interface of infection between humans and animals (Ghai *et al.* 2022). Similarly, pollution problems can be understood and addressed more comprehensively by employing the One Health framework.

Chemical and biological pollutants in Lake Atitlán do not only affect human health; the health of aquatic animals is also impacted, which in turn further undermines human health. Pollution leads to the diminution, and sometimes the extirpation, of animal populations, which increases food stress for people who rely on those animals. Animals that survive in a polluted environment will have elevated concentrations of pathogens, toxins, and synthetic chemicals that are transmitted to the people who eat them. Clearly, the health of the aquatic environment and its animal populations need to be addressed simultaneously with the human health concerns. This need can create powerful alliances with broadly overlapping goals, such as between environmental groups and public health programs. Even unlikely alliances can be forged through One Health, such as combining the interests of business groups that rely on a healthy tourism economy with environmental groups promoting conservation. Therefore, the One Health concept demonstrates that interest groups that might otherwise compete for resources can benefit through collaboration. In the case of Lake Atitlán, these collaborations can be facilitated by entities such as A M S C L A E and U V G (e.g., <https://www.ces.uvg.edu.gt/page/project/proyecto-una-salud/>).

WASH. Water, sanitation, and hygiene (collectively "WASH") is an approach to public health focused on clean water, availability of sanitation facilities, and good hygiene practices. WASH programs for the benefit of global health are integrated into the international programs of major donor countries such as the U.S. (e.g., CDC 2024) as well as international organizations such as the World Health Organization (e.g., WHO 2025). WASH concepts and techniques appropriate for low-resource countries are already being implemented in many parts of Guatemala. However, the communities of the Atitlán

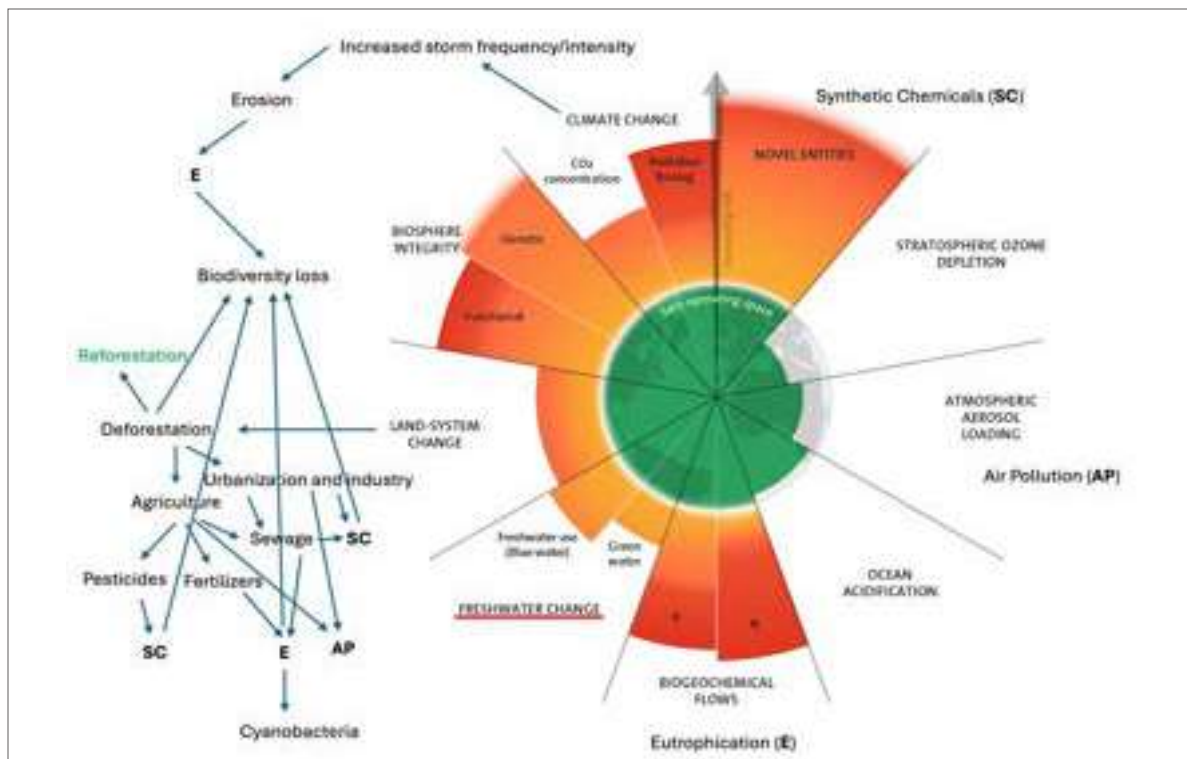


Figure 2. Planetary boundary threats and how they are exemplified in Lake Atitlán. The watershed has experienced high levels of deforestation (*land-system change*) to facilitate the expansion of agriculture and urbanization, which both lead to inputs of biological and chemical contaminants into the lake (*novel entities* in the parlance of planetary boundary threats, and here referred to as synthetic chemicals [SC]) and hence *freshwater change* and eutrophication [E] (*biogeochemical flows*). These inputs are also tied to biodiversity losses (*biosphere integrity*) and air pollution [AP] (*atmospheric aerosol loading*), and effects are exacerbated by *climate change*. Hence, environmental issues in Lake Atitlán exemplify components of seven out of the nine planetary boundary threats (the exceptions being ocean acidification and stratospheric ozone depletion). Modified from Azote for Stockholm Resilience Centre, based on analysis in Richardson *et al.* (2023).

Figura 2. Amenazas a los límites planetarios y cómo se ejemplifican en el lago Atitlán. La cuenca ha experimentado altos niveles de deforestación (cambio en el uso de suelo) para facilitar la expansión de la agricultura y la urbanización, lo que conduce a la entrada de contaminantes biológicos y químicos en el lago (entidades nuevas en la terminología de las amenazas a los límites planetarios, y aquí denominadas productos químicos sintéticos [SC]), lo que a su vez provoca cambios en el agua dulce y eutrofización [E] (flujos biogeoquímicos). Estas entradas también están relacionadas con la pérdida de biodiversidad (integridad de la biosfera) y la contaminación del aire [AP] (carga de aerosoles atmosféricos), y sus efectos se ven exacerbados por el cambio climático. Por lo tanto, los problemas ambientales en el lago Atitlán ejemplifican componentes de siete de las nueve amenazas a los límites planetarios (con la excepción de la acidificación oceánica y la disminución del ozono estratosférico). Modificado de Azote para el Stockholm Resilience Centre, basado en el análisis de Richardson *et al.* (2023).

watershed illustrate the relatively haphazard nature of these programs, as some communities have access to clean drinking water while other communities drink untreated water straight from the lake, and some communities use a mix of both (Dix & Romero 2020). Therefore, the lack of clean water in much of Guatemala is due to a combination of poorly integrated management of water resources nationally and regionally, insufficient wastewater treatment at the municipal level, and poor hygiene at the household level.

WASH programs need to be systematically implemented in Guatemala. Although WASH programs typically demonstrate a massive public health return on investment, their successful implementation in Guatemala faces many hurdles in addition to the financing, such as political infighting over competing programs and educational barriers to implementation. These barriers are likely best overcome through a combination of

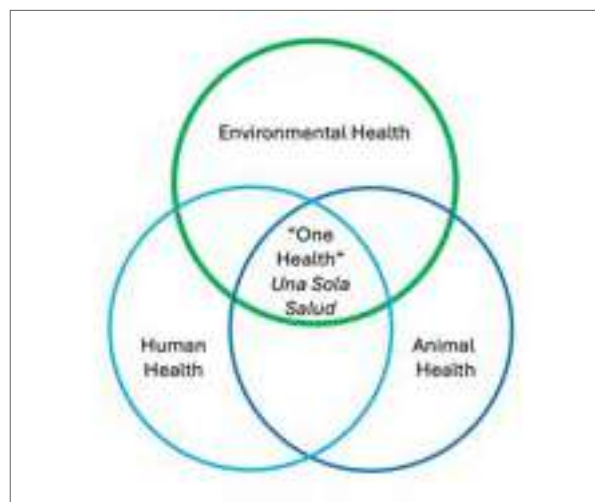


Figure 3. The One Health concept.
Figura 3. El concepto de "Una Sola Salud".



Figure 4. The concept of an “umbrella” species applied to the developing child. Measures that ensure that water and air are sufficiently clean for healthy child development will also be broadly protective of human health through the lifespan and wildlife health.

Figura 4. El concepto de una especie ‘paraguas’ aplicado al niño en desarrollo. Las medidas que garantizan que el agua y el aire estén suficientemente limpios para un desarrollo saludable del niño también protegerán de manera amplia la salud humana a lo largo de toda la vida, así como la salud de la vida silvestre.

national programs by the Guatemalan government coupled with community-centered educational and technical training programs.

Maternal and Child Health

A useful concept in conservation biology is that of the “umbrella species” (Wilcox 1984). If you design a conservation program that protects a vulnerable species (e.g., those of large body size, high trophic position, high metabolic requirements, or patchy distributions) or a keystone species on which the ecosystem depends, then those conservation measures should also protect a large fraction of other species in that ecosystem (Wilcox 1984). For example, measures to protect a top predator such as the mountain lion or a charming but vulnerable species such as the panda bear would also protect many other species in that ecosystem, including those that are not charismatic and hence would otherwise receive little support from the public. In the same way, environmental health programs designed to protect the most vulnerable people (the fetus and the developing child) will also be protective for the health of people across the lifespan, as well as the health of wildlife that is also impacted by pollution (Fig. 4).

Common childhood diseases such as asthma and diarrheal infections are often caused by poor air and water quality, and effective policies to improve air and water quality would improve the health of everyone, not just children. In the same way that

political support can be garnered to protect charismatic wildlife, people are especially concerned about the health of their children. For example, the detection of strontium-90 in baby teeth in 1961 raised public alarm about radioactive fallout from atmospheric nuclear weapons testing (Reiss 1961). Similarly, the discovery in the 1960s of DDT in American women’s breastmilk at concentrations five times higher than that allowed in cow’s milk fueled a backlash against organochlorine pesticides (Graham 1970), and concern about flame-retardant additives led to public policy actions after researchers in the late 1970s pointed out the cancer hazard for children wearing flame-resistant pajamas (Blume & Ames 1977).

An example of how this approach might gain traction for Lake Atitlán is the problem of childhood stunting. Stunting is defined by inadequate growth with a height that is < 2 standard deviations of the WHO child growth standards median (i.e., $Z\text{-score} = -2.0$) (WHO 2015). Stunting happens during the first 1,000 days of life (WHO 2015; Tschida *et al.* 2021) due to poor maternal health and inadequate access to quality nutrition (WHO 2017; Gatica-Domínguez *et al.* 2019). Stunting therefore fits the paradigm of DOHaD.

Guatemala has the highest prevalence of stunting in the Western Hemisphere and the 6th highest globally (MSPAS 2017; Gatica-Domínguez *et al.* 2019; Juárez *et al.* 2021). A collaborative team comprised of researchers from the University of Arizona and CeSSIAM, led by my postdoc Sandra Rodríguez Quintana, examined the possible contributions of toxic metal(loid)s in breastmilk to stunting in Atitlán communities (Rodríguez Quintana *et al.* 2025). We found an association between concentrations of arsenic, barium, beryllium, and lead with stunting of infants in Panajachel and Santiago Atitlán, and the concentrations of arsenic and lead in many of the breastmilk samples in these communities exceeded WHO guidelines. Our results also indicated that drinking water is an important source of toxic elements. Providing safe drinking water would therefore likely reduce the incidence and severity of childhood stunting both by reducing concentrations of toxic metal(loid)s and by decreasing exposure to pathogenic microbes that are responsible for chronic maternal and childhood diseases.

Not only would the provision of clean drinking water reduce childhood stunting, but it would also benefit children’s health by lowering the burden of toxic metal(loid)s on cognitive development. Lead provides the classic example as lead exposure induces both irreversible losses of IQ and increases in problematic behavior including violence (Needleman 2000; Nevin 2000, 2007; Needleman *et al.* 2002; Reyes 2007; Fergusson *et al.* 2008; Wright *et al.* 2008; Mielke & Zahrán 2012; Boutwell *et al.* 2016; Feigenbaum & Muller 2016). Therefore, measures to provide clean drinking water would have numerous benefits for the development of children, and of course be protective of the health of all Atitlán residents. The political will, community support, and resource allocation to

achieve these measures may be more feasible under the banner of child health (Fig. 4).

Ways Forward

How can Guatemala achieve the successes of the U.S. Clean Air Act and Clean Water Act with its lack of resources? The environmental health problems experienced by Guatemala are common throughout the developing world, though Guatemala also has a unique combination of liabilities and assets relevant to the problems. If we view the Atitlán watershed as an exemplar, perhaps the solutions involve scaling up as much as they do legislating down. Municipalities can find water filtration or treatment solutions that are culturally acceptable and effective, perhaps with funding from NGOs and with the expertise of academics. Successful programs at the local level can then be scaled up nationally. This could be facilitated via legislation that rewards communities that provide safe drinking water and other WASH measures. Similarly, air pollution restrictions, such as banning buses that spew particulate pollution, could be implemented locally and rewarded by the national government.

Solutions should be implemented within the cultural strengths of the K'iche'e, Kaqchikel, and the Tz'utuil communities in the Atitlán watershed, who proudly maintain their languages, customs, and worldview. Relevant resiliencies also include local governance and self-reliance, the cultural importance of water, expertise of universities such as UVG, community-engaged government programs such as those implemented by AMSCLAE, and international partnerships.

Impediments to effective solutions include poverty, population growth, increased consumption, corruption, unstable governance, insufficient education and literacy, and political misalignment. These problems are intertwined. For example, population growth leads to greater poverty, which reduces resources for education. Illiteracy and poor education increase the risk of political misalignment and disagreement as misinformation competes with facts and helpful solutions for political attention. And some assets that promote community cohesion, such as strong cultural practices and indigenous languages, can also impede agreements among communities due to cultural or linguistic misunderstandings, despite the need for cooperation for the good of everyone in the watershed. Furthermore, those who benefit economically from the current situation, such as providers of bottled water, may resist changes that undermine their business *raison d'être*.

These assets and liabilities therefore must be considered holistically such that all the communities in the watershed feel that they are benefiting from chosen solutions. For example, effective wastewater treatment plants in each community could solve the problem of pathogens entering the lake and thereby greatly improve availability of safe drinking water but would not address the problem of eutrophication. Exporting sewage from the watershed in a pipeline could simultaneously address

pathogens and eutrophication, but efforts to follow this route have been stymied by misinformation and considerable backlash. The provision of clean drinking water can best be handled at the municipal level with water treatment plants, but in the absence of that, residents rely on in-home filters. Similar opportunities, impediments, and trade-offs are encountered with other environmental health problems, such as addressing vehicle and industrial emissions.

I am not a Guatemalan, so I am just speculating, but my visits to Guatemala over 30 years have made an impression on me that Guatemalans want to have a say in local policies and want to improve public health for their community. Guatemalans are proud of their local customs and know how to implement technological change within cultural norms. Ultimately, the people in each community need to feel that they have agency to improve environmental health, which speaks to the utility of community-engaged research and interventions designed to arrive at the essential destination of clean air and clean water. As a research community concerned about Lake Atitlán, we need to help Atitlán residents to become citizen scientists and engage in productive efforts in their communities. The UVG already does this, but the scaling up of these efforts could make Lake Atitlán a global model for community-based environmental health solutions.

ACKNOWLEDGEMENTS

I thank Mónica Orozco, Ingo S. Wehrmann, Sophia von Hippel, Emily Yeo, and Cathy von Hippel for providing edits to the manuscript. I thank my colleagues and students, both inside and outside of Guatemala, for many productive conversations that have shaped my thinking on environmental health.

REFERENCES

- Barker, D. (2007). The origins of the developmental origins theory. *Journal of Internal Medicine* 261 : 412-417. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2796.2007.01809.x>
- Blume, A. & Ames, B. N. (1977). Flame-retardant additives as possible cancer hazards. *Science* 195(4273): 17-23. <https://doi.org/10.1126/science.831254>
- Boutwell, B. B., Nelson, E. J., Emo, B., Vaughn, M. G., Schootman, M., Rosenfeld, R. & Lewis, R. (2016). The intersection of aggregate-level lead exposure and crime. *Environmental Research* 148: 79-85. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2016.03.023>
- CDC (Center for Disease Control and Prevention). (2024). Global water, sanitation and hygiene. [<http://cdc.gov/global-water-sanitation-hygiene>]. Accessed: 19 June 2025.
- Dix, M. & Romero, C. (2020). *Estado del Lago Atitlán y su cuenca 2020*. Proyecto Somos Atitlán.
- Farrás, L., Caucci, S., Cifuentes, J., Avellán, T., Dornack, C. & Hettiarachchi, H. (2018). Wastewater management in the basin of Lake Atitlán: a background study. *United Nations University Institute for Integrated Management of Material Fluxes and of Resources (UNU-FLORES), Working Paper No. 6*. [<https://collections.unu.edu/view/UNU:6451>]. Accessed: 14 July 2025.

- Feigenbaum, J. J. & Muller, C. (2016). Lead exposure and violent crime in the early twentieth century. *Explorations in Economic History* 62: 51-86. <https://doi.org/10.1016/j.eeh.2016.03.002>
- Fergusson, D. M., Boden, J. M. & Horwood, L. J. (2008). Dentine lead levels in childhood and criminal behaviour in late adolescence and early childhood. *Journal of Epidemiology & Community Health* 62: 1045-1050. <https://doi.org/10.1136/jech.2007.072827>
- Flores-Anderson, A. I., Griffin, R., Dix, M., Romero-Oliva, C. S., Ochaeta, G., Skinner-Alvarado, J., Ramirez Moran, M. V., Hernandez, B., Cherrington, E., Page, B. & Barreno, F. (2020). Hyperspectral satellite remote sensing of water quality in Lake Atitlán, Guatemala. *Frontiers in Environmental Science* 8: 7. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2020.00007>
- Gatica-Domínguez, G., Victora, C. & Barros, A. J. D. (2019). Ethnic inequalities and trends in stunting prevalence among Guatemalan children: An analysis using national health surveys 1995-2014. *International Journal for Equity in Health* 18: 110. <https://doi.org/10.1186/s12939-019-1016-0>
- Ghai, R. R., Wallace, R. M., Kile, J. C., Shoemaker, T. R., Vieira, A. R., Negron, M. E., Shadomy, S. V., Sinclair, J. R., Goryoka, G. W., Salyer, S. J. & Behraves, C. B. (2022). A generalizable one health framework for the control of zoonotic diseases. *Scientific Reports* 12: 8588. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-12619-1>
- Graham, F. J. (1970). *Since Silent Spring*. Houghton Mifflin Company.
- Hardin, G. (1968). The tragedy of the commons. *Science* 162(3859): 1243-1248. <https://www.science.org/doi/10.1126/science.162.3859.1243>
- Heindel, J. J. & Vandenberg, L. N. (2015). Developmental origins of health and disease: a paradigm for understanding disease etiology and prevention. *Current Opinions in Pediatrics* 27(2): 248-253. <https://doi.org/10.1097/MOP.000000000000019>
- Juarez, M., Dionicio, C., Sacuj, N., Lopez, W., Miller, A. C. & Rohloff, P. (2021). Community-based interventions to reduce child stunting in rural Guatemala: A quality improvement model. *International Journal of Environmental Research and Public Health* 18(2): 773. <https://www.mdpi.com/1660-4601/18/2/773>
- La Merrill, M. A., Vandenberg, L. N., Smith, M. T., Goodson, W., Browne, P., Patisaul, H. B., Guyton, K. Z., Kortenkamp, A., Cagliano, V. J., Woodruff, T. J., Rieswijk, L., Sone, H., Korach, K. S., Gore, A. C., Zeise, L. & Zoeller, R. T. (2020). Consensus on the key characteristics of endocrine-disrupting chemicals as a basis for hazard identification. *Nature Reviews Endocrinology* 16: 45-57. <https://doi.org/10.1038/s41574-019-0273-8>
- Lebov, J., Grieger, K., Womack, D., Zaccaro, D., Whitehead, N., Kowalczyk, B. & MacDonald, P. D. M. (2017). A framework for One Health research. *One Health* 3: 44-50. <https://doi.org/10.1016/j.onehlt.2017.03.004>
- Mielke, H. W. & Zahran, S. (2012). The urban rise and fall of air lead (Pb) and the latent surge and retreat of societal violence. *Environment International* 43: 48-55. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2012.03.005>
- MSPAS (Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social de Guatemala). (2017). *VI Encuesta Nacional de Salud Materno Infantil (ENSMI) 2014-2015. Informe Final*. <https://www.dhsprogram.com/pubs/pdf/fr318/fr318.pdf>. Accessed: 14 July 2025.
- Needleman, H. L. (2000). The removal of lead from gasoline: Historical and personal reflections. *Environmental Research Section A* 84: 20-35. <https://doi.org/10.1006/enrs.2000.4069>
- Needleman, H. L., McFarland, C., Ness, R. B., Fienberg, S. E., & Tobin, M. J. (2002). Bone lead levels in adjudicated delinquents: A case control study. *Neurotoxicology and Teratology* 24(6): 711-717. [https://doi.org/10.1016/S0892-0362\(02\)00269-6](https://doi.org/10.1016/S0892-0362(02)00269-6)
- Neher, T. P., Soupier, M. L. & Kanwar, R. S. (2021). Lake Atitlán: A review of the food, energy, and water sustainability of a mountain lake in Guatemala. *Sustainability* 13: 515. <https://doi.org/10.3390/su13020515>
- Nevin, R. (2000). How lead exposure relates to temporal changes in IQ, violent crime, and unwed pregnancy. *Environmental Research* 83(1): 1-22. <https://doi.org/10.1006/enrs.1999.4045>
- Nevin, R. (2007). Understanding international crime trends: The legacy of preschool lead exposure. *Environmental Research* 104(3): 315-336. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2007.02.008>
- Newhall, C. G. (1987). Geology of the Lake Atitlán region, western Guatemala. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 33(1-3): 23-55. [https://doi.org/10.1016/0377-0273\(87\)90053-9](https://doi.org/10.1016/0377-0273(87)90053-9)
- Painter, R. C., Roseboom, T. J. & Bleker, O. P. (2005). Prenatal exposure to the Dutch famine and disease in later life: An overview. *Reproductive Toxicology* 20: 345-352. <https://doi.org/10.1016/j.reprotox.2005.04.005>
- Persson, L., Carney Almroth, B. M., Collins, C. D., Cornell, S., de Wit, C. A., Diamond, M. L., Fantke, P., Hassellöv, M., MacLeod, M., Ryberg, M. W., Søgaard Jørgensen, P., Villarrubia-Gómez, P., Wang, Z. & Zwicky Hauschild, M. (2022). Outside the safe operating space of the planetary boundary for novel entities. *Environmental Science and Technology* 56: 1510-1521. <https://doi.org/10.1021/acs.est.1c04158>
- Reiss, L. Z. (1961). Strontium-90 absorption by deciduous teeth. *Science* 134(3491): 1669-1673. <https://doi.org/10.1126/science.134.3491.1669>
- Rejmánková, E., Komárek, J., Dix, M., Komárková, J. & Girón, N. (2011). Cyanobacterial blooms in Lake Atitlán, Guatemala. *Limnologia - Ecology and Management of Inland Waters* 41(4): 296-302. <https://doi.org/10.1016/j.limno.2010.12.003>
- Reyes, J. W. (2007). Environmental policy as social policy? The impact of childhood lead exposure on crime. *The B.E. Journal of Economic Analysis & Policy* 7(1). <https://doi.org/10.2202/1935-1682.1796>
- Richardson, J., Steffen, W., Lucht, W., Bendtsen, J., Cornell, S. E., Donges, J. F., Druke, M., Fetzner, I., Bala, G., von Bloh, W., Feulner, G., Fiedler, S., Gerten, D., Gleeson, T., Hofmann, M., Huiskamp, W., Kummer, M., Mohan, C., Nongues-Bravo, D., . . . Rockstrom, J. (2023). Earth beyond six of the nine planetary boundaries. *Science Advances* 9: 37. <https://doi.org/10.1126/sciadv.adh2458>
- Riggio, J., Baillie, J. E. M., Brumby, S., Ellis, E., Kennedy, C. M., Oakleaf, J. R., Tait, A., Tepe, T., Theobald, D. M., Venter, O., Watson, J. E. M. & Jacobson, A. P. (2020). Global human influence maps reveal clear opportunities in conserving Earth's remaining intact terrestrial ecosystems. *Global Change Biology* 26: 4344-4356. <https://doi.org/10.1111/gcb.15109>
- Rodríguez Quintana, S., von Hippel, F. A., Orozco, M., Solomons, N., Billheimer, D., Sans-Fuentes, M. A., Amistadi, M. K., Sneed, S., Beamer, P., Zamora, A., Rivera, E., Forsten, R. & Gandhi, P. (2025). Exposure to toxic metal(loid)s via breastmilk and stunting in infants living in the Lake Atitlán watershed, Guatemala. *Environmental Pollution* 375: 126273. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2025.126273>
- Tschida, S., Cordon, A., Asturias, G., Mazariegos, M., Kroker-Lobos, M. F., Jackson, B., Rohloff, P. & Flood, D. (2021). Projecting the impact of nutrition policy to improve child stunting: A case study in Guatemala using the lives saved tool. *Global Health: Science and Practice* 9(4): 752-764. <https://doi.org/10.9745/gshp-d-20-00585>
- Villavicencio, H. A. (2019). *Trophic ecology and bioaccumulation of toxic metals in Lake Atitlán, Guatemala*. M.S. Thesis, University of Alaska Anchorage. U.S.A.
- von Hippel, F. A. (2020). *The chemical age*. University of Chicago Press, U.S.A.

- WHO (World Health Organization). (2015). Stunting in a nutshell. [<https://www.who.int/news/item/19-11-2015-stunting-in-a-nutshell>]. Accessed: 13 July 2025.
- WHO (World Health Organization). (2017). Stunted growth and development: Context, causes and consequences. [https://cdn.who.int/media/docs/default-source/nutritionlibrary/healthy-growth-project/childhood_stunting_framework_leaflet_en.pdf?sfvrsn=ee830a03_4&download=true]. Accessed: 13 July 2025.
- WHO (World Health Organization). (2025). Water sanitation and health. [<https://who.int/teams/environment-climate-change-and-health/water-sanitation-and-health>]. Accessed: 13 July 2025.
- Wilcove, D. S., Rothstein, D., Dubow, J., Phillips, A. & Losos, E. (1998). Quantifying threats to imperiled species in the United States. *BioScience* 48(8): 607-615. <https://doi.org/10.2307/1313420>
- Wilcox, B. A. (1984). In situ conservation of genetic resources: determinants of minimum area requirements. In: McNeely, J. A. & Miller, K. R. (eds), *National parks, conservation and development, Proceedings of the World Congress on National Parks*, Smithsonian Institution Press, U.S.A.; pp. 639-647.
- Wright, J. P., Dietrich, K. N., Ris, M. D., Hornung, R. W., Wessel, S. D., Lanphear, B. P., Ho, M. & Rae, M. N. (2008). Association of prenatal and childhood blood lead concentrations with criminal arrests in early adulthood. *PLoS Medicine* 5(5): e101. <https://doi.org/10.1371/journal.pmed.0050101>

Vacunas contra neumococo en adultos mayores en Guatemala: un análisis de costo-utilidad sobre su inclusión

Pneumococcal vaccines in older adults in Guatemala: a cost-utility analysis of their inclusion

Jaime ORDÓÑEZ¹, Ingrid SAJMOLO², Ingrid CONTRERAS-ROLDÁN^{3,*}, Mario MELGAR⁴ & Angélica ORDÓÑEZ¹

¹ Senior Researcher, True Consulting, Bogotá, Colombia

² Depto. de Infectología Pediátrica, Hospital General San Juan de Dios, Guatemala

³ Centro de Estudios en Salud, Universidad del Valle de Guatemala, Guatemala

⁴ Depto. de Infectología Pediátrica, Hospital Roosevelt, Ciudad de Guatemala, Guatemala

*Correspondencia: Ingrid Contreras-Roldán: (ilcontreras@uvg.edu.gt)

Recibido: 23/IX/2024; Aceptado: 13/VI/2025

Resumen: *Streptococcus pneumoniae* es causa significativa de morbilidad y mortalidad en adultos a nivel mundial. Este análisis evaluó la costo-utilidad de vacunar a la población guatemalteca mayor de 65 años con vacuna antineumocócica conjugada 13-valente (PCV13) y polisacárida 23-valente (PPSV23), estimando los beneficios clínicos y costos asociados. Se desarrolló un modelo de árbol de decisiones para simular la vacunación y sus resultados en Guatemala, en mayores de 65 años durante cinco años. Los comparadores fueron no vacunar, y vacunar con PCV13, PPSV23, PCV13+PPSV23 y PCV13+PPSV23+PPSV23. La efectividad se basó en ensayos clínicos (incluyendo un metaanálisis), costos médicos proporcionados por expertos locales y precios de las vacunas listados por OPS 2022. Las enfermedades asociadas a *S. pneumoniae* incluyeron neumonía adquirida en la comunidad (NAC), meningitis y sus complicaciones y sepsis. La efectividad se midió en años de vida ajustados por calidad (AVAC). Se realizaron análisis de sensibilidad probabilísticos. Se encontró que la estrategia PCV13 + PPSV23 mostró el mayor incremento en AVAC (20.55) con un aumento de costos de 20,326 US\$ y una probabilidad del 77.8% de ser la opción más costo-efectiva. PCV13 sola incrementó en 1.80 AVAC con un costo adicional de 12,013 US\$. La combinación PCV13+PPSV23+PPSV23, más costosa (30,052 US\$), no mejoró los AVAC respecto a PCV13+PPSV23. PPSV23 sola fue menos efectiva, con un aumento de 0.40 AVAC y costos de 9,113 US\$. La vacunación para adultos mayores de 65 años con PCV13+PPSV23 en Guatemala es una alternativa costo-efectiva frente a otras estrategias y a la no vacunación.

Palabras clave: adulto mayor, Años de vida ajustados por calidad (AVAC), costo-efectividad, neumococo, vacunación.

Abstract: *Streptococcus pneumoniae* is a significant cause of morbidity and mortality in adults worldwide. This analysis evaluated the cost-effectiveness of vaccinating the Guatemalan population over 65 years of age with the 13-valent pneumococcal conjugate vaccine (PCV13) and the 23-valent polysaccharide vaccine (PPSV23), estimating the associated clinical benefits and costs. A decision tree model was developed to simulate vaccination outcomes in Guatemala for adults over 65 over a five-year period. Comparators included no vaccination, vaccination with PCV13, PPSV23, PCV13+PPSV23, and PCV13+PPSV23+PPSV23. Effectiveness was based on clinical trials (including a meta-analysis), medical costs provided by local experts, and vaccine prices from the 2022 PAHO list. Outcomes included community-acquired pneumonia, meningitis, its complications, and sepsis. Effectiveness was measured in quality-adjusted life years (QALY). Probabilistic sensitivity analyses were performed. The PCV13+PPSV23 strategy showed the highest increase in QALY (20.55) with a cost increase of 20,326 US\$ and a 77.8% probability of being the most cost-effective option. PCV13 alone increased QALY by 1.80 at an additional cost of 12,013 US\$. The combination of PCV13+PPSV23+PPSV23, though more expensive (30,052 US\$), did not improve QALY compared to PCV13+PPSV23. PPSV23 alone was less effective, with a QALY increase of 0.40 and a cost of 9,113 US\$. Vaccinating adults over 65 years of age with PCV13+PPSV23 in Guatemala is a cost-effective alternative compared to other strategies and to no vaccination.

Key words: Cost-effectiveness, older adults, pneumococcus, Quality-Adjusted Life Years (QALYs), vaccination.

INTRODUCCIÓN

La neumonía era la principal causa de mortalidad infantil en el mundo en niños menores de cinco años a principios del siglo XXI, sin embargo, ha disminuido 22 % entre 2000 y 2015 (McAllister *et al.* 2019). Esta disminución se debe principalmente a la vacunación que inició con la vacuna neumocócica conjugada de siete valencias (PCV7). Uno de los resultados observados después de iniciar la vacunación neumocócica en niños fue su efecto rebaño en adultos mayores (Miller *et al.* 2011). En 2010 se lanzó la vacuna conjugada de 13 valencias (PCV13), la cual fue recomendada inmediatamente por el *Advisory Committee on Immunization Practices* (ACIP) para ser usada en adultos mayores (Centers for Disease Control and Prevention (CDC) & Advisory Committee on Immunization Practices 2012). En 2015 se publicaron los resultados del *Community-Acquired Pneumonia Immunization Trial in Adults* (CAPITA), que demostró la eficacia de PCV13 en la prevención de enfermedades neumocócicas en adultos mayores (Bonten *et al.* 2015). Desde entonces, muchos países han establecido la vacunación de adultos mayores como estrategia de prevención de infecciones neumocócicas y sus complicaciones en esta población.

Vacunar adultos mayores es un nuevo paradigma que enfrentan los sistemas de salud, pues se asumía que los programas de vacunación sólo eran para niños. Pero la pandemia de COVID-19 ha demostrado que la vacunación en adultos mayores es igualmente importante que en niños, sobre todo en enfermedades que afecten a esta población (Jarquin *et al.* 2023). *Streptococcus pneumoniae* (neumococo) es la principal causa de muerte por infecciones respiratorias inferiores globalmente, generando más muertes que todas las demás etiologías combinadas. Se estima que en 2016 fallecieron casi 1.2 millones de personas en todo el mundo por causa de infecciones neumocócicas, de las cuales el 45.5 % eran mayores de 70 años, mientras que el 27.4 % eran menores de cinco años (GBD 2016 Lower Respiratory Infections Collaborators 2018), reflejando el impacto positivo que ha tenido la vacunación neumocócica en menores de cinco años. Además, la Organización Mundial de la Salud (OMS) ha incluido al neumococo en la lista de microorganismos prioritarios para el desarrollo de nuevos antibióticos ante la creciente resistencia a la antibioticoterapia que está presentando este microorganismo (Tacconelli *et al.* 2018).

En un escenario en el que hay un envejecimiento global de la población, con adultos mayores que son más susceptibles a morir por enfermedades neumocócicas que el resto de la población y un aumento de la resistencia bacteriana a la antibioticoterapia, se hace necesario buscar estrategias para prevenir las enfermedades neumocócicas y disminuir los costos de atención asociados. Por lo tanto, el objetivo de este trabajo fue estimar el valor clínico y económico de las vacunas neumocócicas para prevenir las infecciones por *S. pneumoniae* en adultos mayores de 65 años en Guatemala.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se hizo un análisis de costo-utilidad de las vacunas neumocócicas en una cohorte hipotética de 1.000 adultos mayores de 65 años en Guatemala. Se consideraron seis estrategias de vacunación: (1) no vacunar, o vacunar con (2) PCV13, (3) dos dosis de la vacuna neumocócica polisacárida de 23 valencias (PPSV23) con cinco años de diferencia entre ambas dosis (PPSV23 + PPSV23), (4) PCV13 + PPSV23 + PPSV23 (la primera dosis de PPSV23 aplicada ocho semanas después de PCV13, y la segunda dosis de PPSV23 aplicada cinco años después de la primera), (5) PPSV23, y (6) PCV13 + PPSV23 (PPSV23 se aplica ocho semanas después de PCV13). El enfoque de este análisis económico se hizo desde la perspectiva del sistema de salud.

El horizonte temporal del modelo fue de cinco años (tiempo que debe transcurrir entre las dos dosis de PPSV23; PCV13 es una vacuna de dosis única). Los desenlaces sanitarios de la infección por *S. pneumoniae* son la neumonía adquirida en la comunidad (NAC), meningitis, sepsis, y muerte por estas causas. De igual forma, el modelo incluyó las complicaciones de corto plazo que produce la meningitis: pérdida auditiva, déficit neuropsicológico y epilepsia. El resultado se expresa en términos de Años de Vida Ajustados por Calidad (AVACs) para cada uno de los estados clínicos, para NAC hospitalaria, ambulatoria, meningitis, ITOS (infección del torrente sanguíneo), se tomaron los AVAC de Galante *et al.* (2011) y para epilepsia de Shiri *et al.* (2019). Los parámetros del estudio incluyeron las tasas de incidencia anual de NAC de manejo hospitalario y ambulatorio, así como las de meningitis e ITOS, ajustadas por las que son causadas por neumococo como agente etiológico.

La valoración de los desenlaces sanitarios se hizo con base en las tasas de incidencia anuales de NAC (separadas por tratamiento hospitalario o ambulatorio) (Vila-Corcoles *et al.* 2009), ITOS y meningitis (De La Rosa *et al.* 2016; Trocha *et al.* 2021). La eficacia de cada estrategia de prevención se aplicó a las tasas de incidencia de cada una de las infecciones neumocócicas, siendo su resultado el número de nuevos casos, complicaciones y muertes prevenidas. Para estimar los costos de atención en salud se formó un grupo asesor con médicos internistas y especialistas en infectología de Guatemala, para estimar la probabilidad y frecuencia de uso de los recursos de salud, así como sus costos en el país. El modelo económico es un árbol de decisiones que describe los resultados clínicos posibles con cada una de las estrategias evaluadas (ver Anexo 1).

La eficacia de las vacunas se ajustó a la distribución de serotipos, pues las vacunas neumocócicas sólo previenen las infecciones de los serotipos contenidos en ellas. Dado que Guatemala no tiene datos propios sobre la distribución de serotipos de neumococo en su territorio, se asumió la

distribución de serotipos de Colombia durante 2016-2020 porque ambos países son de Latinoamérica, su PIB per cápita es similar (4,603 US\$ en Guatemala y 5,333 US\$ en Colombia), y ninguno de los dos tiene un programa de vacunación nacional de neumococo en adultos (Instituto Nacional de Salud 2025). La tasa de complicaciones de la meningitis se tomó de un estudio de seguimiento de pacientes con meningitis bacteriana, asumiendo que la incidencia de estas complicaciones es independiente de la etiología de la enfermedad (Trocha *et al.* 2021). El modelo se alimentó utilizando datos extraídos de la literatura publicada dado que no se encontraron datos locales. El cálculo de costos se obtuvo consultando a expertos locales y se utilizó un promedio de los costos referidos por ellos. El detalle de los datos y las referencias utilizadas en el modelo se encuentran en el Anexo 1.

La eficacia de las vacunas se tomó de diferentes ensayos clínicos. La eficacia de PCV13 se tomó del ensayo clínico CAPITA (Bonten *et al.* 2015). PPSV23 cuenta con varios ensayos clínicos, por lo que se realizó un metaanálisis de estos para estimar su eficacia de una forma más robusta y con mayor validez externa. La Colaboración Cochrane publicó una revisión sistemática sobre PPSV23 (De la Rosa *et al.* 2016), y en esta investigación se revisaron todos los ensayos clínicos incluidos en ese estudio y se realizó un nuevo metaanálisis en el que se excluyeron los tres ensayos clínicos más antiguos. El estudio de Kaufman (1947) se excluyó porque utilizó una vacuna de tres valencias que fue hecha por los propios investigadores en el laboratorio del hospital (Kaufman 1947). El estudio de Alfageme *et al.* (1976) se excluyó porque usó como primera dosis una vacuna de seis valencias y un año después utilizó una vacuna de 13 valencias (Austrian *et al.* 1976). El estudio de Riley *et al.* (1977) se excluyó porque los aislamientos que hicieron fueron de *Diplococcus pneumoniae*, difiriendo de los ensayos clínicos hechos posteriormente (Riley *et al.* 1977). De esta forma se controlaron los sesgos de información generados por la heterogeneidad de los ensayos clínicos por la forma de medir tanto la exposición como los resultados. El tamaño de la muestra en el metaanálisis de PPSV23, para evaluar el riesgo de NAC, fue de 26,963 individuos; mientras que para evaluar el riesgo de ENI la muestra consistió en 20,196 personas. El Cuadro 1 presenta la eficacia de las vacunas neumocócicas según el resultado clínico.

RESULTADOS

Los datos obtenidos (Cuadro 1) indican que es más costosa una neumonía hospitalaria pero tiene un AVAC más alto en comparación con Meningitis e ITOS que tienen los AVAC más bajos. Si se desarrolla una resistencia antimicrobiana en estas patologías, los costos se triplican.

Cuadro 1. Costos de atención en salud de las infecciones neumocócicas y sus complicaciones en Guatemala, 2021 y años de vida ajustados por calidad (AVACs) de los diferentes estados clínicos generados por las infecciones neumocócicas y sus complicaciones.

Table 1. *Healthcare costs of pneumococcal infections and their complications in Guatemala, 2021, and Quality-Adjusted Life Years (QALYs) of the different clinical states caused by pneumococcal infections and their complications.*

Eventos clínicos	Costo (USD)	AVAC1
NAC ² hospitalaria	5,372 US\$	0.309
NAC ambulatoria	73 US\$	0.412
Meningitis	3,323 US\$	0.200
ITOS ³	4,077 US\$	0.200
Audífonos (Audinsa, s.f.)	963 US\$	
Atención especializada (neurología, ORL ⁴)	2,065 US\$	
Déficit neuropsicológico	4,130 US\$	
Epilepsia (Allers <i>et al.</i> 2015)	877 US\$	0.390
RAM ⁵ en NAC	16,116 US\$	
RAM en meningitis	9,969 US\$	
RAM en ITOS	12,231 US\$	

¹ Años de vida ajustados por calidad; ² Neumonía adquirida en la comunidad; ³ Infección del torrente sanguíneo; ⁴ Otorrinolaringología; ⁵ Resistencia antimicrobiana.

La estrategia de vacunación con un costo total más bajo es PPSV23 sola, pero es la estrategia que menos AVACs gana (Cuadro 2). La estrategia que más AVAC gana es PCV13+PPSV23 y PCV13+ PPSV23+PPSV23, teniendo la primera un costo menor que la segunda.

El análisis probabilístico con 1,000 simulaciones de Montecarlo muestra que PCV13 y PCV13 + PPSV23 son las opciones que generan más AVAC, pero son más bajos los costos de PCV13 sola. Las curvas de disponibilidad a pagar señalan que la estrategia PCV13 + PPSV23 tiene un 77.8 % de ser la mejor estrategia de vacunación contra el neumococo en adultos mayores de 65 años en Guatemala, seguida de la estrategia PCV13 + PPSV23 + PPSV23 (cinco años después) con una probabilidad de 15.7 %, versus el 6.3 % de probabilidad que tiene la estrategia de no vacunar (Fig. 1).

Cuadro 2. Costos totales, AVACs totales e ICER (Razón incremental de costo-efectividad) de las diferentes estrategias de vacunación neumocócica versus no vacunar en una cohorte de 1,000 adultos mayores de 65 años en Guatemala, 2021 (costos en US\$).

Table 2. Total costs, total QALYs and ICERs of different pneumococcal vaccination strategies versus no vaccination in a cohort of 1,000 adults over 65 years of age in Guatemala, 2021 (costs in US\$).

Resultados	No vacunar	PCV13 ¹	PCV13 + PPSV23 ²	PCV13 + PPSV23 + PPSV23	PPSV23	PPSV23 + PPSV23
Costo de las vacunas	0	15,655	25,381	35,108	9,726	19,453
Costo de los eventos en salud	15,778	12,135	10,721	10,772	15,164	15,156
Costos totales	15,778	27,790	36,103	45,830	24,890	34,609
AVACs ³ totales	3,645	3,660	3,666	3,666	3,645	3,645
Δ costos	-	12,013	20,326	30,052	9,113	18,831
Δ AVACs	-	14.80	20.55	20.55	0.40	0.41
ICER ⁴	-	11	989	1,463	22,744	46,419

¹ Vacuna antineumocócica conjugada 13-valente; ² Vacuna polisacárida 23-valente; ³ Años de vida ajustados por calidad; ⁴ Razón incremental de costo-efectividad.

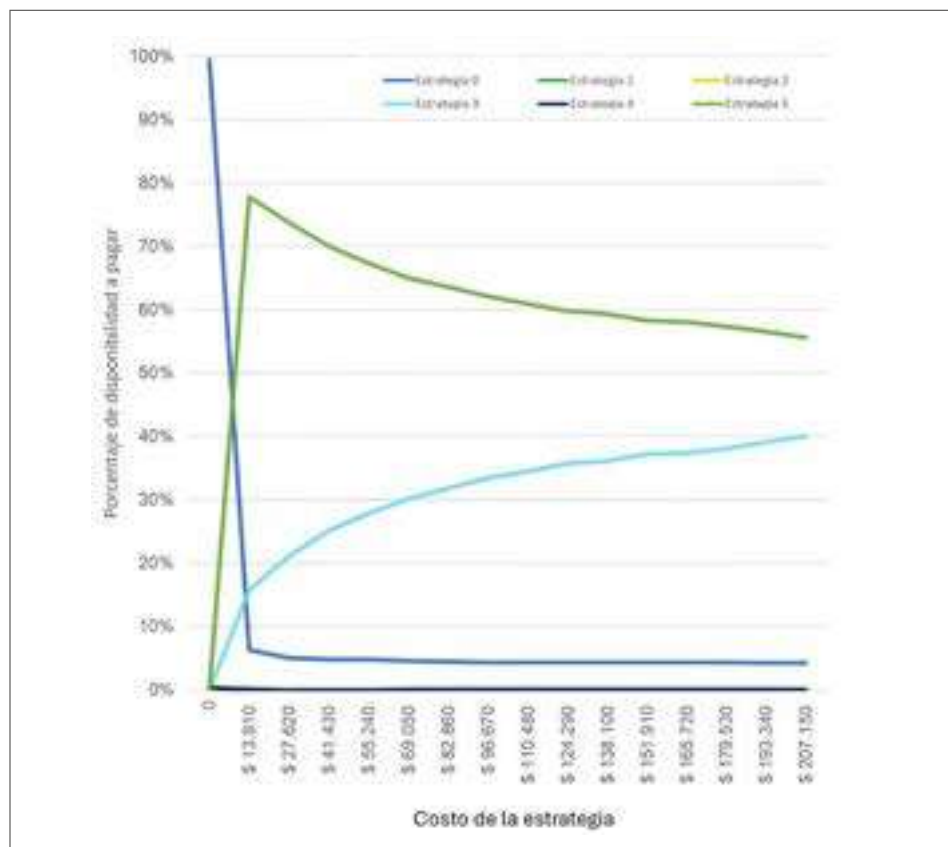


Figura 1. Curvas de disponibilidad a pagar de las diferentes estrategias de vacunación contra neumococo en adultos mayores de 65 años en Guatemala, 2021.

Figure 1. Availability-to-pay curves for different vaccination strategies against pneumococcal disease in adults over 65 years of age in Guatemala, 2021.

DISCUSIÓN

Vacunar a los adultos mayores de 65 años con el esquema PCV13 + PPSV23 es una estrategia altamente costo-efectiva en Guatemala, y su ICER es muy inferior a 1 PIB per cápita. Asimismo, el esquema de vacunación con PCV13 + PPSV23 más una segunda dosis de PPSV23 cinco años después también es una estrategia altamente costo-efectiva, aunque su ICER es casi 50 % superior al de la primera estrategia. Estos resultados son similares a las recomendaciones hechas por la ACIP en 2019, sobre la vacunación en adultos mayores de 65 años (Matanock *et al.* 2020). Aunque esta recomendación fue hecha por la ACIP, al refrendar estos resultados con los costos del sistema de salud de Guatemala, se puede contar con información robusta para apoyar las decisiones de vacunación en el país.

Las tres estrategias de vacunación que incluyen PCV13 son altamente costo-efectivas: PCV13 sola, PCV13+ PPSV23 y PCV13+PPSV23+PPSV23, y de estas, la primera fue la opción más costo-efectiva en el análisis determinístico. En las curvas de disponibilidad a pagar tienen más probabilidad las opciones que suman PPSV23 a PCV13, pues el costo de agregarla es bajo, en comparación con el beneficio que ofrece. La estrategia de vacunación, que definitivamente no es costo-efectiva en Guatemala, es la de usar una o dos dosis de PPSV23 sin PCV13, pues el ICER de ambas opciones es superior a tres PIB per cápita. Esto significa que cualquier estrategia de vacunación contra el neumococo a adultos mayores en Guatemala debe incluir a PCV13, idealmente en combinación con PPSV23.

Esta costo-efectividad de PCV13 se debe a la eficacia clínica que tiene contra la NAC, que es la manifestación clínica más frecuente de las infecciones neumocócicas (98.7 %). Aunque PPSV23 incluye más serotipos, no ha demostrado eficacia clínica contra la NAC. Conclusiones similares sobre la baja eficacia de PPSV23 para la prevención de la NAC ya han sido reportadas en otros metaanálisis, incluyendo el de la Colaboración Cochrane (Diao *et al.* 2016). Por otro lado, PPSV23 sí ha mostrado eficacia clínica en la prevención de ENI, lo que justifica su uso conjunto con PCV13 como estrategia de vacunación en los adultos mayores de 65 años.

Las dos fortalezas más importantes de este modelo son: (1) incluir en los resultados la RAM y (2) haber estimado los costos por medio de un comité asesor con expertos clínicos locales. La RAM es un problema de salud pública que está en constante aumento en todo el mundo, complicando el uso de antimicrobianos, poniendo en riesgo la vida de los pacientes y aumentando los costos de atención en salud. Una de las estrategias para disminuir el impacto económico y sobre la salud pública que tiene la RAM, es prevenir las infecciones por medio de programas de vacunación masivos.

La principal debilidad de este modelo es que no cuenta con datos de la distribución de serotipos de neumococo en Guatemala, por lo que tuvo que asumirse la de otro país latinoamericano (Colombia). Es de esperar que este tipo de

estudios impulsen a las autoridades sanitarias a desarrollar sistemas de vigilancia epidemiológica que permitan aislar los serotipos de los neumococos que circulan en el país. Considerando la eficacia que tiene PCV13 sobre la NAC, este supuesto no debe afectar mucho los resultados, pero para que estos sean más exactos, sería mejor hacer el análisis con datos propios del país.

En conclusión, un programa de vacunación masiva contra neumococo para adultos mayores en Guatemala con PCV13 + PPSV23 es altamente costo-efectivo porque previene NAC y ENI causadas por el neumococo, mejorando la calidad de vida de la población. Esto permitiría al sistema de salud del país utilizar los escasos recursos hospitalarios en la atención de otras patologías que no sean inmunoprevenibles.

AGRADECIMIENTOS

Este estudio se realizó con el apoyo de un grant sin restricciones de Pfizer, quien no tuvo participación en el desarrollo, presentación de resultados ni conclusiones del mismo.

REFERENCIAS

- Alfageme, C. R., Rudkin, G. T. & Cohen, L. H. (1976). Locations of chromosomal proteins in polytene chromosomes. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 73(6): 2038-2042. <https://doi.org/10.1073/pnas.73.6.2038>
- Allers, K., Essue, B. M., Hackett, M. L., Muhunthan, J., Anderson, C. S., Pickles, K., Scheibe, F. & Jan, S. (2015). The economic impact of epilepsy: a systematic review. *BMC Neurology* 15(245): 245. <https://doi.org/10.1186/s12883-015-0494-y>
- Audinsa. (n.d.). Productos. Guatemala. [<https://audinsa.com.gt/>]. Accesado: 10 de junio 2025.
- Austrian, R., Douglas, R. M., Schiffman, G., Coetzee, A. M., Koornhof, H. J., Hayden-Smith, S. & Reid, R. D. (1976). Prevention of pneumococcal pneumonia by vaccination. *Transactions of the Association of American Physicians* 89: 184-194.
- Bonten, M. J. M., Huijts, S. M., Bolkenbaas, M., Webber, C., Patterson, S., ... & Grobbee, D. E. (2015). Polysaccharide conjugate vaccine against pneumococcal pneumonia in adults. *The New England Journal of Medicine* 372(12): 1114-1125. <https://doi.org/10.1056/NEJMoa1408544>
- Centers for Disease Control and Prevention (CDC) (2012). Licensure of 13-valent pneumococcal conjugate vaccine for adults aged 50 years and older. *Morbidity and Mortality Weekly Report* 61(21): 394-395.
- De La Rosa, G., León, A. L. & Jaimes, F. (2016). Epidemiología y pronóstico de pacientes con infección del torrente sanguíneo en 10 hospitales de Colombia. *Revista Chilena de Infectología* 33(2): 141-149. <https://doi.org/10.4067/S0716-10182016000200003>
- Diao, W., Shen, N., Yu, P., Liu, B. & He, B. (2016). Efficacy of 23-valent pneumococcal polysaccharide vaccine in preventing community-acquired pneumonia among immunocompetent adults: A systematic review and meta-analysis of randomized trials. *Vaccine* 34(13): 1496-1503. <https://doi.org/10.1016/j.vaccine.2016.02.023>

- Galante, J., Augustovski, F., Colantonio, L., Bardach, A., Caporale, J., Marti, S. G. & Kind, P. (2011). Estimation and comparison of EQ-5D health states' utility weights for pneumococcal and human papillomavirus diseases in Argentina, Chile, and the United Kingdom. *Value in Health* 14(5): S60-S64. <https://doi.org/10.1016/j.jval.2011.05.007>.
- GBD 2016 Lower Respiratory Infections Collaborators. (2018). Estimates of the global, regional, and national morbidity, mortality, and aetiologies of lower respiratory infections in 195 countries, 1990-2016: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2016. *The Lancet Infectious Diseases* 18(11): 1191-1210.
- Instituto Nacional de Salud (INS). (2025). Vigilancia por laboratorio de *Streptococcus pneumoniae* en Colombia 2016-2021. [<https://dx.doi.org/10.6084/m9.figshare.29274392>]. Accesado: 08 de junio 2025.
- Jarquín, C., Quezada, L. F., Góber, L., Balsells, E. & Rondy, M. (2023). Early impact of COVID-19 vaccination on older populations in four countries of the Americas, 2021. *Revista Panamericana de Salud Pública* 47: e122. <https://doi.org/10.26633/RPSP.2023.122>
- Kaufman, P. (1947). Pneumonia in old age. *Archives of Internal Medicine* 79(5): 518-531. <https://doi.org/10.1001/archinte.1947.00220110058004>
- Matanock, A., Lee, G., Gierke, R., Kobayashi, M., Leidner, A. & Pilishvili, T. (2020). Use of 13-valent pneumococcal conjugate vaccine and 23-valent pneumococcal polysaccharide vaccine among adults aged ≥65 years: Updated recommendations of the Advisory Committee on Immunization Practices. *Morbidity and Mortality Weekly Report* 68(5152): 1195. <https://doi.org/10.15585/mmwr.mm685152a3>
- McAllister, D. A., Liu, L., Shi, T., Chu, Y., Reed, C., Burrows, J., Adeboye, D., Rudan, I., Black, R. E., Campbell, H. & Nair, H. (2019). Global, regional, and national estimates of pneumonia morbidity and mortality in children younger than 5 years between 2000 and 2015: a systematic analysis. *The Lancet Global Health* 7(1): e47-e57. [https://doi.org/10.1016/S2214-109X\(18\)30408-X](https://doi.org/10.1016/S2214-109X(18)30408-X)
- Miller, E., Andrews, N. J., Waight, P. A., Slack, M. P. & George, R. C. (2011). Herd immunity and serotype replacement 4 years after seven-valent pneumococcal conjugate vaccination in England and Wales: an observational cohort study. *The Lancet Infectious Diseases* 11(10): 760-768. [https://doi.org/10.1016/S1473-3099\(11\)70090-1](https://doi.org/10.1016/S1473-3099(11)70090-1).
- Riley, I. D., Andrews, M., Howard, R., Tarr, P. I., Pfeiffer, M., Challands, P., Jennison, G., & Douglas, R. M. (1977). Immunisation with a polyvalent pneumococcal vaccine. *The Lancet* 309(8026): 1338-1341. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(77\)92552-1](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(77)92552-1)
- Shiri, T., Khan, K., Keaney, K., Mukherjee, G., McCarthy, N. D. & Petrou, S. (2019). Pneumococcal disease: A systematic review of health utilities, resource use, costs, and economic evaluations of interventions. *Value in Health* 22(11): 1329-1344. <https://doi.org/10.1016/j.jval.2019.06.011>
- Tacconelli, E., Carrara, E., Savoldi, A., Harbarth, S., Mendelson, M., ... & Zorzet, A. (2018). Discovery, research, and development of new antibiotics: the WHO priority list of antibiotic-resistant bacteria and tuberculosis. *The Lancet Infectious Diseases* 18(3): 318-327. [https://doi.org/10.1016/S1473-3099\(17\)30753-3](https://doi.org/10.1016/S1473-3099(17)30753-3)
- Trocha, G., Ramírez, N., Cerón, N. & Romero, C. (2021). Meningitis bacteriana aguda del adulto adquirida en la comunidad. *Acta Neurológica Colombiana* 37(1; Supl. 1): 55-63. <https://doi.org/10.22379/24224022335>
- Vila-Corcoles, A., Ochoa-Gondar, O., Rodríguez-Blanco, T., Raga-Luria, X., Gomez-Bertomeu, F. & EPIVAC Study Group. (2009). Epidemiology of community-acquired pneumonia in older adults: a population-based study. *Respiratory Medicine* 103(2): 309-316. <https://doi.org/10.1016/j.rmed.2008.08.006>

ANEXO 1

Datos utilizados para el modelo de costo utilidad

En cuanto a neumonía, para NAC hospitalaria la incidencia anual es de 1.5% (Vila-Corcoles *et al.* 2009), proporción de neumococo de 27.6% (Chaparro *et al.* 1989; Vélez *et al.* 2006) con una tasa de incidencia anual de enfermedad neumocócica de 4.030 x millón; para NAC ambulatoria la incidencia anual es de 0.5% (Vila-Corcoles *et al.* 2009), proporción de neumococo de 27.6% (Chaparro *et al.* 1989; Vélez *et al.* 2006), con una tasa de incidencia anual de enfermedad neumocócica de 1.352 x millón; para ITOS la incidencia anual es de 0.2% (De la Rosa *et al.* 2016), proporción de neumococo de 3.0% (De la Rosa *et al.* 2016), con una tasa de incidencia anual de enfermedad neumocócica de 64.7 x millón y, para meningitis la incidencia anual es de 0.0009% (Trocha *et al.* 2021), proporción de neumococo de 58.8% (Instituto Nacional de Salud 2021) y una tasa de incidencia anual de enfermedad neumocócica de 5.5 x millón.

En un estudio realizado en tres hospitales de Bogotá, se determinó que el riesgo de letalidad (riesgo de fallecer de los infectados) por causa de las enfermedades neumocócicas, para NAC fue de 21%, para meningitis 33%, y para ITOS 48% (Calderón & Dennis 2013). El riesgo de desarrollar resistencia antimicrobiana (RAM, por sus siglas en inglés) en pacientes adultos con enfermedades neumocócicas, ajustadas por evento clínico fue de 11.4% para NAC, 58.6% para meningitis, y de 11.4% para ITOS (Instituto Nacional de Salud 2025). Los riesgos de secuelas clínicas por causa de meningitis fueron pérdida auditiva (42%), déficit neuropsicológico (32%), y epilepsia (5%) (Trocha *et al.* 2021).

Los costos de las diferentes estrategias de vacunación se calcularon con base en el precio de las vacunas, según el listado de la Organización Panamericana de la Salud. El modelo asume que el costo de aplicación de cada vacuna es US\$ 1; los costos se describen en US\$. Para el año 2021, para PCV13 el costo fue de 15.7 US\$; PPSV23 + PPSV23 (5 años de diferencia) 19.5 US\$; PCV13+ PPSV23 + PPSV23 35.1 US\$; PPSV23 9.7 US\$; PCV13 + PPSV23 25.4 US\$ (Pan American Health Organization 2021).

El modelo económico asume que los pacientes tienen 0.742 AVACs de base (Sisk *et al.* 2003), pues son pacientes adultos mayores, la mayoría de los cuales pueden tener una enfermedad crónica.

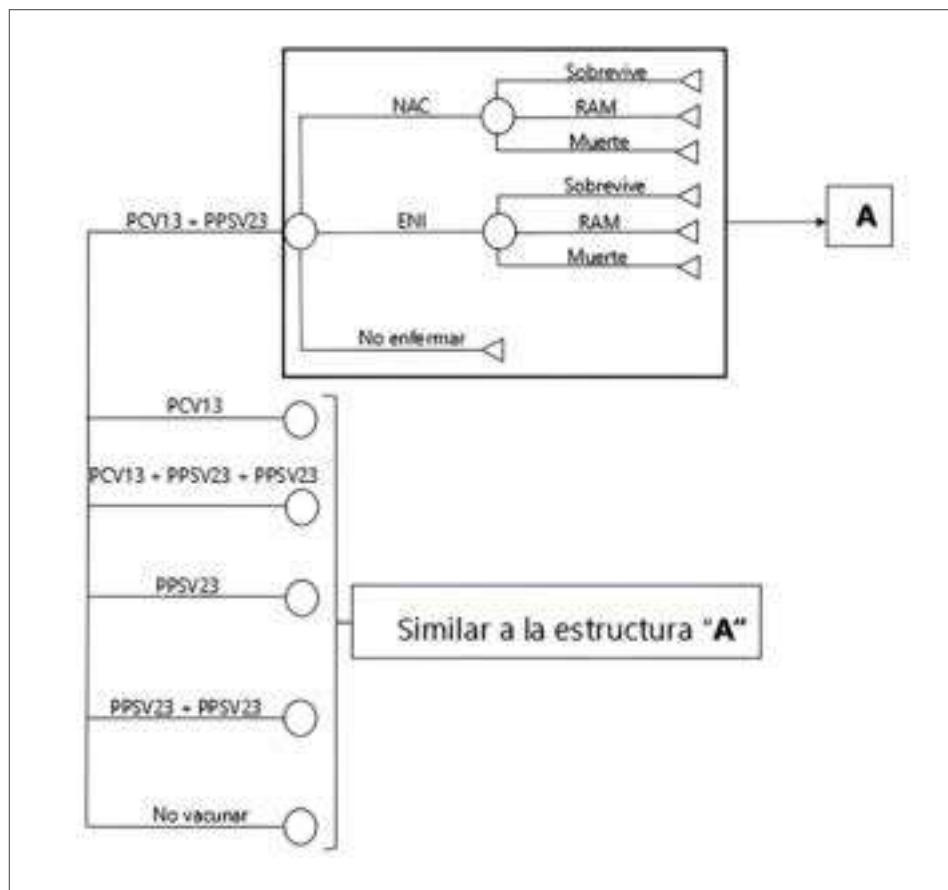


Figura A1. Estructura del árbol de decisiones de las estrategias de vacunación en adultos mayores en Guatemala, 2021.

*ENI: Enfermedad neumocócica invasiva; ≠RAM: Resistencia antimicrobiana.

Figure A1. Structure of the decision tree for vaccination strategies in older adults in Guatemala, 2021. * ENI: Invasive pneumococcal disease; ≠RAM: Antimicrobial resistance.

Para caracterizar la incertidumbre se hicieron 1,000 simulaciones de Montecarlo y se estimaron las curvas de disponibilidad a pagar, con un umbral de disponibilidad a pagar de tres veces el producto interno bruto per cápita (13,810 US\$).

El Cuadro A1 presenta la efectividad estimada de las vacunas neumocócicas ajustada por la distribución de serotipos. La eficacia de las vacunas neumocócicas es específica para los serotipos contenidos en ellas, por lo que, para estimar la efectividad, debe ajustarse la eficacia según la distribución de

los serotipos en la región. Desafortunadamente no hay datos de vigilancia epidemiológica de *S. pneumoniae* ni en Guatemala ni en países de la región de Centroamérica y el Caribe. Para estimar la efectividad, este modelo asume que la distribución de serotipos de neumococo en adultos en Guatemala es similar a la de Colombia durante 2016-2020. Este supuesto se fundamenta en que ambos países son latinoamericanos, su PIB per cápita es similar (4,603 US\$ en Guatemala y 5,333 US\$ en Colombia), y ninguno de los dos tiene un programa de vacunación nacional de neumococo en adultos.

Cuadro A1. Cuadro A1. Eficacia clínica de las vacunas neumocócicas para prevenir la neumonía adquirida en la comunidad (NAC) y la enfermedad neumocócica invasiva (ENI) y efectividad de PCV13, ajustada según la distribución de serotipos de neumococo.

Table A1. Table A1. Clinical efficacy of pneumococcal vaccines to prevent community-acquired pneumonia (CAP) and invasive pneumococcal disease (IPD) and effectiveness of PCV13, adjusted for pneumococcal serotype distribution.

Resultado clínico	Estrategia de vacunación	Eficacia	RR (IC 95 %)	Referencia	Eficacia ajustada de distribución de serotipos	% de distribución de serotipos (Instituto Nacional de Salud (INS) 2021, 2025)	Efectividad clínica
	PCV13	45.6%	0.5 (0.375-0.782)	Bonten <i>et al.</i> (2015)	45.6 %	47.4 %	21.6 %
NAC	PPSV23	0 %	0.9 (0.854-1.028)	Austrian (1980); Gaillat <i>et al.</i> (1985); Örtqvist <i>et al.</i> (1998); Kawakami <i>et al.</i> (2010)	0 %	61.7 %	0 %
	PCV13+PPSV23				45.6 %	47.4 %*	21.6 %
ENI	PCV13	75.0 %	0.3 (0.092-0.586)	Bonten <i>et al.</i> (2015)	75.0 %	47.4 %	35.5%
	PPSV23	67.1 %	0.3 (0.120-0.905)	Leech <i>et al.</i> (1987); Kawakami <i>et al.</i> (2010)	67.1 %	61.6 %	41.4 %
	PCV13+PPSV23				75 %	65.8 %	47.9 %

* Se asumió la misma distribución de serotipos de PCV13 para PCV13+PPSV23 porque la eficacia de PPSV23 en el metaanálisis es 0 %.

REFERENCIAS

- Austrian R. (1980). *Surveillance of pneumococcal infection for field trials of polyvalent pneumococcal vaccines*. [report no. DAB-VDP-12-84]. National Institute of Allergy and Infectious Diseases, Bethesda (MD), EE.UU.
- Bonten, M. J. M., Huijts, S. M., Bolkenbaas, M., Webber, C., Patterson, S., Gault, S., van Werkhoven, C. H., van Deursen, A. M. M., Sanders, E. A. M., Verheij, T. J. M., Patton, M., McDonough, A., Moradoghli-Haftvani, A., Smith, H., Mellelieu, T., Pride, M. W., Crowther, G., Schmoeele-Thoma, B., Scott, D. A., ... Grobbee, D. E. (2015). Polysaccharide conjugate vaccine against pneumococcal pneumonia in adults. *The New England Journal of Medicine* 372(12): 1114-1125. <https://doi.org/10.1056/NEJMoa1408544>
- Calderón, C. & Dennis, R. (2013). Costos económicos de neumonía adquirida en comunidad, meningitis y bacteriemia por *Streptococcus pneumoniae* en una población adulta que requirió hospitalización en Bogotá, Colombia. *Biomédica* 34(1): 92-101. <https://doi.org/10.7705/biomedica.v34i1.1553>
- Chaparro, C., Ortega, H., Torres, C. A. & Giraldo, H. (1989). Neumonía adquirida en la comunidad. *Revista Colombiana de Neumología* 1: 17-24.
- De La Rosa, G., León, A. L. & Jaimes, F. (2016). Epidemiología y pronóstico de pacientes con infección del torrente sanguíneo en 10 hospitales de Colombia. *Revista Chilena de Infectología* 33(2): 141-149. <https://doi.org/10.4067/S0716-10182016000200003>
- Gaillat, J., Zmirou, D., Mallaret, M. R., Rouhan, D., Bru, J. P., Stahl, J. P., Delormas, P., & Micoud, M. (1985). Clinical trial of an antipneumococcal vaccine in elderly subjects living in institutions. *Revue d'épidémiologie et de Santé Publique* 33(6): 437-444. [Artículo en francés].
- Instituto Nacional de Salud (INS). (2021). Boletín Epidemiológico Semanal. Meningitis. Semana epidemiológica 39. Instituto Nacional de Salud. <https://doi.org/10.6084/m9.figshare.29263490>. Accesado: 08 de junio 2025.
- Instituto Nacional de Salud (INS). (2025). Vigilancia por laboratorio de *Streptococcus pneumoniae* en Colombia 2016-2021. <https://dx.doi.org/10.6084/m9.figshare.29274392>. Accesado: 08 de junio 2025.
- Kawakami, K., Ohkusa, Y., Kuroki, R., Tanaka, T., Koyama, K., Harada, Y., Iwanaga, K., Yamaryo, T. & Oishi, K. (2010). Effectiveness of pneumococcal polysaccharide vaccine against pneumonia and cost analysis for the elderly who receive seasonal influenza vaccine in Japan. *Vaccine* 28(43): 7063-7069. <https://doi.org/10.1016/j.vaccine.2010.08.010>

- Leech, J. A., Gervais, A. & Ruben, F. L. (1987). Efficacy of pneumococcal vaccine in severe chronic obstructive pulmonary disease. *Canadian Medical Association Journal* 136(4): 361-365.
- Örtqvist, Å., Hedlund, J., Burman, L.-Å., Elbel, E., Höfer, M., Leinonen, M., Lindblad, I., Sundelöf, B. & Kalin, M. (1998). Randomised trial of 23-valent pneumococcal capsular polysaccharide vaccine in prevention of pneumonia in middle-aged and elderly people. *The Lancet* 351(9100): 399-403. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(97\)07358-3](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(97)07358-3)
- Pan American Health Organization. (2021). Expanded program of immunization. Vaccines prices for year 2021. [<https://www.paho.org/en/documents/paho-revolving-fund-vaccine-prices-2021>]. Accesado: 25 de abril 2025.
- Sisk, J. E., Whang, W., Butler, J. C., Sneller, V.-P. & Whitney, C. G. (2003). Cost-Effectiveness of Vaccination against invasive pneumococcal disease among people 50 through 64 years of age: Role of comorbid conditions and race. *Annals of Internal Medicine* 138(12): 960-968. <https://doi.org/10.7326/0003-4819-138-12-200306170-00007>
- Trocha, G., Ramírez, N., Cerón, N. & Romero, C. (2021). Meningitis bacteriana aguda del adulto adquirida en la comunidad. *Acta Neurológica Colombiana* 37(1; Supl. 1): 55-63. <https://doi.org/10.22379/24224022335>
- Vélez, L., Rueda, Z., Aguilar, Y., Ortega, H., Montufar, F. & Arroyave, M. (2006). Caracterización clínica y etiológica de NAC, Valle de Aburrá. *Infectio* 10: 103.
- Vila-Corcoles, A., Ochoa-Gondar, O., Rodriguez-Blanco, T., Raga-Luria, X., Gomez-Bertomeu, F., & EPIVAC Study Group. (2009). Epidemiology of community-acquired pneumonia in older adults: a population-based study. *Respiratory Medicine* 103(2): 309-316. <https://doi.org/10.1016/j.rmed.2008.08.006>

Fortaleciendo la higiene de manos en salud pública: un enfoque participativo para el desarrollo de materiales educativos en Quetzaltenango, Guatemala

Strengthening hand hygiene in public health: A participatory approach to developing educational materials in Quetzaltenango, Guatemala

Paulina GARZARO^{1,*}, Anna VALDEZ², Antonio ALCÁNTARA², Christina CRAIG³, Celia CORDON-ROSALES^{1,4}
& Brooke M. RAMAY^{1,4}

¹Centros de Estudios en Salud, Universidad del Valle de Guatemala, Guatemala City, Guatemala

²Investigadora Independiente

³Division of Foodborne, Waterborne, and Environmental Diseases, National Center for Emerging and Zoonotic Infectious Diseases, Centers for Disease Control and Prevention (CDC), Atlanta, USA

⁴ Paul G. Allen School of Global Health, Washington State University (WSU), Pullman, USA

*Correspondencia: Paulina Garzaro (apgarzaro@uvg.edu.gt)

Recibido: 02/VIII/2024; Aceptado: 02/VII/2025

Resumen: La higiene de manos es una de las prácticas más efectivas para prevenir infecciones asociadas a la atención sanitaria, especialmente en contextos de servicios públicos de salud con recursos limitados. Sin embargo, la adherencia a esta práctica en países de ingresos bajos y medios suele verse deteriorada por deficiencias en infraestructura, sobrecarga laboral y vacíos en la formación del personal de salud. Este estudio documenta el proceso de diseño participativo de una guía de capacitación y materiales educativos sobre higiene de manos, desarrollado con personal de salud pública de los 24 distritos del departamento de Quetzaltenango, Guatemala. A través de un enfoque de investigación acción participativa, se integraron conocimientos técnicos y experiencias locales para generar materiales contextualizados y culturalmente pertinentes. Los resultados muestran que la participación de trabajadores de salud y autoridades permitió identificar contenidos prioritarios, formatos pedagógicos adecuados y estrategias que fortalecen el aprendizaje y la práctica. La alta aceptación de los materiales validados, junto con su adaptación a condiciones locales, evidencia el valor del enfoque participativo para mejorar la efectividad de los procesos formativos en salud pública. Se concluye que este modelo participativo contribuye no solo a reforzar la higiene de manos, sino también a fortalecer capacidades institucionales para el desarrollo de recursos educativos sostenibles y apropiados localmente.

Palabras clave: guía de capacitación, higiene de manos, infecciones asociadas a la atención sanitaria, investigación acción participativa, materiales educativos, personal de salud pública.

Abstract: Hand hygiene is one of the most effective practices for preventing healthcare-associated infections, particularly in public health facilities operating with limited resources. However, adherence to hand hygiene protocols in low- and middle-income countries is often hindered by deficiencies in infrastructure, heavy workloads, and gaps in the training of healthcare personnel. This study documents the participatory design approach of a training guide and educational materials regarding hand hygiene, developed in collaboration with public health personnel from 24 municipal health districts of Quetzaltenango, Guatemala. Through a participatory action research approach, technical knowledge and local expertise were integrated to create contextualized and culturally relevant educational materials. The results showed that the active involvement of health workers and local authorities made it possible to identify key strategies and to develop appropriate pedagogical formats that strengthen both hand hygiene learning and practice. The high acceptance rates of the validated materials, along with their adaptation to local conditions, highlights the value of the participatory approach in enhancing the effectiveness of public health training. It is concluded that this participatory model contributes not only to strengthening hand hygiene practices, but also to building institutional capacity for the development of sustainable and locally appropriate educational resources.

Keywords: educational materials, hand hygiene, healthcare-associated infections, participatory action research, public healthcare workers, training guide.

INTRODUCCIÓN

La higiene de manos es una de las medidas más efectivas para prevenir infecciones asociadas a la atención sanitaria (IAAS) (World Bank Group 2020). Los trabajadores de salud, debido a su exposición constante, enfrentan un elevado riesgo de contagio durante la atención clínica (Aregu *et al.* 2021). Según la Organización Mundial de la Salud (OMS), una correcta higiene de manos, ya sea mediante lavado con agua y jabón o desinfectante de manos a base de alcohol (DMBA), puede reducir el riesgo de transmisión de infecciones hasta en un 55% (World Health Organization & WHO Patient Safety 2009). A pesar de su eficacia, múltiples barreras limitan la adherencia a la higiene de manos en entornos sanitarios, especialmente en países de ingresos bajos y medios (World Health Organization & WHO Patient Safety 2009). Estudios en países como India (Maheshwari *et al.* 2014; Arshad 2018) y regiones del África subsahariana (Ataiyero *et al.* 2019) identifican obstáculos clave: (1) infraestructura inadecuada (falta de agua potable, jabón o DMBA), (2) sobrecarga laboral y (3) desconocimiento de protocolos, como olvidar realizar la práctica o técnicas correctas.

Para abordar estas barreras, la OMS recomienda un enfoque multimodal que combina cinco componentes esenciales: (1) implementación de cambios estructurales que garanticen el acceso permanente a insumos básicos como agua y jabón o DMBA; (2) capacitación continua del personal de salud para reforzar técnicas adecuadas y concientizar sobre los momentos críticos de higiene de manos; (3) monitoreo sistemático con retroalimentación, que permite evaluar prácticas y corregir deficiencias; (4) instalación de recordatorios visuales en áreas estratégicas sirve como refuerzo conductual; y (5) fomento de una cultura institucional de seguridad donde, tanto trabajadores como autoridades, asuman responsabilidad compartida en la prevención de infecciones (World Health Organization & WHO Patient Safety 2009).

La capacitación continua del personal de salud, como parte de la estrategia multimodal propuesta por la OMS (World Health Organization & WHO Patient Safety 2009), puede fortalecerse mediante el desarrollo de materiales educativos. Un estudio que analizó el uso de la investigación acción participativa en contextos sanitarios destacó los beneficios de este enfoque para las personas involucradas, ya que permite combinar conocimientos compartidos y adquiridos con la acción (Smith *et al.* 2017). El diseño participativo de materiales educativos se basa en la creación colectiva de conocimiento a través de la interacción entre actores de distintos sectores, como por ejemplo personal de atención de salud, pacientes e investigadores, con el fin de desarrollar herramientas formativas efectivas. Esta integración muestra que es posible al articular el conocimiento generado durante el proceso participativo con el saber académico (Smith *et al.* 2017).

En línea con los principios de la OMS, y fundamentada en los hallazgos de estudios previos del proyecto “Distribución de Desinfectante de Manos a Base de Alcohol (DMBA) en 19 servicios de salud en Quetzaltenango, Guatemala”, surge la necesidad de diseñar de forma participativa materiales educativos sobre higiene de manos dirigidos a trabajadores de salud.

Las evaluaciones previas (2021) revelaron un acceso inconsistente a recursos esenciales para la higiene de manos, como agua y jabón o DMBA (Berendes *et al.* 2022). Paralelamente, la observación directa de la práctica de higiene de manos de trabajadores de salud evidenció una baja adherencia, con menos del 50 % de cumplimiento, siendo más probable en los contactos invasivos (tratar heridas en la piel, como suturar, limpiar y vendar, extraer sangre, administrar vacunas o inyecciones), después del contacto con el paciente o si el trabajador era médico (Fahsen *et al.* 2024). Un estudio mixto posterior (Garzaro *et al.* 2025), que profundizó en las percepciones, conocimientos, actitudes y prácticas de higiene de manos del personal de salud, identificó barreras como la falta de infraestructura, escasez de insumos y lagunas en conocimientos fundamentales, como los cinco momentos de la higiene de manos y las principales fuentes de transmisión de infecciones asociadas a la atención sanitaria. Estos hallazgos mostraron que la mejora aislada del acceso a recursos no alcanzó el impacto esperado, enfatizando en la necesidad de implementar estrategias multimodales, es decir, abordar la problemática de manera integral y contextualizada (Fahsen *et al.* 2024). Se concluyó que la capacitación constante es una de las principales estrategias para mejorar la práctica de higiene de manos (Fahsen *et al.* 2024; Garzaro *et al.* 2025).

El presente artículo detalla el proceso metodológico empleado para el diseño de una guía de capacitación y materiales educativos sobre higiene de manos. Los objetivos de esta intervención fueron: (1) colaborar con trabajadores de salud y autoridades de la Dirección de Salud del Departamento de Quetzaltenango para identificar contenidos, formatos y modalidades de capacitación que favorezcan una transmisión de información eficaz y adaptada a las características y necesidades del contexto local; y (2) co-crear nuevos materiales educativos que diversifiquen los recursos disponibles para la capacitación del personal de salud. La guía y los materiales fueron posteriormente aprobados por la Dirección de Promoción y Educación en Salud del Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social (MSPAS) de Guatemala, entregándose en formatos que facilitan su uso y reproducción continua.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se utilizó un enfoque de investigación acción participativa (IAP) para identificar métodos de aprendizaje, tipos de materiales y contenidos adecuados para la capacitación del personal de salud de Quetzaltenango en higiene de manos. El proceso fue

liderado por dos consultores externos al Centro de Estudios en Salud (CES), una comunicadora social y un sociólogo, bajo la supervisión del CES, la supervisión de la Universidad Estatal de Washington (WSU) y del Centro para el Control y Prevención de Enfermedades de los Estados Unidos (CDC) .

El desarrollo de contenidos y el diseño de materiales se organizó en cuatro fases con la colaboración de distintos actores del MSPAS a nivel de dirección departamental de salud y de distrito de salud (unidad municipal operativa y rectora de los servicios de salud pública). A lo largo del proceso, los participantes aportaron a la identificación de elementos clave para el diseño de la estrategia de aprendizaje, la cual se fundamentó en una metodología pedagógica centrada en: (1) la construcción activa del conocimiento, tanto individual como grupal, mediante la participación directa en el proceso de aprendizaje, (2) la organización de contenidos por etapas, para garantizar una apropiación progresiva del conocimiento y su aplicación práctica (Velazquez *et al.* 2020).

El tipo de participación varió según la fase. Los participantes incluyeron autoridades de la Dirección de Salud y trabajadores de salud del primer y segundo nivel de atención de los 24 distritos de salud de Quetzaltenango. La identificación de autoridades se realizó con el apoyo de la coordinadora de comunicación social, quien recomendó incluir a los coordinadores de los departamentos de epidemiología, enfermería distrital, salud reproductiva, y a los técnicos de salud rural y saneamiento ambiental, por su rol clave en la comunicación, el diseño de materiales educativos y la capacitación del personal de salud. Además, estos actores ocupan roles de autoridad dentro de sus respectivos departamentos. Por ello, en este artículo se les identificará como autoridades de la Dirección de Salud.

Fase 1: Análisis de materiales educativos existentes. Se llevó a cabo un análisis de los materiales utilizados por la Dirección de Salud de Quetzaltenango para capacitar al personal de salud pública en higiene de manos. Esta fase tuvo como objetivos, (1) identificar qué elementos de los materiales cumplían con principios básicos de construcción de mensajes, esenciales para facilitar los procesos de enseñanza-aprendizaje; y (2) describir los tipos de materiales y los contenidos utilizados en las capacitaciones. Los materiales fueron solicitados a la Dirección de Salud y entregados por la coordinadora del departamento de comunicación y promoción.

Fase 2: Exploración de contenidos y estrategias de capacitación con autoridades de la Dirección de Salud. En esta fase se realizó una reunión virtual con autoridades de la Dirección de Salud de Quetzaltenango. Los objetivos fueron: (1) presentar el proceso metodológico propuesto para el diseño de la guía de capacitaciones y los materiales educativos; (2) definir la logística a seguir; y (3) conocer los procesos de capacitación que actualmente se implementan. Durante la reunión se discutieron los métodos de capacitación establecidos por el MSPAS y su aplicación en los servicios de salud pública.

Fase 3: Encuesta en línea. Se diseñó una encuesta en línea utilizando la plataforma Google Forms, dirigida a representantes de los 24 distritos municipales de salud de Quetzaltenango, específicamente a médicos coordinadores y enfermeras de distrito. La encuesta fue distribuida a través de WhatsApp con el apoyo de la coordinadora de enfermeras distritales. Los contenidos evaluados se desarrollaron con base a protocolos internacionales para la prevención de Infecciones Asociadas a la Atención de la Salud (IAAS) (World Health Organization & WHO Patient Safety 2009; Organización Panamericana de la Salud & Organización Mundial de la Salud 2021) y lineamientos nacionales del MSPAS (Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social, 2022) sobre higiene de manos en servicios de salud. El objetivo fue profundizar en las percepciones y experiencias del personal sobre los procesos de capacitación implementados por la Dirección de Salud. Se exploraron prácticas vigentes, desafíos, necesidades formativas, expectativas y propuestas innovadoras. Las respuestas sistematizadas se analizaron mediante estadística descriptiva. Aunque la encuesta estaba dirigida principalmente a representantes de distrito, estos la compartieron con su personal, por lo que también fue respondida por otros trabajadores de salud que atienden pacientes o participan en la comunicación y educación tanto del personal como de las comunidades (Cuadro 1).

Cuadro 1. Distribución de respuestas (N = 279) de encuesta en los 24 distritos de salud de Quetzaltenango, Guatemala, durante el 2021.

Table 1. Distribution of survey responses (N = 279) across the 24 health districts in Quetzaltenango, Guatemala, in 2021.

Participantes	N (%)
Grupo meta primario	
Enfermeras	113 (41%)
Auxiliar de enfermería	27 (10%)
Médico	13 (5%)
Digitador SIGSA WEB	10 (4%)
Auxiliar de bodega de suministros sanitarios	6 (2%)
Nutricionista	5 (2%)
Técnico en laboratorio clínico	5 (2%)
Psicólogo	4 (1%)
Encargada de promoción para el desarrollo	2 (1%)
Otros	7 (3%)
Grupo meta secundario	
Técnicos en salud rural	35 (13%)
Rastreador	20 (7%)
Educador Saneamiento Ambiental	14 (5%)
Trabajador social	7 (3%)
Responsables de vectores en áreas rurales y/o marginal urbano (VARMU)	6 (2%)
Inspector de saneamiento ambiental	5 (2%)

Fase 4: Validación participativa de la guía y materiales. Los resultados del diseño de la estrategia de comunicación, así como del contenido de la guía y los materiales educativos, fueron presentados y validados en un taller presencial dirigido a los actores que participaron en el proceso: autoridades de la Dirección de Salud y dos representantes de los 24 distritos de salud. Se aplicó una encuesta de evaluación para sistematizar las opiniones de los participantes respecto a la guía y los materiales presentados. Las variables que se tomaron en cuenta fueron: (1) utilidad, (2) practicidad, (3) comprensión, (4) adaptabilidad al método de cascada, (5) pertinencia social y cultural y, (6) las actividades facilitan la construcción del conocimiento a nivel individual y grupal. El objetivo de esta fase fue validar en qué medida los materiales e ideas presentados durante la sesión resultaron atractivos, útiles, eficientes y prácticos, así como identificar posibles áreas de mejora.

RESULTADOS

Se elaboraron una guía de capacitaciones y siete tipos de materiales educativos sobre higiene de manos, adaptados al contexto de salud pública de Quetzaltenango. En la primera fase, el análisis se enfocó en los materiales utilizados para las capacitaciones en higiene de manos. A partir de la pandemia de COVID-19 en el 2020, el MSPAS y organizaciones internacionales distribuyeron material visual (afiches) con el objetivo de reforzar las prácticas de higiene de manos, dada su relevancia como una de las principales medidas para prevenir la propagación del virus. Estos afiches, entregados entre el 2020 y 2021, fueron colocados en distintas áreas de los servicios de salud como un recordatorio constante de la práctica de higiene de manos, así como otras medidas establecidas por el MSPAS. La Figura 1 muestra los materiales analizados.

Los afiches 1, 2 y 3 (Fig. 1) desarrollan de manera completa el tema de los pasos para la higiene de manos tanto con agua y jabón como con DMBA, presentando tres elementos clave: (1) frases que invitan a la acción, (2) la justificación para realizar esta práctica y (3) el uso de colores institucionales que representan comunicados oficiales del gobierno y organismos internacionales de salud. Estos materiales podrían optimizarse mejorando aspectos de diseño, como incorporar una paleta cromática más diversa para hacerlos más atractivos visualmente, y especificando con mayor claridad el público destinatario de los mensajes para aumentar su efectividad. Por otro lado, los afiches 4 y 5 (Fig. 1) se distinguen por su diseño más simplificado y contenido breve, características que pueden resultar atractivas para ciertos segmentos de la población. Estos conservan aspectos positivos como mensajes claros y el uso de logos gubernamentales que les confieren oficialidad. Por otro lado, podrían reforzar su propósito incluyendo frases motivacionales que no solo indiquen la acción a realizar, sino que también expliquen su importancia.

Durante la discusión grupal en la segunda fase se identificó que el MSPAS ha implementado a nivel nacional el "método de cascada" (Fig. 2) como modelo institucional de capacitación. Según lo explicado por los participantes, este método opera mediante un flujo vertical que inicia en el nivel central del MSPAS, donde se elaboran los contenidos y materiales, los cuales son transmitidos primero a las direcciones departamentales de salud, luego a los coordinadores distritales, y finalmente al personal de salud en los servicios. Sin embargo, se observó que este proceso presenta dos limitaciones principales: por un lado, ocurre una pérdida progresiva de información en cada etapa de réplica, y por otro, los materiales estandarizados a nivel nacional no logran adaptarse adecuadamente a los contextos locales. Estas deficiencias llevaron a los participantes a considerar que este método no



Figura 1. Material educativo empleado por la Dirección de Salud de Quetzaltenango para la capacitación del personal de salud sobre higiene de manos.
Figure 1. Educational material used by the Quetzaltenango Health Directorate for healthcare staff training on hand hygiene.

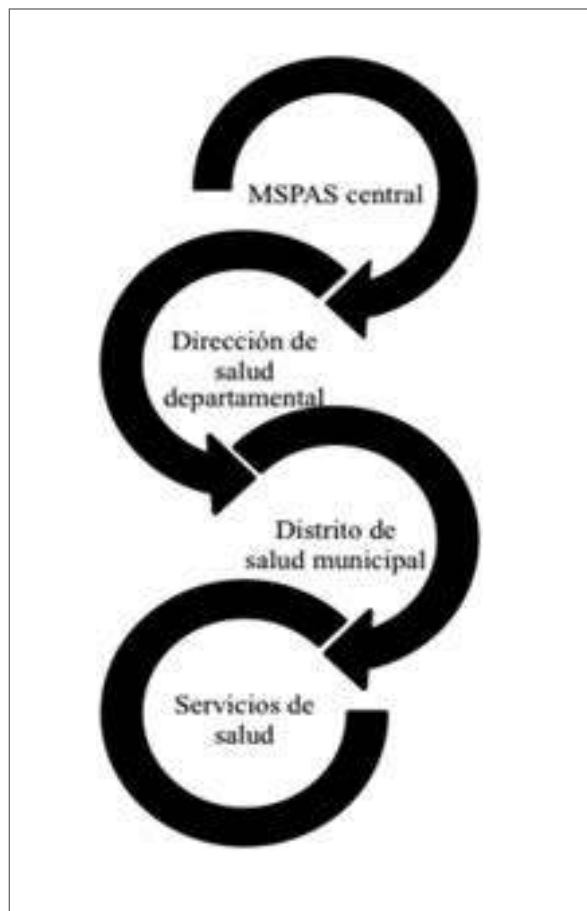


Figura 2. Método de cascada implementado por el Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social de Guatemala (MSPAS).

Figure 2. Cascade method implemented by the Ministry of Public Health and Social Assistance of Guatemala (MSPAS).

resulta efectivo para garantizar un aprendizaje óptimo, y en este caso, de las prácticas de higiene de manos.

En la fase tres se diseñó una encuesta dirigida a los representantes de los 24 distritos de salud de Quetzaltenango, es decir, médicos y enfermeras de distrito, el nivel más periférico de atención. Se obtuvieron 279 respuestas en total (Cuadro 1). La diversidad de participantes evidenció la necesidad de diferenciar entre el público meta principal (médicos, enfermeras y otros profesionales asistenciales) y el público secundario (agentes comunitarios como técnicos en salud rural, educadores, trabajadores sociales, inspectores de saneamiento ambiental y rastreadores epidemiológicos). Esta clasificación permitió comprender mejor la variedad de roles dentro de los servicios de salud, muchos de los cuales mantienen contacto directo o indirecto con pacientes tanto dentro como fuera de las unidades de salud. Además, los actores de ambos grupos (meta y secundario) tienen experiencia previa como receptores o facilitadores de procesos de capacitación, lo que enriqueció el análisis y diseño de la estrategia educativa.

Cuadro 2. Distribución de respuestas (con opción de múltiples respuestas) de trabajadores de salud (N = 279) de los 24 distritos de salud del departamento de Quetzaltenango, Guatemala, en el 2022, sobre los materiales educativos prioritarios para su inclusión en capacitaciones.

Table 2. Distribution of responses (with multiple response options) of healthcare workers (N = 279) across the 24 healthcare districts of the department of Quetzaltenango, Guatemala, in 2022, about priority educational materials for their inclusion in training sessions.

Materiales educativos prioritarios	N (%)
Material por escrito para los facilitadores	92 (33%)
Material por escrito para los participantes	92 (33%)
Materiales de recordatorios para la higiene de manos	128 (46%)
Material audiovisual para compartir con los participantes	137 (49%)
Juego	162 (58%)

Cuadro 3. Distribución de respuestas (con opción de múltiples respuestas) de trabajadores de salud (N = 279) de los 24 distritos de salud del departamento de Quetzaltenango, Guatemala en el 2022, sobre los contenidos prioritarios para su inclusión en capacitaciones sobre la higiene de manos.

Table 3. Distribution of responses (with multiple response options) from healthcare workers (N = 279) across the 24 health districts of the department of Quetzaltenango, Guatemala, in 2022, regarding priority content for inclusion in hand hygiene training.

Contenidos prioritarios	N (%)
Datos científicos sobre la importancia de realizar la higiene de manos	153 (55%)
Pasos para realizar una adecuada higiene de manos con DMBA	162 (58%)
Ejercicios prácticos de la higiene de manos	176 (63%)
Los momentos para realizar la higiene de manos durante la atención a pacientes	201 (72%)
Pasos para realizar una adecuada higiene de manos con agua y jabón	251 (90%)

Los resultados de la encuesta proporcionaron datos clave para el diseño de la estrategia educativa en tres dimensiones fundamentales: (1) tipos de materiales, (2) contenidos y (3) duración óptima. Respecto a los materiales educativos, los juegos fueron la opción más seleccionada (58%), seguidos por material audiovisual (49%) y recordatorios visuales (46%) (Cuadro 2).

Los resultados (Cuadro 3) evidenciaron que la técnica correcta para el lavado de manos con agua y jabón fue el contenido con mayor preferencia (90%), seguido por los momentos clave para realizar esta práctica durante la atención al paciente

Cuadro 4. Distribución de respuestas de trabajadores de salud (N = 125; dos participantes no respondieron a esta pregunta) de los 24 distritos de salud del departamento de Quetzaltenango, Guatemala en el 2022, acerca de la duración óptima recomendada de sesiones de capacitación en higiene de manos.

Table 4. Distribution of responses from healthcare workers (N = 125; two participants did not answer this question) across the 24 health districts of the department of Quetzaltenango, Guatemala in 2022, regarding the recommended optimal duration priority of hand hygiene training sessions.

Tiempos recomendados para capacitaciones, según personal de salud capacitador	N (%)
2 horas	85 (65%)
3 horas	13 (10%)
1 hora	11 (9%)
30 minutos	9 (7%)
6 horas	5 (4%)
25 minutos o menos	4 (3%)
45 minutos	1 (1%)

(72%). Cabe destacar que todos los demás contenidos propuestos obtuvieron una selección superior al 50% por parte de los participantes, demostrando su relevancia percibida para la estrategia educativa.

Para evaluar el tiempo ideal para las capacitaciones (Cuadro 4), se aplicó un filtro que permitió seleccionar específicamente a los participantes con experiencia directa en la facilitación de capacitaciones dentro del método de cascada. Este criterio se estableció debido a que su rol como formadores les proporciona una comprensión más precisa de los tiempos óptimos requeridos para las sesiones educativas con el personal de salud. Del total de encuestados (N = 279), 127 personas (46%) cumplieron con este perfil y sus respuestas fueron analizadas por separado. La opción de mayor preferencia fue una duración de dos horas (82%), mientras que las demás alternativas obtuvieron porcentajes considerablemente menores (Cuadro 4).

A partir de los resultados de la encuesta, se definió el diseño instruccional de las capacitaciones bajo una estructura de tres módulos organizados en secuencias de talleres de dos horas de duración. Cada módulo incorporó actividades de lectura, ejercicios individuales y grupales, juegos y dinámicas lúdicas que facilitan el aprendizaje activo.

La fase cuatro del proyecto consistió en un taller presencial de validación realizado el 12 de julio del 2022, en Quetzaltenango. Este taller contó con la participación de 48 personas, entre ellas autoridades participantes de la Dirección de Salud y dos representantes de cada distrito (personal de enfermería y

responsables de las áreas de promoción y comunicación). La convocatoria fue gestionada con el apoyo de la coordinación de epidemiología. Durante esta sesión de validación se evaluaron los siguientes materiales: (1) guía general de los tres módulos de capacitación; (2) presentaciones en PowerPoint con contenido pedagógico, notas explicativas e instrucciones para facilitadores; (3) videos informativos; (4) juegos digitales; (5) un juego de mesa didáctico por módulo; (6) rotafolio con el contenido sintetizado de las presentaciones; (7) materiales visuales para reforzar la higiene de manos, como afiches y calcomanías de los “5 momentos para la higiene de manos”; (8) propuesta del rol del “Embajador de la Higiene de Manos”.

Los resultados de la validación (ver Anexo) reflejaron una alta aceptación de los materiales, en donde más del 75% de los y las participantes destacaron su utilidad y adaptabilidad al contexto de los servicios de salud, especialmente en escenarios con acceso limitado a equipo audiovisual o energía eléctrica. En relación con el contenido, también más del 75% las personas participantes valoraron positivamente la profundidad con la que se aborda la higiene de manos, así como la necesidad de reforzar estos conocimientos de forma continua. También, la mayoría de las personas resaltaron la importancia de contar con materiales visuales como recordatorios dentro de los establecimientos de salud.

Las recomendaciones recibidas se centraron en aspectos de diseño y formato, como el tamaño de letra, la elección de colores de algunos videos y la densidad del contenido de la presentación de Power Point. Asimismo, se sugirió utilizar códigos de color diferenciados según los roles del personal de salud y representar a pacientes con indumentaria maya, para mejorar la identificación cultural. Además, se discutieron estrategias sobre los lugares más efectivos para ubicar los materiales de recordatorio, con el fin de potenciar su impacto.

La experiencia de validación confirmó que tanto la guía de capacitación como los materiales educativos fueron percibidos como herramientas útiles, versátiles y efectivas para fortalecer las prácticas de higiene de manos del personal de salud. La retroalimentación obtenida se incorporó en el diseño final de los materiales, los cuales fueron posteriormente entregados a las unidades correspondientes del MSPAS a nivel central.

En síntesis, tanto la metodología como los materiales fueron elaborados con el propósito de facilitar la comprensión, reforzar conceptos clave y promover la adopción sostenida del hábito de la higiene de manos, tanto a nivel individual como colectivo. A continuación, se presentan algunos ejemplos de los materiales realizados (Figura 3).

La guía de capacitaciones y los materiales educativos fueron aprobados en mayo del 2023 por la Dirección de Promoción y Educación en Salud del MSPAS para su uso y reproducción en otras Direcciones Departamentales. En coordinación con el MSPAS, se estableció que dichos materiales deben adaptarse



Figura 3. Ejemplos de los materiales educativos diseñados para promover la higiene de manos del personal de salud.
Figure 3. Examples of educational materials designed to promote hand hygiene among healthcare workers.

a los distintos contextos sociales y culturales del país. Actualmente estos materiales ya fueron utilizados por algunos de los distritos de salud de Quetzaltenango.

Los materiales aprobados no incluyen los logos del gobierno, ya que se emplearon colores, tipografías y diagramaciones distintas a las estipuladas por el MSPAS. Por esta razón, solo se cuenta con la autorización del MSPAS para que la Dirección de Salud de Quetzaltenango utilice este material de manera oficial en las capacitaciones dirigidas a su personal de salud.

Todos los materiales están disponibles para consulta y descarga en el sitio web del Centro de Estudios en Salud de la Universidad del Valle de Guatemala, a través del siguiente enlace: <https://www.ces.uvg.edu.gt/page/training/higiene-de-manos/>

DISCUSIÓN

El enfoque participativo empleado para el diseño de la guía de capacitaciones y los materiales educativos permitió desarrollar recursos ajustados a las necesidades y contextos del personal de salud pública en Quetzaltenango. La participación activa de trabajadores de salud y autoridades de la Dirección de Salud en todas las fases del proceso garantizó la incorporación de ejemplos, lenguaje y formatos culturalmente pertinentes, superando las limitaciones de enfoques tradicionales basados en contenidos genéricos (Greenhalgh *et al.* 2016).

Esta experiencia se alinea con la literatura actual, que resalta cómo la co-creación de intervenciones educativas mejora su adecuación a las preferencias del público objetivo (Saif-Ur-Rahman *et al.* 2022; Longworth *et al.* 2024) y fortalece el sentido de apropiación entre los participantes (Greenhalgh *et al.* 2016). En este caso, el proceso participativo se tradujo en aportes concretos del personal de salud en la definición de

contenidos, estilos, elementos gráficos y tipos de materiales, los cuales fueron validados colectivamente.

El co-diseño generó conocimientos aplicables que optimizaron tanto el contenido como los formatos de los recursos educativos. Esta sinergia permitió incorporar herramientas pedagógicas innovadoras, como juegos de mesa, videos, recursos digitales interactivos y actividades lúdicas, que facilitaron la comprensión y aplicación de los contenidos formativos. Así, se convirtieron limitaciones iniciales, como la falta de materiales adaptados, en oportunidades para innovar en la formación del personal.

Un factor clave fue el involucramiento temprano de actores estratégicos y la realización de un diagnóstico participativo sobre los materiales y métodos de capacitación existentes. Las reuniones iniciales con autoridades de la Dirección de Salud y la encuesta al personal de salud de los 24 distritos de salud, permitieron definir tiempos, modalidades, necesidades e intereses, facilitando una implementación eficiente. Esto coincide con la evidencia que destaca la importancia de evaluar el contexto desde el inicio para diseñar estrategias formativas viables y efectivas (Saif-Ur-Rahman *et al.* 2022).

Existe una escasez de estudios sistemáticos que evalúen formalmente este tipo de enfoques participativos en salud pública, especialmente en países de ingresos bajos y medianos (Saif-Ur-Rahman *et al.* 2022). En este sentido, la experiencia documentada en Quetzaltenango aporta evidencia relevante, al demostrar que la co-creación de materiales no solo mejora su pertinencia y aceptación, sino que también favorece su apropiación y uso efectivo por parte del personal de salud.

El personal de salud constituye un grupo diverso con necesidades e intereses variados. En esta ocasión, el enfoque se centró específicamente en la higiene de manos y en el personal que brinda atención a pacientes. Sin embargo, durante

la sesión de validación, surgieron otras necesidades prioritarias, en particular relacionadas con los temas y materiales educativos disponibles para el equipo encargado de procesos formativos sobre prevención de enfermedades y buenas prácticas de salud en las comunidades. Dado que no fue posible ampliar las temáticas en este proyecto, resulta fundamental destinar en el futuro esfuerzos hacia procesos participativos que permitan la co-creación de materiales educativos, abarcando otros aspectos clave para la prevención de enfermedades en el ámbito comunitario.

Una consideración clave en este estudio es la exhaustividad en la descripción metodológica y de resultados de la Fase 1, particularmente en el diseño y validación de hipótesis que se llevó a cabo durante una reunión virtual con autoridades de la Dirección de Salud. Las hipótesis se desarrollaron a partir de estudios previos realizados en el marco del proyecto y su objetivo principal fue identificar elementos cruciales para la creación del contenido y el diseño de los materiales. Esto incluyó determinar el tipo de contenido más adecuado, los materiales que resultaron efectivos en experiencias anteriores y otras acciones complementarias que podrían facilitar la aprehensión de conocimientos y prácticas de higiene de manos por parte del personal de salud. La información obtenida de esta interacción con el grupo de autoridades de la Dirección de Salud fue fundamental, ya que orientó directamente la estructura y las preguntas de la encuesta que posteriormente se aplicó al personal de salud de los 24 distritos sanitarios.

Si bien esta intervención fue ejecutada bajo una colaboración estratégica con un equipo consultor externo, cuya experiencia fue fundamental para el proyecto, el alcance de la documentación disponible para la Fase 1 no permitió detallar todos los protocolos internos con el nivel de granularidad necesario para una replicabilidad total. Es importante destacar que los datos de las cuatro fases fueron sometidos a revisión interna antes de su análisis, asegurando así su idoneidad para los objetivos de la investigación. La coordinadora del proyecto supervisó el diseño de los instrumentos de recolección de datos (encuesta inicial y cuestionario de validación de materiales) y participó activamente en todas las actividades clave, incluyendo reuniones virtuales con las autoridades participantes de la Dirección de Salud, sesiones de validación y entrega de materiales educativos. Todas las actividades y resultados de cada fase fueron revisados y aprobados por los equipos de la Universidad del Valle de Guatemala (UVG), WSU y CDC. Asimismo, el equipo de la UVG gestionó el proceso de autorización de los materiales con el MSPAS. Por esta razón, consideramos que la solidez de los resultados presentados se mantiene. Este punto resalta la importancia de establecer, en futuras colaboraciones con equipos externos, protocolos aún más específicos para la documentación integral de todas las etapas del proceso, con el fin de maximizar la transparencia metodológica.

La experiencia documentada en Quetzaltenango puede servir como modelo replicable para otras regiones del país, donde los desafíos en materia de infraestructura, formación continua y pertinencia cultural siguen siendo barreras relevantes para el cumplimiento de estándares básicos en salud pública.

AGRADECIMIENTOS

Queremos expresar nuestro agradecimiento a la Dirección Departamental de Redes Integradas de Servicios de Salud de Quetzaltenango y a los 24 Distritos Municipales de Salud por su apoyo y colaboración en el proceso del diseño y validación del contenido y de los materiales educativos. También deseamos extender nuestros agradecimientos a la Dirección de Promoción y Educación en Salud del Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social, por el acompañamiento en la validación final y aprobación de la guía de capacitaciones y de los materiales educativos. Este esfuerzo ha sido financiado por el US CDC-CAR a través de un Acuerdo de Cooperación entre los Centros para el Control y Prevención de Enfermedades y la Universidad Estatal de Washington, bajo el número de acuerdo 6 U01GH002241-02-05, e implementado por el Centro de Estudios en Salud de la Universidad del Valle de Guatemala.

Descargo de responsabilidad

Los resultados y conclusiones de este informe son responsabilidad de los autores y no representan necesariamente la posición oficial de los Centros para el Control y la Prevención de Enfermedades (CDC).

REFERENCIAS

- Aregu, M. B., Kanno, G. G., Ashuro, Z., Alembo, A. & Alemayehu, A. (2021). Safe water supply challenges for hand hygiene in the prevention of COVID-19 in Southern Nations, Nationalities, and People's Region (SNNPR), Ethiopia. *Heliyon* 7(11): e08430. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e08430>
- Arshad, S. (2018). Hand hygiene amongst health workers in a teaching hospital - A kap study. *Annals of Epidemiology & Public Health* 1: 1005.
- Ataiyero, Y., Dyson, J. & Graham, M. (2019). Barriers to hand hygiene practices among health care workers in sub-Saharan African countries: A narrative review. *American Journal of Infection Control* 47(5): 565-573. <https://doi.org/10.1016/j.ajic.2018.09.014>
- Berendes, D., Martinsen, A., Lozier, M., Rajasingham, A., Medley, A., Osborne, T., Trinies, V., Schweitzer, R., Prentice-Mott, G., Pratt, C., Murphy, J., Craig, C., Lamorde, M., Kesande, M., Tusabe, F., Mwaki, A., Eleveld, A., Odhiambo, A., Ngere, I., ... & Handzel, T. (2022). Improving water, sanitation, and hygiene (WASH), with a focus on hand hygiene, globally for community mitigation of COVID-19. *PLOS Water* 1(6): e0000027. <https://doi.org/10.1371/journal.pwat.0000027>

- Fahsen, N., Garzaro, P., Lozier, M. J., Pratt, C. Q., Craig, C., McDavid, K., Ocasio, D. V., Cordon-Rosales, C., Call, D. R. & Ramay, B. M. (2024). Factors associated with hand hygiene adherence among healthcare workers in Guatemala during the COVID-19 pandemic. *Journal of Hospital Infection* 149: 137-143. <https://doi.org/10.1016/j.jhin.2024.05.008>
- Garzaro, P., Fahsen, N., Pieters, M. M., Craig, C., Pratt, C. Q., Lozier, M. J., Cordon-Rosales, C., Call, D. R. & Ramay, B. M. (2025). Qualitative and quantitative evaluation of hand hygiene knowledge, attitudes, and practices among healthcare workers in Quetzaltenango, Guatemala in the COVID-19 context. *PLOS Global Public Health* 5(5): e0004546. <https://doi.org/10.1371/journal.pgph.0004546>
- Greenhalgh, T., Jackson, C., Shaw, S. & Janamian, T. (2016). Achieving research impact through co-creation in community-based health services: Literature review and case study. *The Milbank Quarterly* 94(2): 392-429. <https://doi.org/10.1111/1468-0009.12197>
- Longworth, G. R., Erikowa-Orighoye, O., Aniето, E. M., Agnello, D. M., Zapata-Restrepo, J. R., Masquillier, C. & Giné-Garriga, M. (2024). Conducting co-creation for public health in low and middle-income countries: A systematic review and key informant perspectives on implementation barriers and facilitators. *Globalization and Health* 20(1): 9. <https://doi.org/10.1186/s12992-024-01014-2>
- Maheshwari, V., Kaore, N. C. M., Ramnani, V. K., Gupta, S. K., Borle, A. & Kaushal, R. (2014). A study to assess knowledge and attitude regarding hand hygiene amongst residents and nursing staff in a tertiary health care setting of Bhopal City. *Journal of Clinical and Diagnostic Research* 8(8): DC04-DC07. <https://doi.org/10.7860/JCDR/2014/8510.4696>
- Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social. (2022). *Los beneficios de un buen lavado de manos*. [<https://guatemala.gob.gt/los-beneficios-de-un-buen-lavado-de-manos/>]. Accesado: 08 de junio 2025.
- Organización Panamericana de la Salud & Organización Mundial de la Salud. (2021). *La higiene de manos salva vidas*. [<https://www.paho.org/es/noticias/17-11-2021-higiene-manos-salva-vidas>]. Accesado: 08 de junio 2025.
- Saif-Ur-Rahman, K. M., Sultana, S., Afrin, S. & Islam, K. (2022). Participatory approaches in primary health care related implementation research in low-and middle-income countries: A narrative review. *Public Health in Practice* 4: 100344. <https://doi.org/10.1016/j.puhip.2022.100344>
- Smith, F., Wallengren, C. & Öhlén, J. (2017). Participatory design in education materials in a health care context. *Action Research* 15(3): 310-336. <https://doi.org/10.1177/1476750316646832>
- Velazquez, R. V., Piguave, C. C., Valdés, I. E., & Zúñiga, K. M. (2020). Metodologías de enseñanza-aprendizaje constructivista aplicadas a la educación superior: Metodologías de enseñanza-aprendizaje constructivista. *Revista Científica Sinapsis*, 3(18), Article 18. <https://doi.org/10.37117/s.v3i18.399>
- World Bank Group. (2020). *WASH (Water, Sanitation & Hygiene) and COVID-19*. World Bank. [<https://www.worldbank.org/en/topic/water/brief/wash-water-sanitation-hygiene-and-covid-19>]. Accesado: 01 de julio 2025.
- World Health Organization, & WHO Patient Safety. (2009). *WHO guidelines on hand hygiene in health care*. WHO/IER/PSP/2009/01, 262.

Análisis *in silico* de los metabolitos secundarios del ajo y sus propuestas de modificación como potenciales antagonistas de los receptores muscarínicos M3

In silico analysis of garlic secondary metabolites and their proposed modifications as potential antagonists of muscarinic M3 receptors

Walter MONTERROSO^{1,*} & Felipe RAMÍREZ¹

¹Departamento de Química, Facultad de Ciencias y Humanidades, Universidad del Valle de Guatemala, Guatemala

*Correspondencia: Walter Monterroso: (mon18358@uvg.edu.gt)

Recibido: 22/IX/2024; Aceptado: 24/IV/2025

Resumen: El ajo se ha utilizado en diferentes culturas para aliviar los síntomas del asma. Este contiene metabolitos secundarios como el ajoeno, aliina y alicina que han demostrado ser antagonistas efectivos de los receptores muscarínicos M3. Estos receptores juegan un papel clave en la patología del asma y han sido previamente modelados mediante herramientas computacionales para su estudio. Proponemos nuevos antagonistas modificando los grupos funcionales de las moléculas de ajoeno, aliina y alicina que sean más eficientes utilizando métodos computacionales. Los modificamos tomando como referencia los antagonistas muscarínicos farmacológicos conocidos: atropina, ipratropio y tiotropio. Realizamos un análisis de anclaje molecular usando la interfaz de UCSF Chimera y comparamos los resultados con los antagonistas conocidos. Finalmente, demostramos que tres de estas modificaciones son los mejores candidatos para usarse como antagonistas del receptor muscarínico M3 debido a las afinidades obtenidas y a sus propiedades farmacológicas. Nuestros hallazgos sugieren que los metabolitos del ajo, particularmente ajoeno, aliina, alicina y sus respectivas modificaciones, tienen un gran potencial terapéutico como antagonistas del receptor muscarínico M3, lo que explicaría el uso tradicional del ajo en el tratamiento del asma. Asimismo, proponemos nuevos antagonistas que podrían ser estudiados para el desarrollo de futuros tratamientos que sean económicos y disponibles al ser provenientes de productos vegetales.

Palabras clave: Acoplamiento molecular, ajo, interacción ligando-receptor, receptor muscarínico M3, UCSF Chimera.

Abstract: Garlic has been used across various cultures to help alleviate asthma symptoms. It contains secondary metabolites - such as ajoene, alliin, and allicin - that have demonstrated effectiveness as antagonists of muscarinic M3 receptors. These receptors play a key role in the pathology of asthma and have been previously modeled using computational tools for their study. Here, we propose novel antagonists by modifying the functional groups of the ajoene, alliin, and allicin molecules to enhance their efficiency using computational approaches. The modifications were designed using known pharmacological muscarinic antagonists - atropine, ipratropium, and tiotropium - which served as reference compounds. We performed molecular docking analysis using the UCSF Chimera interface, and the results were compared with those of known antagonists. Finally, our results identified three of these modified compounds as the most promising candidates as muscarinic M3 receptor antagonists, based on their binding affinities and pharmacological properties. Our findings suggest that garlic metabolites - particularly ajoene, alliin, and allicin - and their respective modifications hold significant therapeutic potential as muscarinic M3 receptor antagonists, supporting the traditional use of garlic in asthma treatment. Furthermore, we propose new antagonists that warrant further investigation for the development of future treatments that are both cost-effective and accessible due to their plant-based origin.

Keywords: Garlic, ligand-receptor interaction, molecular docking, muscarinic M3 receptors, UCSF Chimera.

INTRODUCCIÓN

El asma es una enfermedad que afecta tanto a la población joven como adulta, la cual causa sibilancias, dificultad para respirar, opresión en el pecho y tos durante la noche o por la mañana (Waizel & Waizel 2009; Centros para el Control y la Prevención de Enfermedades [CDC] 2024). Esta es ocasionada por la inflamación de las vías respiratorias y la tensión de los músculos que las rodean, reduciendo así la cantidad de aire que puede pasar por estas (CDC 2024). En Guatemala, el asma afecta principalmente a los menores de 15 años residentes en los cascos urbanos del país (Melgar Toledo 2001; Instituto Guatemalteco de Seguridad Social [IGSS] 2007; Maldonado 2012; Isern III 2017), los cuales son tratados de manera recurrente ya que vuelven a ingresar poco después de recibir atención médica en hospitales (Maldonado 2012). La prevalencia del asma en Guatemala ha incrementado en las últimas décadas y se prevé que este aumento continúe en los años siguientes a causa de la contaminación y factores como el incremento en la incidencia de infecciones respiratorias virales de establecimiento temprano por lo que se verán más casos de pacientes con dichos síntomas en un futuro (Maldonado 2012).

Para tratar este padecimiento, se han investigado múltiples tipos de fármacos y tratamientos, entre los que se encuentran los antagonistas muscarínicos. Esto se debe a que los receptores muscarínicos M3 presentan un rol dominante en la contracción del músculo liso de los pulmones, la tráquea y los bronquios, pudiendo así provocar broncoconstricción, constricción de las vías respiratorias y el aumento de la producción de mucosa, los cuales son síntomas del asma (Casarosa *et al.* 2010; Buels & Fryer 2012; Kramer 2016; Cazzola *et al.* 2021). Entre los fármacos más utilizados para este fin, podemos encontrar la atropina, el tiotropio y el ipratropio, los cuales son utilizados actualmente como complemento para el tratamiento del asma mediado por los agonistas β_2 (Moulton & Fryer 2011; Buels & Fryer 2012). La eficacia de estos depende mayormente de la dosis y vía de administración, siendo el tiotropio el más efectivo pues se administra una vez al día y sus efectos pueden durar hasta 48 horas después de ser administrado, mientras que la atropina y el ipratropio se deben de administrar entre tres y cuatro veces al día. Con la dosis adecuada, estos han logrado una broncodilatación significativa en el asma ocasionado por virus, alergia, aire frío, el asma nocturna y el broncoespasmo inducido por el ejercicio (Buels & Fryer 2012).

El asma ha sido tratada de forma tradicional mediante el uso de plantas medicinales, siendo el ajo una de especial interés, pues se utiliza en tinturas para tratar estos síntomas (Waizel & Waizel 2009; Hernández & Rubio 2017). Los principales responsables de la actividad biológica y farmacológica de la planta son los compuestos organoazufrados (Córdova Betancourt 2010; Hernández & Rubio 2017). Entre estos metabolitos se encuentran la alicina, E-ajoeno, Z-ajoeno y

alliina, los cuales además se encuentran en una alta abundancia y han sido ampliamente estudiados a causa de los beneficios que representan para la salud (Ledezma & Apitz-Castro 2006; Córdova Betancourt 2010; Quintero-Fabian *et al.* 2013; Hernández & Rubio 2017). Estos metabolitos son estables en soluciones acuosas o etanólicas, pudiendo formarse al macerar el ajo. Las tinturas utilizadas para tratar de manera tradicional distintas afecciones respiratorias contienen estos compuestos (Waizel & Waizel 2009; Córdova Betancourt 2010; Sáez & Soto 2010; Hernández & Rubio 2017; Cedeño Reyes *et al.* 2020).

Una forma de analizar las propiedades químicas y farmacológicas de los metabolitos secundarios *in silico* es utilizando el anclaje, o “molecular docking”. Este es un método bioinformático que permite predecir y calcular computacionalmente la posición más favorable de interacción entre un ligando y un blanco o receptor a partir de sus representaciones tridimensionales (Ballón & Grados 2019). Para estos análisis se pueden utilizar distintos softwares, como UCSF Chimera, BIOVIA Discovery Studio, Autodock Vina y ADMETLab 3.0, los cuales utilizamos en este estudio. Estos programas permiten realizar pruebas *in silico* entre receptores y ligandos (Trott & Olson 2010), teniendo como ventaja el no requerir sujetos de prueba, así como también el no requerir de reactivos o laboratorios, logrando así agilizar la investigación, reducir costos y disminuir el tiempo requerido para realizar el estudio. Uno de los parámetros utilizados en este tipo de estudios es la afinidad, la cual determina la fuerza de la interacción entre ligando y receptor (Trott & Olson 2010; Fadlan & Nusantoro 2021). Mientras más negativo sea el valor de esta, más fuerte será la interacción entre ligando y receptor y mejor será la predicción del anclaje molecular (Trott & Olson 2010; Fadlan & Nusantoro 2021). Con esta información, buscamos analizar y mejorar moléculas provenientes del ajo para proponer nuevos antagonistas para el receptor muscarínico M3 y analizamos sus propiedades *in silico*.

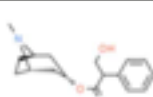
MATERIALES Y MÉTODOS

Seleccionamos el modelo en formato Protein Data Bank (PDB) del receptor muscarínico de acetilcolina M3 (código PDB: 4DAJ) con el antagonista tiotropio (código PDB: 0HK) en la región de unión (Kruse *et al.* 2012). Asimismo, se obtuvieron los modelos de la atropina (código PDB: OIN), tiotropio (código PDB: 0HK) y el ipratropio (código PDB: X8M) en formato Structure Data File (SDF) los cuales se encuentran en la base de datos PDB (ver Cuadro 1). Por su parte, utilizamos el sitio web <https://molview.org/> para generar los modelos en formato MOL de las moléculas de ajoeno, alliina y alicina, los cuales fueron seleccionados debido a su reportada actividad biológica y farmacológica (ver Cuadro 2).

Como preparación para realizar el anclaje molecular, removimos el antagonista incluido en los modelos del receptor muscarínico

Cuadro 1. Antagonistas muscarínicos comerciales de uso farmacológico con su estructura molecular. El código asignado para las moléculas antagonistas es I.

Table 1. Commercial muscarinic antagonists for pharmacological use with their molecular structure. Code I was assigned for antagonist molecules.

Nombre del compuesto	Código asignado	Estructura
Tiotropio	I1	
Ipratropio	I2	
Atropina	I3	

M3 utilizando el programa UCSF Chimera. Posteriormente, se optimizó la estructura de los antagonistas muscarínicos atropina, tiotropio e ipratropio, así como la estructura del receptor muscarínico de acetilcolina M3 y de los metabolitos secundarios del ajo seleccionados mediante las herramientas *dock prep* y *minimize* del programa UCSF Chimera. Para esto, utilizamos los siguientes parámetros:

Minimize structure: (1) Steepest descent steps: 100; (2) Steepest descent step size (Å): 0.02; (3) Conjugate gradient steps: default 10; (4) Conjugate gradient step size (Å): default 0.02; (5) Update interval: 10; (6) Fixed atoms: none; (7) Protonation states for: Histidine; (8) Standard residues: AMBER ff14SB.

Dock prep: (1) Delete solvent; (2) If alternate locations, keep only highest occupancy: selenomethionine (MSE) to methionine (MET); bromo-UMP (5BU) to UMP (U); (3) Change: methylselenyl-dUMP (UMS) to UMP (U; methylselenyl-dCMP (CSL) to CMP (C); (4) Incomplete side chains: Replace using Dunbrack 2010 rotamer library; (5) Add hydrogens; (6) Add charges; (7) Protonation states for: Histidine; (8) Standard residues: AMBER ff14SB

Luego de optimizar los modelos, realizamos el anclaje molecular de la atropina, ipratropio, tiotropio, ajoeno, aliina y alicina en las cadenas A, B C, y D del receptor muscarínico M3 (código PDB: 4DAJ), utilizando AutoDock Vina en la interfaz de UCSF Chimera. Los anclajes obtenidos fueron posteriormente analizados utilizando el programa BIOVIA Discovery Studio para determinar las interacciones de las moléculas con los residuos de aminoácidos encontrados en el sitio de unión. A

Cuadro 2. Metabolitos secundarios del ajo utilizados en las pruebas de anclaje molecular y como base para los antagonistas propuestos. El código asignado para las moléculas del ajo es A.

Table 2. Secondary metabolites of garlic used in molecular docking tests and as a basis for the proposed antagonists. Code A was assigned for the garlic molecules.

Nombre del compuesto	Código asignado	Estructura
Alicina	A1	
(E)-Ajoeno	A2	
(Z)-Ajoeno	A3	
Aliina	A4	

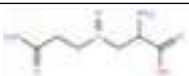
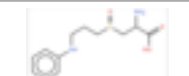
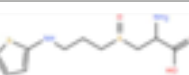
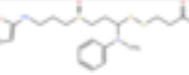
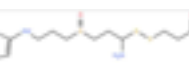
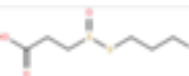
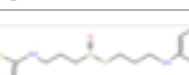
partir de los resultados obtenidos, seleccionamos la cadena A y la cadena B para realizar duplicados en los siguientes anclajes moleculares.

Una vez realizados los anclajes de los antagonistas comerciales y los metabolitos secundarios del ajo, propusimos cuatro modificaciones para la alicina, aliina y el ajoeno, tomando como referencia los grupos funcionales del tiotropio, ipratropio y la atropina (ver Cuadro 3). Obtuvimos los modelos de las modificaciones propuestas en formato MOL mediante el sitio web <https://molview.org/> y las optimizamos mediante la herramienta *minimize* del programa UCSF Chimera con el campo de fuerza AMBER ff14SB para asignar las cargas de los modelos seleccionados. Luego de minimizar los modelos, realizamos el anclaje molecular de los 12 antagonistas propuestos en las cadenas A y B del receptor muscarínico M3 utilizando nuevamente AutoDock Vina en la interfaz de UCSF Chimera. Estos anclajes los analizamos utilizando el programa BIOVIA Discovery Studio para determinar los aminoácidos que se encontraban en la región de unión.

Al finalizar todos los anclajes moleculares, determinamos las propiedades farmacológicas de los antagonistas propuestos (AM1 a AM12) y las comparamos con las propiedades farmacológicas de la alicina, aliina y el ajoeno. Para esto utilizamos el sitio web <https://admetlab3.scbdd.com/> donde evaluamos si las moléculas cumplían con la regla de Lipinsky, la regla de Pfizer y el criterio Golden Triangle (Lipinski *et al.* 2001; Johnson *et al.* 2009). Obtuvimos además los valores de Caco-2 Permeability, Synthetic Accessibility score (SAscore) y *Clearence* (Xiong *et al.* 2021; Lobato-Tapia & Aguilar-Muñoz 2022). Finalmente, determinamos cuáles eran los mejores antagonistas propuestos a partir de los resultados obtenidos para las energías de unión y sus características farmacológicas.

Cuadro 3. Modificaciones propuestas a los metabolitos secundarios del ajo. El código asignado a las moléculas modificadas es AM.

Table 3. *Proposed modifications to the secondary metabolites of garlic. Code AM was assigned for the modified molecules.*

Molécula base	Código asignado	Estructura
Aliina	AM1	
	AM2	
	AM3	
	AM4	
(E)-Ajoeno	AM5	
	AM6	
	AM7	
	AM8	
Alicina	AM9	
	AM10	
	AM11	
	AM12	

RESULTADOS

Al promediar las afinidades obtenidas, observamos que el antagonista I1 obtuvo afinidades de -8.95 ± 0.58 Kcal/mol, mientras que los antagonistas I2 e I3 obtuvieron afinidades de -8.5 ± 1.04 Kcal/mol y -8.85 ± 0.14 Kcal/mol, respectivamente (Cuadro 4).

Cuadro 4. Interacciones entre antagonistas y el receptor muscarínico M3. Las interacciones con los aminoácidos encontrados en el sitio de unión fueron clasificadas en enlaces hidrógeno (HB), interacciones hidrofóbicas (HI) o interacciones distintas a las HB y HI (otras).

Table 4. Interactions between antagonists and the muscarinic M3 receptor. The interactions with the amino acids found at the binding site were classified as hydrogen bonds (HB), hydrophobic interactions (HI), or interactions other than HB and HI (others).

Cadena	Antagonista	Afinidad (Kcal/mol)	HB	HI	Otras
A	I1	-9.3	ASN507	TYR148, TRP199, TRP503, TYR529	TYR148 <i>Pi-Cation</i> , TRP503 <i>Pi-Cation</i> , TYR529 <i>Pi-cation</i> , ASP147 <i>Pi-cation</i>
	I2	-8.0	N/A	CYS220, TYR529, TRP525	N/A
	I3	-8.8	TYR529, TYR148, LEU225	TYR529, SER226	THR231 <i>Unfavorable donor-donor</i>
B	I1	-8.2	ASN507	ALA238, ALA235, TRP503, TRP199, TYR529	TYR148 <i>Pi-Lone Pair</i> , TYR529 <i>Pi-cation</i> , ASP147 <i>Pi-Cation</i>
	I2	-9.8	N/A	THR234, TYR148, TYR529, ALA238, VAL155	TYR529 <i>Pi-cation</i> , ASP147 <i>Pi-Cation</i>
	I3	-8.9	ASN507	ASP147, ALA235	ASP147 <i>Pi-Cation</i> , TYR529 <i>Pi-Cation</i>
C	I1	-9.5	ASN507	ASP147, TRP503, TRP199, TYR529, ALA238, ALA235	TYR529 <i>Pi-cation</i> , ASP147 <i>Pi-Cation</i>
	I2	-7.4	ASN513	ASN526, THR231, LEU225, ILE222	N/A
	I3	-8.9	ASN152,	ALA235, ALA238, ASN507	ASP147 <i>Attractive Charge</i> ASP147
D	I1	-8.8	ASN507	SER151, ALA238, TRP199, TRP500, TYR148, TYR529	TYR148 <i>Pi-Pi</i> , TRP199 <i>Pi-Pi</i> , TYR529 <i>Pi-Cation</i> , ASP147 <i>Pi-Cation</i>
	I2	-8.8	N/A	TYR529, ALA238, TYR148, SER151	
	I3	-8.6	ASN507	ALA235, TYR148, TYR529, ASP147, SER151	TYR148 <i>Pi-Cation</i> , ASP147 <i>Pi-Cation</i>

Cuadro 5. Interacciones de los metabolitos secundarios del ajo con el receptor muscarínico M3. Las interacciones con los aminoácidos encontrados en el sitio de unión fueron clasificadas en enlaces hidrógeno (HB), interacciones hidrofóbicas (HI) o interacciones distintas a las HB y HI (otras).

Table 5. Interactions of garlic secondary metabolites with the muscarinic M3 receptor. The interactions with the amino acids found at the binding site were classified as hydrogen bonds (HB), hydrophobic interactions (HI), or interactions other than HB and HI (others).

Cadena	Compuesto	Afinidad (Kcal/mol)	HB	HI	Otras
A	A1	-4.4	SER151, TYR148	N/A	TYR148 <i>Pi-Cation</i>
	A2	-5.2	ASN507	TRP503, TYR148, TRP199, ALA238, ALA235	N/A
	A3	-5.5	ASN507	ALA238, VAL155, TRP199, TYR148, TRP503, CYS532	N/A
	A4	-5.2	SER151	TRP503, TYR506, CYS532, SER151, TYR529.	TYR148 <i>Salt Bridge</i> , ASP147 <i>Pi-cation</i>
B	A1	-4.6	SER151	ALA238, VAL155, TRP503, CYS532, TYR529, TYR506	N/A
	A2	-5.5	N/A	TRP503, TYR506, TYR148, TYR529, ALA238, VAL155	N/A
	A3	-5.1	TYR148, ASN507	TRP503, TYR533, CYS532, TRP199, ILE116, ALA238	N/A
	A4	-5.1	ALA238, ASN507	TYR506, TYR529, CYS532, SER151, ASN152	N/A
C	A1	-4.2	SER151 TYR148	N/A	TYR148 <i>Pi-Cation</i>
	A2	-5.3	ASN507	TYR148, ALA238, TRP199, ALA235, VAL510, CYS532, TYR529, TYR506	N/A
	A3	-5.4	N/A	TYR148, ALA238, VAL510, ALA235, TYR506, TYR529, CYS532	SER151 <i>Unfavorable Acceptor Acceptor</i>
	A4	-5.2	ASN507, ASN152, ALA238	CYS532, TYR506, TYR529, SER151, ASN152	N/A
D	A1	-4.5	ASN507	TYR506, CYS532, TYR529	TYR503 <i>Pi-Cation</i>
	A2	-5.3	TYR148	ALA238, PHE239, TRP503, CYS532, TYR533, ILE116	N/A
	A3	-5.1	N/A	ALA238, ALA235, TRP199, TYR148, TRP503, CYS532, TYR533	N/A
	A4	-5.1	ALA238, ASN152, TYR148	ASN152	N/A

Las moléculas A1, A2, A3 y A4 obtuvieron afinidades promediadas de -4.42 ± 0.17 Kcal/mol, -5.32 ± 0.13 Kcal/mol, -5.35 ± 0.21 Kcal/mol y -5.15 ± 0.06 Kcal/mol, respectivamente (Cuadro 5).

Cuadro 6. Interacciones de las modificaciones propuestas con el receptor muscarínico M3. Las interacciones con los aminoácidos encontrados en el sitio de unión fueron clasificadas en enlaces hidrógeno (HB), interacciones hidrofóbicas (HI) o interacciones distintas a las HB y HI (otras).

Table 6. Interactions of the proposed modifications with the muscarinic M3 receptor. The interactions with the amino acids found at the binding site were classified as hydrogen bonds (HB), hydrophobic interactions (HI), or interactions other than HB and HI (others).

Cadena	Compuesto	Afinidad (Kcal/mol)	HB	HI	Otras
A	AM1	-5.4	ASN507, ALA238, SER151, TYR148	N/A	ASN152 <i>Unfavorable Acceptor-Acceptor</i> , TRP199, SER151 <i>Unfavorable Acceptor-Acceptor</i>
	AM2	-5.7	ASP147, SER151	ASP147, TYR529	TYR148 <i>Pi-Cation</i>
	AM3	-7.2	ASN507, SER151, ASP147	ALA235, ASP147	TYR148 <i>Pi-Pi</i> , TYR148 <i>Pi-Cation</i>
	AM4	-6.6	ASN152, SER151, TYR148	TRP503, TYR529, CYS532	TYR529 <i>Pi-Pi</i> , TRP503 <i>Pi-Cation</i>
	AM5	-6.0	TYR148, ASN507, SER151	ASN152	ASP147 <i>Salt bridge</i>
	AM6	-6.5	N/A	TRP503, TYR148, TRP199, TYR506, ALA235, CYS532, TYR529, ASN507	ASP147 <i>Pi-Anion</i>
	AM7	-5.8	ASN507	TYR506, TYR148, CYS532, ALA235	SER151 <i>Unfavorable Acceptor-Acceptor</i> , TYR529 <i>Pi-Pi</i> , TRP503 <i>Pi-Pi</i>
	AM8	-6.6	ASN507, CYS532	TRP503, TYR506, TYR148, ALA235	TYR148 <i>Pi-Pi</i>
	AM9	-5.5	TYR148, SER151, ASP147, ASN507	ASN152, TYR148, TRP503	ASP147 <i>Pi-Cation</i> , TYR148 <i>Pi-Cation</i> , TRP503 <i>Pi-Cation</i> , SER151 <i>Unfavorable Acceptor-Acceptor</i>
	AM10	-6.4	N/A	ALA235, TRP503, TYR148, CYS532, TYR529	TYR529 <i>Pi-Pi</i> , TRP503 <i>Pi-Pi</i>
	AM11	-7.0	SER151, ASN507, TYR148	ALA235,	TYR148 <i>Pi-Pi</i>
	AM12	-6.5	N/A	TY506, TRP503, ALA235, SER151, CYS532	TRP503 <i>Pi-Pi</i> , TYR148 <i>Pi-Pi</i> ,
B	AM1	-5.3	ASN507	ALA238	N/A
	AM2	-5.5	SER151, ASN507, ASN152	SER151, ASN152	TRP503 <i>Pi-Cation</i> , TYR506 <i>Pi-Cation</i>
	AM3	-7.0	ASN507, SER151, THR231	CYS532, THR234	TRP503 <i>Pi-Pi</i> , TYR148 <i>Pi-Pi</i> , TYR529 <i>Pi-Pi</i>
	AM4	-6.5	SER151	TRP503, TYR148, ALA235, ILE222, LEU225	SER151 <i>Unfavorable Acceptor-Acceptor</i>

Cadena	Antagonista	Afinidad (Kcal/mol)	HB	HI	Otras
B	AM5	-5.3	SER151, ASN507	TYR506	TYR148 <i>Pi-Cation</i> , ASP147 <i>Salt bridge</i>
	AM6	-7.9	ASN507, ASN152, SER151	CYS532, TRP503, PHE239, ALA238, TRP525, ALA235	TYR529 <i>Pi-Pi</i> , TYR148 <i>Pi-Pi</i> , TRP503 <i>Pi-Pi</i> , TRP525 <i>Pi-Pi</i>
	AM7	-6.9	TYR529, TYR148	ALA235, TYR506, LEU225, CYS532	TYR529 <i>Pi-Pi</i> , TYR506 <i>Pi-Pi</i>
	AM8	-6.5	SER151	ILE222, LEU225, ALA235, TYR148, TRP503	SER151 <i>Unfavorable</i> <i>Acceptor-Acceptor</i>
	AM9	-5.2	SER151, ASN507	ASN152, TRP503	ASP147 <i>Salt bridge</i>
	AM10	-6.2	ASN507	TYR506, TYR148, ALA235	TRP503 <i>Pi-Cation</i> , SER151 <i>Unfavorable</i> <i>Acceptor-Acceptor</i>
	AM11	-6.9	ASN507, ASP147	TYR148, ALA238, VAL155	SER151 <i>Unfavorable</i> <i>Acceptor-Acceptor</i> TRP503 <i>Pi-Cation</i> , TRP506 <i>Pi-Cation</i>
	AM12	-7.3	TYR506	CYS532, ILE222, LEU225	TYR529 <i>Pi-Pi</i> , TRP503 <i>Pi-Pi</i>

Cuadro 6 demuestra los resultados obtenidos a partir del anclaje molecular de las modificaciones realizadas a los metabolitos secundarios del ajo. Las modificaciones que obtuvieron los mejores puntajes de afinidad fueron las moléculas AM3 (-7.1 ± 0.14 Kcal/mol), AM4 (-6.55 ± 0.07 Kcal/mol), AM6 (-7.2 ± 0.99 Kcal/mol),

AM7 (-6.36 ± 0.78 Kcal/mol), AM8 (-6.55 ± 0.07 Kcal/mol), AM10 (-6.30 ± 0.14 Kcal/mol), AM11 (-6.95 ± 0.07 Kcal/mol), AM12 (-6.90 ± 0.57 Kcal/mol). Las modificaciones con al menos un anillo aromático, tiofeno o amina poseen mejores resultados al momento de realizar el anclaje molecular.

Cuadro 7. Parámetros farmacológicos de los antagonistas propuestos. El SA score (Synthetic Accessibility score), es el parámetro que mide la complejidad de sintetizar la molécula. El CL_{plasma} (plasma clearance) representa el volumen de fármaco eliminado de la sangre por unidad de tiempo.

Table 7. Pharmacological parameters of the proposed antagonists. The SA score (Synthetic Accessibility score) is a parameter that measures the complexity of synthesizing a molecule. CL_{plasma} (plasma clearance) is the volume of drug eliminated from the blood per unit of time.

Nombre	Regla de Lipinski	Golden Triangle	CL_{plasma} (ml/min/kg)	Permeabilidad Caco-2 (log cm/s)	SA score
I1	Aceptada	Aceptada	7.698	-5.210	5.0
I2	Aceptada	Aceptada	8.887	-5.012	4.0
I3	Aceptada	Aceptada	10.68	-4.707	3.0
AM1	Aceptada	Aceptada	2.558	-5.952	4.0
AM2	Aceptada	Aceptada	2.386	-5.993	4.0
AM3	Aceptada	Aceptada	3.646	-5.678	3.0
AM4	Aceptada	Aceptada	2.734	-5.685	4.0
AM5	Aceptada	Aceptada	4.195	-5.796	4.0
AM6	Aceptada	Aceptada	4.475	-5.531	4.0
AM7	Aceptada	Aceptada	10.14	-4.909	4.0
AM8	Aceptada	Aceptada	4.000	-5.714	4.0
AM9	Aceptada	Aceptada	3.596	-6.162	4.0
AM10	Aceptada	Aceptada	9.095	-5.109	5.0
AM11	Aceptada	Aceptada	5.486	-5.570	3.0
AM12	Aceptada	Aceptada	7.139	-5.062	3.0

Luego de analizar las propiedades farmacológicas de los antagonistas conocidos y de los metabolitos modificados, determinamos que todas las moléculas cumplen con la regla de Lipinski y el criterio de Golden Triangle. Asimismo, únicamente

las moléculas AM7, AM10, y AM12 cuentan con valores adecuados de depuración y de permeabilidad Caco-2. Finalmente, todas las moléculas obtuvieron valores menores a 5 para el SAScore, lo cual indica que poseen una baja dificultad para sintetizarse.

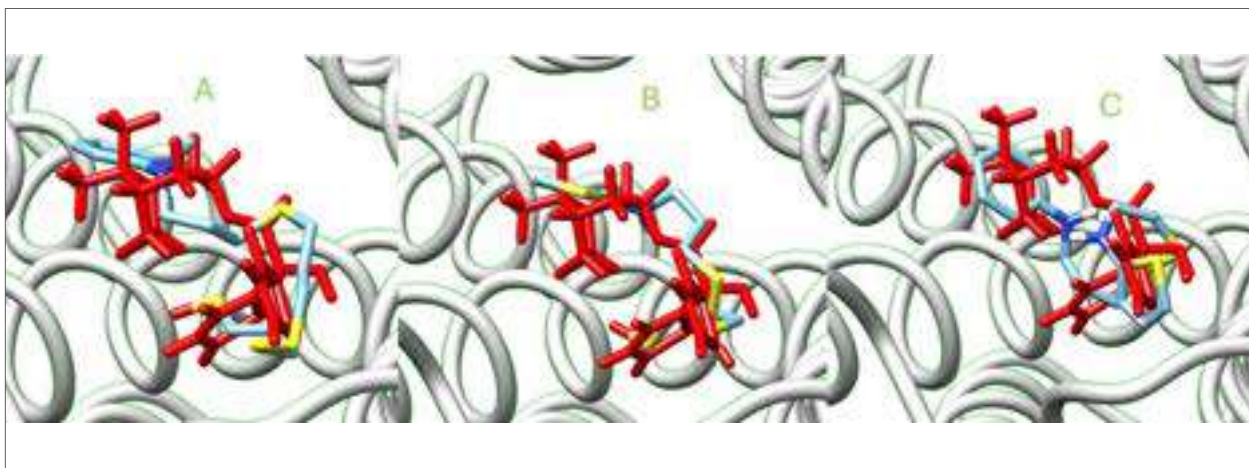


Figura 1. Superposición de las moléculas AM7, AM10 y AM12, sobre la molécula de tiotropio en la región de unión. El tiotropio está resaltado en rojo, para contrastar con las moléculas AM7 (A), AM10 (B) y AM12 (C).
Figure 1. Superposition of molecules AM7, AM10 and AM12, on the tiotropium molecule at the binding site. Tiotropium is highlighted in red, in order to contrast with molecules AM7 (A), AM10 (B) y AM12 (C).

DISCUSIÓN

Para llevar a cabo la metodología, utilizamos el modelo del receptor muscarínico de acetilcolina M3 propuesto por Kruse *et al.* (2012), con código PDB: 4DAJ. De acuerdo con Kruse *et al.* (2012) este modelo fue realizado a partir del receptor muscarínico M3 de *Rattus norvegicus*, el cual fue seleccionado debido a que cuenta con diferencias mínimas con respecto al receptor muscarínico M3 de los humanos y a que se le han realizado una mayor cantidad de estudios bioquímicos, mutagénicos y farmacológicos.

El modelo 4DAJ cuenta con cuatro cadenas (A, B, C y D) con modificaciones mínimas en su secuencia. A pesar de que Kruse *et al.* (2012) llevó a cabo sus estudios utilizando únicamente la cadena A, realizamos el anclaje molecular del tiotropio (I1), ipratropio (I2), atropina (I3), alicina (A1), E-Ajoeno (A2), Z-Ajoeno (A3) y Aliina (A4) con las cuatro cadenas encontradas en el modelo 4DAJ. De esta forma determinamos las afinidades de los compuestos seleccionados en las cuatro cadenas, permitiendo así seleccionar la cadena que se adecúe mejor a nuestras modificaciones.

Las interacciones con los aminoácidos encontrados en el sitio de unión fueron clasificadas según el tipo de enlace que forman, pudiendo ser enlaces hidrógeno (HB), interacciones hidrofóbicas (HI) o interacciones distintas a las HB y HI (otras). Es importante mencionar que las interacciones *Pi-alkyl*, *alkyl*, *Pi-sigma*, *Pi-*

Pi y *Pi-Sulfur*, fueron clasificadas como interacciones HI (ver Cuadro 4-6), tal como sugieren Ibrahim *et al.* (2021) y Vinod *et al.* (2023).

El antagonista I1 obtuvo afinidades más bajas (-8.95 ± 0.58 Kcal/mol) que los antagonistas I2 (-8.5 ± 1.04 Kcal/mol) e I3 (-8.85 ± 0.14 Kcal/mol) (Cuadro 4 y 8). Esto puede deberse a que este compuesto presenta una mayor selectividad hacia el receptor muscarínico M3 en comparación a la que muestran los compuestos I2 e I3, lo cual se ha descrito previamente por Moulton & Fryer (2011) y por Buels & Fryer (2012).

A partir de los anclajes realizados con las moléculas I1, I2 e I3, logramos apreciar que aquellos con la mejor afinidad presentan interacciones con los aminoácidos TYR529 y/o ASP147, siendo ambas interacciones *Pi-Cation* (Cuadro 4). Probablemente las interacciones *Pi-Cation* juegan un rol importante en el anclaje de la acetilcolina (ver Gallivan & Dougherty 1999) siendo además que este tipo de interacciones han sido encontradas en anclajes de antagonistas muscarínicos con el receptor muscarínico M3 (ver Kim *et al.* 2024). Las moléculas A1, A2, A3 y A4 obtuvieron afinidades entre -4.42 ± 0.17 y -5.35 ± 0.21 Kcal/mol (Cuadro 5). Estas afinidades son menores a las obtenidas con las moléculas I1, I2 e I3, lo cual indica que los metabolitos secundarios del ajo forman complejos de menor estabilidad que los antagonistas comerciales.

Las afinidades obtenidas por las moléculas A1, A2, A3 y A4 muestran que estas moléculas tienen un alto potencial como antagonistas del receptor muscarínico de acetilcolina M3. Esto último puede explicar el por qué las tinturas de ajo son utilizadas tradicionalmente para tratar el asma (Cedeño Reyes *et al.* 2020), ya que los metabolitos azufrados del ajo podrían actuar como antagonistas del receptor muscarínico de acetilcolina M3, reduciendo a su vez los efectos de broncoconstricción, constricción de las vías respiratorias y el aumento de la producción de mucosa, ocasionados por la acción de dicho receptor. Estos anclajes mostraron que los metabolitos secundarios con los mejores resultados forman interacciones con los aminoácidos TYR148 y/o TRP503 (Cuadro 5). En el caso del aminoácido TYR148 se pudieron encontrar interacciones *Pi-Alkyl*, *Pi-Sulfur* y HB, teniendo afinidades más negativas cuando la interacción era del tipo *Pi-Alkyl*. Por otra parte, las interacciones formadas por el aminoácido TRP503 fueron del tipo *Pi-Sigma*, *Pi-Alkyl* o *Pi-Sulfur*, mostrando resultados similares para los tres tipos de interacción.

Al momento de proponer las modificaciones para los metabolitos secundarios del ajo (moléculas AM1 a AM12), tomamos en cuenta los distintos grupos funcionales de los antagonistas I1, I2, I3. Debido a esto, las modificaciones propuestas contienen aminas, anillos aromáticos, tiofenos y grupos funcionales oxigenados (Cuadro 1 y 3).

Mediante los resultados obtenidos en los anclajes de las moléculas AM1 a AM12 (Cuadro 6), se aprecia que las modificaciones con mejores resultados (superiores a -6 kcal/mol) tienen al menos un anillo aromático, tiofeno o amina, obteniendo mejores valores de afinidad cuando dos o más de estos grupos estaban presentes en las moléculas. Estas modificaciones contenían una combinación del grupo amino y aromático (AM3, AM7 y AM11), grupo amino y tiofeno (AM4, AM8 y AM10) o grupo amino, tiofeno y anillo aromático (AM6 y AM12). A partir de estos resultados y de los obtenidos a partir del anclaje de los antagonistas I1, I2 e I3, se observa que el receptor muscarínico de acetilcolina cuenta con una alta afinidad por los compuestos que cuentan con dobles enlaces conjugados, aminas y compuestos azufrados. Esto se explica debido a que los residuos del receptor muscarínico de acetilcolina tienen la capacidad de formar enlaces *Pi-Alkyl*, *Pi-Sulfur*, *Pi-sigma*, *Pi-Pi* y *Pi-Cation* con este tipo de moléculas (Gallivan & Dougherty 1999; Stornaiuolo *et al.* 2013; Kim *et al.* 2024).

Las modificaciones y los antagonistas conocidos cumplen con la regla de Lipinski y el criterio de Golden Triangle (Cuadro 7). Las moléculas que cumplen con la regla de Lipinski cuentan con una buena absorción o permeabilidad, mientras que las que cumplen con el parámetro Golden Triangle son permeables, metabólicamente estables y son fuertes candidatos para ser utilizados como fármacos (Lipinski *et al.* 2001; Johnson *et al.* 2009). Debido a esto, se infiere que las modificaciones realizadas podrían utilizarse para producir fármacos en un futuro.

Lobato-Tapia & Aguilar-Muñoz (2022) y Xiong *et al.* (2021) explican que los valores de depuración CL_{plasma} indican la exposición del fármaco en la circulación sistémica, el cual es un componente clave para determinar las dosis terapéuticas de un fármaco. Según Xiong *et al.* (2021) estos valores se clasifican en tres tipos: (1) depuración alta (mayor a 15 ml/min/kg), (2) depuración moderada (entre 5 y 15 ml/min/kg) y (3) depuración baja (menor a 5 ml/min/kg). Los resultados obtenidos indican que las modificaciones propuestas cuentan con una baja depuración, siendo las únicas excepciones las moléculas AM7, AM10, AM11 y AM12, las cuales cuentan con una depuración moderada (Cuadro 7). Asimismo, Xiong *et al.* (2021) indican que las líneas celulares de adenocarcinoma de colon humano (Caco-2) se utilizan como alternativa al epitelio intestinal humano para estimar la permeabilidad de los fármacos in vivo, debido a que ambas comparten similitudes morfológicas y funcionales, permitiendo así que la permeabilidad de las células Caco-2 sea un parámetro relevante para el desarrollo de fármacos. De igual, Xiong *et al.* (2021) sugieren que el valor recomendado para este parámetro sea mayor a -5.15 log(cm/s), por lo cual es fácil apreciar que todas las modificaciones propuestas en el presente estudio cuentan con una baja permeabilidad Caco-2, siendo las únicas excepciones las moléculas AM12, AM10 y AM7.

Calculamos el valor del SAScore para las modificaciones propuestas, obteniendo valores menores a cinco para todas las moléculas, lo que indica que las modificaciones propuestas tienen una baja dificultad para sintetizarse, ya que solo se considera que una molécula es difícil de sintetizar si esta tiene una SAScore mayor a seis (Xiong *et al.* 2021). A partir de las afinidades obtenidas y las propiedades farmacológicas evaluadas, determinamos que las modificaciones que muestran un mayor potencial como fármaco antagonista del receptor muscarínico M3 son las moléculas AM7, AM10, y AM12 (Fig. 1). Estos fueron seleccionados debido a que presentan las mejores propiedades farmacológicas en comparación con el resto de las modificaciones de la misma molécula base; asimismo, las tres moléculas obtuvieron un resultado favorable al realizar el anclaje con el receptor muscarínico M3.

Finalmente, es importante recalcar que, a pesar de los múltiples beneficios que presentan los estudios computacionales, estos no reemplazan por completo los estudios *in vivo*, por lo que recomendamos realizar ambos tipos de estudio para determinar posibles efectos secundarios ocasionados por metabolitos derivados del fármaco (Zakharov & Lagunin 2014). Asimismo, se deben de tener en cuenta limitaciones como la potencia computacional requerida y la procedencia de las proteínas estudiadas, ya que en su mayoría estas son de procedencia animal, por lo que recomendamos realizar estudios *in vivo* para confirmar los resultados obtenidos mediante los ensayos computacionales (Zakharov & Lagunin 2014).

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a nuestras familias por apoyarnos siempre y contribuir activamente en nuestra formación profesional. Damos gracias especialmente a Saranelly Barenos, Lucía Barenos, Erik Torres y Guido Fernández, quienes fueron nuestra principal motivación para realizar este trabajo. Igualmente, agradecemos a la Universidad del Valle de Guatemala por ayudarnos a difundir nuestro estudio y a los colaboradores de la Revista UVG por su trabajo en la revisión del artículo.

REFERENCIAS

- Ballón, W. & Grados, R. (2019). Acoplamiento molecular: criterios prácticos para la selección de ligandos biológicamente activos e identificación de nuevos blancos terapéuticos. *Revista CON-CIENCIA* 7(2): 55-72.
- Buels, K. & Fryer, A. (2012). Muscarinic receptor antagonists: effects on pulmonary function. In: *Handbook of experimental pharmacology*, Fryer, A., Christopoulos, A. & Nathanson, N. (eds), Springer, Berlin, Heidelberg, Germany, Vol. 208; pp. 317-341. https://doi.org/10.1007/978-3-642-23274-9_14
- Casarosa, P., Kiechle, T. & Bakker, R. (2010). Differential inverse agonism at the human muscarinic M3 receptor. *Methods in Enzymology* 485: 81-101. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-381296-4.00005-1>
- Cazzola, M., Calzetta, L. & Matera, M. (2021). Long-acting muscarinic antagonists and small airways in asthma: Which link? *Allergy* 76(7): 1990-2001. <https://doi.org/10.1111/all.14766>
- Cedeño Reyes, A. C., Ortiz Sosa, M. R., Licea Illas, M., González Carrazana, Y. A. & Arias Molina, Y. (2020). Eficacia de la tintura de ajo al 20% en pacientes asmáticos. Policlínico 13 de marzo. 2018-2019. *Multimed* 24(5): 1140-1152.
- Centros para el Control y la Prevención de Enfermedades (CDC). (2024). Acerca del asma. [<https://www.cdc.gov/asthma/es/about/acerca-del-asma.html>]. Accesado: 12 de mayo 2025.
- Córdova Betancourt, M. A. (2010). *Extracción y purificación de alicina a partir de ajo (Allium sativum L.): implicaciones analíticas*. Maestría en Ciencias en Conservación y Aprovechamiento de los recursos Naturales, Instituto Politécnico Nacional de México, México. [http://148.204.117.30/jspui/bitstream/LITER_CIIDIROAX/8/1/CÓRD_OVA%20BETANCOURT%20M%2C%202010.pdf] Accesado: 12 de mayo 2025.
- Fadlan, A. & Nusantoro, Y. (2021). The effect of energy minimization on the molecular docking of acetone-based oxindole derivatives. *Jurnal Kimia dan Pendidikan Kimia* 6(1): 69-77. <https://doi.org/10.20961/jkpk.v6i1.45467>
- Gallivan, J. & Dougherty, D. (1999). Cation- π interactions in structural biology. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 96(17): 9459-9464. <https://doi.org/10.1073/pnas.96.17.9459>
- Hernández, D. & Rubio, A. (2017). *Efecto antimicótico del percolado de Allium sativum "ajo" in vitro, en cepas del género Aspergillus fumigatus*. Licenciatura, Facultad de Ciencias de la Salud, Universidad Privada Antonio Guillermo Urrello, Perú. [https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/UPAG_77b58ecb90c1c805a7a1e5f3246d0831]. Accesado: 22 de mayo 2025.
- Ibrahim, M., Uzairu, A., Shallangwa, G. & Uba, S. (2021). Molecular docking investigation and pharmacokinetic properties prediction of some anilino pyrimidines analogues as EGFR T790M tyrosine kinase inhibitors. *Egyptian Journal of Basic and Applied Sciences* 8(1): 203-213. <https://doi.org/10.1080/2314808X.2021.1946650>
- Instituto Guatemalteco de Seguridad Social (IGSS). (2007) Guía asma (niños). [https://www.igssgt.org/wp-content/uploads/images/gpc-be/pediatría/GPC-BE%2011%20Asma_en_Ninos.pdf]. Accesado: 12 de mayo 2025.
- Isern III, R. D. (2017). *Prevalencia de asma persistente en pacientes de 5 a 12 años con exacerbación asmática*. Hospital General San Juan de Dios, Guatemala, junio 2017. Licenciatura, Facultad de Ciencias de la Salud, Universidad Rafael Landívar, Guatemala. [<http://recursosbiblio.url.edu.gt/tesisortiz/2017/09/18/IsernIII-Raul.pdf>]. Accesado: 12 de mayo 2025.
- Johnson, T., Dress, K. & Edwards, M. (2009). Using the Golden Triangle to optimize clearance and oral absorption. *Bioorganic & Medicinal Chemistry Letters* 19(19): 5560-5564. <https://doi.org/10.1016/j.bmcl.2009.08.045>
- Kim, M. J., Ibrahim, M. & Jablonski, M. M. (2024). Shared binding modes of M3 muscarinic agonists and antagonists may incentivize development of novel IOP-reducing drugs: findings from in-silico assays. *Investigative Ophthalmology & Visual Science* 65(7): 3543.
- Kramer, I. (2016). *Cholinergic signaling and muscle contraction*. In: *Signal transduction*, Kramer, I. (ed.), Academic Press, 3ra ed.; pp. 263-327. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-394803-8.00004-8>
- Kruse, A. C., Hu, J., Pan, A. C., Arlow, D. H., Rosenbaum, D. M., Rosemond, E., Green, H. F., Liu, T., Chae, P. S., Dror, R. O., Shaw, D. E., Weis, W. I., Wess, J. & Kobilka, B. K. (2012). Structure and dynamics of the M3 muscarinic acetylcholine receptor. *Nature* 482: 552-556. <https://doi.org/10.1038/nature10867>
- Ledezma, E. & Apitz-Castro, R. (2006). Ajoene, el principal compuesto activo derivado del ajo (*Allium sativum*), un nuevo agente antifúngico. *Revista Iberoamericana de Micología* 23(2): 75-80. [https://doi.org/10.1016/S1130-1406\(06\)70017-1](https://doi.org/10.1016/S1130-1406(06)70017-1)
- Lipinski, C. A., Lombardo, F., Dominy, B. W. & Feeney, P. J. (2001). Experimental and computational approaches to estimate solubility and permeability in drug discovery and development settings. *Advanced Drug Delivery Reviews* 23(1-3): 3-25. [https://doi.org/10.1016/S0169-409X\(96\)00423-1](https://doi.org/10.1016/S0169-409X(96)00423-1)
- Lobato-Tapia, C. A. & Aguilar-Muñoz, E. (2022). Análisis *in silico* de los compuestos de *Aloysia triphylla* con potencial actividad ansiolítica y predicción de sus propiedades farmacocinéticas. *eNeurobiología* 13(33): 131022.
- Maldonado, H. (2012). *Índice de predicción de riesgo de asma en niños menores de tres años que presentan sibilancias recurrentes*. Maestría en Pediatría, Facultad de Ciencias Médicas, Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala. [http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/05/05_8888.pdf]. Accesado: 12 de mayo 2025.
- Melgar Toledo, M. A. (2001). *Asmas y alergias no diagnosticadas en niños: Estudio descriptivo transversal realizado con niños de 7 a 14 asistentes a la escuela rural mixta Rosibel Ordóñez Mayorga aldea Estancia de la virgen, municipio San Cristóbal AC, departamento El Progreso, mayo 2001*. Medicina, Facultad de Ciencias Médicas, Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala. [http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/05/05_8407.pdf]. Accesado: 12 de mayo 2025.
- Moulton, B. C. & Fryer, A. D. (2011). Muscarinic receptor antagonists, from folklore to pharmacology; finding drugs that actually work in asthma and COPD. *British Journal of Pharmacology* 163(1): 44-52. <https://doi.org/10.1111/j.1476-5381.2010.01190.x>
- Quintero-Fabián, S., Ortuño-Sahagún, D., Vázquez-Carrera, M. & López-Roa, R. I. (2013). Alliin, a garlic (*Allium sativum*) compound, prevents LPS-induced inflammation in 3T3-L1 adipocytes. *Mediators of Inflammation* 2013: 381815. <https://doi.org/10.1155/2013/381815>

- Sáez, J. & Soto, J. (2010). Fitoquímica y valor ecológico del olor a ajo en los vegetales. *Medicina Naturista* 4(1): 15-23.
- Stornaiuolo, M., De Kloe, G. E., Rucktooa, P., Fish, A., van Elk, R., Edink, E. S., Bertrand, D., Smit, A. B., de Esch, I. J. P. & Sixma, T. K. (2013). Assembly of a π - π stack of ligands in the binding site of an acetylcholine-binding protein. *Nature Communications* 4(1): 1875. <https://doi.org/10.1038/ncomms2900>
- Trott, O. & Olson, A. J. (2010). AutoDock Vina: improving the speed and accuracy of docking with a new scoring function, efficient optimization and multithreading. *Journal of Computational Chemistry* 31(2): 455-461. <https://doi.org/10.1002/jcc.21334>
- Vinod, S. M., Murugan Sreedevi, S., Krishnan, A., Ravichandran, K., Karthikeyan, P., Kotteswaran, B. & Rajendran, K. (2023). Complexity of the role of various site-specific and selective sudlow binding site drugs in the energetics and stability of the acridinedione dye-bovine serum albumin complex: A molecular docking approach. *ACS Omega*, 8(6):5634-5654. <https://doi.org/10.1021/acsomega.2c07111>
- Waizel, H. S. & Waizel, B. J. (2009). Algunas plantas utilizadas en México para el tratamiento del asma. *Anales de Otorrinolaringología Mexicana* 54(4): 145-171.
- Xiong, G., Wu, Z., Yi, J., Fu, L., Yang, Z., Hsieh, C., Yin, M., Zeng, X., Wu, C., Lu, A., Chen, X., Hou, T. & Cao, D. (2021). ADMETlab 2.0: an integrated online platform for accurate and comprehensive predictions of ADMET properties. *Nucleic Acids Research* 49: W5-W14. <https://doi.org/10.1093/nar/gkab255>
- Zakharov, A. & Lagunin, A. (2014). Computational toxicology in drug discovery: Opportunities and limitations. In: *Application of computational techniques in pharmacy and medicine*. Gorb, L., Kuz'min, V. & Muratov, E. (eds), Springer Dordrecht Heidelberg New York, London; Challenges and Advances in Computational Techniques in Chemistry and Physics, Vol. 17; pp. 325-367. https://doi.org/10.1007/978-94-017-9257-8_11

Evaluación técnica de la capacidad de adsorción del char de cáscara y semilla de aguacate a escala laboratorio

Technical evaluation of the adsorption capacity of avocado peel and seed char at a laboratory scale

Lourdes María Betzabé BERREONDO-LÓPEZ¹ & Luis Ernesto NÚÑEZ-GONZÁLEZ^{1,*}

¹ Centro de Procesos Industriales y Departamento de Ingeniería Química, Universidad del Valle de Guatemala, Guatemala

*Correspondence: Luis Ernesto Núñez-González (lenunez@uvg.edu.gt)

Recibido: 23/IX/ 2024; Aceptado: 18/VI/2025

Resumen: En este trabajo se presentan los resultados obtenidos en relación con la capacidad de adsorción del char de residuos de aguacate, ante contaminantes farmacológicos de agua clasificados como emergentes. El aprovechamiento de los residuos de aguacate para generar el adsorbente estudiado y la generación de conocimiento que lleve a propuestas para tratar aguas residuales con contaminantes de acetaminofén y diclofenaco de sodio de forma sostenible generaron la necesidad de este estudio. Para esto, se utilizaron métodos de molienda, análisis granulométrico, activación de char por medio ácido y pruebas adsorptivas en base al modelo de adsorción de Freundlich. Se obtuvo del tratamiento ácido de activación, una distribución de tamaño de char según la norma Tyler de 150-600 μm con una porosidad 6.2 μm significativamente mayor al realizar el tratamiento ácido en las muestras de CR-060 determinada a partir de microscopía electrónica de barrido. Con ello, se elaboraron las isotermas de adsorción de Freundlich del char empleado como adsorbente para determinar los parámetros del fenómeno, que indicaron una mayor capacidad de adsorción de acetaminofén en comparación al diclofenaco de sodio, e implican una influencia marcada de la estructura y el tamaño de partícula en la capacidad de adsorción. Esto abre un campo de estudio para posibles desarrollos de equipos o dispositivos que puedan emplearse en el tratamiento de aguas contaminadas con fármacos de diferentes tipos.

Palabras clave: adsorción, char, compuestos emergentes, tratamiento de agua.

Abstract: This paper presents the results obtained regarding the adsorption capacity of avocado waste-derived char for pharmacological water contaminants classified as emerging pollutants. The use of avocado waste to produce the studied adsorbent, along with the generation of knowledge aimed at developing sustainable treatment of wastewater containing acetaminophen and diclofenac sodium contaminants, gave rise to the need for this study. For this purpose, milling methods, particle size analysis, acid activation of the char, and adsorptive tests based on the Freundlich adsorption model were used. The acid activation treatment yielded a char size distribution from 150-to 600 μm according to the Tyler standard, with a significantly greater porosity of 6.2 μm in the acid-treated CR-060 samples, as determined by scanning electron microscopy. Based on this, Freundlich adsorption isotherms were developed for the char used as an adsorbent to determine the parameters of the phenomenon, which indicated a greater adsorption capacity for acetaminophen compared to diclofenac sodium, highlighting a marked influence of particle size and structure on the adsorption capacity. This opens up a field of study for the possible development of equipment or devices that can be used in the treatment of water contaminated with different types of pharmaceuticals.

Keywords: adsorption, char, emerging compounds, water treatment.

INTRODUCCIÓN

La contaminación hídrica es un problema global que pone en riesgo tanto la salud humana como los ecosistemas acuáticos (Barceló & López 2007). Si bien se reconocen ampliamente las fuentes tradicionales de contaminación como las actividades domésticas, agrícolas e industriales, un desafío creciente es la presencia de contaminantes emergentes en el agua. Estos contaminantes, que incluyen productos farmacéuticos, agentes tensoactivos, plastificantes y otros compuestos industriales, han comenzado a detectarse en concentraciones que, aunque bajas, tienen el potencial de causar efectos adversos significativos en el medio ambiente y la salud pública. La principal fuente de estos agentes es la actividad humana, especialmente a través de aguas residuales urbanas (Gil *et al.* 2012).

El tratamiento convencional de aguas residuales no está diseñado para eliminar estos contaminantes emergentes, lo que agrava el problema. Diversas investigaciones han explorado tecnologías avanzadas como biorreactores de membrana (Gil *et al.* 2012), ósmosis inversa (Barceló & López 2007) y oxidación avanzada (Gil *et al.* 2012), pero su implementación requiere inversiones significativas, lo que limita su adopción generalizada. En este contexto, se ha destacado el uso del char (carbonilla o residuo carbonoso) de pirólisis, un material adsorbente que ha demostrado eficacia en la mitigación de contaminantes emergentes (Martínez Fierro 2012). Sin embargo, existen lagunas en el conocimiento respecto a la capacidad de adsorción del char de pirólisis proveniente de la cáscara y semilla de aguacate (Kennedy & Murthy 2011).

Ante este contexto, este estudio tuvo como objetivo realizar una evaluación técnica y exploratoria para caracterizar las propiedades adsorbentes del char de aguacate, determinando su efectividad en la adsorción de diferentes compuestos emergentes. Los resultados obtenidos esclarecen su potencial aplicación en el tratamiento de aguas residuales, contribuyendo a la mitigación de la contaminación hídrica.

MATERIALES Y MÉTODOS

Obtención del char. La obtención de char a partir de residuos de aguacate, específicamente cáscaras y semillas, se llevó a cabo mediante un proceso de pirólisis. Primero, los residuos fueron recolectados, lavados y secados para eliminar impurezas y humedad. Luego, se trituraron hasta obtener un tamaño de partícula uniforme. El material triturado se colocó en un reactor de pirólisis bajo una atmósfera inerte (con nitrógeno) para evitar la combustión. El proceso se realizó a una temperatura controlada, entre 400 y 600°C, durante un tiempo determinado para garantizar la descomposición térmica. Durante la pirólisis, los compuestos volátiles se liberaron, y el material carbonoso restante fue el char, que se enfrió lentamente dentro del reactor

antes de su recolección para su posterior caracterización y uso en la adsorción de contaminantes (Leite *et al.* 2017; Digheero Valenzuela 2023).

Acondicionamiento del char. Para acondicionar el char obtenido mediante pirólisis, se emplearon diversos equipo: un molino de discos, una balanza semianalítica y una tamizadora ROTAP. El acondicionamiento comenzó pesando el char en la balanza semianalítica. Posteriormente, se conectó y encendió el molino de discos, al cual se alimentó con el material carbonizado. Una vez molido, el char fue recolectado en una bolsa plástica colocada en la descarga del molino. Después del proceso de molienda, se pesaron los tamices de la tamizadora y se procedió a alimentar esta con 100 g de char molido. La tamizadora operó durante 15 min, tras lo cual se retiraron los tamices y se pesó la cantidad de char retenido en cada uno. Para garantizar uniformidad en el tamizado, se repitió el proceso con cada fracción obtenida, organizando el producto final en frascos rotulados según el tamaño de partícula. Los datos obtenidos fueron tabulados, y se realizó un análisis granulométrico para describir las características del char. Esto se basó en la metodología descrita por Huang *et al.* (2009).

Activación del char. La activación del char se llevó a cabo utilizando diversos reactivos y equipos. Se pesaron 15 g de char tamizado y se mezclaron con 30 mL de ácido sulfúrico al 40%, permitiendo que la mezcla reposara durante 24 horas. Pasado este tiempo, el contenido fue trasladado a un crisol y calentado en una mufla a 550°C durante 30 minutos. Después de enfriar el material, se añadió 30 mL de hidróxido de sodio al 0.1N y se agitó con una varilla para asegurar la completa absorción de la solución por el char. Finalmente, la muestra fue llevada a un horno durante 3 horas a 105° C. Una vez completado este proceso, el char activado se almacenó en recipientes rotulados para su posterior análisis. Esto se basó en la metodología descrita por Suzuki (1994).

Caracterización del char. Se cuantificó el efecto de la activación ácida sobre el char. Para esto se realizó un análisis granulométrico en el que seleccionó evaluar el char retenido por el mesh No. 60 (al cual se le denominó CR-060) de la norma Tyler como material adsorbente. A partir de esto, la muestra se activó químicamente con el procedimiento descrito anteriormente. Se enviaron muestras de 5 g de char sin activar y 5 g de char activado al Centro de Investigación y Desarrollo de Cementos Progreso, ubicado en la Ciudad de Guatemala, para la realización de una microscopía electrónica de barrido (SEM) y una prueba de caracterización de sólidos. Estos análisis permitieron determinar el tamaño promedio de los poros en cada muestra y a partir de la población de tamaños de poro obtenidos para el material activado y sin activar, se realizó una prueba t de Student al 95%, para determinar el nivel de significancia del cambio de tamaño promedio de poro empleando el software Minitab®.

Formulación de soluciones. Partiendo de los diferentes contaminantes reportados por Barceló & López (2007) y su potencial para ser tratados por adsorción, se seleccionó el enfoque en fármacos comunes. Específicamente acetaminofén y diclofenaco de sodio fueron estudiado con la elaboración de las isothermas de adsorción de Freundlich de acuerdo con lo realizado por Bathia & Myers (2006). Por lo que, se trituraron tabletas comerciales de ambos fármacos utilizando un mortero hasta obtener un polvo fino. Luego, se prepararon 100 mL de una solución madre de 80 ppm de cada compuesto utilizando agua destilada. Se prepararon 50 mL de soluciones a distintas concentraciones (0.5, 1, 3, 5, 10, 15, 20, 25, 30 y 35 ppm) de cada compuesto. Posteriormente, se determinaron las curvas de calibración para cada especie en un espectrofotómetro UV-Vis, utilizando longitudes de onda de 242 nm para el acetaminofén y 276 nm para el diclofenaco (ver Leite *et al.* 2017).

Isotermas de adsorción. El procedimiento, para la elaboración de isothermas de adsorción involucró la adición de 0.0075 g de char en un matraz, junto con 50 mL de una solución de 10 ppm del compuesto a adsorber. La mezcla fue sometida a agitación constante a 310 rpm durante el tiempo óptimo de adsorción determinado previamente. Tras este período, se tomó una muestra de 3 mL, que fue centrifugada durante 15 min antes de leer la absorbancia en un espectrofotómetro UV-Vis para determinar la concentración de la solución. Este procedimiento se repitió para soluciones con concentraciones de 15, 20, 25, 30 y 35 ppm. Finalmente, se construyó una isoterma de adsorción y se determinaron los parámetros correspondientes

según el modelo de Freundlich (ver Bhatia & Myers 2006; Treybal 2007):

$$q = K \times C^{\frac{1}{n}}$$

donde q es la cantidad de soluto adsorbido en la fase sólida por unidad de masa del adsorbente (generalmente en mg/g o g/kg); C es la concentración del soluto en la fase líquida en equilibrio (generalmente en mg/L o g/L); K es la constante de Freundlich, que representa la capacidad de adsorción del adsorbente; y, n es el exponente de Freundlich, que refleja la intensidad de adsorción y varía con la naturaleza del adsorbato y el adsorbente.

RESULTADOS

Activación química del char. Figura 1 presenta una toma de microscopía de barrido electrónico en la cual se evidencia cómo la activación química del char aumentó el tamaño del poro de la muestra. El valor medio del tamaño del poro del char con activación química fue significativamente (prueba t de Student: $p < 0.05$) mayor ($35.13 \pm 8.73 \mu\text{m}$) que el sin activación ($28.93 \pm 6.24 \mu\text{m}$).

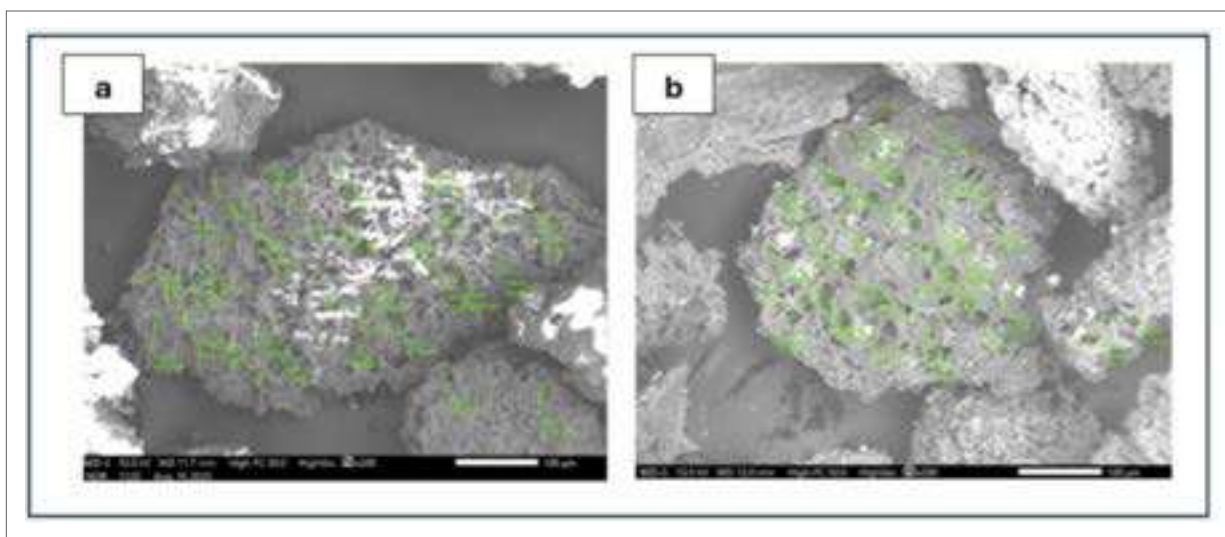


Figura 1. Tamaño de poro de la muestra CR-060 sin activación química (a) y tamaño de poro con activación química (b). Foto de microscopía electrónica obtenida en el Laboratorio de Cementos Progreso, Universidad del Valle de Guatemala.

Figure 1. Pore size of sample CR-060 without chemical activation (a) and pore size with chemical activation (b). Scanning electron microscopy image obtained at the Cementos Progreso Laboratory, Universidad del Valle de Guatemala.

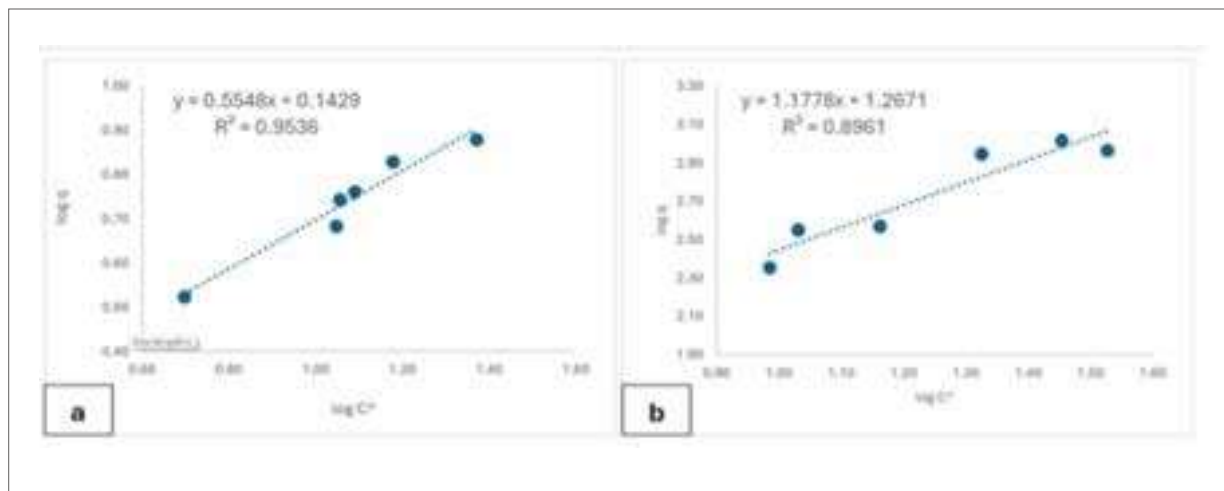


Figura 2. Isothermas de adsorción en solución de acetaminofén comercial (a) y diclofenaco de sodio comercial (b) a concentración de 10 ppm a 35 ppm a 25°C. Se grafica el logaritmo de base 10 de la concentración del fármaco en mg/L en el eje X y el logaritmo de base 10 de la cantidad de soluto adsorbido en la fase sólida por unidad de masa del adsorbente en mg/g en el eje Y.

Figure 2. Adsorption isotherms in commercial acetaminophen solution (a) and commercial sodium diclofenac (b) at concentrations from 10 ppm to 35 ppm at 25°C. The base-10 logarithm of the drug concentration in mg/L is plotted on the X-axis and the base-10 logarithm of the amount of solute adsorbed onto the solid phase per unit mass of the adsorbent in mg/g is plotted on the Y-axis.

Se evidencia con las mediciones acotadas y con el tamaño de poros de forma cualitativa que la microscopía electrónica muestra el efecto de incremento del tamaño de poro en la superficie del char utilizado proveniente de la reacción de pirólisis de residuos de aguacate (ver Fig. 1). La forma y características superficiales son comunes a lo reportado por Martínez Fierro (2012).

Además, el char activado con ácido mostró mejor capacidad para adsorber contaminantes con 40% m/m extra de capacidad másica en comparación con el material sin activación. El mismo material mostró de 20% a 35% más efectividad en la adsorción de contaminantes que otros carbones activados con mayor tamaño de partícula, razón por la que el uso del CR-060 es preferida sobre otros tamaños de partícula posibles.

Adsorción de contaminantes emergentes en char químicamente activado. Figura 2 muestra comparativamente las gráficas y ecuaciones de las isothermas de Freundlich obtenidas para la adsorción de acetaminofén y diclofenaco de sodio, donde se observa una mayor pendiente e intercepto para el diclofenaco de sodio con las mismas condiciones y char CR-060 activado como adsorbente.

A partir de las isothermas de Freundlich, se obtuvo los siguientes valores de la constante K y exponente n de Freundlich para el acetaminofén empleando la Ecuación 1: K de 1.390 ± 0.062 y n de 1.802 ± 0.013 (Fig. 2a). Para el diclofenaco de sodio se obtuvo valores de K de 18.50 ± 0.59 y n de 0.8490 ± 0.0453 (Fig. 2b). Estos resultados muestran que el adsorbente tiene una mayor afinidad al acetaminofén que al diclofenaco de sodio.

DISCUSIÓN

El presente estudio se realizó considerando lo reportado por Suzuki (1994) y Dighero Valenzuela (2023), donde se evidencia que la estructura y su composición físico-química le confieren el potencial de ser eficaz como adsorbente, sobre todo, dado que el proceso de pirólisis genera un material con una estructura porosa, lo que aumenta el área superficial del char y genera una superficie químicamente activa, que permite la interacción entre adsorbente y soluto (Martínez Fierro 2012).

Dentro de la variedad de distintos contaminantes emergentes orgánicos en aguas residuales, los compuestos farmacéuticos son considerados los principales agentes contaminantes incluso a bajas concentraciones porque muchos fármacos son resistentes a la biodegradación lo que les permite permanecer en el agua durante largos periodos de tiempo. Además los analgésicos y antiinflamatorios son tóxicos para los organismos acuáticos ya que causan problemas hepáticos y renales en su sistema inmunológico (Barceló & López 2007). Dado que los tratamientos de aguas residuales no están diseñados específicamente para eliminar contaminantes farmacéuticos, se optó por estudiar la adsorción con char de materiales residuales (en este caso char de residuos de aguacate) para brindar un punto de partida que potencialmente permita el aprovechamiento residual y la reducción de contaminantes en cuerpos acuíferos.

El tratamiento químico aplicado al char proviente de la pirólisis de residuos de aguacate mostró que la activación fue eficaz en la creación de una red de poros (Fig. 1). Esto coincide con

lo reportado por Martínez Fierro (2012), que indica un aumento del área superficial de las muestras de carbón al activarse con la técnica química empleada, generando una mayor capacidad de adsorción con las moléculas de las especies químicas afines al char. Considerando el aumento significativo del tamaño de poro promedio de 6.2 μm con el tratamiento aplicado y el efecto cualitativo observado (Fig. 1) se concluye que el proceso empleado es eficaz en la generación de poros.

Una mayor área superficial ofrece más sitios activos para la adsorción de moléculas de fármacos, permitiendo la captura eficiente de compuestos en pequeñas concentraciones (Neimark & Ravicovitch 2001). Además de esto, el char suele contener una red de microporos (poros menores de 2 nm) y mesoporos (poros de 2 a 50 nm) que favorecen la adsorción de moléculas pequeñas, como los fármacos. Los microporos son especialmente eficaces para atrapar moléculas de bajo peso molecular, mientras que los mesoporos pueden adsorber fármacos de mayor tamaño. La combinación de diferentes tamaños de poros facilita la adsorción de una amplia variedad de contaminantes (Leite *et al.* 2017).

Al evaluar las isothermas de Freundlich del char en solución de acetaminofén de acuerdo con los conceptos mencionado por Treybal (2007), se encontró que el parámetro de capacidad de adsorción K fue mayor a 1 y el valor de intensidad de adsorción (n) fue de 1.802 ± 0.013 (Fig. 2a). Esto sugiere que el proceso de adsorción del acetaminofén no es lineal y que el adsorbente tiene una fuerte afinidad por este compuesto. Además, el valor de n superior a 1 indica que la adsorción es favorable en concentraciones bajas. Por otro lado, para el diclofenaco de sodio (Fig. 2b) se obtuvieron valores de capacidad de adsorción K mayores al acetaminofén e intensidades de adsorción menores a 1, lo que indicó que la adsorción del diclofenaco de sodio es menos favorable en comparación con el acetaminofén y que la afinidad del adsorbente es menor en este caso (ver Treybal 2007). Por lo tanto, se concluye que la selectividad y efectividad del adsorbente depende del compuesto adsorbido, y a partir de los parámetros de la ecuación de Freundlich se ofrece información crucial para diseñar sistemas de tratamiento de aguas que tengan en cuenta las diferencias en la adsorción de contaminantes farmacéuticos. A partir de estos resultados, en futuras investigaciones se podrían identificar estrategias específicas de maximización para la eliminación efectiva de acetaminofén y diclofenaco de sodio en aplicaciones de tratamiento de agua, u optar por analizar la dependencia de otros contaminantes emergentes y char de otros orígenes.

Los resultados obtenidos coinciden con estudios previos, como los de Terzyk (2004a,b) y Leite *et al.* (2017), que destacan la influencia de la estructura y el tamaño de partícula en la capacidad de adsorción del carbón activado. Al igual que en estos estudios, el char activado con ácido mostró mejor capacidad para adsorber contaminantes lo que respalda la importancia de optimizar estos parámetros (ver Terzyk 2004a).

Estos resultados son relevantes frente a la problemática de la contaminación del agua en Guatemala según INSIVUMEH (2023), que expresa claramente la necesidad de materiales de adsorción más eficaces para tratar contaminantes emergentes en aguas residuales.

AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan su agradecimiento al Centro de Investigación y Desarrollo de Cementos Progreso por su valiosa colaboración en la realización de los análisis de microscopía electrónica de barrido (SEM), fundamentales para la caracterización del material estudiado. Asimismo, se agradece al Centro de Procesos Industriales de la Universidad del Valle de Guatemala por el suministro de insumos y apoyo técnico brindado durante las fases experimentales de esta investigación. Su contribución fue clave para el desarrollo riguroso y exitoso de esta investigación.

REFERENCIAS

- Barceló, L. D. & López de Alda, M. J. (2007). *Contaminación y calidad química del agua: el problema de los contaminantes emergentes*. Instituto de Investigaciones Químicas y Ambientales-CSIC, Barcelona, España.
- Bhatia, S. K. & Myers, A. L. (2006). Optimum conditions for adsorptive storage. *Langmuir* 22(4): 1688-1700. <https://doi.org/10.1021/la0523816>
- Dighero Valenzuela, R. (2023). *Pirólisis de residuos de aguacate para la obtención de combustibles sólido y líquido*. Tesis de Licenciatura, Universidad del Valle de Guatemala, Guatemala.
- Gil, M. J., Soto, A. M., Usma, J. I. & Gutiérrez, O. D. (2012). Contaminantes emergentes en aguas, efectos y posibles tratamientos. *Producción + Limpia* 7(2): 52-73.
- Huang, Y., Hu, S., Zuo, S., Xu, Z., Han, C. & Shen, J. (2009). Mesoporous carbon materials prepared from carbohydrates with a metal chloride template. *Journal of Materials Chemistry* 19: 7759-7764. <https://doi.org/10.1039/B911011A>
- Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología de Guatemala (INSIVUMEH). (2023). Índices de Contaminación (ICOS). Marzo del 2023. [<https://insivumeh.gob.gt/wp-content/uploads/2023/04/Informe-ICOS-Marzo-2023.pdf>]. Accesado: 12 de junio de 2025.
- Kennedy, J. & Murthy, Z. (2011). Activated carbons: classifications, properties and applications. [https://www.researchgate.net/publication/285933645_Activated_carbons_Classifications_properties_and_applications]. Accesado: 12 de junio de 2025.
- Leite, A. B., Saucier, C., Lima, E. C., dos Reis, G. S., Umpierrez, C. S., Mello, B. L., Shirmardi, M., Dias, S. L. P. & Sampaio, C. H. (2017). Activated carbons from avocado seed: optimisation and application for removal of several emerging organic compounds. *Environmental Science and Pollution Research* 25: 7647-7661. <https://doi.org/10.1007/s11356-017-1105-9>

- Martínez Fierro, M. C. (2012). *Preparación y caracterización de carbón activo a partir de lignina para su aplicación en procesos de descontaminación de aguas*. Tesis doctoral, Departamento de Química Física Aplicada, Universidad Autónoma de Madrid, España.
- Neimark, A. V. & Ravicovitch, P. I. (2001). Capillary condensation in MMS and pore structure characterization. *Microporous and Mesoporous Materials* 44-45: 697. [https://doi.org/10.1016/S1387-1811\(01\)00251-7](https://doi.org/10.1016/S1387-1811(01)00251-7)
- Suzuki, M. (1994). Activated carbon fiber: Fundamentals and applications. *Carbon* 32(4): 577-586. [https://doi.org/10.1016/0008-6223\(94\)90075-2](https://doi.org/10.1016/0008-6223(94)90075-2)
- Terzyk, A. P. (2004a). Molecular properties and intermolecular forces - factors balancing the effect of carbon surface chemistry in adsorption of organics from dilute aqueous solutions. *Journal of Colloid and Interface Science* 275(1): 9-29. <https://doi.org/10.1016/j.jcis.2004.02.011>
- Terzyk, A. P. (2004b). The effect of carbon surface chemical composition on the adsorption of acetanilide. *Journal of Colloid and Interface Science* 272(1): 59-75. <https://doi.org/10.1016/j.jcis.2003.11.015>
- Treybal, R. E. (2007). *Operaciones de transferencia de masa*. Segunda edición. McGraw Hill, New York, EE.UU.

Evaluación técnica de un aditivo de ligantes bituminosos para mezclas asfálticas

Technical evaluation of a bituminous binder additive for asphalt mixtures

Ana Paula ANDRINO-GONZÁLEZ¹, Luis Ernesto NÚÑEZ-GONZÁLEZ^{1,*} & Gamaliel Giovanni ZAMBRANO-RUANO¹

¹Centro de Procesos Industriales y Departamento de Ingeniería Química, Universidad del Valle de Guatemala, GUATEMALA

Correspondencia: L.E. Núñez-González: (lenunez@uvg.edu.gt)

Recibido: 23/IX/2024; Aceptado: 29/VI/2025

Resumen: El asfalto desempeña un papel fundamental en la pavimentación de carreteras por sus propiedades físicas de durabilidad y adhesión, que lo convierten en un material versátil y confiable. La mejora de estas características es posible mediante el uso de aditivos asfálticos, agentes potenciadores que contribuyen a elevar las características de calidad, como adherencia e impermeabilidad, de las mezclas asfálticas. En este estudio se evaluó técnicamente el efecto del aditivo promotor de adherencia UNOBOND® en las características físicas de un asfalto tipo AC30 y su desempeño en la mezcla asfáltica, por lo que es de gran interés para la industria y no se cuenta con estudios previos. Para el asfalto se llevaron a cabo los ensayos de penetración, viscosidad, punto de ablandamiento y espectroscopía infrarroja con Transformada de Fourier, tanto en condiciones originales como envejecidas para simular la oxidación del asfalto colocado en el pavimento mediante la prueba de Película Delgada en Horno Rotatorio. Asimismo, se midieron las tres concentraciones de aditivo de 0.03%, 0.05% y 0.08% (m/m) recomendadas por la empresa comercializadora de asfaltos UNO Guatemala. A la mezcla asfáltica se le realizaron los análisis de hervido y de Relación en la Resistencia a la Tensión Indirecta (TSR). Los resultados obtenidos indicaron que la adición de aditivo ofrece protección contra la oxidación y mejora la resistencia al ablandamiento térmico y la fluidez del asfalto tanto original como envejecido. El análisis de hervido indicó que la concentración del 0.08% (m/m) de aditivo maximiza la adherencia al mostrar un 97% agregado recubierto, respaldado por un valor de TSR del 95.3%, demostrando una mayor resistencia al desprendimiento y agrietamiento en condiciones de humedad.

Palabras clave: adhesión, asfalto, durabilidad, envejecimiento, trabajabilidad.

Abstract: Asphalt plays a critical role in road paving due to its physical properties of durability and adhesion, making it a versatile and reliable material. These characteristics can be improved through the use of asphalt additives, which act as enhancers to increase the quality attributes of asphalt mixtures such as adhesion and impermeability. Here, we technically evaluated the effect of the adhesion promoter additive UNOBOND® on the physical properties of an AC30 type asphalt and its performance in the asphalt mix, which is of great interest to the industry, especially given the lack of previous studies. For asphalt, we evaluated penetration, viscosity, softening point, and infrared spectroscopy with Fourier transform, both in its original state and after aging, to simulate the oxidation of asphalt in pavements using the Thin Film Test in Rotary Kiln. Additionally, three additive concentrations (0.03%, 0.05% and 0.08% (m/m)), recommended by the asphalt marketing company UNO Guatemala were tested. The asphalt mixture was subjected to boil tests and Indirect Tensile Strength Ratio (TSR) analyses. The results indicated that the addition of the additive provides protection against oxidation and improves resistance to thermal softening as well as flow properties of both original and aged asphalt. The boil analysis revealed that the 0.08% (m/m) additive concentration maximized adhesion, achieving a 97% coated aggregate, supported by a TSR value of 95.3%, demonstrating greater resistance to stripping and cracking under moisture conditions.

Keywords: adhesion, aging, asphalt, durability, workability.

INTRODUCCIÓN

El asfalto, conocido también como bitumen o ligante bituminoso, es una mezcla de hidrocarburos derivados del petróleo que se obtiene de la fracción más pesada del proceso de destilación fraccionada del petróleo. Se utiliza principalmente en mezclas asfálticas con agregados pétreos para la pavimentación de carreteras por sus características de consistencia, aglutinación y ductilidad, fundamentales para resistir las condiciones climáticas y efectos adversos del envejecimiento (Al-Mohammedawi & Mollenhauer 2022).

Antes de colocar la mezcla asfáltica en el pavimento, se realiza una serie de pruebas físicas en el asfalto para asegurar que el material pueda cumplir con las especificaciones de calidad, por ejemplo, adherencia, impermeabilidad, estabilidad térmica, entre otros. El proceso consiste en ensayos estandarizados, por ejemplo, de viscosidad, punto de inflamación y peso específico. No obstante, la exposición a las condiciones ambientales severas, como lluvia y calor, así como la carga del tráfico, afectan la calidad y durabilidad del asfalto, principalmente la adhesividad entre partículas (Leiva 2018).

La tecnología ha permitido desarrollar aditivos asfálticos, los cuales son promotores de una característica específica del asfalto, por ejemplo, la resistencia a las fluctuaciones de temperatura. Asimismo, son útiles para reducir los costos de operación, garantizar la calidad del asfalto y de esta manera cumplir con los principios básicos de durabilidad, adhesión, cohesión y capacidad de soportar cierto peso de tráfico (Ávila Parra & Velasco 2021). Sin embargo, en Guatemala no se cuenta con estudios técnicos para la evaluación de aditivos asfálticos, que permitan evaluar sus propiedades y brindar a la industria local la información para su potencial aplicación.

Debido a las propiedades incrementales al utilizar aditivos, la industria se interesa por contar con evaluaciones técnicas detalladas, que permitan el entendimiento de lo que sucede cuando un aditivo es empleado en el asfalto. Partiendo de dicha necesidad, el objetivo de este trabajo fue evaluar técnicamente las características fisicoquímicas del asfalto al colocarle el aditivo AC30 en condiciones originales y envejecidas para verificar su potencial aplicación. En el estudio se utilizaron pruebas normadas localmente para evaluar el efecto de tres concentraciones del aditivo mejorador de adherencia en la mezcla asfáltica, las cuales consisten en el análisis de hervido, una prueba cualitativa que evalúa la adherencia del asfalto a los agregados mediante el calentamiento de la muestra y el análisis de Relación en la Resistencia a la Tensión Indirecta (TSR), una prueba cuantitativa, para obtener la medida indirecta del aditivo con respecto a su adherencia y resistencia a la humedad.

MATERIALES Y MÉTODOS

Caracterización fisicoquímica del asfalto AC30 en condiciones originales. Se caracterizó físicamente el ligante bituminoso AC30 en condiciones originales con las pruebas normadas de penetración (American Society for Testing and Materials (ASTM) D5, 2020a), viscosidad a 60°C (ASTM D4402, 2023) y punto de ablandamiento (ASTM D36, 2020b). En el ensayo de penetración se empleó un penetrómetro marca Precisión Modelo 73515 y un baño de agua Fisher Scientific a 25°C. Primero, se preparó el baño de agua a 25°C y se introdujo la muestra de asfalto. Luego, se colocó la muestra en el penetrómetro y se aplicó una aguja con una carga de 100 gramos. La aguja penetró verticalmente en la muestra durante cinco segundos y se midió la distancia penetrada. En el ensayo de viscosidad a 60°C se utilizó el viscosímetro dinámico Brookfield DV-I Prime. La muestra se colocó en el viscosímetro, se estableció una velocidad de 0.8 rpm y luego se midió el valor de la viscosidad. En el ensayo de punto de ablandamiento se colocó la muestra de asfalto en dos anillos de latón y se posicionaron bolas de acero encima. Luego, se introdujo en el sistema un beaker de 800 mL dentro un baño de agua Fisher Scientific a 4°C. Después, se colocó el sistema sobre una estufa ThermoScientific Cimarec + SP88857105 y se calentó. La temperatura a la cual la bola de acero, recubierta de asfalto, tocó el fondo del beaker se registró como la temperatura de punto de ablandamiento. Por otra parte, se caracterizó químicamente el asfalto por medio de la espectroscopía infrarroja por Transformada de Fourier (FTIR) utilizando el espectrofotómetro Perkin Elmer Frontier FT-IR UATR + Software. Primero se realizó una corrida de fondo para calibrar el equipo y se limpió el lente de emisión de luz infrarroja con etanol absoluto. Posteriormente, se colocó aproximadamente 1 cm³ de muestra con una espátula en el sensor del espectrofotómetro. Finalmente, se presionó el botón "Play" y se obtuvo el espectro infrarrojo (IR) con el software Perkin Elmer Spectrum.

Caracterización fisicoquímica del asfalto AC30 en condiciones envejecidas. Para caracterizar el asfalto AC30 en condiciones envejecidas, se sometió a la prueba de Película Delgada en Horno Rotatorio (RTFOT) (ASTM- D2872, 2022). Primero, se calentó la muestra dentro de un horno que no excediera los 150°C para garantizar que estuviera completamente fluida. Luego se revolvió la muestra manualmente evitando incorporar burbujas de aire. Después se vertieron 35 ± 0.5 g de la muestra en vasos de vidrio, esparciendo en las paredes para formar una película delgada. Luego, se colocaron los vasos en el carro del horno Cox & Sons Modelo CS325 y se configuró el equipo a 15 ± 0.2 rev/min durante 85 min a 163 ± 0.5°C. Al finalizar se retiró cada vaso de muestra y se transfirió su contenido a los recipientes respectivos para los análisis de penetración, viscosidad a 60°C, punto de ablandamiento y FTIR descritos anteriormente.

Análisis de aditivo en mezcla asfáltica. Para realizar el análisis de hervido (ASTM D3625, 2024a) y de relación en la Resistencia a la Tensión Indirecta (TSR) (ASTM D4867, 2024b) en la mezcla asfáltica, se utilizó una piedra caliza como agregado y el mismo asfalto AC30 en condiciones originales como ligante. Además, se eligieron tres concentraciones de aditivo (0.03%, 0.05%, 0.08% (m/m)) con base en los dos límites y el valor intermedio del rango utilizados por UNO Guatemala (UNO Bitumen 2015). Para el análisis de hervido de la muestra control, se vertió agua destilada en un recipiente limpio a la mitad y se calentó hasta alcanzar una temperatura entre 85 y 95°C. Luego, se colocó aproximadamente 250 g de la mezcla de agregados revestidos con asfalto en el agua hirviendo y se mantuvo la ebullición durante 10 min $\pm$ 15 s. Se retiró el recipiente de la fuente de calor y se vació la mezcla húmeda sobre una toalla de papel blanca. Finalmente, se observó el agregado (grueso y fino) para el recubrimiento bituminoso retenido. Cualquier área delgada, marrón y translúcida se consideró completamente recubierta. Se siguió el mismo procedimiento para las tres muestras restantes con las concentraciones de aditivo respectivas.

Por otro lado, para el análisis TSR, se compactaron un total de seis muestras a 6 - 8% de espacios de aire, tres sujetas a un acondicionamiento de humedad y tres sin acondicionar. Las tres primeras se acondicionaron con 50 - 80% de saturación al vacío por 3 a 5 min y luego se almacenaron en una bolsa cerrada con 10 mL de agua dentro de un freezer por 16 a 20 horas. Posteriormente se colocaron en un baño térmico a 60°C por 24 horas y después se transfirieron a otro baño térmico a 25°C por 2 horas. Simultáneamente, las tres muestras sin acondicionamiento se colocaron dentro de una bolsa cerrada y se sumergieron dentro del baño térmico a

25°C por 2 horas. Finalmente, se midió la resistencia a la tracción indirecta máxima con la mordaza de Lottman del marco de carga Gilson, Karol-Warner Modelo MS-87.

Caracterización fisicoquímica del asfalto AC30 con las tres dosificaciones de aditivo. Se caracterizó el asfalto AC30 con las tres dosificaciones de aditivo (0.03%, 0.05% y 0.08% (m/m)) con las pruebas descritas anteriormente de penetración (ASTM D5, 2020a), viscosidad a 60°C (ASTM D4402, 2023) y punto de ablandamiento (ASTM D36, 2020b) y FTIR, tanto en condiciones originales como envejecidas. Cada una de las mezclas se agitó por 30 min en un rango de temperatura de 50 a 110°C para asegurar la homogeneidad y evitar que las fluctuaciones de temperatura influyeran en las propiedades físicas.

RESULTADOS

Caracterización fisicoquímica del asfalto AC30. En Cuadro 1 se muestran los resultados de las pruebas realizadas de acuerdo con la ASTM para el asfalto AC30 estudiado en su estado inicial y luego de ser sometido a condiciones de envejecimientos. Estos resultados muestran la tendencia incremental de viscosidad y punto de ablandamiento, y de reducción de la penetración con el envejecimiento de las muestras.

Los resultados del análisis FTIR mostraron (Fig. 1) que tanto el asfalto original como envejecido exhibieron los picos distintivos asociados a alcanos en la región de 3,000 a 2,840 cm^{-1} , alquenos a 1,600 cm^{-1} , alquil aril éter en el rango de 1,275 a 1,020 cm^{-1} y compuestos aromáticos a partir de 880 cm^{-1} en adelante.

Cuadro 1. Resultados promedio de los ensayos de penetración, viscosidad y punto de ablandamiento para asfalto AC30 original y envejecido.

Table 1. Average values of penetration, viscosity and softening point tests for AC30 asphalt in original and aged conditions.

Ensayo	Asfalto original	Asfalto envejecido
Penetración (dmm)	63.83 $\pm$ 0.913	34.90 $\pm$ 1.095
Viscosidad a 60°C (P)	2,875.50 $\pm$ 0.707	8,683.00 $\pm$ 1.414
Punto de ablandamiento (°C)	48.45 $\pm$ 0.574	52.875 $\pm$ 0.433

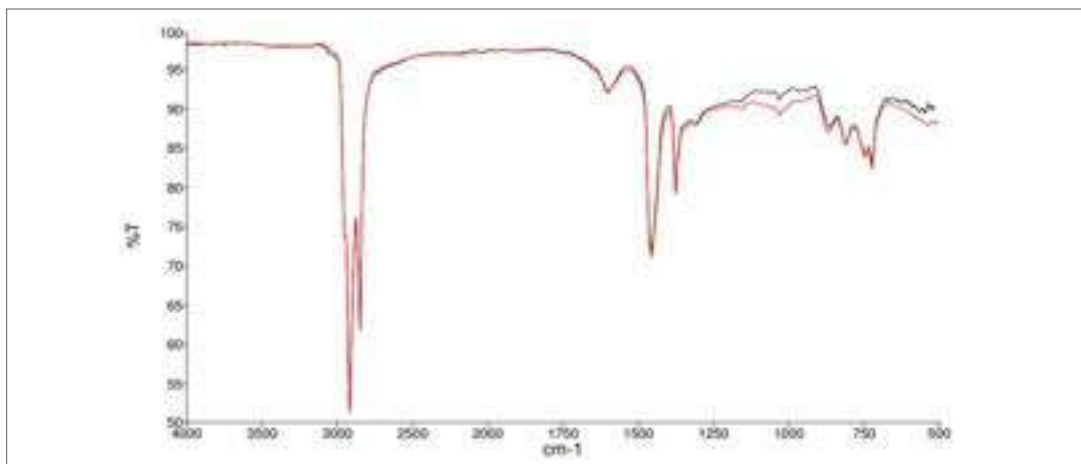


Figura 1. Comparación de espectros infrarrojo del asfalto AC30 en condiciones originales (línea negra) y envejecidas (línea roja). El eje y presenta el porcentaje de transmitancia y el eje x la frecuencia analizada en cm^{-1} .

Figure 1. Comparison of infrared spectra of AC30 asphalt in original (black line) and aged (red line) conditions. The y-axis shows the percentage of transmittance and the x-axis shows the frequency analyzed in cm^{-1} .

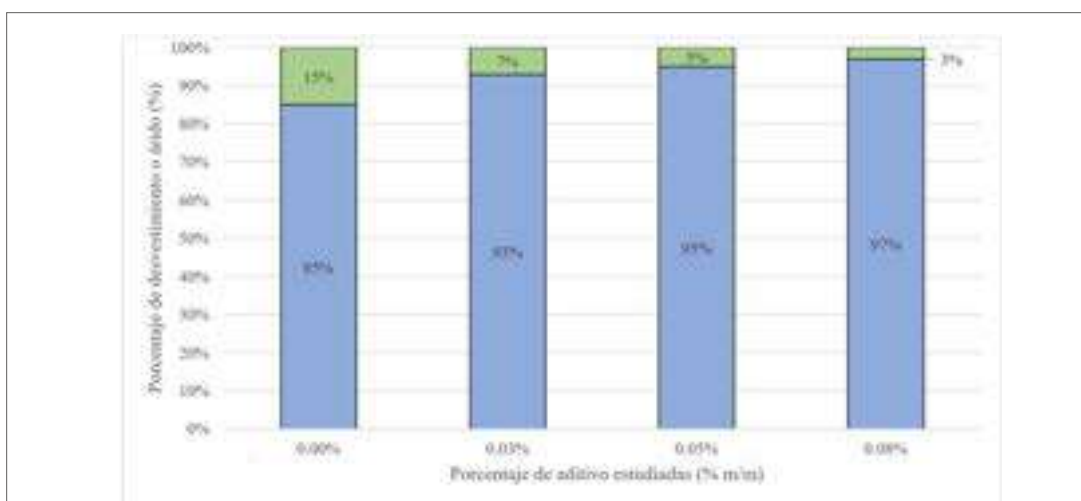


Figura 2. Porcentajes de desvestimiento (verde) y árido recubierto (azul) para el asfalto AC30 con las tres concentraciones de aditivo analizadas.

Figure 2. Percentages of uncoated (green) and coated (blue) aggregate for AC30 asphalt with the three additive concentrations tested.

Análisis de aditivo en la mezcla asfáltica

En Fig. 2 se muestran los porcentajes de desvestimiento y el valor complementario de porcentaje árido recubierto para diferentes porcentajes de aditivo probados en el asfalto. Estos se complementan con el resultado del Cuadro 2, en donde se evidencia el incremento de la resistencia a la tensión indirecta al utilizar el aditivo estudiado en el estudio. Ambos resultados demuestran el efecto del aditivo sobre propiedades fundamentales del asfalto.

En los ensayos para la mezcla asfáltica según las normas ASTM D3625-96 (2024a) y ASTM D 4867 (2024b), el análisis

de hervido mostró que la concentración de 0.08% (m/m) de aditivo maximiza la adherencia en la mezcla asfáltica, reduciendo notablemente el desvestimiento desde un 15% a un 3% (Fig. 2). El porcentaje de áridos recubiertos aumenta proporcionalmente (85%, 93%, 95% y 97%) a la concentración de aditivo (0.00%, 0.03%, 0.05% y 0.08% (m/m), respectivamente)). Asimismo, el porcentaje de desvestimiento, es decir, la pérdida de la capa de asfalto que recubre los agregados en la mezcla asfáltica disminuye (15%, 7%, 5% y 3%, respectivamente) conforme la concentración de aditivo aumenta.

Cuadro 2. Resultados del ensayo de Resistencia a la Tracción Indirecta para el asfalto AC30 sin aditivo y con la concentración de aditivo que maximiza la adherencia entre partículas de agregado pétreo.

Table 2. Indirect Tensile Strength test results for AC30 asphalt without additive and with the additive concentration that maximizes the adhesion between aggregate particles.

Concentración de aditivo	Relación de Resistencia a la Tensión Indirecta
0.00% (m/m)	78.3%
0.08% (m/m)	95.3%

Cuadro 3. Resultados promedio de los ensayos de penetración, viscosidad y punto de ablandamiento para asfalto AC30 en condiciones originales y envejecidas con las tres concentraciones de aditivo analizadas.

Table 3. Average results of penetration, viscosity and softening point tests for AC30 asphalt in original and aged conditions with the three additive concentrations analyzed.

Ensayo	Aditivo al 0.03% (m/m)	Aditivo al 0.05% (m/m)	Aditivo al 0.08% (m/m)
Condiciones originales			
Penetración (dmm)	59.33 ± 1.826	61.08 ± 1.646	61.92 ± 1.307
Viscosidad a 60°C (P)	2,850.50 ± 3.536	2,984.50 ± 4.950	3,048.00 ± 2.828
Punto de ablandamiento (°C)	48.88 ± 0.328	50.10 ± 0.469	51.75 ± 0.866
Condiciones envejecidas			
Penetración (dmm)	35.83 ± 1.155	37.67 ± 1.155	38.67 ± 1.163
Viscosidad a 60°C (P)	8,821.50 ± 2.121	8,836.50 ± 4.950	8,828 ± 2.828
Punto de ablandamiento (°C)	54.60 ± 0.849	55.875 ± 0.456	56.025 ± 0.218

Caracterización fisicoquímica del asfalto AC30 con las tres dosificaciones de aditivo

Los resultados obtenidos muestran las propiedades originales y envejecidas como medio de comparación del efecto del aditivo utilizado (Cuadro 3). Para la evaluación de las tres dosificaciones de aditivo elegidas de 0.03%, 0.05% y 0.08% (m/m), los resultados del ensayo de penetración muestran que la adición de aditivo incrementa la dureza del asfalto original, pero disminuye la del asfalto envejecido. En el ensayo de punto de ablandamiento, se observa un aumento directamente proporcional con la concentración de aditivo, tanto en el asfalto original como en el envejecido. En cuanto a la viscosidad a 60°C, esta aumenta con la concentración de aditivo. El asfalto

envejecido aditivado a las tres concentraciones aumenta su dureza a 25°C, se vuelve más viscoso a 60°C y mantiene esta dureza hasta alcanzar temperaturas más altas antes de comenzar a ablandarse (Cuadro 3).

Figura 3 muestra los gráficos de caja y bigotes de las diferentes pruebas realizadas al asfalto en condiciones originales y envejecidas, lo que evidencia no solamente la tendencia general de cada propiedad con las diferentes concentraciones probadas, sino además permite la comparación de variabilidades de las pruebas realizadas, con lo que se valida de manera gráfica la significancia de las diferencias encontradas para los porcentajes probados.

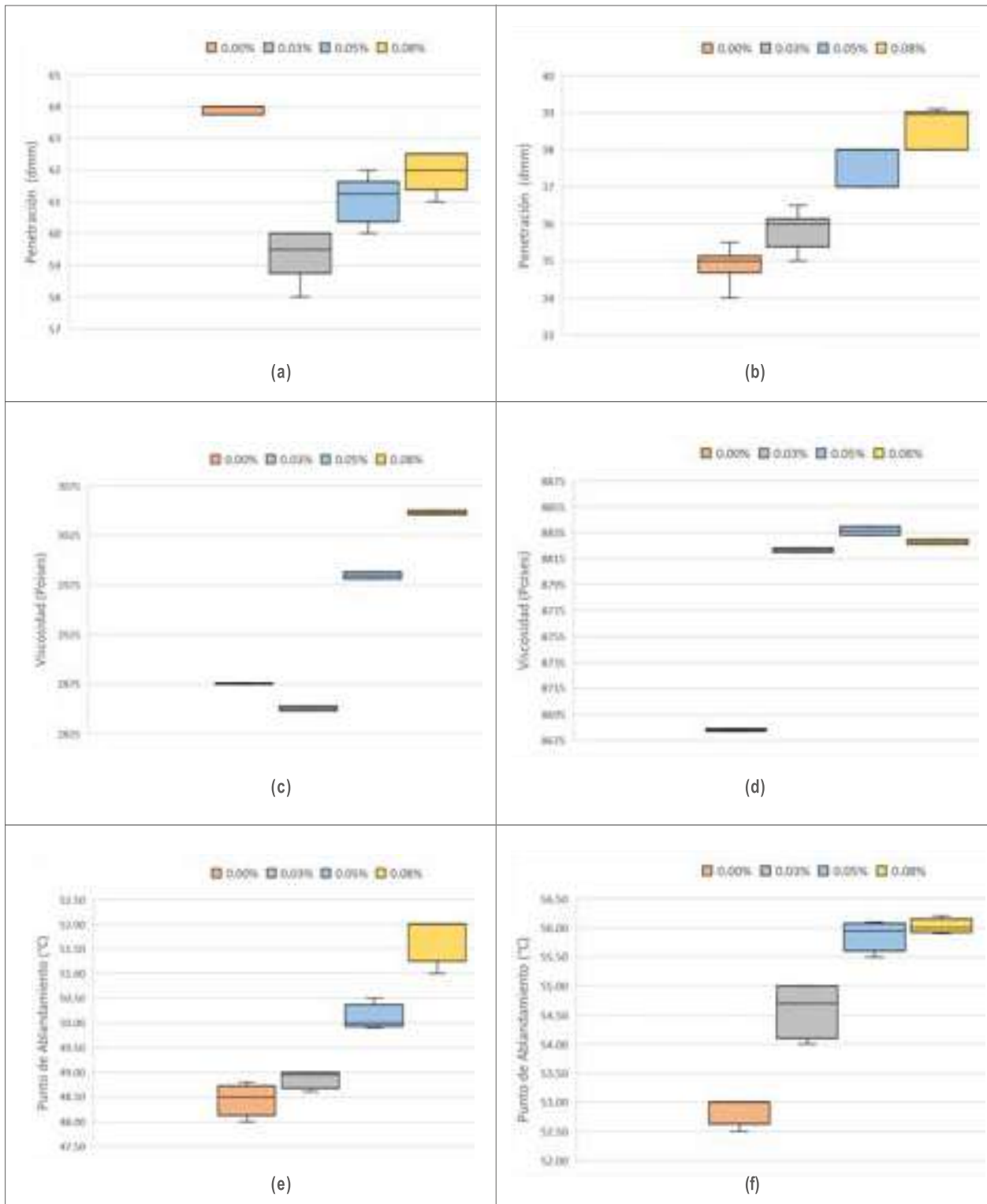


Figura 3. Diagrama de caja y bigotes para el ensayo de penetración del asfalto AC30 en condiciones originales (a) y envejecidas (b); ensayo de viscosidad a 60°C del asfalto AC30 en condiciones originales (c) y envejecidas (d); ensayo de punto de ablandamiento del asfalto AC30 en condiciones originales (e) y envejecidas (f). Los porcentajes representan el porcentaje másico de aditivo estudiado en cada uno de los análisis efectuados.

Figure 3. Box-and-whisker plot for penetration test of AC30 asphalt in original (a) and in aged conditions (b); viscosity test at 60°C of AC30 asphalt in original (c) and in aged conditions (d); softening point test of AC30 asphalt in original (e) and in aged conditions (f). The percentages represent the mass percentage of additive evaluated in each of the analyses performed.

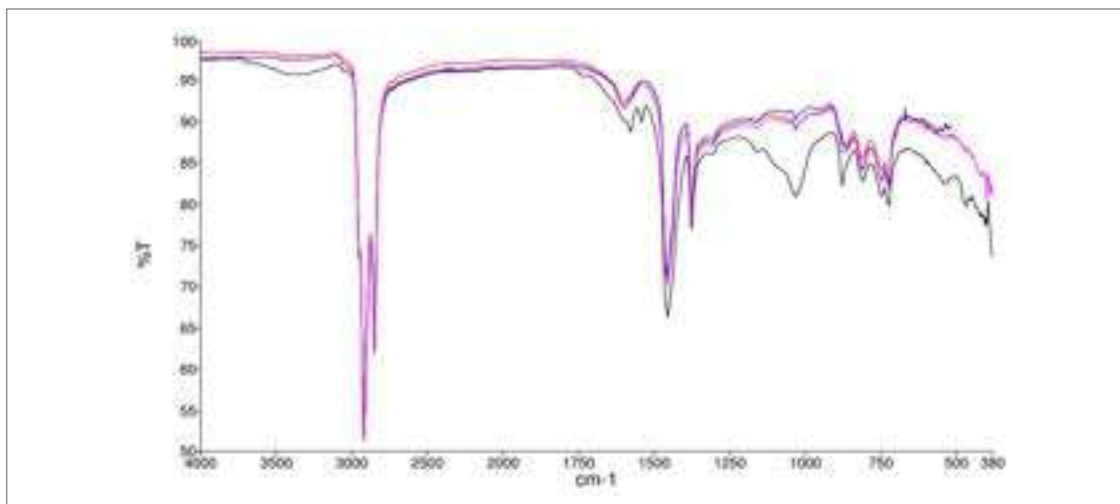


Figura 4. Comparación de espectros infrarroja del asfalto AC30 en condiciones originales con las tres concentraciones de aditivo. La línea azul indica el espectro del asfalto sin aditivo, mientras que la roja se refiere a la concentración de 0.03% (m/m), la negra a la concentración de 0.05% (m/m) y la morada a la de 0.08% (m/m). El eje y presenta el porcentaje de transmitancia y el eje x la frecuencia analizada en cm^{-1} .

Figure 4. Comparison of infrared spectra of AC30 asphalt in original conditions with the three additive concentrations. The blue line indicates the spectrum of the asphalt without additive, while the red, black, and purple lines refers to 0.03% (m/m), 0.05% (m/m), and 0.08% (m/m) additive concentrations, respectively. The y-axis shows the percentage of transmittance and the x-axis shows the frequency analyzed in cm^{-1} .

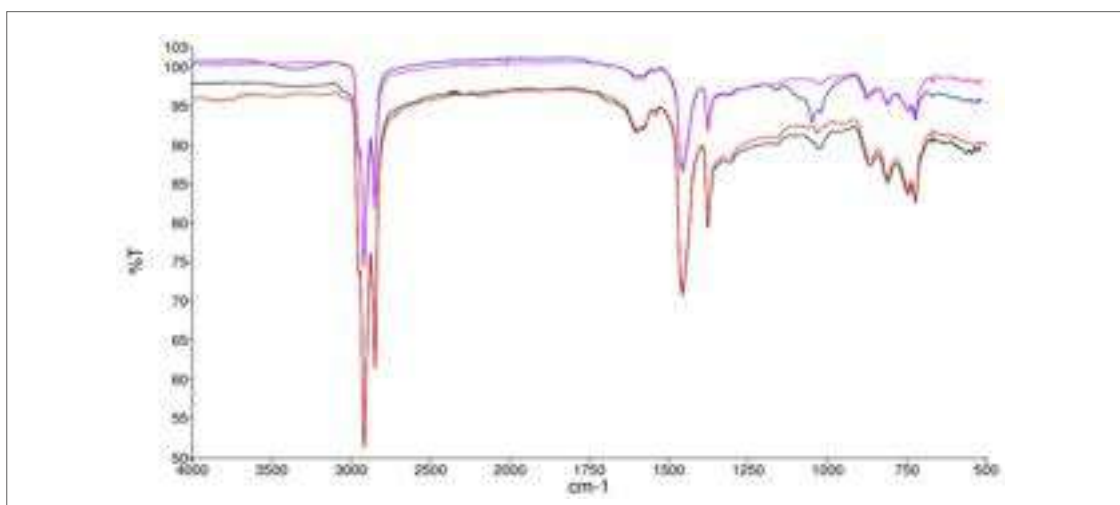


Figura 5. Comparación de espectros infrarroja del asfalto AC30 en condiciones envejecidas con las tres concentraciones de aditivo. La línea morada indica el espectro del asfalto sin aditivo, mientras que la azul se refiere a la concentración de 0.03% (m/m), la negra a la concentración de 0.05% (m/m) y la roja a la de 0.08% (m/m). El eje y presenta el porcentaje de transmitancia y el eje x la frecuencia analizada en cm^{-1} .

Figure 5. Comparison of infrared spectra of AC30 asphalt in aged conditions with the three additive concentrations. The purple line indicates the spectrum of the asphalt without additive, while the blue, black and red lines refers to 0.03% (m/m), 0.05% (m/m) and 0.08% (m/m) additive concentrations, respectively. The y-axis shows the percentage of transmittance and the x-axis shows the frequency analyzed in cm^{-1} .

DISCUSIÓN

Caracterización fisicoquímica del asfalto AC30

De los resultados obtenidos, se infiere que el asfalto envejecido aumenta su dureza a una temperatura ambiente de 25°C, experimenta una mayor viscosidad a 60°C y retiene su dureza hasta alcanzar los 53°C antes de mostrar signos de ablandamiento. Por lo tanto, el envejecimiento produce un efecto de endurecimiento ante la combinación de factores que son medidos con las pruebas estándar ASTM D5-06 (2020a), ASTM D4402-02 (2023), ASTM D36-95 (2020b) y ASTM D2872-97 (2022).

Los picos asociados a alcanos, alquenos, alquil aril éter y compuestos aromáticos concuerdan con los obtenidos en el estudio realizado por Leiva (2018) para asfalto virgen AC30. Sin embargo, difieren en la presencia de benceno sustituido en la región de 500 cm^{-1} , el cual está ausente en el asfalto en condiciones originales. Los picos correspondientes a los aromáticos y sulfóxidos son más pronunciados en el asfalto envejecido, lo cual puede ser la causa de la tendencia del asfalto envejecido a endurecerse según los ensayos de penetración, viscosidad y punto de ablandamiento discutidos anteriormente. El mecanismo de oxidación promueve la formación de benceno, así como de carbonilos ($\text{C} = \text{O}$) y sulfóxidos ($\text{S} = \text{O}$) que corresponden a las bandas de 1,705 cm^{-1} y 1,030 cm^{-1} .

No obstante, no hubo presencia de la banda del ácido carboxílico en los espectros obtenidos. De acuerdo con un estudio realizado por Villegas-Villegas (2015), el asfalto AC30 analizado en condiciones envejecidas por el método RTFOT tampoco evidenció la presencia de este compuesto debido a que se simula la oxidación a corto plazo en planta y compactación en carretera. Cuando el asfalto se envejeció con el método PAV, que simula el estado del material entre los siete y los diez años de estar en carretera, el grupo carbonilo si estuvo presente (Villegas-Villegas 2015). Esto indica que, a un mayor tiempo de envejecimiento, la presencia de grupos sulfóxidos aumenta. En conclusión, la ausencia de picos característicos de benceno sustituido en el asfalto en condiciones originales, en contraste con su presencia en el asfalto envejecido, demuestra que es un producto de la degradación del asfalto debido a la exposición a factores ambientales adversos.

Análisis de aditivo en la mezcla asfáltica

El hecho de que la mezcla sin aditivo presentó un 15% de desvestimiento (Fig. 2) puede deberse a que la piedra caliza empleada como agregado presentó una baja porosidad que redujo la adherencia entre las superficies de las partículas de agregado y el asfalto. Por la composición de la piedra que consiste mayormente en cal, el agregado es propenso al desvestimiento. En contraste, la mezcla con un 0.08% (m/m)

de aditivo mostró un drástico descenso en el desvestimiento relacionado con la capacidad del aditivo de modificar químicamente la superficie apolar de los agregados (ver Fig. 2), lo que reduce la tendencia a la separación. Además, se determinó que esta concentración de aditivo (0.08% (m/m)) obtuvo un valor del ensayo de Resistencia a la Tensión Indirecta de 95.3% que refleja una mayor resistencia al desprendimiento y agrietamiento de la mezcla en condiciones de humedad que la mezcla sin aditivo con un TSR del 78.3% (Cuadro 2). Estos datos son aceptables ya que el valor mínimo TSR sugerido para el ensayo con mordaza de Lottman es 80% (Larrea 2015). Asimismo, los resultados refuerzan que una concentración del 0.08% (m/m) de aditivo mejora la adherencia bajo efectos de humedad, con una diferencia entre ambos del 17%. Esto indica que el aditivo evita el daño por humedad en la mezcla asfáltica que se fundamenta en una pérdida de resistencia y se refleja en el pavimento como agrietamientos, deformaciones o desprendimientos (Larrea 2015).

Los resultados de Larrea (2015) se correlacionan con los obtenidos en el presente estudio, a pesar del uso de un asfalto con grado de penetración 60-70 y agregados de río, presentan para los porcentaje de 0.08% (m/m) y 0.05% (m/m) los mejores resultados. En el estudio de Larrea (2015) se determinó que, para el ensayo TSR, la adición de aditivos como cal hidratada y grano de caucho reciclado en las mezclas presentó un mejor desempeño en condiciones húmedas y una mayor unión entre agregados. Este resultado refleja la posibilidad de un efecto lubricante para concentraciones arriba de 0.08% (m/m) de aditivo UNOBOND®. En conclusión, la concentración de 0.08% (m/m) de aditivo asfáltico mostró una mayor adherencia y resistencia a la humedad en la mezcla asfáltica. Sin embargo, no se encontraron diferencias claras con la concentración de 0.05% (m/m), por lo que analizar ambas opciones económicamente es recomendable.

Caracterización fisicoquímica del asfalto AC30 con las tres dosificaciones de aditivo

Para la evaluación de las tres dosificaciones de aditivo elegidas, los resultados del ensayo de penetración muestran que el aditivo ayuda a reducir la oxidación, genera una mayor resistencia a la deformación con concentraciones altas de aditivo, y mejora la fluidez del asfalto. El asfalto envejecido aditivado a las tres concentraciones aumenta su dureza a 25°C, se vuelve más viscoso a 60°C y mantiene esta dureza hasta alcanzar temperaturas más altas antes de comenzar a ablandarse (Cuadros 3). Esto concuerda con el comportamiento teórico del asfalto y, comparando con los valores del asfalto envejecido sin aditivo (Cuadro 1), se infiere que la adición de aditivo ayuda a reducir el efecto del envejecimiento.

Los datos de las tres concentraciones de aditivo son generalmente simétricos, lo que demuestra su normalidad (Fig. 3). Asimismo, la longitud de los bigotes es estrecha, lo cual

indica una menor dispersión de los resultados, y el único dato atípico observado se encuentra en Fig. 3a para el ensayo de penetración en el asfalto original sin aditivo. Esta variabilidad en la distribución de los valores en torno a la media, principalmente para los ensayos de penetración y punto de ablandamiento, se atribuyen al error humano durante la lectura de los resultados.

Las penetraciones medias de los cuatro grupos fueron distintas (ver Figs 3a y 3b). Con ello se deduce que añadir aditivo al asfalto original aumenta su dureza, mientras que la del asfalto envejecido disminuye cuando la concentración de aditivo aumenta. Esto indica que el aditivo contribuye a que el asfalto se esté oxidando menos. Por otro lado, el punto de ablandamiento aumentó a medida en que las concentraciones de aditivo incrementaban (Figs 3e y 3f). Este comportamiento directamente proporcional indica que el asfalto tanto en condiciones originales como envejecidas es menos susceptible a fluir y ablandarse con la temperatura con una mayor dosificación de aditivo.

No se encontraron investigaciones del mismo tipo realizadas para asfalto tipo AC30. Sin embargo, en la Universidad Piloto de Colombia en 2016 se realizó un estudio sobre el efecto de la lignina en el envejecimiento de un asfalto 80-100 (Ávila & Velasco 2021). En este caso, el asfalto en condiciones envejecidas modificado con concentraciones bajas de lignina (5%) mostró un punto de ablandamiento mayor que el asfalto en condiciones originales, pero menor con concentraciones altas (entre 10 y 20%). También el asfalto en condiciones originales modificado con lignina presentó siempre una penetración mayor que el asfalto en condiciones envejecidas y en ambos casos se alcanzó una penetración máxima con la concentración de 15%. El comportamiento fue distinto con el obtenido en este trabajo debido a las diferencias en la clasificación del asfalto y al aditivo empleado, pero en general se relaciona con la tendencia del asfalto envejecido a volverse más blando con la adición de aditivo.

El asfalto en condiciones originales sin aditivo mostró una viscosidad mayor comparado con aditivo al 0.03% (m/m), pero menor a las viscosidades obtenidas con aditivo al 0.05% y 0.08% (m/m) (Figs 3c y 3d). El asfalto en condiciones envejecidas mostró que la viscosidad aumentó proporcionalmente hasta llegar a un valor máximo con aditivo al 0.05% (m/m) y luego disminuyó con aditivo al 0.08% (m/m). A partir de ello se infiere que se alcanza una mayor fluidez y, por tanto, mayor trabajabilidad en el asfalto original al añadir una concentración de aditivo de 0.08% (m/m), mientras que para el asfalto envejecido se alcanza con 0.05% (m/m). Estos resultados muestran que el aditivo tiene un efecto en las propiedades físicas del asfalto, lo que puede ser útil para ajustar las características según las necesidades de diseño y aplicación específica en la construcción de carreteras.

El análisis FTIR mostró que la adición del aditivo en concentraciones del 0.05% y 0.08% (m/m) tiene un impacto en la composición química del asfalto por la inhibición de la formación de aromáticos en la región de 500 cm^{-1} y la presencia de benceno sustituido y alcohol (Fig. 5). Para el primer caso del asfalto en condiciones originales, las concentraciones de 0.05% y 0.08% (m/m) mostraron picos más pronunciados debajo de 500 cm^{-1} que corresponde al benceno sustituido, es decir, a grupos aromáticos en general que no estuvieron presentes en el asfalto sin aditivo. Asimismo, únicamente la concentración de 0.05% (m/m) presentó un pico ancho que corresponde al alcohol. Esto puede deberse a la composición química del aditivo UNOBOND® y a la posible contaminación de la muestra con el etanol absoluto utilizado como solvente en la realización de las pruebas.

Por otro lado, el asfalto envejecido con una concentración de 0.05% y 0.08% (m/m) mostraron picos más pronunciados debajo de 500 cm^{-1} que corresponden al contacto con el aire que causa una leve oxidación. La presencia de contaminantes en las muestras (como polvo o solvente), el ruido de fondo del espectrómetro y la posible contaminación del sistema óptico o la falta de alineación, son errores que pueden explicar que solo el porcentaje de 0.05% (m/m) obtuviera picos considerables en los espectros.

Las concentraciones de 0.05% y 0.08% (m/m) muestran un menor cambio en el porcentaje de transmitancia para los alcanos en la región de $3,000 - 2,840\text{ cm}^{-1}$, alquenos en $1,600\text{ cm}^{-1}$, alquil aril éter en $1,275 - 1,020\text{ cm}^{-1}$ y aromáticos en 880 cm^{-1} en adelante (Fig. 5). Se evidencia una posible contaminación con el solvente que causó un pico ancho leve para el asfalto envejecido con un 0.03% de aditivo. Asimismo, las tres concentraciones mostraron picos debajo de 500 cm^{-1} correspondientes a aromáticos, los cuales son menos pronunciados que en el asfalto aditivado en condiciones originales (Fig. 4), lo que indica que la adición de aditivo impide la formación de aromáticos debido a la oxidación y, debido a que estos compuestos varían de viscosidad con la temperatura. Esto puede ser la causa de que el asfalto envejecido muestre una menor variación de viscosidad cuando contiene aditivo (ver Fig. 3d).

La fluidez del asfalto es una propiedad deseable durante la fase de mezclado y colocación de mezcla asfáltica en carreteras ya que facilita la manipulación y la aplicación. Ello permite una distribución uniforme sobre los agregados para formar una superficie cohesiva y duradera. Sin embargo, es importante encontrar un equilibrio basado en las pruebas físicas realizadas, puesto que una fluidez excesiva podría conducir a problemas como la segregación de los agregados. En conclusión, la adición de las tres concentraciones de aditivo tiene un efecto notable en las propiedades físicas del asfalto, principalmente las concentraciones de 0.05% y 0.08% (m/m) en la dureza según el ensayo de penetración, fluidez a 60°C de acuerdo

con el ensayo de viscosidad. Por lo tanto, la concentración de 0.08% (m/m) se considera cómo la opción más favorable para mejorar la adherencia de la mezcla asfáltica, especialmente en condiciones envejecidas.

AGRADECIMIENTOS

Nuestro profundo agradecimiento se dirige al Departamento de UNO Bitumen de la empresa UNO Guatemala, al laboratorio de la misma empresa en Puerto Cortés, Honduras, al laboratorio de la empresa Serpin, y al Instituto del Asfalto de Guatemala (IAG).

REFERENCIAS

- Al-Mohammedawi, A. & Mollenhauer, K. 2022. Current research and challenges in bitumen emulsion manufacturing and its properties. *Materials* 15(6): 2026. <https://doi.org/10.3390/ma15062026>
- ASTM (American Society for Testing and Materials) International. (2020a). ASTM D36-D95M-14: *Standard test method for softening point of bitumen (ring-and-ball apparatus)* [<https://www.astm.org/Standards/D36.htm>]. Accesado: 31 de marzo 2025.
- ASTM International. (2020b). ASTM D5/D5M-20: *Standard test method for penetration of bituminous materials*. [<https://www.astm.org/Standards/D5.htm>]. Accesado: 31 de marzo 2025.
- ASTM International. 2022. ASTM D2872-22: *Standard test method for effect of heat and air on a moving film of asphalt (rolling thin-film oven test)*. [<https://www.astm.org/Standards/D2872.htm>]. Accesado: 31 de marzo 2025.
- ASTM International. (2023). ASTM D4402-D4402M-23: *Standard test method for viscosity determination of asphalt at elevated temperatures using a rotational viscometer*. [<https://www.astm.org/Standards/D4402.htm>]. Accesado: 31 de marzo 2025.
- ASTM International. 2024a. ASTM D3625/D3625M-20: *Standard practice for effect of water on asphalt-coated aggregate using boiling water*. [<https://www.astm.org/Standards/D3625.htm>]. Accesado: 31 de marzo 2025.
- ASTM International. 2024b. ASTM D4867/D4867M-22e1: *Standard test method for effect of moisture on asphalt mixtures*. [<https://www.astm.org/Standards/D4867.htm>]. Accesado: 31 de marzo 2025.
- Avellán, M. 2007. *Asfaltos modificados con polímeros*. Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala.
- Ávila Parra, J. S. & Velasco Díaz, E. F. 2021. *Evaluación experimental de diferentes aditivos aplicados en una mezcla MDC - 19*. Facultad de Ingeniería, Programa de Ingeniería Civil, Universidad Católica de Colombia, Colombia.
- Larrea, S. 2015. *Estado del arte en el estudio de la adherencia entre el asfalto y el agregado mineral*. Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, Ecuador.
- Leiva, B. 2018. *Caracterización de bitúmenes asfálticos vírgenes y modificados, utilizando la técnica de Espectroscopía Infrarroja con Transformada de Fourier (FTIR)*. Tesis de Licenciado en Ingeniería Química, Universidad del Valle de Guatemala, Guatemala.
- UNO Bitumen. 2015. *La búsqueda de un asfalto mejor*. Hoja técnica No.12-CA, V1-02 de UNOBOND®. Documento técnico propiedad de UNO Bitumen®.
- Villegas-Villegas, R. E., Aguiar-Moya, J. P. & Loria-Salazar, L. G. 2015. Estudio del envejecimiento y oxidación de asfaltos con FTIR y su relación con los parámetros reológicos. *Memorias XVIII CILA*: 209-219.

Obtención de ganancias para maniobra de detumbling de CubeSats basado en Regulador Cuadrático Lineal

Obtaining gains for detumbling maneuver for CubeSats based in Linear Quadratic Regulator

Julio Andrés AVILA

Laboratorio Aeroespacial, Departamento de Ingeniería Mecánica, Facultad de Ingeniería, Universidad del Valle de Guatemala, Guatemala

Correspondencia: (avi19285@uvg.edu.gt)

Recibido: 23/V/2024; Aceptado: 27/V/2025

Resumen: La finalidad de esta investigación fue el diseño e implementación de un controlador capaz de estabilizar un CubeSat 3U a pesar de su diferencia de inercias proveniente de su geometría, el cual es un tipo de satélite miniaturizado cuyas dimensiones son aproximadamente 10 x 10 x 30 cm. Se llevaron a cabo simulaciones numéricas que representan el comportamiento del satélite, específicamente la orientación de este y sus velocidades angulares. Para ello, se definió el modelo matemático del satélite en Matlab. La implementación del regulador lineal cuadrático (LQR, por sus siglas en inglés) requiere de un sistema lineal, por lo que se obtuvieron los respectivos jacobianos del modelo y se definió un punto de equilibrio en el espacio de estados para encontrar la matriz de ganancias que lleve al sistema a dicho punto de equilibrio. Las simulaciones demostraron que este método es lo suficientemente eficiente para mantener al satélite en una orientación determinada en tres escenarios distintos. En el primer escenario, el controlador lleva al satélite a la orientación deseada al estar desfasado; en el segundo, se evita que una perturbación externa altere la estabilidad; y el último muestra que al oscilar descontroladamente es posible detenerlo y llevarlo a la orientación deseada (a esta acción se le llama detumbling). El controlador fue más rápido en estabilizar el sistema en el primer escenario (15 s), seguido por el segundo (22 s) y tercero (25 s), mostrando la funcionalidad del controlador LQR en presencia de variaciones asimétricas en la geometría del CubeSat en los escenarios simulados.

Palabras clave: Control, espacio de estados, orientación, parámetros modificados de Rodrigues, Sistemas dinámicos.

Abstract: The purpose of this study was the design and implementation of a control system capable of stabilizing a 3U CubeSat - a miniaturized satellite measuring approximately 10 x 10 x 30 cm - despite its difference in its inertias due to its geometry. Numerical simulations were performed to model the satellite's behavior, specifically its orientation and angular velocities. To achieve this, the satellite was mathematically modeled in Matlab. The implementation of the Linear Quadratic Regulator (LQR) requires a linear system; therefore, the corresponding Jacobians were obtained, and an equilibrium point in the state space was defined to find the gain matrix that drives the system to that equilibrium point. The simulations demonstrated that this method is sufficiently effective to maintain the satellite in a specific orientation under three different scenarios. In the first scenario, the controller aligns the satellite to the desired orientation when it is misaligned. In the second, it prevents an external disturbance from affecting stability. Finally, the third scenario shows when the satellite is oscillating uncontrollably, it is possible to stop it and bring it to the desired orientation (this action is called detumbling). The controller was fastest at stabilizing the system in the first scenario (15 s), followed by the second (22 s) and the third (25 s), demonstrating the functionality of the LQR controller in the presence of asymmetric variations in the CubeSat's geometry in the simulated scenarios.

Keywords: Control, dynamic systems, Modified Rodrigues Parameters, orientation, state space.

INTRODUCCIÓN

El sistema de determinación y control de orientación (ADCS) de un dispositivo o vehículo espacial es el módulo encargado de proporcionar una estimación de su orientación basado en distintas mediciones, y corregir dicha orientación en tiempo real. Dichas mediciones pueden realizarse mediante sensores como magnetómetros, sensores solares o giroscopios, para posteriormente realizar una estimación sobre la orientación en tiempo real. Existen diversas formas de modelar matemáticamente la orientación de un cuerpo rígido, como los ángulos de Euler (Stevens *et al.* 2016), los cuaterniones y los parámetros modificados de Rodrigues (MRP) (Özgür Doruk 2009), cada una con ventajas y limitaciones (ver Schaub & Junkins 2002). Por ejemplo, los cuaterniones requieren normalización constante para mantener su validez, mientras que los MRP evitan singularidades y son más fáciles de implementar computacionalmente (Pesce *et al.* 2022). La representación de la orientación debe ser manipulable computacionalmente, libre de singularidades, y permitir controlabilidad completa una vez que el sistema es linealizado.

Diversos estudios han propuesto múltiples estrategias de control para CubeSats, incluyendo controladores PID (Proporcional, Integral, Derivativo) y métodos basados en LQR. El controlador PID ha sido ampliamente utilizado en otros estudios (Madhana *et al.* 2023), donde se ha alcanzado la estabilidad para CubeSats 1U. Este controlador se basa en la retroalimentación individual de cada eje, lo que limita su eficiencia en sistemas acoplados como un CubeSat. En cambio, el controlador LQR considera todas las variables de estado simultáneamente, lo que permite un control centralizado y más eficiente para sistemas no lineales. La presente investigación se centra en comparar la efectividad del LQR en distintos escenarios de estabilización para evaluar su desempeño frente a perturbaciones y condiciones iniciales desfavorables.

MATERIALES Y MÉTODOS

La herramienta principal de simulación utilizada fue Matlab, específicamente el toolbox de Control Systems, para diseñar y probar el controlador LQR. Este toolbox cuenta con herramientas que facilitan el desarrollo matemático en el diseño de controladores. El CubeSat considerado fue de 3U con las dimensiones mostradas en Cuadro 1, basadas en estándares americanos (NASA n.d.). Se modeló su dinámica considerando sus seis grados de libertad: tres de traslación y tres de rotación.

Cuadro 1. Características utilizadas para simular un CubeSat 3U.
Table 1. Characteristics utilized to simulate a CubeSat 3U.

Masa	4.0 kg
Inercia en x	0.030 kg · m ²
Inercia en y	0.030 kg · m ²
Inercia en z	0.007 kg · m ²
Longitud en x	10.0 cm
Longitud en y	10.0 cm
Longitud en z	30.0 cm

Para representar su orientación y evitar singularidades, se utilizaron los Parámetros Modificados de Rodrigues (MRP), los cuales permiten una manipulación computacional sencilla. Estos se obtienen a partir de la matriz de rotación (Ecuación 1), la cual es una representación en forma de matriz cuadrada de la orientación del sistema. A diferencia de los cuaterniones, que requieren normalización constante, los MRP son más robustos para simulaciones numéricas y presentan una mayor facilidad para diseñar e implementar el controlador, esto derivado de que los MRP son de tres dimensiones y los cuaterniones de cuatro.

$$\sigma = \frac{1}{\zeta(\zeta + 2)} \begin{pmatrix} C_{23} - C_{32} \\ C_{31} - C_{13} \\ C_{12} - C_{21} \end{pmatrix}$$

$$\zeta = \sqrt{\text{trace}(C) + 1}$$

Ecuación 1. Cálculo de los MRP en función de la matriz de rotación.
Equation 1. Calculation of the MRPs based on the rotation matrix..

donde σ = Vector de orientación en forma de MRP; C = Matriz de rotación.

Para ciertos valores críticos de los MRP, se implementó una transformación al conjunto sombra, el cual es un vector que representa la misma orientación pero manteniéndose acotado (ver Schaub & Junkins 2002), con el fin de evitar divergencias numéricas (Ecuación 2). Esta transformación ocurre cuando la magnitud del vector de orientación alcanza valores cercanos a la unidad, momento en el cual se reemplaza por una representación equivalente que evita la singularidad.

$$\sigma_i^s = \frac{-\sigma_i}{\sigma^2}$$

Ecuación 2. Cálculo del conjunto sombra en función de los MRP.
Equation 2. Calculation of the MRPs based on the rotation matrix.

donde σ_i^s representa a cada término del vector del conjunto sombra individualmente.

La dinámica del satélite se describe mediante una ecuación diferencial no lineal (Ecuación 3), la cual fue linealizada alrededor de un punto de equilibrio definido por el usuario. Este análisis incluyó la obtención de los jacobianos del sistema y la evaluación del acoplamiento entre los ejes de rotación. El sistema linealizado se expresa como $\dot{x} = Ax + Bu$, donde x incluye las variables de estado y u representa las entradas de control y tanto A como B son las matrices resultantes de aplicar los respectivos jacobianos en la linealización. La dinámica no lineal se define como:

$$\dot{x} = f(x, u) = \begin{pmatrix} \frac{1}{4}[(1 - \sigma^2)I_{3 \times 3} + 2\sigma + 2\sigma\sigma^T]^B \omega \\ -\frac{(I_y - I_z)\omega_y\omega_z + \tau_x}{I_x} \\ -\frac{(I_z - I_x)\omega_z\omega_x + \tau_y}{I_y} \\ -\frac{(I_x - I_y)\omega_x\omega_y + \tau_z}{I_z} \end{pmatrix}$$

Ecuación 3. Dinámica del CubeSat medida con MRP.
Equation 3. CubeSat dynamics measured using MRPs.

donde x corresponde al vector de variables de estado del sistema; u corresponde a las entradas de control (actuadores) del sistema; $I_{3 \times 3}$ es la matriz identidad de 3×3 ; I_x corresponde a la inercia alrededor del eje x , respectivamente con los otros ejes; ω_x corresponde a la velocidad angular alrededor del eje x , respectivamente con los otros ejes; τ_x corresponde al torque aplicado alrededor del eje x , respectivamente con los otros ejes.

El controlador LQR se diseñó para minimizar una función de costo cuadrática, donde Q y R son matrices de penalización. En la presente investigación se utilizaron matrices identidad como punto de partida, ajustadas posteriormente para evaluar la sensibilidad del sistema. La matriz de ganancias K se obtuvo utilizando la función lqr de Matlab.

Los actuadores se modelaron como generadores de torque ideales con límites máximos basados en especificaciones de CubeSats comerciales, los cuales pueden ser magne-torques o ruedas inerciales. Se introdujeron perturbaciones manuales en el modelo para evaluar la robustez del sistema ante condiciones adversas. Se utilizaron integradores numéricos de cuarto orden (Runge-Kutta) para la simulación del sistema completo. Para verificar el control sobre el sistema, se implementaron gráficas del error de orientación y el uso de actuadores, además de una visualización gráfica mediante una animación del comportamiento dinámico del CubeSat (Fig. 1).

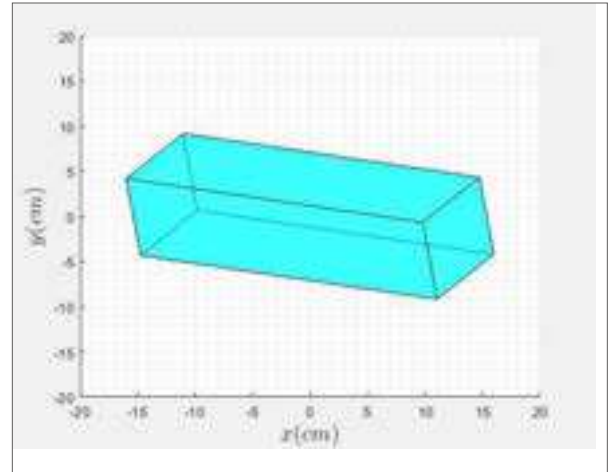


Figura 1. Animación de la orientación del CubeSat en el espacio durante las simulaciones.

Figure 1. Animation of CubeSat's orientation in space during the simulations.

RESULTADOS

Se realizaron tres simulaciones distintas que representan escenarios realistas, donde cada gráfica muestra la evolución en el tiempo de cada uno de los parámetros de Rodrigues (representados como σ) y de las velocidades angulares.

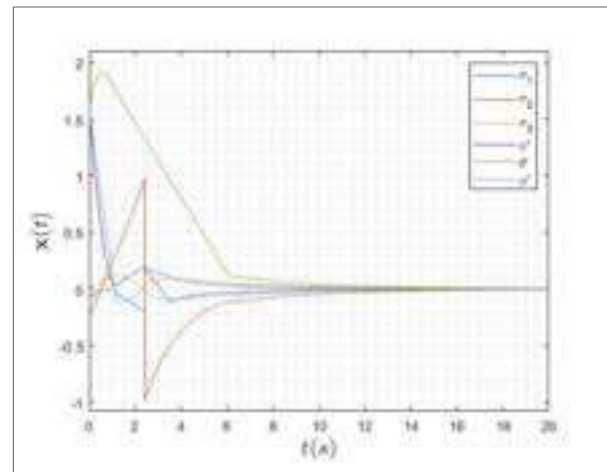


Figura 2. Evolución de las variables de estado sin perturbaciones.

Figure 2. Evolution of state variables without disturbances.

En el primer escenario, el satélite inicia con una orientación desviada y velocidad angular de $\pi/2$ rad/s. El sistema logra estabilizarse en 15 s. Figura 2 muestra la evolución de los MRP con una discontinuidad a los 2.5 s, resultado de la aplicación de la transformación al conjunto sombra. Figura 3 demuestra la reducción progresiva del uso de los actuadores.

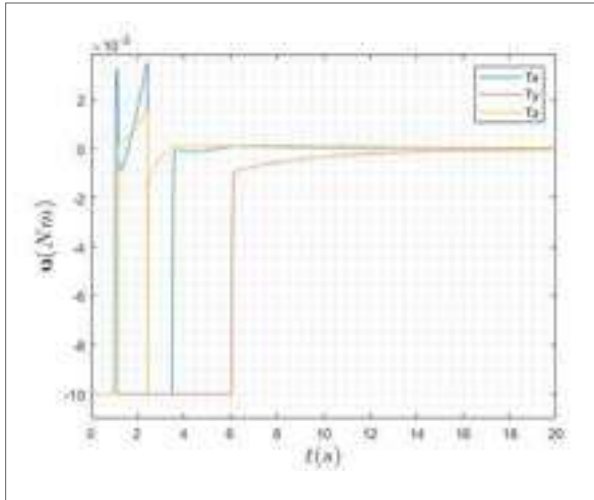


Figura 3. Uso de actuadores sin perturbaciones.
Figure 3. Use of actuators without disturbances.

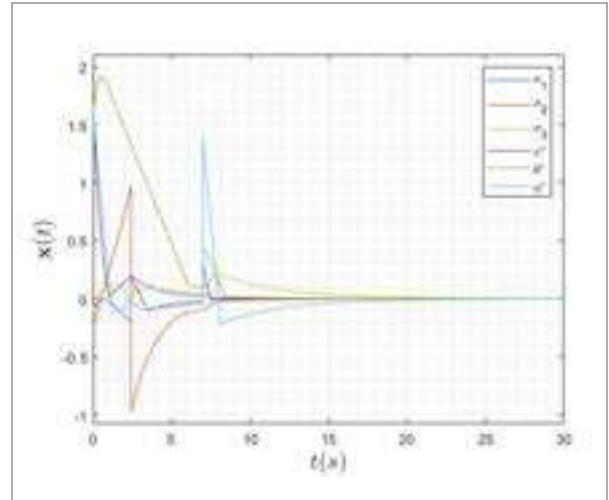


Figura 4. Evolución de las variables de estado en presencia de una perturbación.
Figure 4. Evolution of state variables in the presence of a disturbance.

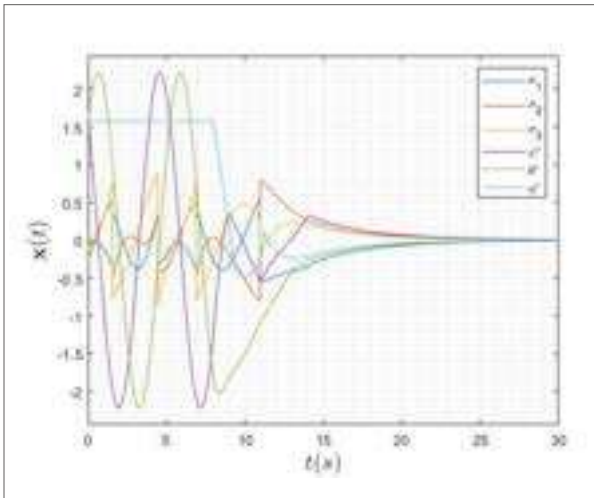


Figura 5. Evolución de las variables de estado en un caso de detumbling.
Figure 5. Evolution of state variables in a detumbling case.

En el segundo escenario, se introduce una perturbación de magnitud 1000 veces mayor al torque máximo permitido por los actuadores (en el orden de microNewton-metro, según Markley & Crassidis 2016). El sistema alcanza el equilibrio en 22 s. Figura 4 ilustra cómo el sistema rechaza efectivamente la perturbación manteniendo la orientación estable.

El último escenario representa el momento posterior al despliegue del satélite, con velocidades angulares en todos los ejes y sin activación de actuadores durante los primeros ocho segundos. Una vez activados, el sistema alcanza la estabilidad en 25 s. Este escenario demuestra la robustez del controlador en condiciones de máxima incertidumbre (Fig. 5).

DISCUSIÓN

En todos los casos analizados en el presente estudio, las variables de estado permanecieron acotadas, y el uso de los actuadores fue eficiente. El sistema mostró capacidad de recuperación incluso en presencia de discontinuidades en los parámetros de orientación. Se sugiere en trabajos futuros comparar directamente los resultados con el uso de cuaterniones y controladores alternativos como PID y MPC (Control de Modelo Predictivo).

Los resultados de esta investigación permiten concluir que los Parámetros Modificados de Rodrigues (MRP) ofrecen una forma eficiente de representar la orientación de un satélite sin necesidad de recurrir a normalizaciones constantes, como ocurre con otras representaciones como los cuaterniones. Esta característica, combinada con la robustez computacional de los MRP, contribuye significativamente a la estabilidad y precisión del modelo utilizado. Además, el análisis del sistema reveló que existe un acoplamiento importante entre las variables de estado, incluso después de la linealización del sistema. Este comportamiento valida la elección de un controlador centralizado como el LQR, que considera el estado global del sistema, por encima de métodos tradicionales como el controlador PID, el cual actúa de manera independiente sobre cada eje. En estudios previos como el de Madhana Mohan *et al.* (2023), se ha demostrado la viabilidad de implementar un controlador PID para estabilizar la actitud de un CubeSat mediante simulaciones en Python. Su enfoque, basado en la regulación de cada eje de forma independiente, permitió lograr estabilización en condiciones nominales y frente a perturbaciones estáticas, con resultados satisfactorios en términos de sobreimpulso y tiempo de asentamiento.

En contraste, en la presente investigación se optó por un enfoque centralizado utilizando un controlador LQR, el cual considera todas las variables de estado de manera simultánea. Esta característica lo hace más adecuado para sistemas dinámicamente acoplados como los CubeSats 3U, donde las perturbaciones pueden afectar múltiples ejes simultáneamente. Además, a diferencia del estudio de Madhana Mohan *et al.* (2023); en este trabajo se incluyeron escenarios más exigentes, como el detumbling con activación tardía de actuadores y perturbaciones 1000 veces superiores al torque máximo, en los cuales el controlador LQR demostró robustez y eficiencia, alcanzando la estabilización completa en menos de 25 segundos.

Por tanto, si bien el enfoque PID puede ser útil para condiciones simplificadas o iniciales, los resultados aquí presentados sugieren que el uso de LQR mejora significativamente la respuesta del sistema en escenarios no ideales, lo cual es especialmente relevante para aplicaciones reales en misiones de bajo costo y alta incertidumbre.

El desempeño del controlador LQR fue consistente a través de los tres escenarios simulados: desde una condición inicial de desfase, pasando por perturbaciones externas significativas, hasta condiciones extremas de *detumbling*. En todos los casos, el controlador demostró una capacidad de respuesta rápida y eficiente, recuperando la orientación deseada con un uso optimizado de los actuadores.

Finalmente, se concluye que la estrategia de control basada en LQR no solo es eficaz y robusta para estabilizar CubeSats bajo diferentes condiciones, sino que también es adaptable a escenarios realistas en misiones espaciales de bajo costo. Esto la convierte en una alternativa viable para futuras aplicaciones en sistemas satelitales de pequeña escala.

AGRADECIMIENTOS

Esta investigación fue posible gracias al seguimiento y recomendaciones del MSc. José Bagur, Laboratorio Aeroespacial. También se agradece al MSc. Miguel Zea, Laboratorio de Robótica, y al Dr. Luis Rivera, Departamento de Electrónica, por su asesoramiento en los temas de control y el desarrollo matemático. Se extiende un agradecimiento especial a la Ing. Ashley Morales y al Ing. Pablo Moreno, quienes apoyaron en el proceso de investigación y gestión de este proyecto. Se extiende también un agradecimiento a los revisores de la Revista UVG por su asesoramiento para la realización de este artículo.

REFERENCIAS

- Markley, F. L. & Crassidis, J. L. (2014). *Fundamentals of spacecraft attitude determination and control*. Space Technology Library, Vol. 33. Springer, New York, NY, U.S.A.
- NASA (n.d.). *Guidance, navigation, and control (GNC)*. NASA Small Spacecraft Systems Virtual Institute. [<https://www.nasa.gov/smallsat-institute/sst-soa/guidance-navigation-and-control/>]. Accesado: 23 de septiembre 2024.
- Pesce, V., Colagrossi, A. & Silvestrini, S. (2022). *Modern spacecraft guidance, navigation, and control*. Elsevier, Amsterdam, The Netherlands.
- Madhana Mohan, K., Anitha, U. & Anbumani, K. (2023). CubeSat attitude control by implementation of PID controller using python. *2023 12th International Conference on Advanced Computing (ICoAC)*, 1-5. [<https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/10249887>]. Accesado: 25 de mayo 2025.
- Özgür Doruk, R. (2009). Linearization in satellite attitude control with modified Rodriguez parameters. *Aircraft Engineering and Aerospace Technology* 81(3): 199-203. [<https://doi.org/10.1108/00022660910954691>]. Accesado: 26 de mayo 2025.
- Schaub, H. & Junkins, J. L. (2002). *Analytical mechanics of space systems*. AIAA, Educational Series, Reston, VI, U.S.A.
- Stevens, B. L., Lewis, F. L. & Johnson, E. N. (2016). *Aircraft control and simulation: Dynamics, controls design, and autonomous systems* (3rd ed.). John Wiley & Sons, Hoboken, New Jersey, U.S.A.

Influencia de la altitud en el sitio de producción sobre la tasa de respiración del banano Gros Michel (*Musa acuminata*)

Influence of altitude at the production site on the respiration rate of Gros Michel banana (Musa acuminata)

Paola GODOY^{1,*} & Ana Silvia COLMENARES¹

¹Departamento de Alimentos, Universidad del Valle de Guatemala, Ciudad de Guatemala 01015, GUATEMALA

*Correspondencia: Paola Godoy: (god19386@uvg.edu.gt)

Recibido: 21/IX/2024; Aceptado: 21/IV/2025

Resumen: El banano es un producto de alta importancia para Guatemala, especialmente porque en el país es el segundo producto agrícola con mayor exportación en volumen. Con la finalidad de explorar más sobre el banano Gros Michel (*Musa acuminata*), variedad que logró destacar por su sabor y vida útil y que ha vuelto a ser mencionada por su potencial en el mercado, se analizó la tasa de respiración de muestras cultivadas a diferentes altitudes: 400 msnm, 900 msnm y 1200 msnm. Se evaluó la tasa de respiración por su relación directa con la vida útil y calidad del producto. Las muestras se colocaron en recipientes plásticos durante un tiempo determinado para comparar la tasa respiratoria mediante la medición de la concentración de CO₂; se almacenaron en el mismo refrigerador procurando mantener las mismas condiciones. No se encontró diferencia entre la tasa de respiración de los bananos cultivados a 900 msnm (6.41 ppm CO₂/kg) y 1200 msnm (6.04 ppm CO₂/kg), sin embargo, estos dos si mostraron una diferencia con los bananos cultivados a 400 msnm (5.04 ppm CO₂/kg). Se recomienda continuar con el estudio de la influencia de la altitud en este producto, ya que puede convertirse en un factor de clasificación y posicionamiento en el mercado.

Palabras clave: condiciones de almacenamiento, fisiología del banano, Gros Michel (*Musa acuminata*), postcosecha, tasa de respiración.

Abstract: Bananas are a key agricultural product for Guatemala, ranking as the country's second-largest export by volume. To further explore the Gros Michel banana (*Musa acuminata*), a variety known for its flavor, shelf life, and growing market potential, the respiration rate of samples grown at different altitudes (400 masl, 900 masl, and 1,200 masl) was analyzed. Respiration rate was selected for its direct relationship with product shelf life and quality. The samples were placed in plastic containers for a specific period of time to compare the respiration rate by measuring CO₂ concentrations. To ensure consistency, all samples were stored in the same refrigerator under the same conditions. No difference was observed between the respiration rate of bananas grown at 900 masl (6.41 ppm CO₂/kg) and 1200 masl (6.04 ppm CO₂/kg). However, both showed a difference compared to bananas grown at 400 masl (5.04 ppm CO₂/kg). Further research is recommended to study the influence of altitude on banana respiration rates, as this factor could play a role in classification and market positioning.

Keywords: banana physiology, Gros Michel (*Musa acuminata*), postharvest, respiration rate, storage conditions.

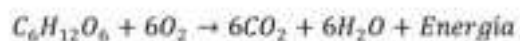
INTRODUCCIÓN

Los bananos son el primer producto agrícola globalizado del mundo moderno y su importancia radica principalmente en constituir una fuente de crecimiento económico; sin embargo, también aporta en la seguridad alimentaria y nutrición en zonas rurales de países en vías de desarrollo (FAO 2020; Martínez-Solórzano & Rey-Brina 2021). La demanda del banano ha adquirido fuerza considerable a nivel mundial a partir del 2016, esperándose para el 2028 que domine la exportación de frutas, alcanzando un volumen de 22 millones de toneladas, siendo los mayores exportadores previstos Ecuador, Costa Rica y Guatemala (FAO 2020). Para 2022 la exportación mundial de bananos alcanzó los 19.6 millones de toneladas, aportando Guatemala un 12.6% a nivel mundial y un 41.3% a nivel centroamericano (FAO 2022). Tanta es su importancia en el país que es el segundo producto con mayor exportación en volumen después del azúcar (BANGUAT 2023a). Además, en 2022 el país obtuvo un ingreso anual de divisas por exportación de 937 millones de dólares estadounidenses, únicamente superado por las divisas obtenidas por la exportación de cardamomo (1,112 millones de dólares estadounidenses) (BANGUAT 2023b).

En la actualidad el banano con más presencia en el mercado es la variedad Cavendish. Sin embargo, en el pasado, antes de sufrir una de las epidemias de enfermedades más grande del mundo causada por el hongo *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* (ver Smith *et al.* 2018), la variedad Gros Michel era la variedad que destacaba, pues poseía un gran reconocimiento debido a sus racimos pesados y simétricos con fruta grande, color amarillo en su madurez, así como su buena palatabilidad y vida útil (Smith *et al.* 2018).

Las frutas son estructuras vivas que se encuentran sujetas a cambios debido a la continuación de la actividad metabólica incluso después de ser cosechadas. El proceso metabólico más importante después de la cosecha es la respiración; este proceso involucra el consumo de oxígeno (O_2), que por medio de una descomposición oxidativa logra transformar el almidón, azúcares y compuestos orgánicos en moléculas más simples, como el dióxido de carbono (CO_2) y agua (H_2O). Esta transformación provoca una producción de energía en forma de calor. La tasa de respiración generalmente se expresa en términos de consumo de O_2 y la evolución de CO_2 por unidad de peso de producto por unidad de tiempo, también se puede expresar como calor liberado y pérdida de sustrato, como lo indica la pérdida de masa (Villamizar de Borrero 1984; Kandasamy 2022). La tasa de respiración (Ecuación 1) es un índice del cambio metabólico en el producto y es proporcional a la tasa de deterioro: cuanto mayor sea la tasa, más rápido será el deterioro (Kandasamy 2022). Los cambios en el banano que ocurren durante la maduración y gracias a la respiración incluyen un incremento en el contenido de azúcares,

ablandamiento de la pulpa, reducción de la astringencia, generación de compuestos volátiles y un cambio de color en la cáscara, pasando de verde a amarillo (Maduwanthi & Marapana 2021).



Ecuación 1. Representación de la respiración aerobia en plantas (Kandasamy 2022).

Equation 1. Representation of aerobic respiration in plants (Kandasamy 2022).

La altitud es un factor que afecta el crecimiento y rendimiento de los cultivos *Musa* (Brat *et al.* 2004; Ramírez *et al.* 2010a). Sin embargo, no existen publicaciones en el país que indaguen directamente en la posible diferencia de las concentraciones de CO_2 producidas por el banano Gros Michel debido a la altitud, información que se busca desarrollar en este artículo. Por lo tanto, el presente estudio tenía como objetivo evaluar la tasa de respiración de la variedad Gros Michel cultivado a diferentes altitudes, ya que la tasa de respiración es un factor que influye en la vida útil y calidad del producto.

MATERIALES Y MÉTODOS

Recolección y selección de muestras. Se recolectaron 15 frutos de banano Gros Michel (*Musa acuminata*) en madurez fisiológica de tres diferentes fincas (cinco frutos de cada finca) ubicadas a 400 msnm (Antigua Guatemala, Sacatepéquez), 900 msnm (San Francisco Zapotitlán, Suchitepéquez) y 1,200 msnm (Colomba Costa Cuca, Quetzaltenango). En las fincas las muestras se recolectaron en un único corte, buscando similitud en tamaño y menor cantidad de defectos graves como cortes, heridas profundas, magulladuras o daños por insectos (Archana & Sivachandiran 2015; Cruz-Ortiz *et al.* 2021). Se utilizaron distintos racimos para llegar al número de muestra requerido. Se trasladaron en canastas de plástico expuestas al medio ambiente al laboratorio de Ciencia y Tecnología de Alimentos del Centro de Estudios Agrícolas y Alimentarios (CEAA) de la Universidad del Valle de Guatemala y se almacenaron en un refrigerador marca Fogel modelo VR-17-Re-A-SSA con variación de temperatura de 16-21°C y humedad relativa (HR) de 52-78%.

Determinación de la tasa de respiración. Los cinco frutos de cada altitud (400, 900 y 1,200 msnm) se colocaron en tres diferentes recipientes de plástico, cerrados e identificados con la altitud a la que pertenecían. Estos se guardaron dentro del refrigerador con la finalidad de acercarse a las condiciones de exportación (temperatura a 12-14°C, 2-5% de O_2 , 2-5% de CO_2 y humedad relativa de 90-96%) (Castellanos *et al.* 2011; Ordoñez & Villavicencio 2022). La producción de dióxido de carbono (CO_2) se midió de lunes a viernes cada 24 horas

alizando la medición a las 7:00 a.m.), comenzando la medición un día después de introducir los bananos dentro de los recipientes. Se utilizó un registrador de datos de CO₂/temperatura/humedad modelo SD800 marca Extech. El equipo se configuró para registrar mediciones cada 30 segundos y se realizó un ajuste de compensación de altura de 1,500 metros (altura aproximada a la que se encuentra la Universidad del Valle de Guatemala, Ciudad de Guatemala, lugar donde se registraron los datos). Para la toma de datos se sacaron uno por uno los recipientes de plástico del refrigerador y se introdujo el sensor de CO₂ dentro de cada recipiente durante 5 min. La cubierta del recipiente se modificó creando una abertura que facilitaba el ingreso y salida del sensor de CO₂, buscando a su vez evitar la pérdida de gases. Además se realizaron mediciones de temperatura y HR del interior de los recipientes; para eso se utilizó el termómetro e higrómetro marca Fluke modelo 971 (Bolívar-Fernández *et al.* 2011; Rolz Asturias 2011). Las muestras permanecieron durante 15 días en el refrigerador, lográndose recabar 11 mediciones (una medición por día).

Análisis de datos. Se siguió la metodología de Cruz-Ortiz *et al.* (2021) aplicando las siguientes modificaciones: (1) se comprobó que los datos cumplieran con el supuesto de normalidad, (2) se utilizó la prueba no paramétrica Kruskal-Wallis para determinar si existía una diferencia significativa entre las medianas de concentración de CO₂ debido a la altitud, (3) se utilizó la prueba de Tukey ($\alpha = 0.05$) para conocer cuáles grupos eran significativamente diferentes entre sí y (4) se utilizó el programa IBM SPSS Statistics para llevar a cabo los análisis.

RESULTADOS

Los resultados de la prueba de Kruskal-Wallis indicaron una diferencia estadísticamente significativa entre las medianas de concentración de CO₂ debido a la altitud. La prueba de Tukey determinó que no existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medianas de la concentración de CO₂ a 900 msnm (6.41 ppm CO₂/kg) y a 1,200 msnm (6.04 ppm CO₂/kg), pero si entre estas dos altitudes y la mediana de 400 msnm (5.04 ppm CO₂/kg) (Fig. 1).

La concentración de CO₂ dentro de los recipientes aumentó con el transcurso del tiempo, esto independientemente de la altitud que se analiza (Fig. 2).

Las muestras aumentaron su tamaño proporcionalmente con el aumento de la altitud, siendo las muestras de 400 msnm las de menor tamaño y las muestras de 1,200 msnm las de mayor tamaño (Fig. 3).

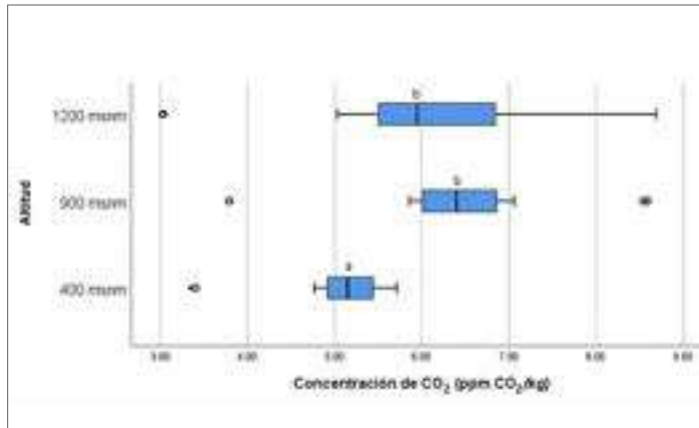


Figura 1. Comparaciones múltiples de medianas de la concentración de CO₂ del banano Gros Michel cultivado a tres diferentes altitudes.
Figure 1. Median multiple comparisons of CO₂ concentration of Gros Michel bananas grown at three different altitudes.

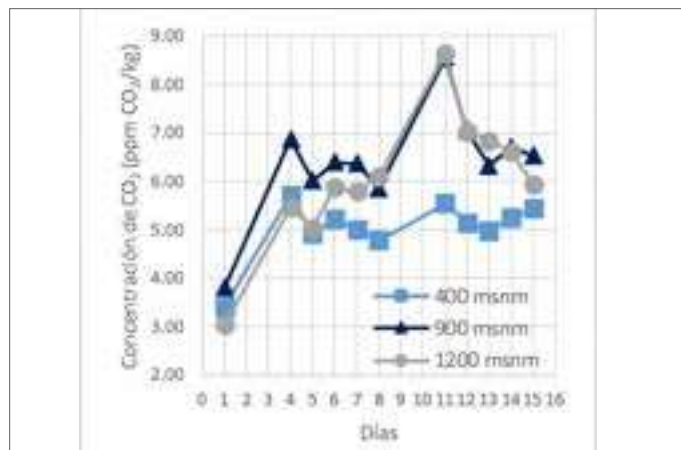


Figura 2. Concentración de CO₂ promedio dentro de los recipientes a través del tiempo para banano Gros Michel cultivado a tres diferentes altitudes.
Figure 2. Average CO₂ concentration inside the containers over time for Gros Michel bananas grown at three different altitudes.



Figura 3. Diferencia en el tamaño del banano Gros Michel cultivado a tres diferentes altitudes. Izquierda: 400 msnm, centro: 900 msnm, derecha: 1,200 msnm.
Figure 3. Differences in the size of Gros Michel bananas grown at three different altitudes. Left: 400 masl, center: 900 masl, right: 1,200 masl.

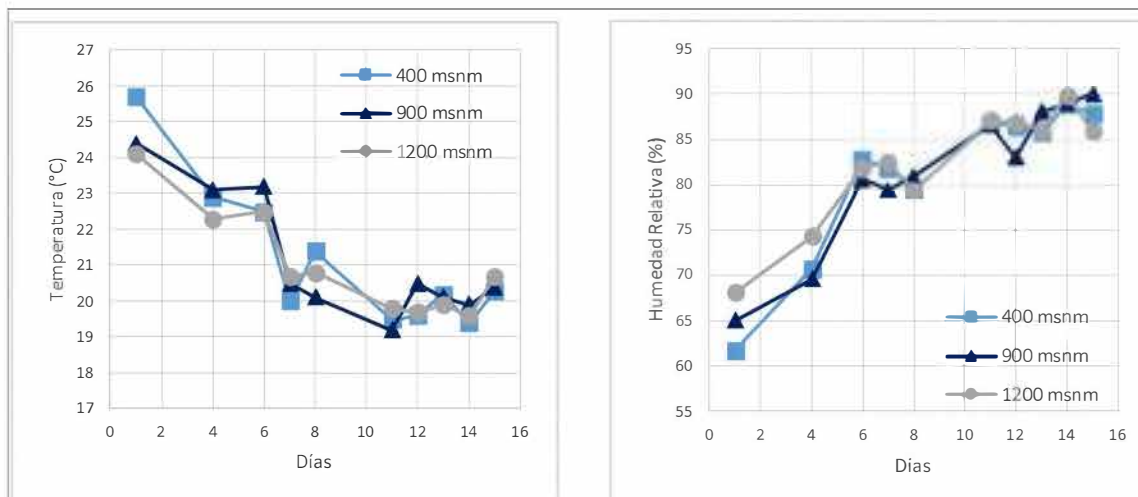


Figura 4. Temperatura y humedad relativa dentro de los recipientes que contenían las muestras de banana Gros Michel cultivado a tres diferentes altitudes.
Figure 4. Temperature and relative humidity inside the containers holding Gros Michel banana samples grown at three different altitudes.

Por último, la comparación de las variables de temperatura y HR dentro de los recipientes reveló que la temperatura disminuyó a través del tiempo, mientras que la HR aumentó, lo que aplicó para todas las muestras independientemente de la altitud (Fig. 4).

DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos indicaron que sí existe diferencia significativa entre las medianas en la concentración de CO_2 debido a la altitud. Se encontró en las medianas puntos atípicos entre 3-4 ppm CO_2/kg (Fig. 1) lo que se debe a que al no introducir el sensor de CO_2 durante los fines de semana el gas se acumuló dentro del recipiente, notándose con mayor facilidad en Fig. 2, pues de los días 1 al 4 y 8 al 11 hubo aumentos graduales visualmente notorios en la curva. A medida que pasa el tiempo se esperaría que aumente la concentración de CO_2 , pues el CO_2 es un producto de la respiración de cualquier fruta o vegetal (Ecuación 1) (Castellanos *et al.* 2011). Sin embargo, también se presentan ocasionalmente disminuciones en las concentraciones de CO_2 en los días siguientes al día 4 y 11, y esto pudo ser ocasionado por dos factores: (1) la pérdida de gases debido a la apertura del recipiente al introducir el sensor y (2) insuficiente O_2 en el ambiente (interior del recipiente plástico) para llevar a cabo la respiración y producir más CO_2 . Estos factores tienen un impacto en los resultados, por lo tanto terminan afectando el nivel de incertidumbre. Se tiene que tener en consideración estos factores para pruebas futuras.

Todas las muestras fueron sacadas de sus recipientes plásticos en el día 15 y tenían un olor y sabor desagradable, lo que se ocasiona al exponer el producto a concentraciones de O_2 inferiores al 1%, ya que se favorecen reacciones anaerobias

dando como resultado compuestos indeseables como alcoholes, aldehídos y ácidos orgánicos (Castellanos *et al.* 2011). Por lo tanto, se puede deducir que al final del experimento las muestras se encontraban saturadas de CO_2 .

Figura 4 demuestra el aspecto físico de las muestras, siendo los bananos que se cultivaron a 1,200 msnm los que tienen un mayor tamaño en comparación con los bananos cultivados a 900 msnm y 400 msnm. La variación fenotípica, definida como la aparición de diferencias entre individuos de la misma especie, puede atribuirse a diferencias en la composición genética o al entorno en el que crecen; en el caso del presente estudio sería la segunda opción (Mkwezalamba *et al.* 2015). Se ha reportado que la altitud, clima (temperatura, humedad y viento) y tipo de suelo (pH, textura y fertilidad) pueden afectar tanto el crecimiento como el rendimiento de los cultivos *Musa* (Hiariej *et al.* 2015; Sivirhauma *et al.* 2016; Nofal & Rezk 2021; Nakato *et al.* 2023). De hecho, se ha encontrado que en condiciones más frías y de mayores altitudes (existe una disminución de 0.6-0.7°C por cada 100 m), el desarrollo de los frutos puede prolongarse y el tiempo de cosecha aumenta, generándose frutos de mayor tamaño y mejor calidad (Ramírez *et al.* 2010b; Fischer *et al.* 2022). Por lo tanto, se concluye que el cambio en los factores ambientales a 1,200 msnm favorece el aumento de tamaño en el banana Gros Michel.

La tasa respiratoria de una fruta depende de múltiples factores, entre ellos: la relación superficie-volumen, la HR y temperatura durante el almacenamiento, el movimiento y circulación de aire y la condición y estructura de la superficie de la fruta (Vijay & Pandey 2014). En cuanto a la relación superficie-volumen, se ha encontrado que generalmente cuando se tiene una relación mayor entre el área de superficie y volumen, se tiene una pérdida mayor de agua

por evaporación (El-Ramady *et al.* 2015). Por lo tanto, los frutos de menor tamaño tienden a perder más agua que los de mayor tamaño. La HR y temperatura también tienen influencia en la respiración, pues mientras menor sea la HR y mayor sea la temperatura mayor será la respiración (Botía-Niño *et al.* 2008). Independientemente de la muestra la temperatura disminuyó y la HR aumentó (Fig. 4); esto concuerda con la teoría, pues al llevarse a cabo el proceso metabólico de la respiración se produce agua como uno de sus productos, logrando acumularse agua en el ambiente y al mismo tiempo ayudando a disminuir la temperatura (Castellanos *et al.* 2011). En el presente estudio no se encontró una diferencia notoria de estas variables (HR y temperatura) entre muestras (Fig. 4), y por lo tanto se asume que estos factores no influyeron en los resultados. Esto también aplica para el movimiento o circulación de aire, pues al mantener los recipientes cerrados, este factor no pudo influir en los resultados.

Teniendo en consideración lo expuesto con anterioridad, se esperaría que los bananos de menor tamaño (400 msnm y 900 msnm) tengan una mayor tasa de respiración. Esto no ocurrió debido a la condición y estructura de la superficie de las muestras analizadas. Las tres muestras contaron con lesiones (Fig. 3), especialmente la de 1,200 msnm. Una lesión o daño provoca el aumento de la respiración, producción de etileno, producción de fenólicos y el deterioro de las células cercanas a la lesión (El-Ramady *et al.* 2015). Por esta razón, no resulta extraño que la muestra de 1,200 msnm tenga una mayor respiración en comparación con la muestra de 400 msnm y de 900 msnm.

Aunque no fue parte de este estudio, observaciones en campo por parte de agricultores e investigadores indicaron que la altura puede provocar una mayor concentración de azúcares en la fruta, siendo más dulce y por lo tanto, más apetecible para el consumidor (Ramírez *et al.* 2010a). También se ha visto que la composición de volátiles depende en gran medida de factores geográficos como la altitud (Brat *et al.* 2004), siendo las características sensoriales de los bananos cultivados a gran altitud diferentes de los cultivados en llanura. En un estudio realizado en cultivares Robusta se encontró que al aumentar la altitud aumenta la concentración de cetonas, alcoholes, ésteres y derivados de ésteres de fenol, presentándose una diferencia únicamente en ésteres al continuar la maduración (Brat *et al.* 2004). Por lo tanto, se recomienda continuar con el estudio de la influencia de la altitud en este producto, ya que puede convertirse en un factor de clasificación y posicionamiento en el mercado.

AGRADECIMIENTOS

A la Lcda. Ruballos, pues su apoyo fue vital para el desarrollo del artículo.

REFERENCIAS

- Archana, U. & Sivachandiran, S. (2015). Effect of application of gibberellic acid (GA3) on shelf-life on banana. *International Journal of Research in Agriculture and Food Sciences* 3(1): 2311-2476.
- BANGUAT (Banco de Guatemala). 2023a. *Cuadro 1. Guatemala: Valor (FOB), volumen y precio medio de los 25 principales productos de exportación. Comercio General. A Enero de cada año.* [<http://banguat.gob.gt/page/cuadro-1-1>]. Accesado: 04 de abril 2025.
- BANGUAT (Banco de Guatemala). 2023b. *Ingreso Mensual de Divisas por Exportaciones, 2016-2022.* [<https://banguat.gob.gt/es/page/ingreso-mensual-de-divisas-por-exportaciones-2016-2022>]. Accesado: 04 de abril 2025.
- Bolívar-Fernández, N., Saucedo-Veloz, C. & Sauri-Duch, E. 2011. Respiración y parámetros relacionados durante la maduración del chicozapote cosechado en la península de Yucatán. *Revista Brasileira de Fruticultura* 33: 261-266. <https://doi.org/10.1590/S0100-29452011000500032>
- Botía-Niño, Y., Almanza-Merchán, P. & Balaguera-López, H. E. (2008). Efecto de la temperatura sobre la maduración complementaria en curuba (*Passiflora mollissima* Bailey). *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica* 11(2): 187-196.
- Brat, P., Yahia, A., Chillet, M., Bugaud, C., Bakry, F., Reynes, M. & Brillouet, J. (2004). Influence of cultivar, growth altitude and maturity stage on banana volatile compound composition. *Fruits* 59(2): 75-82. <https://doi.org/10.1051/fruits:2004007>
- Castellanos, D. A., Algecira, N. A. & Villota, C. P. (2011). Aspectos relevantes en el almacenamiento de bananos en empaques con atmósferas modificadas. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha* 12(2): 114-134.
- Cruz-Ortiz, L., Escobar-Ventura, K., Flores-Méndez, M., Urbina-Reyes, M. & Vásquez-Ovando, A. (2021). Recubrimiento con cera de abeja, extractos de ajo y sauce para aumentar la vida postcosecha del banano Gran Enano. *Informador Técnico* 85(2): 172-183.
- El-Ramady, H., Domokos-Szabolcsy, E., Abdalla, N. A., Taha, H. S. & Fári, M. (2015). Postharvest management of fruits and vegetables storage. In: *Sustainable agriculture reviews*, Lichtfouse, E. (ed.), Springer, Cham, Switzerland; pp 65-152. https://doi.org/10.1007/978-3-319-09132-7_2
- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). (2020). *Perspectivas a mediano plazo: perspectivas para la producción y el comercio mundial de bananos y frutas tropicales 2019-2028.* FAO, Roma. [<https://www.fao.org/3/ca7568es/CA7568ES.pdf>]. Accesado 4 de abril 2025.
- FAO. (2022). *Banana maet review preliminary results 2022.* FAO, Roma. [<https://www.fao.org/3/cc3421en/cc3421en.pdf>]. Accesado 4 de abril 2025.
- Fischer, G., Parra-Coronado, A. & Balaguera-López, H. (2022). Altitude as a determinant of fruit quality with emphasis on the Andean tropics of Colombia. A review. *Agronomía Colombiana* 40(2): 212-227. <https://doi.org/10.15446/agron.colomb.v40n2.101854>
- Hiariej, A., Arumingtyas, E. L., Widoretno, W. & Azrianingsih, R. (2015). Phenotypic variation of Fei banana (*Musa troglodytarum* L.) originated from Maluku Islands. *Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences* 6(2): 652-658.
- Kandasamy, P. (2022). Respiration rate of fruits and vegetables for modified atmosphere packaging: a mathematical approach. *Journal of Postharvest Technology* 10(1): 88-102.

- Maduwanthi, S. D. T. & Marapana, R. A. U. J. (2021). Comparison of pigments and some physicochemical properties of banana as affected by ethephon and acetylene induced ripening. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology* 33: 101997. <https://doi.org/10.1016/j.bcab.2021.101997>
- Martínez-Solórzano, G. E. & Rey-Brina, J. C. (2021). Bananas (*Musa* AAA): Importance, production and trade in Covid-19 times. *Agronomía Mesoamericana* 32(2): 1034-1046. <https://doi.org/10.15517/am.v32i3.43610>
- Mkwezalamba, I., Munthali, C. & Missanjo, E. (2015). Phenotypic variation in fruit morphology among provenances of *Sclerocarya birrea* (A. Rich.) Hochst. *International Journal of Forestry Research* 2015: 735418. . <https://doi.org/10.1155/2015/735418>
- Nakato, G. V., Okonya, J. S., Kantungeko, D., Ocimati, W., Mahuku, G., Legg, J. P. & Blomme, G. (2023). Influence of altitude as a proxy for temperature on key *Musa* pests and diseases in watershed areas of Burundi and Rwanda. *Heliyon* 9(3): e13854. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e13854>
- Nofal, O. A. & Rezk, A. I. (2021). Some factors affecting the yield and quality of banana: A review. *Science Archives* 2(3): 207-2011. . <http://dx.doi.org/10.47587/SA.2021.2309>
- Ordoñez, R. S. & Villavicencio, J. I. (2022). *Plan de exportación de banano orgánico de la variedad (Cavendish Valery) hacia Estados Unidos*. Tesis de Ingeniería, Escuela Agrícola Panamericana Zamorano. [<https://bdigital.zamorano.edu/server/api/core/bitstreams/69010e71-bf79-4c3e-a13b-9bc6c9e2623d/content>] Accesado: 04 de abril 2025.
- Ramírez, C., Tapia, A. C. & Brenes, S. (2010b). Desarrollo del ciclo productivo y ubicación geográfica del banano de altura que se produce en el cantón de Turrialba, Costa Rica. *InterSedes: Revista de las Sedes Regionales* 11(20): 92-106.
- Ramírez, C., Tapia, A. C. & Calvo, P. C. (2010a). Evaluación de la calidad de fruta banano de altura que se produce en el cantón de Turrialba, Costa Rica. *InterSedes: Revista de las Sedes Regionales* 11(20): 107-127.
- Rolz Asturias, C. E. (2011). *Estudio post cosecha y procesamiento mínimo de frutas. Proyecto FODECYT No. 069-2007*. Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, Secretaría Nacional de Ciencia y Tecnología, Fondo Nacional de Ciencia y Tecnología y Universidad del Valle de Guatemala.
- Sivirihauma, C., Blomme, G., Ocimati, W., Vutseme, L., Sikyolo, I., Valimuzigha, K., De Langhe, E. & Turner, D. W. (2016). *Altitude effect on plantain growth and yield during four production cycles in North Kivu, Eastern Democratic Republic of Congo*. In: *Proceedings. IX International Symposium on banana: ISHS-ProMusa symposium on unravelling the banana's genomic potential*, Smith, M., Bergh, I. van den & Picq, C. (eds), *Acta Horticulturae* 1114: 139-148.
- Smith, M. K., Daniells, J. W., Peasley, D., O'Neill, W., Samuelian, S., Wright, C. & Drenth, A. (2018). Field evaluation of six Gros Michel banana accessions (*Musa* spp., AAA group) for agronomic performance, resistance to Fusarium wilt race 1 and yellow Sigatoka. *Crop Protection* 113(2018): 84-89. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2018.07.009>
- Vijay, P. & Pandey, R. (2014). Role of internal atmosphere on fruit ripening and storability - a review. *Journal of Food Science and Technology* 51(7): 1223-1250. <https://doi.org/10.1007/s13197-011-0583-x>
- Villamizar de Borrero, F. (1984). *Fisiología de maduración postcosecha de banano variedad Nanica (Musa cavendishii)*. *Ingeniería e Investigación*, (8): 25-33. [<https://revistas.unal.edu.co/index.php/ingenv/article/view/19482>]. Accesado 4 de abril 2025.

Diversidad de mariposas diurnas y nocturnas (Nymphalidae, Papilionidae, Pieridae, Saturniidae y Sphingidae) en el sistema de plantaciones de palma de aceite en Guatemala

Butterfly and moth diversity (Nymphalidae, Papilionidae, Pieridae, Saturniidae, and Sphingidae) in the palm oil plantation system in Guatemala

Anna Rocío LEÓN-COLOMA¹ & José MONZÓN-SIERRA^{1,*}

¹Centro de Estudios Ambientales y Biodiversidad. Universidad del Valle de Guatemala, Guatemala

*Correspondencia: José Monzón-Sierra: (jmonzon@uvg.edu.gt)

Recibido: 24/IX/2024; Aceptado: 24/IV/2025

Resumen: Este artículo presenta los resultados obtenidos por la evaluación de biodiversidad que se realizó durante los años 2022 y 2023 para conocer la diversidad de mariposas diurnas y nocturnas en plantaciones de palma de aceite en Guatemala. Las familias de mariposas (Lepidoptera) estudiadas fueron: Nymphalidae, Papilionidae, Pieridae, Saturniidae y Sphingidae. Las fincas que formaron parte de este estudio están asociadas a la Gremial de Palmicultores de Guatemala y están certificadas por la Mesa Redonda sobre Aceite de Palma Sostenible. En total se documentaron 121 especies de mariposas diurnas y nocturnas. Nymphalidae fue la familia más diversa con 84 especies y la menos diversa Papilionidae con cuatro. La región en donde documentamos más riqueza de especies fue Petén con 73 especies y en la que se encontró menos fue la costa sur con 27 especies. Se presenta una lista completa y fotografías de las especies de mariposas diurnas y nocturnas que encontramos. Estos resultados evidencian que las plantaciones certificadas de palma de aceite pueden albergar una diversidad considerable de mariposas, lo cuál, resalta la importancia de continuar evaluando y promoviendo prácticas sostenibles que favorezcan la conservación de la biodiversidad en paisajes agrícolas.

Palabras clave: Biodiversidad, Caribe, insectos, Lepidoptera, sostenibilidad agrícola, Petén, sistemas agrícolas, Verapaces.

Abstract: This article presents the results of a biodiversity survey to assess the diversity of butterflies and moths in plantations of African oil palm during the years 2022 and 2023 in Guatemala. The butterfly and moth (Lepidoptera) families recorded in this study were Nymphalidae, Papilionidae, Pieridae, Saturniidae, and Sphingidae. The palm plantations included in this study are members of the "Gremial de Palmicultores de Guatemala" (Guatemalan Palmiculture Union) and are certified by the Roundtable on Sustainable Palm Oil. In total, we documented 121 species of butterflies and moths. Nymphalidae was the most diverse family with 84 species and Papilionidae was the least with four species. The region with the highest species richness was Petén with 73 species while the lowest species diversity was found at the southern coast with 27 species. A complete list and photographs of the species of butterflies and moths we found are presented. These results show that certified African oil palm plantations can harbor a considerable diversity of butterflies and moths, which, highlights the importance of more research and promote sustainable practices that favor the conservation of biodiversity in agricultural landscapes.

Keywords: agricultural sustainability, agricultural system, Biodiversity, Caribbean, insects, Lepidoptera, Petén, Verapaces.

INTRODUCCIÓN

El cultivo de palma de aceite (*Elaeis guineensis* Jacq.) ha aumentado significativamente en las últimas décadas debido a la alta demanda global de aceite de palma, impulsada por la industria alimentaria y de biocombustibles (Ayompe *et al.* 2021). Numerosos productos de uso diario, como detergentes, jabones, champús, lubricantes, cosméticos, productos de panadería y repostería, bocadillos y alimentos envasados, contienen aceite de palma y sus derivados (Barcelos *et al.* 2015). En Latinoamérica, la producción de aceite de palma se ha duplicado desde el 2000 (Furumo & Aide 2017). De acuerdo con Duarte *et al.* (2010), la superficie de cultivo de palma de aceite en Guatemala para el año 2005 era de 38 mil hectáreas, y se estima que el crecimiento de área de cultivo fue de 73.5% en tan solo cinco años (cobertura para 2010 de 93 mil hectáreas).

Comparadas con otros cultivos, especialmente los de ciclos anuales, las plantaciones de palma de aceite pueden albergar una mayor diversidad de especies debido a su ciclo comercial prolongado de 20 a 30 años (Pashkevich *et al.* 2021). Además, es considerada el cultivo oleaginoso más productivo del mundo debido a su alta eficiencia en la producción de aceite vegetal por hectárea. En comparación con otros cultivos oleaginosos como la soya o el girasol, la palma aceitera puede producir hasta ocho veces más aceite por unidad de superficie (Barcelos *et al.* 2015).

No obstante, la pérdida de biodiversidad es un problema inminente considerando que a nivel mundial se ha reemplazado bosques primarios para el establecimiento de este cultivo (Furumo & Aide 2017), por lo que es crucial tomar medidas para resguardar la biodiversidad en las plantaciones de palma de aceite ya existentes (Lucey & Hill 2012; Kwatrina & Santosa 2019). La gestión adecuada de la biodiversidad en estas plantaciones no solo es vital para la conservación, sino también para la rentabilidad, ya que muchas especies ofrecen servicios ecosistémicos fundamentales (Deere *et al.* 2022; Power *et al.* 2022). En ese sentido, los compromisos ambientales adoptados por la Gremial de Palmicultores de Guatemala (GREPALMA) a través de la certificación con estándares internacionales de sostenibilidad como la Mesa Redonda sobre Aceite de Palma Sostenible (RSPO por sus siglas en inglés) son esfuerzos esenciales para la conservación de la biodiversidad. Actualmente las certificaciones de RSPO requieren que el establecimiento de nuevos cultivos no dañe bosques primarios, ni áreas de alto valor de conservación, ni bosques de alto valor de carbono (RSPO 2023).

El enfoque en plantaciones certificadas por RSPO es relevante porque estas prácticas promueven la producción sostenible de aceite de palma, lo cual incluye la conservación de la biodiversidad en los paisajes circundantes (RSPO 2023). Las mariposas son un grupo común dentro de las plantaciones de

palma y tienen el potencial de servir como bioindicadores del ambiente, y además, desempeñan roles ecológicos clave como polinizadores, huéspedes de parásitos y presas para depredadores. Por lo tanto, su estudio permite inferir sobre el éxito de algunas prácticas de sostenibilidad (Kwatrina & Santosa 2019).

A pesar de su importancia global, el estudio de este grupo de insectos sigue siendo limitado y existen vacíos de información sobre la diversidad de mariposas en el contexto nacional. El objetivo principal de este estudio fue documentar la diversidad de mariposas diurnas y nocturnas, con un enfoque en las familias Nymphalidae, Pieridae, Papilionidae, Sphingidae y Saturniidae, en plantaciones de palma africana miembros de GREPALMA certificadas RSPO en cuatro regiones de Guatemala. El objetivo del proyecto fue evaluar la biodiversidad y los servicios ecosistémicos asociados al sistema de palma africana certificada en áreas representativas de las principales regiones donde se cultiva. Lo anterior con el propósito de llenar vacíos de información y contribuir al conocimiento sobre la diversidad de insectos asociados a sistemas agrícolas.

MATERIALES Y MÉTODOS

Sitio de estudio. Durante un total de 33 días se documentaron mariposas diurnas y nocturnas en áreas de plantación de palma y áreas de conservación dentro de once fincas certificadas RSPO. Las fincas estudiadas se encuentran distribuidas en las siguientes cuatro regiones: (1) región costa sur (CS), (2) región Franja Transversal del Norte (FTN), (3) región Polochic (Po) y (4) región Petén (Pe) (Fig. 1). Los muestreos estuvieron divididos en dos etapas de 16.5 días cada una para poder tener un muestreo en época lluviosa y otra en la época seca. El muestreo de época lluviosa se realizó entre agosto y septiembre 2022 y el de época lluviosa en noviembre 2022; y enero y febrero 2023.

Mariposas diurnas. Se realizaron muestreos diurnos de mariposas pertenecientes a las familias Nymphalidae, Pieridae y Papilionidae. Se utilizaron métodos de colecta pasiva y activa. Para la colecta pasiva, se emplearon trampas Van Someren Rydon (Fig. 2A), que consistieron en cilindros de malla con una base de madera, suspendidos en la parte superior del área de trabajo. Cada trampa contenía un pequeño plato con cebo (plátano fermentado durante ocho días, mezclado con cerveza y azúcar) para atraer a las mariposas. Las mariposas atrapadas se extrajeron manualmente, se fotografiaron para su identificación y luego se liberaron. Se depositaron ejemplares representativos de las especies recolectadas en la Colección de Artrópodos de la Universidad del Valle de Guatemala (UVGC). Se instalaron ocho trampas distribuidas en la plantación de palma y sus diferentes ambientes, a una distancia mínima de 25 metros entre sí y a una altura acorde con la de las palmas en el área de muestreo. Se colocaron las trampas a las 6:00 hrs y se retiraron a las 18:00 hrs.

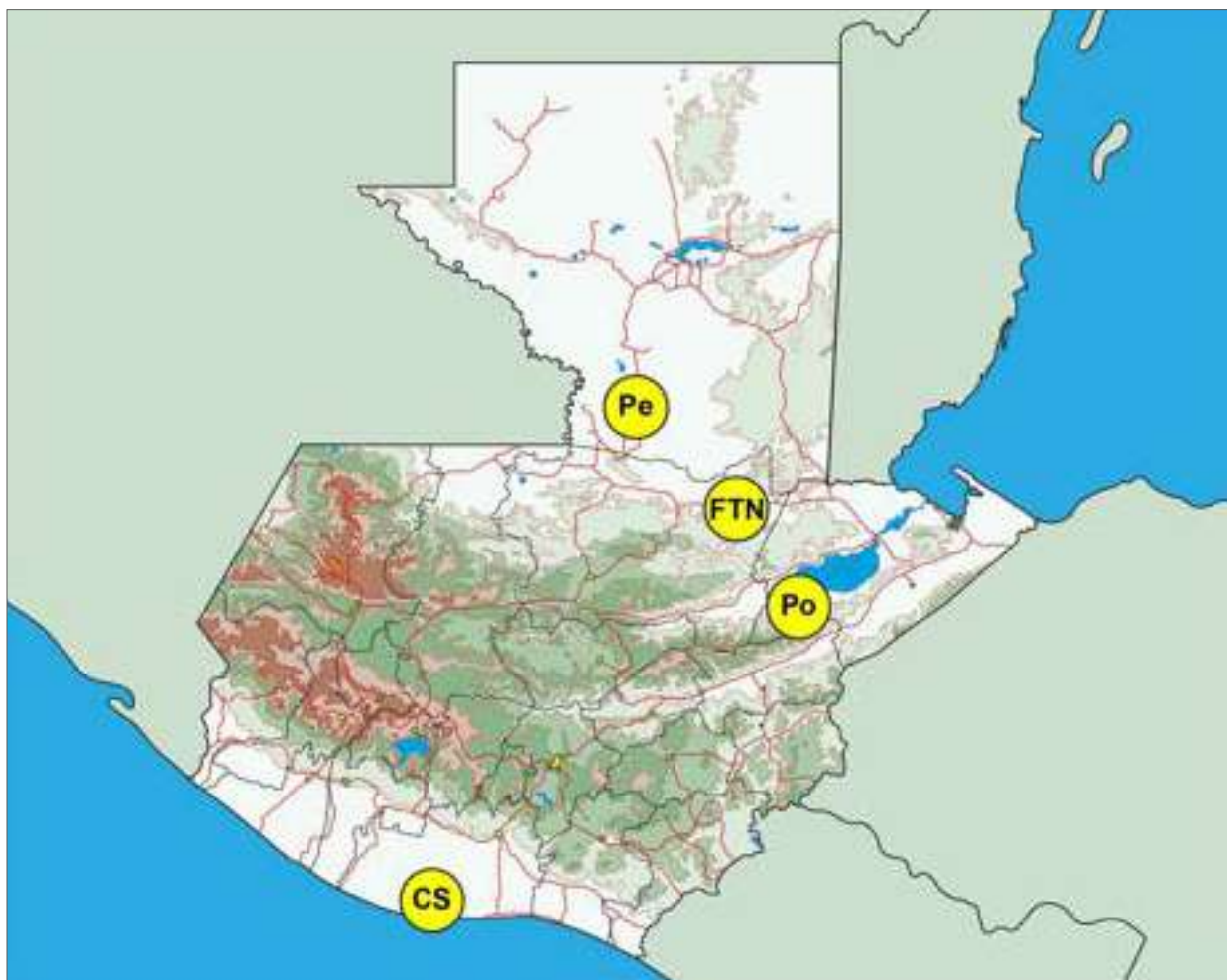


Figura 1. Los sitios de muestreo en Guatemala donde se recolectaron mariposas diurnas y nocturnas durante el periodo entre septiembre 2022 y febrero 2023. Petén (Pe), costa sur (CS), Franja Transversal del Norte (FTN), y Polochic (Po).

Figure 1. Sampling sites in Guatemala where diurnal and nocturnal butterflies were collected between September 2002 and February 2023. Petén (Pe), southern coast (CS), Franja Transversal del Norte (FTN), and Polochic (Po).

Para el método pasivo utilizamos plátanos podridos como atrayente. Los plátanos se perforaron con un tenedor y se colgaron a un metro del suelo con pita de cáñamo biodegradable. Este método permitió capturar mariposas del estrato inferior, mientras que las trampas Van Someren-Rydon capturaron mariposas de estratos medio y alto. Se colocaron ocho plátanos a una distancia de hasta 25 metros en diferentes áreas (por ejemplo en áreas riparias) de la plantación de palma. Las mariposas se fotografiaron directamente sobre los plátanos mientras se alimentaban y posteriormente con una red entomológica de mano se capturaron ejemplares representativos.

Por último, el método de colecta activa consistió en caminatas *ad libitum* dentro de las plantaciones, buscando mariposas volando, posadas o alimentándose de flores. Se utilizaron redes entomológicas para capturarlas para su identificación o se fotografiaron directamente sobre las flores.

Mariposas nocturnas. Para recabar información sobre mariposas nocturnas, se realizaron muestreos de 17:00 a 21:00 hrs. utilizando el método de trampa de luz (Fig. 2B). Se empleó una lámpara de arco metálico de 250 W junto con una luz ultravioleta de 20 W, alimentadas por un generador eléctrico. Las lámparas se colocaron sobre una manta blanca vertical para atraer a los insectos, mientras que otra manta se ubicó en el suelo para recoger los que caen al suelo. Se instalaron dos trampas de luz simultáneas dentro de las plantaciones de palma en sus diferentes ambientes.

Identificación y montaje en laboratorio. La mayoría de los ejemplares fueron documentados mediante fotografías, utilizando una cámara Nikon D7200 con lente macro Nikon 105 y dos flashes SB-R200 para distancias cortas, y una Nikon R7 con lente Tamron 70-210 mm para distancias más largas. Ejemplares representativos de los insectos observados fueron colectados, montados y almacenados en la Colección de

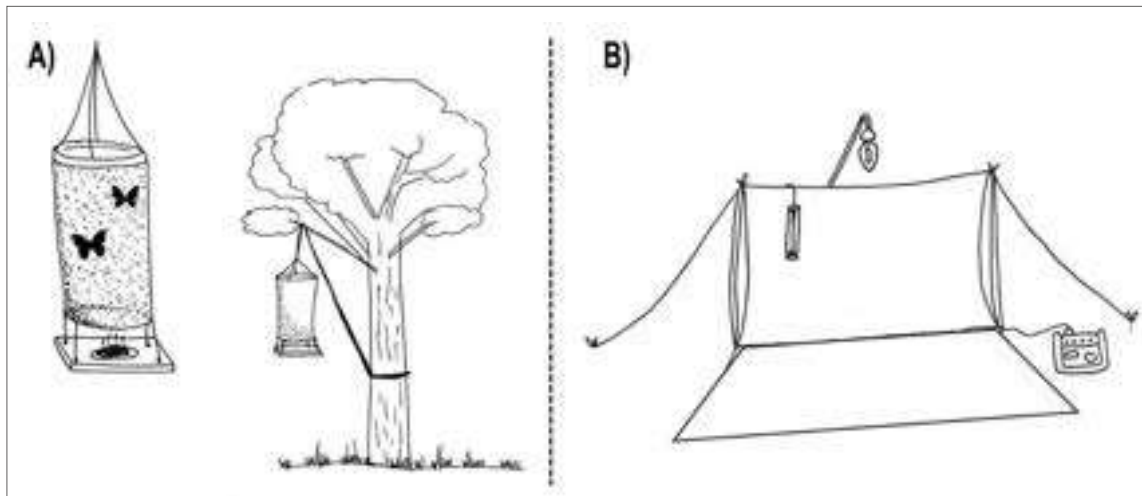


Figura 2. Diagrama de trampas Van Someren-Rydon para mariposas diurnas (A) y trampa de luz para mariposas nocturnas (B).
Figure 2. Van Someren-Rydon diurnal butterfly trap diagram (A) and light trap for moths (B).

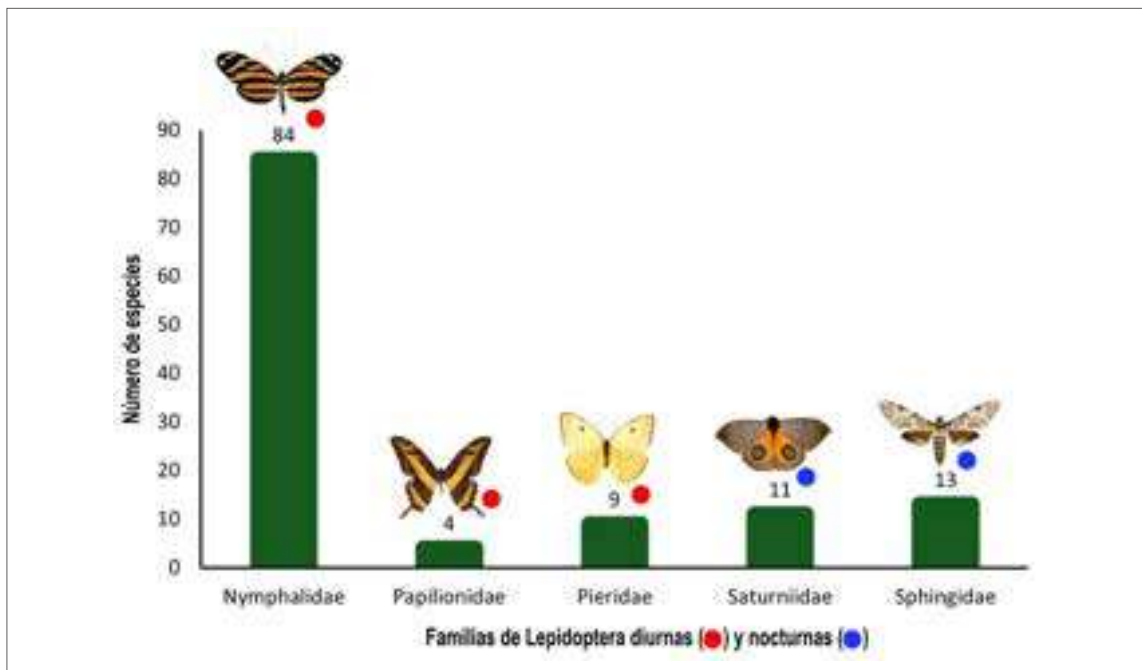


Figura 3. Número de especies de mariposas diurnas y nocturnas por familia encontradas en plantaciones de palmas de aceite en Guatemala y documentadas entre septiembre 2022 y febrero 2023.
Figure 3. Number of diurnal and nocturnal butterfly species per family collected in African oil plantations in Guatemala between September 2022 and February 2023.

RESULTADOS

Artrópodos de la Universidad del Valle de Guatemala (UVGC). La identificación de las especies de mariposas se realizó principalmente utilizando las guías de Glassberg (2018) y Warren *et al.* (2012). Para la identificación de las mariposas nocturnas, se utilizó principalmente la colección de referencia de la UVG, debido a la falta de guías impresas u otros recursos disponibles.

Se documentaron un total de 121 especies de mariposas asociadas a plantaciones de palma de aceite en cuatro regiones de Guatemala (Anexo I y II). De estas, 97 especies correspondieron a mariposas diurnas, distribuidas en tres familias: Nymphalidae (84 spp.), Pierida (9 spp.) y Papilionidae (4 spp.). Además, se registraron 24 especies de mariposas nocturnas, pertenecientes a dos familias: Sphingidae (13 spp.) y Saturniidae (11 spp.) (Fig. 3).

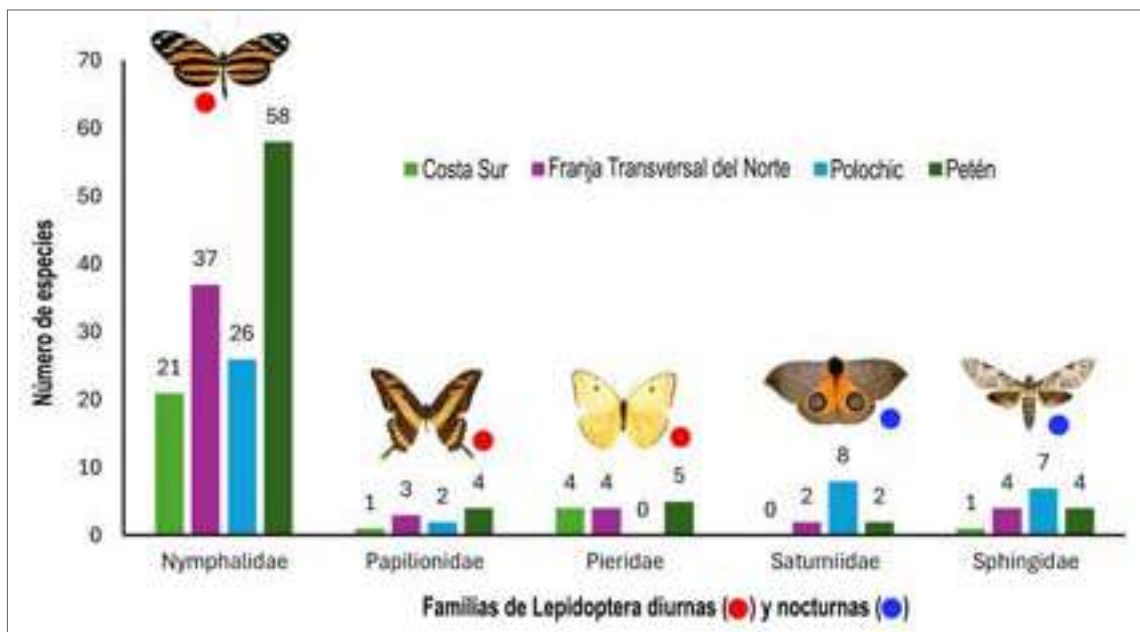


Figura 4. Número de especies mariposas diurnas y nocturnas por familia encontrado en plantaciones de palmas de aceite en las cuatro regiones de Guatemala visitadas entre septiembre 2022 y febrero 2023.

Figure 4. Number of diurnal and nocturnal butterfly species per family collected in African oil plantations of the four regions visited in Guatemala between September 2022 and February 2023.



Figura 5. Cebo de plátano podrido en plantación de palma en donde se observa la gran cantidad de individuos de *Opsiphanes cassina fabricii*. Fotografía tomada cerca de la Nueva Concepción, Escuintla (región costa sur).

Figure 5. Rotten banana bait in an African oil palm plantation, where large numbers of *Opsiphanes cassina fabricii* individuals are observed. Photograph taken near Nueva Concepción, Escuintla ("Costa Sur" región).

La riqueza total de especies de mariposas varió entre las regiones estudiadas. La región de Petén destacó con la mayor diversidad, registrando 73 especies, seguido por la región

Franja Transversal del Norte con 50 especies, y la región Polochic con 43 especies. La región con menor riqueza de especies fue la costa sur con solo 27 especies (Fig. 4).

De las 121 especies documentadas en total, solamente cuatro especies (todas Nymphalidae) se encontraron en todas las regiones estudiadas que son: *Anartia fatima fatima* (Fabricius, 1793), *Opsiphanes cassina fabricii* (Boisduval, 1870), *Pareuptychia ocirrhoe* (Fabricius, 1776) y *Taygetis thamyra* (Cramer, 1779). De estas, *O. cassina* fue observada como plaga en todas las fincas visitadas (Fig. 5, 6). También se documentaron 16 especies que aparecieron en tres de las regiones. La mayoría (13 spp.) fueron Nymphalidae y solamente tres Papilionidae. La mayoría de especies se documentaron solamente de una región (74 spp.) y 26 de dos regiones. Se documentó la especie de esfinge *Neococytius cluentius* (Cramer, 1766) por medio de fotografías del gusano en su último estadio larvario alimentándose de plantas de Santa María (*Piper auritum*: Piperaceae) en las fincas Pataxte (región Polochic) y fincas Canaleño y El Rosario (región Franja Transversal del Norte) en enero 2023 (Fig. 7). Gusanos del quinto estadio de *Caligo telamonius memnon* (C. Felder & R. Felder, 1867) fueron documentadas en la finca San Nicolás (región costa sur) el 23 de noviembre 2022 (Fig. 8).

Especies de mariposas consideradas “raras” de acuerdo con nuestra experiencia de campo en Guatemala, están las siguientes: *Automeris escalantei* Lemaire, 1969 (región Franja Transversal del Norte); *Memphis aureola* (H. Bates, 1866) (región Polochic); *Memphis mora orthesia* (Godman & Salvin, 1884) (región Petén); *Memphis neidhoferi* (Roger, Escalante & Coronado, 1965) (región Petén); *Opsiphanes boisduvalii* Doubleday, [1849] (región costa sur); y *Pyrrhogyra neaerea* Godman & Salvin, 1884 (región costa sur). Estas especies son principalmente Nymphalidae y Saturniidae, las Papilionidae, Pieridae y Sphingidae todas son especies de amplia distribución.



Figura 6. Gusano del tercer estadio de la mariposa *Opsiphanes cassina fabricii* encontrado alimentándose de hojas de palma de aceite en la finca Santa Rosa, Escuintla (región costa sur), Guatemala, el 26 de agosto 2022.

Figure 6. Third instar larva of *Opsiphanes cassina fabricii* found feeding on African oil palm in finca Santa Rosa, Escuintla (costa sur region), Guatemala, on 26 August 2022.



Figura 7. Gusano del quinto estadio de la esfinge *Neococytius cluentius* alimentándose de *Piper auritum* en la finca Pataxte (región Polochic), Izabal, Guatemala, el 27 de enero 2023.

Figure 7. Fifth instar larva of the sphingid *Neococytius cluentius* feeding on *Piper auritum* in finca Pataxte (Polochic region), Izabal, Guatemala, on 27 January 2023.



Figura 8. Gusano del quinto estadio de la mariposa *Caligo telamonius memnon* encontrado alimentándose de hojas de *Heliconia* sp. en la finca San Nicolás, Escuintla (región costa sur), Guatemala, el 23 de noviembre 2022.

Figure 8. Fifth instar larva of *Caligo telamonius memnon* found feeding on *Heliconia* sp. in finca San Nicolás (costa sur region), Escuintla, Guatemala, on 23 November 2022.

DISCUSIÓN

La familia Nymphalidae presentó los mayores valores de riqueza en este estudio. Se caracteriza por tener especies dentro de un rango de hábitats muy diversos y una amplia variedad de hábitos alimenticios. Por esta razón, es común encontrarla en distintos ecosistemas, independientemente de su estado de conservación, por lo que no se considera un grupo indicador de buena o mala calidad ambiental (Kwatrina & Santosa 2019). Sin embargo, muchas de las especies encontradas tienen sus

estados larvarios en plantas que son abundantes en lugares perturbados como gramas (Poaceae), pasifloras (Passifloraceae), asclepias (Asclepiadiaceae), acantáceas (Acanthaceae), guarumos (*Cecropia* sp.), palmas (Arecaceae) y heliconias (Heliconiaceae). Las especies encontradas en todas las regiones fueron *Anartia fatima fatima*, *Opsiphanes cassina fabricii*, *Pareuptychia ocirrhoe* y *Taygetis thamyra*. Estas son bastante abundantes y todas tienen distribución geográfica muy amplia (Warren *et al.* 2012; Glassberg 2018), y se alimentan de las plantas antes mencionadas. Además, tanto *A. fatima fatima* como *O. cassina fabricii* han sido catalogadas como indicadoras de ecosistemas perturbados y de cambios en el uso del suelo (Guzmán 2014; Orta *et al.* 2022). Por otro lado, *P. ocirrhoe* es una especie indicadora de bosques secundarios, áreas perturbadas y bordes de bosque (Pérez-García *et al.* 2018), debido a su alimentación basada en gramíneas. En general, estos patrones de presencia y abundancia sugieren que el ecosistema evaluado está en una fase de transformación, con un aumento de especies adaptadas a ambientes modificados, lo que podría tener implicaciones para la biodiversidad local y su conservación. Por otro lado, *Opsiphanes cassina fabricii* constituye uno de los problemas entomológicos más importantes del cultivo de palma de aceite, provocando graves defoliaciones y aumentando así los costos de producción (Aldana de la Torre *et al.* 1999). De las cuatro regiones visitadas, en la costa sur y Polochic encontramos la mayor abundancia de *O. cassina fabricii*, evidenciando que es una plaga defoliadora seria (Fig. 5). La abundancia es tan alta que en algunos cebos de plátano se encontraron más de 80 individuos de esta especie.

También se encontraron algunas mariposas que dependen de plantas que se encuentran en ambientes riparios o boscosos como las *Dalechampia* (Euphorbiaceae) en donde se alimentan las *Hamadryas* y las *Dynaminae*. Es importante tomar en cuenta que los patrones observados en la riqueza por familia pueden estar levemente sesgados por limitaciones metodológicas. El uso de trampas Van Someren-Rydon con cebo de fruta fermentada favorece la captura de especies frugívoras, lo cual puede explicar una mayor representación de la familia Nymphalidae (Vega-Garrido & Mahecha 2024). El método de colecta directa con red entomológica de mano durante caminatas *ad libitum* (Vega-Garrido & Mahecha 2024) es un método complementario importante para encontrar especies que se encuentran en flores, vegetación o volando. No obstante, este método también presenta desventajas ya que depende de la experiencia del colector para detectar y capturar mariposas en vuelo o posadas sobre vegetación.

La abundancia de especies encontrada de la familia Nymphalidae, siendo el grupo dominante, es consistente con lo reportado por otros estudios en plantaciones de palma de aceite. Por ejemplo, Koh (2008) registró 21 especies de Nymphalidae (de un total de 30 especies) en plantaciones de palma de aceite en Malasia, mientras que las familias

Papilionidae y Pieridae presentaron una diversidad significativamente menor (4 y 5 especies, respectivamente). De igual manera, Asmah *et al.* (2017) reportaron que Nymphalidae fue la familia más rica en especies de mariposas frugívoras. Kwatrina & Santosa (2019) también hallaron que Nymphalidae fue la familia dominante con 16 especies de un total de 27, siendo común en todos los tipos de hábitats evaluados. Esta consistencia en los patrones de riqueza sugiere que Nymphalidae tiende a dominar en diversos tipos de hábitats debido a su amplio rango ecológico y diversidad de hábitos alimenticios, como también lo destacan Kwatrina & Santosa (2019). Por lo tanto, su abundancia no necesariamente indica una alta calidad ecológica del ecosistema, sino que puede reflejar la capacidad generalista del grupo. En contraste, las familias Papilionidae y Pieridae, con menor diversidad relativa en nuestro estudio, podrían estar más influenciadas por características específicas del hábitat, comportamiento y ecología, como también se ha observado en otros contextos neotropicales (Avigliano & Schenone 2015; Luis-Martínez *et al.* 2020).

Las familias Pieridae y Papilionidae presentaron una diversidad bastante menor. Las Pieridae son mariposas que además de ser mucho menos diversas, también resultan ser bastante difíciles de atrapar y por lo tanto incluir en los números de este proyecto. Por ejemplo, no son atraídas a los cebos utilizados y la única forma de atraparlas es por medio de correrlas incansablemente. Visitan flores pero al más mínimo movimiento vuelan. Esto resulta en un muestreo con números mucho más reducidos que otras que se pueden atrapar con cebos. Sin embargo, la documentación de las especies en esta familia es importante para conocer mejor la fauna presente en estos sistemas agrícolas. Con la familia Papilionidae pasa algo similar, sin embargo, visitan flores y son más fáciles de fotografiar o atrapar; también son más fáciles de identificar. Los Papilionidae tienen preferencias alimenticias por géneros, por ejemplo algunas como *Papilio thoas autocles* Rothschild & Jordan, 1906 se alimentan de plantas de la familia Piperaceae, y por lo tanto pueden ser comunes en varios ecosistemas degradados, incluyendo plantaciones de palma de aceite. También tenemos el ejemplo de *Papilio anchisiades idaeus* Fabricius, 1793 que se alimenta de plantas de la familia Rutaceae y por lo tanto puede ser abundante en ambientes en donde se han sembrado cítricos (naranjas y limones por ejemplo). Sin embargo, otras especies encontradas en las plantaciones de palma de aceite como *Parides erithalion polyzelus* (C. Felder & R. Felder, 1865) y *Parides eurimedes mylotes* (H. Bates, 1861), tienen larvas que se alimentan de plantas de la familia Aristolochiaceae; estas plantas generalmente están en ambientes riparios o bosques.

Con respecto a las mariposas nocturnas, que básicamente fueron atrapadas con trampas de luz, tenemos una diversidad relativamente baja. Hay muy poca información de riqueza de especies de estas familias en Guatemala, sin embargo, sabemos

que en la Reserva Refugio del Quetzal de la Universidad del Valle de Guatemala se han encontrado 30 especies de Saturniidae y 31 de Sphingidae (Monzón *et al.* 2010); para el área de El Mirador en Petén se reportan 29 Saturniidae y 52 de Sphingidae (Monzón & Schuster 2013). En total para las cuatro regiones de este proyecto encontramos 11 especies de Saturniidae y 13 de Sphingidae, siendo números bastante bajos en comparación con los datos mencionados anteriormente. De la familia Saturniidae solamente la especie *Automeris escalantei* Lemaire, 1969 podemos considerar en nuestra experiencia que es rara con solamente 40 ocurrencias en *Global Biodiversity Information Facility* (GBIF) y una distribución muy restringida entre el istmo de Tehuantepec (México), Guatemala y el oeste de Honduras (GBIF 2025a). Es interesante conocer que esfinges (familia Sphingidae) se encuentran dentro de los sistemas agrícolas de palma de aceite, sin embargo, todas las especies que fueron documentadas son de amplia distribución y comunes.

En base a nuestra experiencia de campo en diversas regiones de Guatemala, algunas especies de mariposas pueden considerarse "raras" debido a su presencia esporádica o localizada, como *Automeris escalantei*, *Memphis aureola*, *Memphis mora orthesia*, *Memphis neidhoferi*, *Opsiphanes boisduvalii* y *Pyrhogyra neaerea*. Esta percepción empírica se ve respaldada por datos de ocurrencia en plataformas de acceso abierto como GBIF (2025b). Por ejemplo, *Automeris escalantei* cuenta con 14 registros para Guatemala, así como el resto de las especies mencionadas muestran una presencia muy limitada o nula en la base de datos: *Memphis aureola*, *Memphis mora*, *Memphis neidhoferi* y *Opsiphanes boisduvalii* no tienen registros reportados para el país, mientras que *Pyrhogyra neaerea* solo cuenta con un registro. Esta escasez de datos refuerza la idea de que se trata de especies poco comunes o submuestreadas, y destaca la importancia de fortalecer los esfuerzos de monitoreo y publicación de datos sobre la biodiversidad en el país.

Algunas prácticas de sostenibilidad implementadas en las fincas de estudio (certificadas RSPO) se relacionan de manera positiva con la diversidad de insectos observada. Por ejemplo, la presencia de parches nectaríferos favorece el crecimiento de herbáceas nativas, lo cual atrae polinizadores que contribuyen al servicio ecosistémico de polinización (Blumgart *et al.* 2023). Asimismo, la práctica de no eliminar el sotobosque promueve una mayor heterogeneidad y cobertura vegetal, beneficiando la permanencia de diversas poblaciones de mariposas. La restauración de bosques de ribera (ancho mínimo de mantenimiento de bosque cada lado del río: 30 metros) también se asocia con un incremento en la diversidad de estos insectos (Ayompe *et al.* 2021). Por último, el uso focalizado y de baja intensidad de agroquímicos permite que las mariposas completen su ciclo de vida, al evitar la afectación de sus plantas hospederas durante el estadio larval. Es imprescindible que los planes de manejo en plantaciones de palma de aceite

incluyan estrategias que favorezcan la conservación de estos insectos y la fauna en general, priorizando la conservación de bosques continuos y parches de bosque para desarrollar una agricultura de palma de aceite más sostenible (Oon *et al.* 2023).

AGRADECIMIENTOS

Queremos agradecer al Centro de Estudios Ambientales y Biodiversidad de la Universidad del Valle de Guatemala (CEAB-UVG), principalmente a Daniel Ariano, Gabriela Alfaro y Gabriela Fuentes por el apoyo sin el cuál, no se hubiera podido realizar este proyecto. También queremos agradecer especialmente a los compañeros Luis González y Christian Chinchilla por su apoyo y amistad durante los trabajos de campo. También un agradecimiento especial a la Gremial de Palmicultores de Guatemala (GREPALMA), principalmente a Karen Rosales y Gilmar Arreaga que fueron piezas clave para realizar este estudio. Las siguientes empresas amablemente apoyaron nuestro trabajo de campo: Santa Rosa S. A. (Grupo HAME) en la Costa Sur, NaturAceites S.A en el Polochic y la Franja Transversal del Norte, y REPSA (Grupo HAME) en Petén. Por último queremos agradecer a Ingo Wehrtmann, Richard Zack y un revisor anónimo por sus valiosos comentarios para mejorar la calidad de este trabajo.

REFERENCIAS

- Aldana de la Torre, J., Fajardo, J. & Calvache, G. H. 1999. Evaluation of two trap designs to capture adults of the *Opsiphanes cassina* Felder (Lepidoptera: Brassolidae) in an oil palm plantation. *Palmas* 20(2): 23-29
- Asmah, S., Ghazali, A., Syafiq, M., Yahya, M. S., Peng, T. L., Norhisham, A. R. & Lindenmayer, D. B. 2017. Effects of polyculture and monoculture farming in oil palm smallholdings on tropical fruit feeding butterfly diversity. *Agricultural and Forest Entomology* 19(1): 70-80. <https://doi.org/10.1111/afe.12182>
- Avigliano, E. & Schenone, N. F. 2015. Nymphalidae, Papilionidae and Pieridae (Insecta: Lepidoptera: Rhopalocera) from the Acaraguá River basin, Misiones, Argentina. *Entomotropica* 30: 84-91.
- Ayompe, L. M., Schaafsma, M. & Egoh, B. N. 2021. Towards sustainable palm oil production: The positive and negative impacts on ecosystem services and human wellbeing. *Journal of Cleaner Production* 278: 123914. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.123914>
- Barcelos, E., Rios, S. D. A., Cunha, R. N., Lopes, R., Motoike, S. Y., Babiychuk, E. & Kushnir, S. 2015. Oil palm natural diversity and the potential for yield improvement. *Frontiers in Plant Science* 6: 190. <https://doi.org/10.3389/fpls.2015.00190>
- Blumgart, D., Botham, M. S., Menéndez, R. & Bell, J. R. 2023. Floral enhancement of arable field margin increases moth abundance and diversity. *Journal of Insect Conservation* 27(3): 455-465. <https://doi.org/10.1007/s10841-023-00469-9>

- Deere, N. J., Bicknell, J. E., Mitchell, S. L., Afendy, A., Baking, E. L. ... & Struebig, M. J. 2022. Riparian buffers can help mitigate biodiversity declines in oil palm agriculture. *Frontiers in Ecology and the Environment* 20(8): 459-466. <https://doi.org/10.1002/fee.2473>
- Duarte, C., Juárez, M. A., Pérez, G. & Gálvez, J. 2010. Análisis de la dinámica de expansión del cultivo de la palma africana en Guatemala: Un enfoque cartográfico. In: *Perfil ambiental de Guatemala 2010-2012. Vulnerabilidad local y creciente construcción de riesgo*, Instituto de Agricultura, Recursos Naturales y Ambiente (IARNA), Universidad Rafael Landívar, Guatemala; pp. 340-362.
- Furumo, P. R. & Aide, T. M. 2017. Caracterización de la expansión de la palma de aceite para uso comercial en América Latina: cambio en el uso del suelo y comercialización. *Palmas* 38(2): 27-48.
- GBIF (Global Biodiversity Information Facility). 2025a. GBIF occurrence download for *Automeris escalantei* Lemaire, 1969. <https://doi.org/10.15468/dl.2q37n9>
- GBIF. 2025b. Registros de mariposas (Lepidoptera) en Guatemala. GBIF. [https://www.gbif.org/occurrence/search?country=GT&taxon_key=797&occurrence_status=present]. Accesado: 20 abril 2025.
- Glassberg, J. 2018. *A swift guide to butterflies of Mexico and Central America*. Princeton University Press, U.S.A.
- Guzmán, J. G. 2014. Interacción de predador-presa entre *Phymata fasciata* y *Anartia fatima*, mariposa indicadora de ecosistemas alterados. *Revista de Zoología* 25: 18-21.
- Koh, L. P. 2008. Can oil palm plantations be made more hospitable for forest butterflies and birds? *Journal of Applied Ecology* 45(4): 1002-1009. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2664.2008.01491.x>
- Kwatrina, R. T. & Santosa, Y. 2019. A case study on the impacts of oil palm plantation on butterflies: differences in plantation scale and management implications. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* 336(1): 012024. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/336/1/012024>
- Lucey, J. M. & Hill, J. K. 2012. Spillover of insects from rain forest into adjacent oil palm plantations. *Biotropica* 44(3): 368-377. <https://doi.org/10.1111/j.1744-7429.2011.00824.x>
- Luis-Martínez, A., Sánchez García, A., Ávalos-Hernández, O., Salinas-Gutiérrez, J. L., Trujano-Ortega, M., Arellano-Covarrubias, A. & Llorente-Bousquets, J. 2020. Distribution and diversity of Papilionidae and Pieridae (Lepidoptera: Papilionoidea) in Loxicha Region, Oaxaca, Mexico. *Revista de Biología Tropical* 68(1): 139-155.
- Monzón, J. & Schuster, J. C. 2013. *Mayab Yik'elil Kan: Los insectos tropicales del antiguo Reino Kan de Mesoamérica*. Corporación Litográfica, Guatemala.
- Monzón, J., Laguerre, M. & Herbin, D. 2010. Mariposas nocturnas (Familias Arctiidae, Saturniidae y Sphingidae) de la reserva Refugio del Quetzal (Guatemala, Suchitepéquez). *Revista Universidad del Valle de Guatemala* 21: 69-87.
- Oon, A., Ahmad, A., Sah, S. M., Maulud, K. N. A., Yahya, M. S., Lechner, A. M. & Azhar, B. 2023. The conservation of biodiverse continuous forests and patches may provide services that support oil palm yield: Evidence from satellite crop monitoring. *Cleaner Production Letters* 4, 100036. <https://doi.org/10.1016/j.clpl.2023.100036>
- Orta, C., Reyes-Agüero, J. A., Luis-Martínez, M. A., Muñoz-Robles, C. A. & Méndez, H. 2022. Mariposas bioindicadoras ecológicas en México. *Acta Zoológica Mexicana* 38: 1-33. <https://doi.org/10.21829/azm.2022.3812488>
- Pashkevich, M. D., Aryawan, A. A., Luke, S. H., Dupérré, N., Waters, H. S., Caliman, J. P. & Turner, E. 2021. Assessing the effects of oil palm replanting on arthropod biodiversity. *Journal of Applied Ecology* 58(1): 27-43. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.13749>
- Pérez-García, O., Benjamin, T. J. & Tobar L., D. E. 2018. Los agroecosistemas cafetaleros modernos y su relación con la conservación de mariposas en paisajes fragmentados. *Revista de Biología Tropical* 66(1): 394-402. <https://dx.doi.org/10.15517/rbt.v66i1.29013>
- Power, C. C., Nielsen, A. & Sheil, D. 2022. Even small forest patches increase bee visits to flowers in an oil palm plantation landscape. *Biotropica* 54(1): 18-30. <http://doi.org/10.1111/btp.13023>
- RSPO (Roundtable on Sustainable Palm Oil). 2023. RSPO Principles and Criteria (P&C) 2023. [<https://rspo.org/es/resources/?id=35108>]. Accesado: 24 de abril 2025.
- Vega-Garrido, Y. & Mahecha-J., O. 2024. Evaluation of the type of bait in catching Nymphalidae in Van Someren-Rydon traps in the National Park Yanachaga-Chemillén-Paujil sector, Pasco, Peru (Lepidoptera: Papilionoidea). *SHILAP Revista de Lepidopterología* 52(206): 355-367. <https://doi.org/10.57065/shilap.915>
- Warren, A. D., Davis, K. J., Grishin, N. V., Pelham, J. P. & Stangeland, E. M. 2012. Interactive listing of American butterflies. [<https://www.butterfliesofamerica.com/L/Neotropical.htm>]. Accesado: 24 marzo 2025.

ANEXO 1

LISTADO DE ESPECIES DE MARIPOSAS DIURNAS Y NOCTURNAS DE LAS FAMILIAS NYMPHALIDAE, PAPILIONIDAE, PIERIDAE, SATURNIIDAE Y SPHINGIDAE ENCONTRADAS EN PLANTACIONES DE PALMA EN GUATEMALA (CS, región costa sur; FTN, región Franja Transversal del Norte; Po, región Polochic; Pe, región Petén).

FAMILIA NYMPHALIDAE**SUBFAMILIA APATURINAE**

- 1- *Doxocopa pavon theodora* (Lucas, 1857) (Pe) (Fig. 6)

SUBFAMILIA BIBLIDINAE

- 2- *Biblis hyperia aganisa* Boisduval, 1836 (Pe) (Fig. 7)
 3- *Callicore texa titania* (Salvin, 1869) (Pe) (Fig. 8)
 4- *Catonephele mexicana* Jenkins & R.G. De la Maza, 1985 (Po) (Fig. 9)
 5- *Dynamine postverta mexicana* d'Almeida, 1952 (FTN) (Fig. 10)
 6- *Eunica monima* (Stoll, 1782) (Pe) (Fig. 11)
 7- *Hamadryas amphinome mexicana* (Lucas, 1853) (Pe, Po) (Fig. 12)
 8- *Hamadryas februa ferentina* (Godart, [1824]) (CS, Pe) (Fig. 13)
 9- *Hamadryas feronia farinulenta* (Fruhstorfer, 1916) (FTN, Pe, Po) (Fig. 14)
 10- *Hamadryas iphthime joannae* Jenkins, 1983 (FTN, Pe, Po) (Fig. 15)
 11- *Hamadryas laodamia saurites* (Fruhstorfer, 1916) (FTN, Po) (Fig. 16a, 16b)
 12- *Mestra amymone* (Ménétriés, 1857) (FTN, Pe) (Fig. 18)
 13- *Nica flavilla* (Godart, [1824]) (CS, FTN, Pe) (Fig. 19)
 14- *Pyrrhogyra neaerea* Godman & Salvin, 1884 (CS) (Fig. 20)
 15- *Pyrrhogyra otolais otolais* H. Bates, 1864 (FTN) (Fig. 21)
 16- *Temenis laothoe hondurensis* Fruhstorfer, 1907 (FTN, Pe) (Fig. 22)

SUBFAMILIA CHARAXINAE

- 17- *Archaeoprepona amphinomus amphioktion* (Fabricius, 1775) (Pe) (Fig. 23)
 18- *Archaeoprepona demophon centralis* (Fruhstorfer, 1905) (FTN, Pe) (Fig. 24)
 19- *Archaeoprepona demophoon gulina* (Fruhstorfer, 1904) (Pe) (Fig. 25)
 20- *Consul fabius cecrops* (Doubleday, [1849]) (CS, Pe, Po) (Fig. 26)
 21- *Fountainea eurypyle confusa* (A. Hall, 1929) (FTN) (Fig. 27)
 22- *Fountainea ryphea ryphea* (Cramer, 1775) (Pe) (Fig. 28)
 23- *Memphis artacaena* (Hewitson, 1869) (FTN) (Fig. 29)
 24- *Memphis aureola* (H. Bates, 1866) (Po) (Fig. 30)
 25- *Memphis mora orthesia* (Godman & Salvin, 1884) (Pe) (Fig. 31)
 26- *Memphis neidhoeferi* (Roger, Escalante & Coronado, 1965) (Pe) (Fig. 32)
 27- *Prepona laertes octavia* Fruhstorfer, 1905 (Pe) (Fig. 33)
 28- *Siderone galanthis galanthis* (Cramer, 1775) (Po) (Fig. 34)
 29- *Zaretis ellops* (Ménétriés, 1855) (CS) (Fig. 35)

SUBFAMILIA CYRESTINAE

- 30- *Marpesia chiron* (Fabricius, 1775) (Po) (Fig. 36)

SUBFAMILIA DANAINAE

- 31- *Aeria eurimedia* (Cramer, [1777]) (CS) (Fig. 37)
 32- *Danaus eresimus montezuma* Talbot, 1943 (Pe) (Fig. 38)
 33- *Danaus gilippus thersippus* (H. Bates, 1863) (CS) (Fig. 39)
 34- *Danaus plexippus plexippus* (Linnaeus, 1758) (FTN) (Fig. 40)
 35- *Dircenna dero* (Hübner, 1823) (FTN) (Fig. 41)
 36- *Greta morgane oto* (Hewitson, [1855]) (CS) (Fig. 42)
 37- *Ithomia patilla* Hewitson, 1852 (FTN) (Fig. 43)

- 38- *Mechanitis polymnia lycidice* H. Bates, 1864 (CS, Pe, Po) (Fig. 44)
 39- *Oleria paula* (Weymer, 1883) (FTN) (Fig. 45)
 40- *Pteronymia cotytto* (Guérin-Ménéville, [1844]) (Pe) (Fig. 46)

SUBFAMILIA HELICONIINAE

- 41- *Dryas iulia moderata* (N. Riley, 1926) (FTN, Pe, Po) (Fig. 47)
 42- *Euiedes aliphera gracilis* Stichel, 1903 (FTN, Pe, Po) (Fig. 48)
 43- *Euiedes isabella eva* (Fabricius, 1793) (Pe) (Fig. 49)
 44- *Euptoieta hegesia meridiana* Stichel, 1938 (CS, Pe) (Fig. 50)
 45- *Heliconius charithonia vazquezae* W. Comstock & F. Brown, 1950 (FTN, Pe) (Fig. 51)
 46- *Heliconius erato petiverana* (E. Doubleday, 1847) (CS, FTN, Pe) (Fig. 52)
 47- *Heliconius hecale zuleika* Hewitson, 1854 (Pe, Po) (Fig. 53)
 48- *Heliconius ismenius telchinia* Doubleday, 1847 (FTN, Pe, Po) (Fig. 54)
 49- *Heliconius sapho leuce* Doubleday, 1847 (Pe) (Fig. 55)

SUBFAMILIA LIMENITIDINAE

- 50- *Adelpha cytherea marcia* Fruhstorfer, 1913 (FTN, Po) (Fig. 56)

SUBFAMILIA NYMPHALINAE

- 51- *Anartia fatima fatima* (Fabricius, 1793) (CS, FTN, Pe, Po) (Fig. 57)
 52- *Anartia jatrophae jatrophae* (Linnaeus, 1763) (Pe) (Fig. 58)
 53- *Anthanassa argentea* (Godman & Salvin, 1882) (Pe) (Fig. 59)
 54- *Anthanassa drusilla lelex* (H. Bates, 1864) (CS, Pe) (Fig. 60)
 55- *Anthanassa tulcis* (H. Bates, 1864) (FTN, Pe) (Fig. 61)
 56- *Castilia eranites* (Hewitson, 1857) (FTN) (Fig. 62)
 57- *Castilia myia* (Hewitson, [1864]) (FTN) (Fig. 63)
 58- *Chlosyne gaudialis gaudialis* (H. Bates, 1864) (Po) (Fig. 64)
 59- *Chlosyne janais janais* (Drury, 1782) (Pe, Po) (Fig. 65)
 60- *Chlosyne lacinia lacinia* (Geyer, 1837) (CS, Pe) (Fig. 66)
 61- *Chlosyne theona theona* (Ménétriés, 1855) (CS) (Fig. 67)
 62- *Colobura dirce dirce* (Linnaeus, 1758) (FTN, Pe) (Fig. 68)
 63- *Eresia clio clio* (Linnaeus, 1758) (FTN, Pe) (Fig. 69)
 64- *Historis acheronta acheronta* (Fabricius, 1775) (Pe) (Fig. 70)
 65- *Historis odius dious* Lamas, 1995 (Pe, Po) (Fig. 71)
 66- *Junonia evarete* (Cramer, 1779) (FTN, Pe) (Fig. 72)
 67- *Phyciodes graphica* (R. Felder, 1869) (Pe) (Fig. 73)
 68- *Phyciodes phaon maya* A. Hall, 1928 (Pe) (Fig. 74)
 69- *Siproeta stelenes biplagiata* (Fruhstorfer, 1907) (FTN) (Fig. 75)
 70- *Smyrna blomfilidia datis* Fruhstorfer, 1908 (Pe) (Fig. 76)
 71- *Tegosa guatemalena* (H. Bates, 1864) (FTN, Pe) (Fig. 77)

SUBFAMILIA SATYRINAE

- 72- *Caligo telamonius memnon* (C. Felder & R. Felder, 1867) (CS, Pe, Po) (Fig. 78)
 73- *Cissia pompilia* (C. Felder & R. Felder, 1867) (FTN, Pe, Po) (Fig. 79a, 79b)

- 74- *Cissia themis* (Butler, 1867) **(FTN)** (Fig. 80)
 75- *Magneptychia libye* (Linnaeus, 1767) **(CS, FTN, Pe)** (Fig. 81)
 76- *Morpho helenor montezuma* Guenée, 1859 **(FTN, Pe, Po)** (Fig. 82)
 77- *Opsiphanes boisduvallii* Doubleday, [1849] **(CS)** (Fig. 83)
 78- *Opsiphanes cassina fabricii* (Boisduval, 1870) **(CS, FTN, Pe, Po)** (Fig. 84)
 79- *Pareuptychia ocirrhoe* (Fabricius, 1776) **(CS, FTN, Pe, Po)** (Fig. 85a, 85b)
 80- *Pseudodebis zimri* (Butler, 1869) **(Pe)** (Fig. 86)
 81- *Taygetis mermeria excavata* Butler, 1868 **(Pe)** (Fig. 87)
 82- *Taygetis thamyra* (Cramer, 1779) **(CS, FTN, Pe, Po)** (Fig. 88)
 83- *Taygetis virgilia* (Cramer, 1776) **(Pe)** (Fig. 89)
 84- *Ypthimoides renata* (Stoll, 1780) **(Pe)** (Fig. 90)

FAMILIA PAPILIONIDAE

- 85- *Papilio anchisiades idaeus* Fabricius, 1793 **(Pe, Po)** (Fig. 91)
 86- *Papilio thoas autocles* Rothschild & Jordan, 1906 **(CS, FTN, Pe)** (Fig. 92)
 87- *Parides erithalion polyzelus* (C. Felder & R. Felder, 1865) **(FTN, Pe, Po)** (Fig. 93)
 88- *Parides eurimedes mylotes* (H. Bates, 1861) **(FTN, Pe)** (Fig. 94)

FAMILIA PIERIDAE

- 89- *Anteos maerula* (Fabricius, 1775) **(Pe)** (Fig. 95)
 90- *Ascia monuste monuste* (Linnaeus, 1764) **(CS, FTN, Pe)** (Fig. 96)
 91- *Eurema albula celata* (R. Felder, 1869) **(FTN)** (Fig. 97)
 92- *Eurema daira eugenia* (Wallengren, 1860) **(FTN)** (Fig. 98)
 93- *Nathalis iole* (Boisduval, 1836) **(CS)** (Fig. 99)
 94- *Phoebis argante* (Fabricius, 1775) **(CS)** (Fig. 100)
 95- *Phoebis philea philea* (Linnaeus, 1763) **(CS, Pe)** (Fig. 101)
 96- *Phoebis sennae marcellina* (Cramer, 1777) **(Pe)** (Fig. 102)
 97- *Pyrisitia nise nelphe* (R. Felder, 1869) **(FTN, Po)** (Fig. 103)

FAMILIA SATURNIIDAE

- 99- *Automeris belti* Druce, 1886 **(FTN)** (Fig. 104)
 99- *Automeris escalantei* Lemaire, 1969 **(FTN)** (Fig. 105)
 100- *Automeris metzli* (Salle, 1853) **(Po)** (Fig. 106)
 101- *Automeris tridens* Herrich-Schäffer, 1855 **(Po)** (Fig. 107)
 102- *Automeris zozine* Druce, 1886 **(Po)** (Fig. 108)
 103- *Citioica anthonilis* (Herrich-Schäffer, 1854) **(Po)** (Fig. 109)
 104- *Periphoba arcae* (Druce, 1886) **(FTN, Pe)** (Fig. 110)
 105- *Ptiloscola dargei* Lemaire, 1971 **(Po)** (Fig. 111)
 106- *Rhescyntis hippodamia norax* Druce, 1897 **(Po)** (Fig. 112)
 107- *Rothschildia lebeau aroma* Schaus, 1905 **(Pe)** (Fig. 113)
 108- *Sysphinx quadrilineata* (Grote & Robinson, 1867) **(Po)** (Fig. 114)

FAMILIA SPHINGIDAE

- 109- *Amphimoea walkeri* (Boisduval, 1875) **(Po)** (Fig. 115)
 110- *Enyo lugubris* (Linnaeus, 1771) **(CS)** (Fig. 116)
 111- *Enyo ocypete* (Linnaeus, 1758) **(Po)** (Fig. 117a, 117b)
 112- *Eumorpha anchemolus* (Cramer, 1779) **(Po)** (Fig. 118)
 113- *Eumorpha triangulum* (Rothschild & Jordan, 1903) **(Po)** (Fig. 119)
 114- *Madoryx plutonius* (Hübner, 1819) **(FTN, Po)** (Fig. 120)
 115- *Manduca albiplaga* (Walker, 1856) **(Pe)** (Fig. 121)
 116- *Neococytius cluentius* (Cramer, 1766) **(FTN, Po)** (Fig. 122)
 117- *Perigonia ilus* Boisduval, 1870 **(Pe)** (Fig. 123)
 118- *Protambulyx strigilis* (Linnaeus, 1779) **(FTN)** (Fig. 124)
 119- *Xylophanes libya* (H. Druce, 1878) **(Pe)** (Fig. 125)
 120- *Xylophanes neoptolemus* (Cramer, 1780) **(FTN, Pe)** (Fig. 126)
 121- *Xylophanes pluto* Fabricius, 1777 **(FTN)** (Fig. 127)

ANEXO 2

LEPIDOPTERA (PAPILIONOIDEA: NYMPHALIDAE, PAPILIONIDAE Y PIERIDAE; BOMBYCOIDEA: SATURNIIDAE Y SPHINGIDAE) ENCONTRADAS EN PLANTACIONES DE PALMA ACEITE (M=macho, H=hembra).

SUPERFAMILIA PAPILIONOIDEA / FAMILIA NYMPHALIDAE

1-*Doxocopa pavon theodora*2-*Biblis hyperia aganisa*3-*Callicore texa titania*4-*Catonephele mexicana* MACHO5-*Dynamine postverta mexicana*6-*Eunica monima*7-*Hamadryas amphinome mexicana*8-*Hamadryas februa ferentina*9-*Hamadryas feronia farinulenta*10-*Hamadryas ipthime joannae*11a-*Hamadryas laodamia saurites* M11b-*Hamadryas laodamia saurites* H



12-*Mestra anymone*



13-*Nica flavilla*



14-*Pyrrhogyra neacrea*



15-*Pyrrhogyra otolaia otolaia*



16-*Temenis laothoe hondurensis*



17-*Archaeoprepona amphimachus*



18-*Archaeoprepona demophon*



19-*Archaeoprepona demophon*



20-*Consul fabius cecrops*



21-*Fountainia eurypyle confusa*



22-*Fountainia ryphea ryphea*



23-*Memphis artacaena*



24-*Memphis aureola*



25-*Memphis mora orthesia*



26-*Memphis neidhoeferi*

**ANEXO 2. LEPIDOPTERA (PAPILIONOIDEA: NYMPHALIDAE, PAPILIONIDAE Y PIERIDAE; BOMBYCOIDEA: SATURNIIDAE Y SPHINGIDAE)
ENCONTRADAS EN PLANTACIONES DE PALMA ACEITE (M=macho, H=hembra).
SUPERFAMILIA PAPILIONOIDEA / FAMILIA NYMPHALIDAE**



27-*Prepona laertes octavia*



28-*Siderone galanthus*



29-*Zaretis ellops*



30-*Marpesia chiron*



31-*Aeria eurimedia*



32-*Danaus eresimus montezuma*



33-*Danaus gilippus thesippus*



34-*Danaus plexippus plexippus*



35-*Dircenna dero*



36-*Greta morgani ota*



37-*Ithomia patilla*



38-*Mechanitis polymnia lycidice*



39-*Oleria paula*



40-*Pteronymia cotyto*



41-*Dryas iulia moderata*

**ANEXO 2. LEPIDOPTERA (PAPILIONOIDEA: NYMPHALIDAE, PAPILIONIDAE Y PIERIDAE; BOMBYCOIDEA: SATURNIIDAE Y SPHINGIDAE)
ENCONTRADAS EN PLANTACIONES DE PALMA ACEITE (M=macho, H=hembra).
SUPERFAMILIA PAPILIONOIDEA / FAMILIA NYMPHALIDAE**



42-*Euiades aliphera gracilis*



43-*Euiades isabella eva*



44-*Euptoieta hegesia meridiana*



45-*Heliconius charithonia*



46-*Heliconius erato petiverana*



47-*Heliconius hecale zuleika*



48-*Heliconius ismenius telchinia*



49-*Heliconius sapho leuce*



50-*Adelfa cytherea marcia*



51-*Anartia fatima fatima*



52-*Anartia jatrophae jatrophae*



53-*Anthanassa argentea*



54-*Anthanassa drusilla lelex*



55-*Anthanassa tulcis*



56-*Castilia erantex*

**ANEXO 2. LEPIDOPTERA (PAPILIONOIDEA: NYMPHALIDAE, PAPILIONIDAE Y PIERIDAE; BOMBYCOIDEA: SATURNIIDAE Y SPHINGIDAE)
ENCONTRADAS EN PLANTACIONES DE PALMA ACEITE (M=macho, H=hembra).
SUPERFAMILIA PAPILIONOIDEA / FAMILIA NYMPHALIDAE**



57-*Castilla myla*



58-*Chlosyne gaudialis gaudialis*



59-*Chlosyne janais janais*



60-*Chlosyne lacinia lacinia*



61-*Chlosyne theona theona*



62-*Colobura dirce dirce*



63-*Eresia clio clio*



64-*Historis acheronta*



65-*Historis odilus dionis*



66-*Junonia evarete*



67-*Phyciodes grafica*



68-*Phyciodes phawn maya*



69-*Siproeta stelenes biplagiata*



70-*Smyrna blanfordia datis*



71-*Tegosa guatemalensis*

**ANEXO 2. LEPIDOPTERA (PAPILIONOIDEA: NYMPHALIDAE, PAPILIONIDAE Y PIERIDAE; BOMBYCOIDEA: SATURNIIDAE Y SPHINGIDAE)
ENCONTRADAS EN PLANTACIONES DE PALMA ACEITE (M=macho, H=hembra).
SUPERFAMILIA PAPILIONOIDEA / FAMILIA NYMPHALIDAE**



72-*Caligo telamonius memnon*



73a-*Cissia pompilia*



73b-*Cissia pompilia*



74-*Cissia themis*



75-*Magneptrychia libye*



76-*Morpha helenor*



77-*Opsiphanes botsduvallii*



78-*Opsiphanes cassina fabricii*



79a-*Pareuptrychia ocirrhoe*



79b-*Pareuptrychia ocirrhoe*



80-*Pseudodebis zimri*



81-*Taygetis mermeria*



82-*Taygetis thamyra*



83-*Taygetis virgilia*



84-*Ypthimoides renata*

FAMILIA PAPILIONIDAE



85-*Papilio anchisiades laevis*



86-*Papilio thoas antioles*



87-*Parides erithalion polyzelus*



88-*Parides eurimedes mylotes*

FAMILIA PIERIDAE



89-*Anteos maerula*



90-*Ascia monuste monuste*



91-*Eurema albula celata*



92-*Eurema daira* HEMBRA



93-*Nathalis iole*



94-*Phoebis argante* HEMBRA



95-*Phoebis philea* HEMBRA



96-*Phoebis sennae marcellina*



97-*Pyrisitia nise nelphe*

SUPERFAMILIA BOMBYCOIDEA

FAMILIA SATURNIIDAE



98-*Automeris belti*



99-*Automeris escalantei*



100-*Automeris metzli*



101-*Automeris tridens*



102-*Automeris zozine*



103-*Citioica anthonilis*



104-*Periphoba arcaei*



105-*Ptilosciole dargei*



106-*Rhescyntis hippodamia*



107-*Rothschildia lebeau aroma*



108-*Rothschildia lebeau aroma*

FAMILIA SPHINGIDAE



109-*Amphimoea walkeri*



110-*Enyo lugubris*



111-*Enyo ocypte*



111b-*Enyo ocypete*



112-*Eumorpha anchemolus*



113-*Eumorpha triangulum*



114-*Madoryx plutonius*



115-*Manduca albiplaga*



116-*Neococytius cluentius*



117-*Perigonia ilus*



118-*Protambulyx strigilis*



119-*Xylophanes libya*



120-*Xylophanes neoptolemus*



121-*Xylophanes pluto*

Orquídeas en el área de la Hidroeléctrica Renace, San Pedro Carchá, Alta Verapaz, Guatemala

Orchids in the Renace Hydroelectric area, San Pedro Carchá, Alta Verapaz, Guatemala

José MONZÓN-SIERRA^{1,*} & Edgar Alfredo MÓ²

¹ Centro de Estudios Ambientales y Biodiversidad. Universidad del Valle de Guatemala, Guatemala

² Carrera de Agronomía. Centro Universitario del Norte. Universidad de San Carlos de Guatemala. Cobán, Alta Verapaz, Guatemala.

*Correspondencia: José Monzón-Sierra (jmonzon@uvg.edu.gt)

Recibido: 23/IX/2024; Aceptado: 25/V/2025

Resumen: Presentamos los resultados del proyecto de investigación de las especies de orquídeas en las áreas naturales y bosques de la Hidroeléctrica Renace en San Pedro Carchá, Alta Verapaz, Guatemala. El objetivo principal fue documentar la diversidad de orquídeas de esta región de San Pedro Carchá y saber cuál es el estado actual de las poblaciones de orquídeas, considerando la alta presión humana en estos lugares. Desde julio de 2022 a diciembre de 2023, se realizaron 25 viajes de campo al área de estudio para documentar las especies de orquídeas en floración. En total se encontraron y documentaron 144 especies entre la Reserva Natural Privada Renace, RNP Sankil Che', Renace I, Renace II y Renace IV. La mayor cantidad de orquídeas se registraron en agosto y octubre con 52 especies cada mes. Los meses con menos especies de orquídeas en floración fueron marzo con 11 y abril con 16 especies. Se preservaron un total de 53 muestras para el herbario UVAL de la Universidad del Valle de Guatemala, que representan 24 géneros y 39 especies de orquídeas. Se presentan fotografías de 119 especies de orquídeas de Renace. La presión humana, principalmente el cambio de uso de la tierra en áreas de cultivo y reemplazo de bosques naturales por monocultivos de pino en todo el departamento, convierten a áreas muy diversas en orquídeas como esta, en remanentes de bosque vitales que hay que conservar.

Palabras clave: Alta Verapaz, biodiversidad, fenología de orquídeas, Orchidaceae, Renace, río Cahabón.

Abstract: Here we present the results of the research project on orchid species in the natural areas and forests in the Renace Hydroelectric area in San Pedro Carchá, Alta Verapaz, Guatemala. The main objective was to document the diversity of orchids in this region of San Pedro Carchá and to determine the current status of the orchid populations, considering the high human pressure in these areas. From July 2022 to December 2023, 25 field trips were conducted to the study area to document orchid species in bloom. A total of 144 species were found and documented in the Renace Private Natural Reserve, Sankil Che' Private Natural Reserve, Renace I, Renace II, and Renace IV areas. The highest number of orchids was recorded in August and October with 52 species each month. The months with the fewest number of orchid species in bloom were March with 11 species and April with 16 species. A total of 53 samples of orchids were deposited in the UVAL Herbarium at the Universidad del Valle de Guatemala, representing 24 genera and 39 orchid species from Renace. Photographs of 119 orchids species from Renace are presented. Human pressure, mainly the change in land use for agriculture and the replacement of natural forests with pine monocultures throughout all the department, is turning orchid-diverse areas like this one into vital remnants of forest that must be preserved.

Keywords: Alta Verapaz, biodiversity, Cahabón river, Orchidaceae, orchid phenology, Renace.

INTRODUCCIÓN

En Guatemala se reportan un total de 10,317 especies de flora, siendo la familia Orchidaceae la de mayor diversidad (Véliz 2008). En Guatemala hay más de 1,000 especies de orquídeas; sin embargo, no se puede establecer un número exacto de especies debido al continuo descubrimiento de nuevas especies, nuevos registros y la asignación de algunas como sinónimos. Algunos trabajos han sido cruciales para comprender la orquideoflora de Guatemala, como los de Ames & Correll (1985), Dix & Dix (2000), Ossensbach *et al.* (2007), Archila *et al.* (2018), Ulloa-Ulloa *et al.* (2023) y Mó & Monzón-Sierra (2023), que proporcionan información de entre 527 y 1,400 especies. Es complicado obtener datos precisos y confiables debido a que muchos autores no citan adecuadamente los voucher de herbarios.

En Guatemala, la mayoría de las especies de orquídeas habitan en elevaciones comprendidas entre 600 y 1,800 metros sobre el nivel del mar. Alta Verapaz destaca como el departamento con mayor diversidad de orquídeas, teniendo alrededor del 60 % de las especies conocidas de Guatemala (Dix & Dix 2000). Los departamentos con más diversidad después de Alta Verapaz son Baja Verapaz, Zacapa, Izabal, Huehuetenango, Guatemala, Chimaltenango, Suchitepéquez y Petén (Dix & Dix 2000). En 2019 se hizo público el avance de un trabajo en desarrollo del estudio de la orquideoflora de Huehuetenango, en donde se menciona que sólo se conocen 87 especies en dicho departamento (Morales *et al.* 2019). Trabajos que estamos desarrollando en otros departamentos confirman la presencia de 62 especies en Quiché y 47 en Petén. También se han publicado otros trabajos de investigación relacionados con nuevos reportes y listados preliminares de orquídeas terrestres de Guatemala (Monzón *et al.* 2015; Mó & Monzón 2023).

Alta Verapaz tiene una extensión territorial de 8,686 km², lo que equivale al 8 % del territorio nacional y según datos del año 2010 al 2016 se han perdido aproximadamente 2,681 hectáreas de bosque (CODEDEAV 2023). Para el año 2020 la cobertura forestal de Alta Verapaz se sitúa en 366,596 ha, siendo el segundo departamento con más cobertura forestal (INAB 2022). Sin embargo, muchas áreas boscosas de este departamento son reforestaciones con pino para fines industriales. El Instituto Nacional de Bosques (INAB) ha promovido estas plantaciones de pino con incentivos como el PINFOR, PINPEP y PROBOSQUE (INAB 2019). Este departamento está compuesto principalmente por tres cuencas. La cuenca del río Cahabón es en donde se enfoca nuestro estudio; cuenta con 2,476 km² y tiene elevaciones entre 50 y 2,645 m sobre el nivel del mar. Los municipios que forman parte de esta cuenca son: Santa María Cahabón, Chahal, Cobán, Santa Cruz, Lanquín, Panzos, San Cristóbal Verapaz, San Juan Chamelco, San Pedro Carchá, Santa Cruz Verapaz, Senahú, Tactic y Tamahú. El río Cahabón tiene un cauce de

aproximadamente 153 km de largo y en su cuenca convergen cuatro zonas de vida y sus zonas de transición (MARN 2011). Esta variedad de condiciones climáticas provee de condiciones perfectas para una gran cantidad de especies de orquídeas y especies con distribuciones muy restringidas.

La Hidroeléctrica Renace se encuentra localizada en el municipio de San Pedro Carchá en el departamento de Alta Verapaz (Fig. 1). Consiste principalmente de cuatro centrales hidroeléctricas, utilizando la fuerza del agua del río Cahabón (Fig. 2) para producir electricidad. Con el fin de mantener los bosques remanentes en el área de implementación del proyecto se han declarado dos áreas como Reservas Naturales Privadas. La primera se llama Reserva Natural Privada Renace y representa uno de los últimos remanentes boscosos de la región y cuenta con bosques en alturas que oscilan entre los 1,225 y 1,320 m sobre el nivel del mar (Fig. 3). Esta reserva consiste de 46 hectáreas, primordialmente de bosques de pino en la parte alta y bosques latifoliados muy húmedos en las laderas hacia el río Cahabón. Esta reserva fue creada con varios objetivos que incluyen: proteger el remanente boscoso y la biodiversidad que posee; articular los esfuerzos de conservación que se llevan a cabo en la región, especialmente con la parte alta de la sierra de Yalihux y sobre el río Cahabón; promover el desarrollo de actividades ecoturísticas y recreativas; y utilizar el área como parte de programas sociales que se estén realizando en las comunidades aledañas, como, por ejemplo: Guardianes ecológicos. La segunda reserva, Reserva Natural Privada Sankil Che', se encuentra en el lado norte del río Cahabón. Consiste en 98 hectáreas, de las cuáles un poco más de 57 son remanentes de bosques. También cuenta con plantaciones, vivero demostrativo y escuela apícola para el beneficio de las comunidades locales.



Figura 1. Mapa de Guatemala indicando en amarillo el área de la Hidroeléctrica Renace sobre el río Cahabón en Alta Verapaz. Los números indican: 1- Ciudad de Guatemala, 2- Salamá, Baja Verapaz, 3- Cobán, Alta Verapaz, y 4- San Pedro Carchá, Alta Verapaz, Guatemala.

Figure 1. Map of Guatemala showing in yellow the area of the Renace Hydroelectric on Cahabón River, Alta Verapaz. The numbers indicate: 1- Guatemala City, 2- Salamá, Baja Verapaz, 3- Cobán, Alta Verapaz, and 4- San Pedro Carchá, Alta Verapaz, Guatemala.



Figura 2. Vista en donde se aprecia la Reserva Natural Privada Renace en la parte norte del río Cahabón. Cerca del río está el bosque latifoliado, que es probablemente, el bosque más diverso para orquídeas en Guatemala. Es importante notar que esta reserva es uno de los últimos remanentes de bosque en el área y está rodeado principalmente de cultivos de maíz y plantaciones forestales de pino.

Figure 2. View of Renace Natural Private Reserve in the northern side of the Cahabón river. Near the river are the broadleaf forest, which is likely the most diverse forest for orchids in Guatemala. It is important to note that this reserve is one of the last remaining forest fragments in the area and is mainly surrounded by corn fields and pine plantations.



Figura 3. Vista aérea de la estación de campo en la Reserva Natural Privada Renace, San Pedro Carchá, Alta Verapaz, Guatemala.

Figure 3. Aerial view of the biological station at the Renace Natural Private Reserve, San Pedro Carchá, Alta Verapaz, Guatemala.



Figura 4. Sendero en el bosque en la parte alta de la Reserva Natural Privada Renace, San Pedro Carchá, Alta Verapaz, Guatemala.
Figure 4. Trail in the higher elevations of the Renace Natural Private Reserve, San Pedro Carchá, Alta Verapaz, Guatemala.

La expansión de la frontera agrícola, forestal y poblacional está ejerciendo presión sobre los bosques de Alta Verapaz, causando la pérdida anual de extensas áreas (CODEDEAV 2023) y esto plantea grandes riesgos para descubrir nuevas especies y nuevos reportes. Con múltiples zonas de vida y de transición, la diversidad de flora en el departamento es notable, especialmente en bosques que albergan una amplia variedad de orquídeas y especies micro-endémicas cuya extinción sería lamentable. El área que abarca Renace ha sido objeto de estudios previos por el Centro de Rescate y Conservación de Orquídeas Orquigonia, en donde identificaron 233 especies de orquídeas (información proporcionada por Renace). Posteriormente durante este estudio de la Universidad del Valle de Guatemala, hemos incrementado este número y producido un catálogo fotográfico. Los datos recabados por estos proyectos confirman la gran diversidad de orquídeas y la importancia de conservar estas reservas, remanentes muy importantes, que probablemente representan unos de los bosques en más peligro del país y con la más alta diversidad de orquídeas. Por este motivo, el objetivo principal de este trabajo era documentar la diversidad de orquídeas de esta región de San Pedro Carchá. También queríamos saber cuál es el estado actual de las poblaciones de orquídeas, considerando la presión humana en estos lugares.

MATERIALES Y MÉTODOS

La documentación de orquídeas del área de la Hidroeléctrica Renace en Alta Verapaz se hizo principalmente a través de recorridos por senderos en la Reserva Natural Privada Renace (RNPR) (Fig. 4) y la Reserva Natural Privada Sankil Che' (RNPSKC). También se realizaron recorridos por los caminos y veredas en Renace I, Renace II y Renace IV hasta la unión del río Cahabón y Canlich (Fig. 5). Durante los recorridos se buscaron orquídeas en floración en los árboles (epífitas), en piedras (litófitas) (Fig. 6) y terrestres (Fig. 7). También se buscaron en ramas de árboles caídos, ayudando a facilitar la obtención de plantas que de otra manera sería difícil, debido a que muchas se encuentran en el dosel. La documentación de las orquídeas se hizo principalmente con base en fotografías e información anotada para las plantas encontradas.

Las fotografías de las orquídeas fueron tomadas con diferentes equipos, dependiendo en donde las encontramos. Las que estaban a distancias cortas y de fácil acceso, fueron tomadas con una cámara Nikon D7200 con un lente micro Nikkor 105 y un Venus Laowa 100 mm - 2x para las flores muy pequeñas (Fig. 8). Con este equipo se utilizó un flash Nikon R1C1. Para plantas que estaban a distancias medias se utilizó una cámara



Figura 5. Desembocadura del río Canlich en el río Cahabón cerca de Renace IV, un lugar con una gran cantidad de plantas epífitas, San Pedro Carchá, Alta Verapaz, Guatemala.

Figure 5. Canlich river merging into Cahabón River at Renace IV, a place with a large number of epiphytic plants, San Pedro Carchá, Alta Verapaz, Guatemala.



Figura 6. *Sobralia rogersiana*, un ejemplo de orquídea litófito que se encuentra comúnmente en las rocas grandes del área de Renace II, San Pedro Carchá, Alta Verapaz, Guatemala.

Figure 6. *Sobralia rogersiana*, an example of a lithophytic orchid commonly found in large rocks in the Renace II area, San Pedro Carchá, Alta Verapaz, Guatemala.



Figura 7. *Habenaria monorrhiza*, un ejemplo de orquídea terrestre que se encuentra entre las gramas en Renace II, San Pedro Carchá, Alta Verapaz, Guatemala.

Figure 7. *Habenaria monorrhiza*, an example of a terrestrial orchid found among grasses in Renace II, San Pedro Carchá, Alta Verapaz, Guatemala.



Figura 8. *Scaphyglottis minutiflora* fotografiada a la par de un bolígrafo para mostrar el pequeño tamaño de algunas especies de orquídeas.
Figure 8. *Scaphyglottis minutiflora* photographed next to a pen to show the small size of some orchid species.

Canon R7 con un lente Tamron 70-205 y para las más lejanas se usó el lente Canon 400 L 5.6. Para fotos de paisajes y otros temas se usó principalmente el lente Canon 18-150 mm.

Además de la documentación fotográfica de las orquídeas, también se tomaron muestras para ser depositadas como ejemplares de museo en el Herbario de la Universidad del Valle de Guatemala (UVAL). Las muestras de herbario se tomaron de plantas que se encontraron caídas de los árboles y en proceso de morir o solamente algunas partes florales de plantas saludables. Estas muestras fueron colocadas dentro de papel periódico en una prensa botánica de campo y luego en una secadora al llegar al herbario. Cuando estuvieron secas se pegaron en cartones y se colocó la información importante de cada ejemplar, que incluyó entre otras cosas un número único de catálogo, fecha de colecta, identificación, localización detallada, colector y persona que identificó la planta. Posteriormente se fotografiaron todas las muestras y almacenaron. Los códigos UVAL para las muestras recolectadas aparecen en el [Anexo](#).

El tratamiento taxonómico de los géneros y las especies, así como la distribución, se basa principalmente en Tropicos (2025) (Missouri Botanical Garden) y en el Global Biodiversity Information Facility (GBIF). Las abreviaturas para los países y continentes utilizados son: México (MX), Guatemala (GT),

Belice (BZ), Honduras (HN), El Salvador (SV), Nicaragua (NI), Costa Rica (CR), Panamá (PA), y América del Sur (SA). Los meses del año se citan por medio de un número en romano correspondiente al número de mes. Por ejemplo, enero es el primer mes y se representa con el número uno en romano (i), febrero (ii), etc.

RESULTADOS

En total se lograron encontrar y fotografiar 144 especies de orquídeas (ver Anexo II) en el área de la Hidroeléctrica Renace. El mayor número de especies se encontró en la Reserva Natural Privada Renace con 73 especies, seguido por la Reserva Natural Privada Sankil Che' con 57 especies. En Renace I y II se encontraron 22 especies y en Renace IV un total de 15 especies. La mayoría de géneros están representados solamente por una o dos especies. En orden descendente los géneros que más especies son: *Epidendrum* (18 spp.), *Prosthechea* (8 spp.), *Stelis* (8 spp.), *Lepanthes* (6 spp.), *Camaridium* (4 spp.), *Lycaste* (4 spp.), *Maxillariella* (4 spp.), *Platystele* (4 spp.), *Pleurothallis* (4 spp.), *Scaphyglottis* (4 spp.), *Sobralia* (4 spp.), *Specklinia* (4 spp.), *Dichaea* (3 spp.), *Habenaria* (3 spp.) y *Ornithocephalus* (3 spp.). Un total de doce géneros tienen dos especies y 35 solamente una especie (Cuadro 1).

Cuadro 1. Diversidad de especies de orquídeas por género (en orden descendente) en Renace, San Pedro Carchá, Guatemala.

Table 1. Orchid species diversity by genus (in descending order) from Renace, San Pedro Carchá, Guatemala.

Género	# de especies	Género	# de especies	Género	# de especies	Género	# de especies
<i>Epidendrum</i>	18	<i>Dryadella</i>	2	<i>Chysis</i>	1	<i>Mormodes</i>	1
<i>Prosthechea</i>	8	<i>Heterotaxis</i>	2	<i>Coelia</i>	1	<i>Nidema</i>	1
<i>Stelis</i>	8	<i>Lockhartia</i>	2	<i>Comparettia</i>	1	<i>Phragmipedium</i>	1
<i>Lepanthes</i>	6	<i>Lophiaris</i>	2	<i>Cyclopogon</i>	1	<i>Polystachya</i>	1
<i>Camardium</i>	4	<i>Maxillaria</i>	2	<i>Cyrtopodium</i>	1	<i>Prescottia</i>	1
<i>Lycaste</i>	4	<i>Oncidium</i>	2	<i>Elleanthus</i>	1	<i>Psilochilus</i>	1
<i>Maxillariella</i>	4	<i>Ponthieva</i>	2	<i>Encyclia</i>	1	<i>Restrepiopsis</i>	1
<i>Platystele</i>	4	<i>Restrepia</i>	2	<i>Erycina</i>	1	<i>Stanhopea</i>	1
<i>Pleurothallis</i>	4	<i>Rhetinantha</i>	2	<i>Eulophia</i>	1	<i>Trichosalpinx</i>	1
<i>Scaphyglottis</i>	4	<i>Scaphosepalum</i>	2	<i>Gongora</i>	1	<i>Trigonidium</i>	1
<i>Sobralia</i>	4	<i>Stenotyla</i>	2	<i>Govenia</i>	1	<i>Tubella</i>	1
<i>Specklinia</i>	4	<i>Arpophyllum</i>	1	<i>Guarianthe</i>	1	<i>Vanilla</i>	1
<i>Dichaea</i>	3	<i>Bletia</i>	1	<i>Isochilus</i>	1	<i>Warrea</i>	1
<i>Habenaria</i>	3	<i>Brassia</i>	1	<i>Jacquinella</i>	1	<i>Xylobium</i>	1
<i>Ornithocephalus</i>	3	<i>Campylocentrum</i>	1	<i>Lankesteriana</i>	1		
<i>Acianthera</i>	2	<i>Catasetum</i>	1	<i>Malaxis</i>	1		
<i>Cranichis</i>	2	<i>Christensonella</i>	1	<i>Masdevallia</i>	1		

Los objetivos de este proyecto no incluían contar números de individuos por especie, sin embargo, con base en los recorridos realizados, podemos mencionar algunos datos de las especies más comunes y las más difíciles de encontrar en Renace. En la Reserva Natural Privada Renace, entre las orquídeas más comunes podemos mencionar: *Comparettia falcata*, *Epidendrum ramosum*, *Gongora batemanii*, *Lepanthes acuminata*, *Lockhartia oerstedii*, *Maxillaria floribunda*, *Ornithocephalus inflexus*, *Pleurothallis correllii*, *Prosthechea cochleata*, *Prosthechea ochracea*, *Prosthechea pseudopygmaea*, *Restrepia muscifera*, *Stelis pardipes* y *Stelis microchila*. Las orquídeas más comunes en la RNP Sankil Che' fueron: *Bletia purpurea*, *Epidendrum atrostictum*, *Epidendrum radicans*, *Epidendrum verrucipes*, *Eulophia maculata*, *Gongora batemanii*, *Habenaria monorrhiza*, *Lycaste cochleata*, *Maxillariella variabilis* y *Sobralia regersiana*. En Renace IV las especies más comunes incluyeron: *Dichaea panamensis*, *Epidendrum radicans*, *Lophiaris lurida*, *Prosthechea cochleata* y *Trigonidium egertonianum*. En Renace I y II las especies más comunes son las mismas que en la RNP Sankil Che'. Entre las orquídeas más difíciles de encontrar en el área de Renace fueron: *Chysis laevis*, *Dryadella linearifolia*, *Epidendrum flexuosum*, *Epidendrum nitens*, *Guarianthe bowringiana*, *Lankesteriana barbulata*, *Lepanthes cobanensis*,

Lepanthes systole, *Maxillaria tuerckheimii*, *Ornithocephalus archilarum*, *Ornithocephalus tripterus*, *Phragmipedium humboldtii*, *Restrepiopsis ujarensis* y *Warrea costaricensis*.

Entre las orquídeas encontradas en Renace, el endemismo es muy bajo y la mayoría de las especies tienen distribuciones muy amplias. Solo ocho especies (6%) de las 144 especies registradas tienen una distribución conocida solo para Guatemala que son: *Epidendrum archilarum*, *Lepanthes cobanensis*, *Lepanthes systole*, *Ornithocephalus archilarum*, *Restrepia archilarum*, *Sobralia laurisii*, *Stenotyla maculata* y *Tubella franciscantha*. Además, se encontraron cinco especies (3%) cuya distribución incluye únicamente a Guatemala y otro país/región; *Epidendrum singuliflorum* y *Stelis anagraciae* tienen distribuciones restringidas solo a Guatemala y Chiapas, mientras que *Epidendrum atrostictum*, *Oncidium hagsaterianum* y *Ornithocephalus tripterus* también se encuentran al norte del istmo de Tehuantepec. Las especies con distribución entre México y Nicaragua fueron 43 (30%), y 88 (61%) tienen distribución entre México y Panamá. Las especies que llegan a América del Sur son 51 (35%) y solamente *Habenaria strictissima* llega a Estados Unidos (menos del 1%).

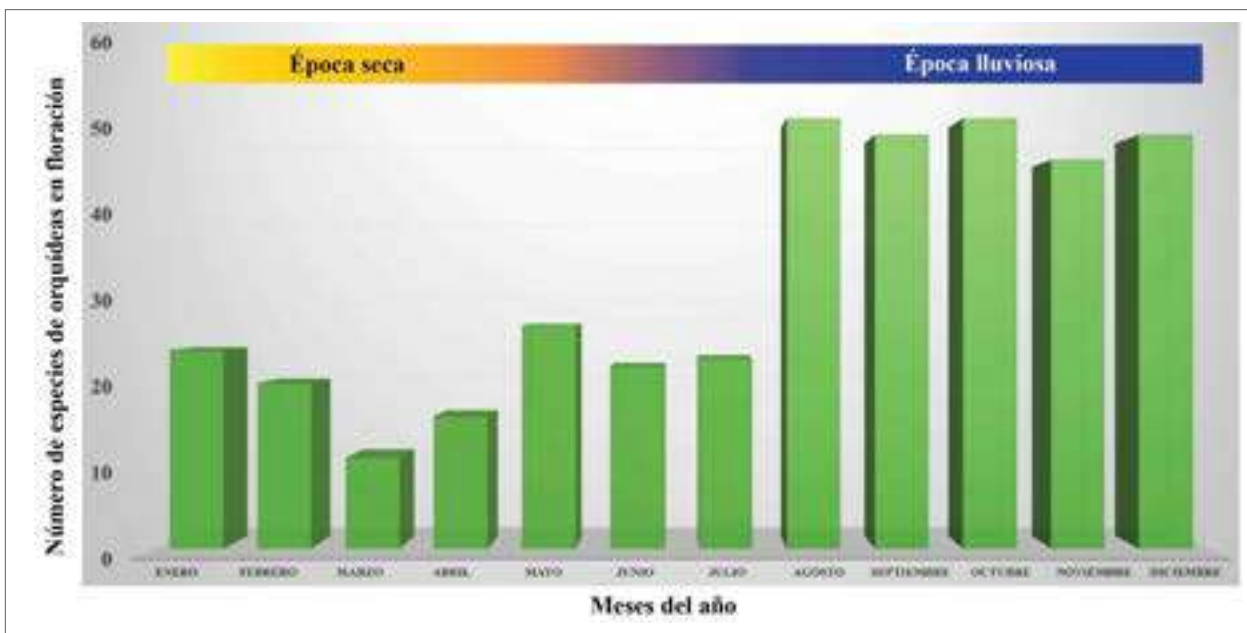


Figura 9. Número de especies de orquídeas encontradas en floración por mes en el área de la Hidroeléctrica Renace, San Pedro Carchá, Alta Verapaz, Guatemala. La barra arriba indica los meses de época lluviosa y seca.

Figure 9. Number of orchid species found in bloom per month in Renace Hydroelectric área, San Pedro Carchá, Alta Verapaz, Guatemala. The bar above indicates the months of the rainy and dry seasons.

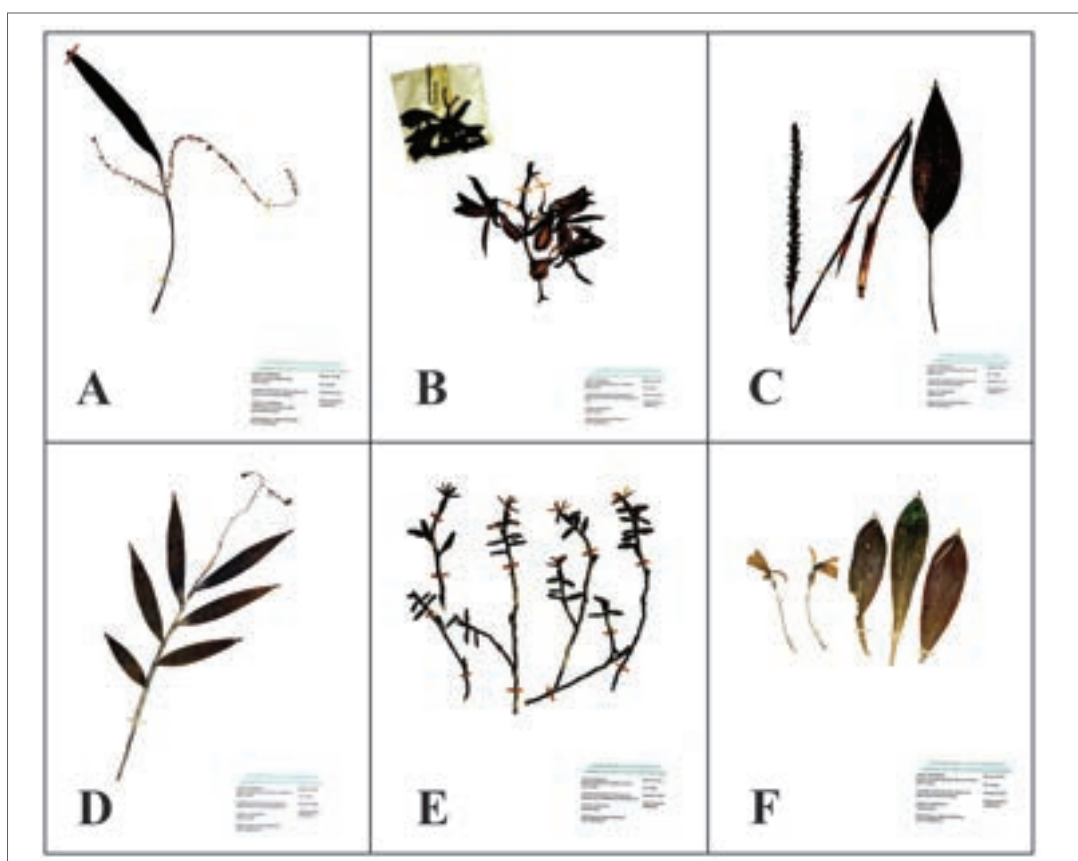


Figura 10. Ejemplos de muestras de herbario de orquídeas de la Hidroeléctrica Renace depositados en el Herbario UVAL de la Universidad del Valle de Guatemala: *Stelis pardipes* (A), *Mormodes nagelii* (B), *Prescottia stachyodes* (C), *Epidendrum atroscripum* (D), *Epidendrum singuliflorum* (E), y *Stenotyla lendyana* (F).

Figure 10. Examples of orchid samples from Renace Hydroelectric deposited at Herbario UVAL, Universidad del Valle de Guatemala: *Stelis pardipes* (A), *Mormodes nagelii* (B), *Prescottia stachyodes* (C), *Epidendrum atroscripum* (D), *Epidendrum singuliflorum* (E), y *Stenotyla lendyana* (F).

Con respecto a la floración mensual tenemos que los meses en que se encontraron mayor número de especies de orquídeas floreado fueron, en orden descendente: octubre 52 especies, agosto 52 spp., septiembre 50 spp., diciembre 50 spp. y noviembre 47 spp.. Los meses con un número intermedio de especies en flor son: mayo 27 spp., enero 24 spp., julio 23 spp., junio 22 spp. y febrero 20 spp.. Los meses con menos especies de orquídeas floreado fueron abril con 16 spp. y marzo con 11 spp. (Fig. 9).

Un total de 53 muestras representando a 24 géneros y 39 especies de orquídeas fueron depositadas en el herbario UVAL de la Universidad del Valle de Guatemala. Todas las muestras fueron adecuadamente preparadas, montadas, catalogadas, identificadas, fotografiadas y depositadas en la colección (Fig. 10).

DISCUSIÓN

El número de especies de orquídeas conocidas de Guatemala con registros verificados es de 734 especies (Dix & Dix 2000). Según este mismo trabajo, la mayoría de las especies de Guatemala se encuentran en Alta Verapaz (453 spp.; 62%). Las 144 especies encontradas en Renace representan el 32% de las orquídeas de Alta Verapaz y el 20% de Guatemala. Esta referencia de Dix & Dix (2000) ya está bastante desactualizada, sin embargo, nos da una buena idea de la importancia del área de San Pedro Carchá en cuanto a diversidad de orquídeas. Hay publicaciones en donde los números de especies presentados para Guatemala son mucho mayores, e incluso se han publicado reportes de muchas especies nuevas, pero por el momento no hay otra lista verificada que se pueda utilizar confiablemente. La otra lista verificada que hay para Guatemala es la presentada por Mó & Monzón-Sierra (2023), sin embargo, esta es solamente para orquídeas terrestres. En el presente estudio encontramos 21 especies, que representan el 9% de las 238 especies reportadas por Mó & Monzón-Sierra (2023) para todo Guatemala. Es muy probable que con más estudios en esta zona se podrían encontrar alrededor de entre 15 y 20 especies más.

Con respecto a la distribución geográfica de las orquídeas encontradas en Renace, es normal que muchas de las especies tengan distribuciones muy amplias. Esto se debe principalmente a que las alturas sobre el nivel del mar en las áreas estudiadas son entre bajas y medias que oscilan entre 470 y 1,320 m. Entre estas alturas la diversidad es bastante alta, sin embargo, el endemismo es muy bajo. Esta amplia distribución es evidente cuando el 35% de las especies encontradas tienen distribución que llega hasta América del Sur. También aparecen registros para otras siete especies encontradas en nuestro estudio en Tropicos (2025) con una distribución geográfica que incluye América del Sur. Sin embargo, estos registros son muy limitados o con citas dudosas. Además, ninguna de estas especies tiene registros de especímenes para América del Sur, excepto *Stelis rubens*. Sin embargo, hasta que no se confirme esta

identificación o hayan más ejemplares confirmados, es mejor no tomarlas en cuenta.

La distribución de especies interna dentro de Renace muestra que la mayoría (51%) de las especies se encontraron en la RNP Renace. Esto se debe principalmente a que es el área de Renace con cobertura boscosa completa, aunque parte de ella es pino sembrado. Cuenta con bosques mixtos de pino y encino en su parte más alta, y bosques muy húmedos en la vertiente hacia el río Cahabón. Un factor muy importante en esta reserva para encontrar orquídeas es que los guardarecursos se han preocupado por recoger las orquídeas que caen de los árboles y ponerlas de nuevo sobre los árboles. Estas orquídeas al caer al suelo iban a morir seguramente, pero al ser rescatadas nos dan una segunda oportunidad de fotografiarlas. Generalmente están muy alto fuera del alcance para documentarlas. El segundo lugar más diverso es la RNP Sankil Che' con 40% de las especies reportadas; es un área bastante extensa, pero ha tenido un desarrollo agrícola y forestal extenso. Tiene remanentes de bosque en las laderas hacia el río Cahabón y algunos otros lugares. Sería muy importante poder seguir estudiando esta área pues tiene lugares muy interesantes, áreas con muchas piedras y muchas orquídeas litófitas. Renace I y II ambas tienen 15% de la diversidad de orquídeas de Renace. La mayoría de estas áreas ya no tienen cobertura forestal y es difícil encontrar orquídeas. El área con menos especies fue Renace IV con 10%. Este lugar es impresionante con la densidad de orquídeas en los árboles y la belleza natural ya que está a la orilla del río Cahabón. Sin embargo, es el lugar más lejano de la hidroeléctrica y la mayoría de las orquídeas están en un estrato muy alto en donde es difícil documentarlas.

Los resultados obtenidos de las floraciones mensuales nos arrojan datos de entre 11 y 52 especies por mes. Los meses con más especies florando están entre agosto y diciembre, lo cuál coincide con la parte más fuerte de la época lluviosa. Igualmente, los meses con menos floración, enero a julio coinciden en parte con la época más seca. Algo que pudo influir en que meses como junio y julio salieran bajo es que la primera etapa de este proyecto inició en agosto 2022. Por lo tanto, la segunda mitad del año fue muestreada dos veces, mientras que la primera solo una vez.

Por último, es importante mencionar que este proyecto, aunque relativamente limitado, es un aporte importante para el conocimiento de las orquídeas de Guatemala. Mucho de lo que se conoce de las orquídeas guatemaltecas es porque están en colecciones privadas. La mayoría de estas plantas son vendidas en forma ilegal por personas que las extraen de los bosques y no comparten los datos de su proveniencia, en primer lugar, porque a muchas personas no les interesa, pero tampoco les conviene que se conozca la proveniencia de sus plantas para que otros no las encuentren y vendan. También es importante mencionar que los registros formales de orquídeas

son por medio de muestras de herbario. En la mayoría de los casos, los maravillosos colores de las flores y sus formas se pierden al ser prensadas y secadas. Por esta razón, la documentación científica de las especies, acompañadas con registros fotográficos son invaluableles.

AGRADECIMIENTOS

Nos gustaría agradecer el apoyo del Centro de Estudios Ambientales y Biodiversidad de la Universidad del Valle, especialmente a Daniel Ariano y Gabriela Fuentes, que hicieron este trabajo posible. También nos gustaría agradecer a la Hidroeléctrica Renace, especialmente a Marco Medina y Juan Pablo Gudiel por la confianza y apoyo para realizar estudios de biodiversidad que son de vital importancia para conocer nuestros recursos naturales que desaparecen rápidamente. Renace también ha proporcionado información importante para la elaboración de la introducción. Un agradecimiento muy especial a los guarda recursos Alfredo Chen, Felipe Choj y Renato Che por todo el conocimiento que han compartido con nosotros, su trabajo, acompañamiento en nuestros recorridos y entusiasmo por la conservación de los recursos naturales. También queremos agradecer grandemente a los revisores anónimos y especialmente a Ingo Wehrtmann por todo su esfuerzo y paciencia para que esta trabajo sea publicado.

REFERENCIAS

- Archila-Morales, F., Chiron, G.R. & Montejó-López, O. (2018). *Gracielanthus trifulae* (Orchidaceae), a new species from Guatemala. *Richardiana* 2: 185-190.
- Ames, O. & Correll, D. S. (1985). *Orchids of Guatemala and Belize*. Dover Publications, Inc., New York, EE.UU.
- CODEEAV. 2023. *Plan de desarrollo departamental PDD-(2021-2032), Departamento de Alta Verapaz, Guatemala*. SEGEPLAN/Consejo Nacional de Desarrollo. PDD 16.
- Dix, M. & Dix, M. W. (2000). Orchids of Guatemala: a revised annotated checklist. *Monographs in Systematic Botany from the Missouri Botanical Garden* 78: 1-61.
- GB F (Global Biodiversity Information Facility). (2025). GB F Occurrence Data [<https://doi.org/10.5061/dryad.dhp2>]. Accesado: 5 de junio 2025.
- AB (Instituto Nacional de Bosques). (2020). *Paquete tecnológico forestal para Pino Candelillo Pinus maximinoi H.E. Moore*. Instituto Nacional de Bosques, Guatemala.
- INAB. (2022). *Informe de labores 2022*. Instituto Nacional de Bosques, Guatemala.
- MARN (Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales). (2011). Plan estratégico para el manejo sostenible de la subcuenca del río Cahabón. Magna Terra Editores.
- Mó, E. A. & Monzón-Sierra, J. (2023). Listado preliminar de verificación de las orquídeas terrestres de Guatemala. En: *Biodiversidad de Guatemala Vol. III*, Editorial Universitaria, Universidad del Valle de Guatemala, Guatemala; pp. 386-406. <https://doi.org/10.5281/zenodo.10251995>

- Monzón-Sierra, J., Mó, E.A., Cetzal-Ix, W. & Noguera-Savelli, E. (2015). Notas taxonómicas y nuevos registros de orquídeas para Guatemala. *Revista Universidad del Valle de Guatemala* 31: 27-32.
- Morales, C., Mó, E.A. & Mendoza, G. (2019). Estudio de la orquideoflora de Huehuetenango, Guatemala. *Boletín Asociación Guatemalteca de Orquideología* 225: 2-7.
- Ossenbach, C., Pupulin, F. & Dressler, R.L. (2007). *Orquídeas del Istmo centroamericano: catálogo y estado de conservación*. Editorial 25 de mayo, San José, Montes de Oca, Costa Rica.
- Tropicos (2025). Missouri Botanical Garden. [<https://tropicos.org>]. Accesado: 22 de mayo 2025.
- Ulloa-Ulloa, C., Hernández-Macías, H. M., Davidse, G., Abrie, F.R. & Knapp, S. (2023). Orchidaceae I-XXI, 7(2): 1-842. En: *Flora mesoamericana*. Ulloa-Ulloa, C., Hernández-Macías, H. M., Davidse, G., Barrie, F. R. & Knapp, S. (eds), Missouri Botanical Garden, St. Louis.
- Veliz-Pérez, M. E. (2008). Diversidad florística de Guatemala. En: *Guatemala y su biodiversidad: un enfoque histórico, cultural, biológico y económico*, Azurdia-Pérez, C., García-Barrios, F. & Ríos-Palencia, M.M. (eds), Consejo Nacional de Áreas Protegidas, Guatemala; pp. 261-293.

ANEXO 1

Anexo. Listado de orquídeas encontradas en el área de la Hidroeléctrica Renace en Alta Verapaz. Se incluye el nombre de la especie, autoría, año de publicación. En el primer paréntesis se incluye la información fenológica de la floración representado por el número correspondiente de mes en romano, por ejemplo: enero mes 1=i, febrero mes 2=ii, etc.). En el segundo paréntesis las abreviaturas de regiones geográficas como sigue: México (MX), Guatemala (GT), Belice (BZ), Honduras (HN), El Salvador (SV), Nicaragua (NI), Costa Rica (CR), Panamá (PA), y América del Sur (SA). En los casos en que se depositó una muestra de herbario en UVAL se colocó el código en otro paréntesis. Si hay una foto de la especie en las láminas se agregó el número de la figura en el último paréntesis.

Annex. List of orchids found in the area of Renace Hydroelectric in Alta Verapaz. The list includes the species name, authorship, and year of publication. The first parenthesis includes phenological information on flowering, represented by the corresponding month number in Roman numerals, for example: January = month 1 = i, February = month 2 = ii, etc. The second parenthesis includes abbreviations of geographic regions as follows: Mexico (MX), Guatemala (GT), Belize (BZ), Honduras (HN), El Salvador (SV), Nicaragua (NI), Costa Rica (CR), Panama (PA), and South America (SA). In cases where a herbarium specimen was deposited at UVAL, the code was included in another parenthesis. If there is a photo of the species in the plates, the figure number was added in the last parenthesis

- 1- *Acianthera angustisepala* (Ames & Correll) Pridgeon & M.W. Chase (ix, x, xii) (MX, GT, BZ, HN) (Fig. 11)
- 2- *Acianthera violacea* (A. Rich & Galleotti) Pridgeon & M.W. Chase (iii, iv) (MX, GT, HN SV) (Fig. 12)
- 3- *Arpophyllum giganteum* Hartw. ex Lindl. (iv) (MX, GT, BZ, HN, SV, NI, CR, SA) (Fig. 13)
- 4- *Bletia purpurea* (Lam.) DC. (i, ii, iii, iv, v, vii, xii) (MX, GT, BZ, HN, SV, NI, CR, PA, SA) (UVAL023122) (Fig. 14)
- 5- *Brassia maculata* R. Br. (iv, v) (MX, GT, BZ, HN, SV, NI, CR) (UVAL023101, UVAL023104) (Fig. 15)
- 6- *Camaridium cucullatum* (Lindl.) M.A. Blanco (iv) (MX, GT, BZ, HN, SV, NI, CR, PA) (UVAL023100) (Fig. 16)
- 7- *Camaridium densum* Lindl. M.A. Blanco (xii) (MX, GT, BZ, HN, SV, NI) (Fig. 17)
- 8- *Camaridium hagsaterianum* (Soto Arenas) M.A. Blanco (x, xi) (MX, GT, HN) (Fig. 18)
- 9- *Camaridium meleagris* Lindl. (i, ii, x-xii) (MX, GT, HN, PA) (UVAL023048) (Fig. 19)
- 10- *Campylocentrum schiedei* (Rchb. f.) Benth. Ex Hemsl. (ix) (MX, GT, BZ, HN, SV, NI, CR, PA) (UVAL023120, UVAL023180) (Fig. 20)
- 11- *Catasetum integerrimum* Hook. (vi, x) (MX, GT, BZ, HN, SV, NI, CR) (Fig. 21)
- 12- *Christensonella uncatata* (Lindl.) Szlach., Mytnik, Górniak & Smiszek (viii, ix, xi, xii) (MX, GT, BZ, HN, NI, CR, PA, SA) (Fig. 22)
- 13- *Chysis laevis* Lindl., Edwards (x) (MX, GT, BZ, HN, SV, NI, CR) (Fig. 23)
- 14- *Coelia bella* (Lem.) Rchb. f. (x) (MX, GT, BZ, HN, CR) (Fig. 24)
- 15- *Comparettia falcata* Poepp. & Endl. (vii-ix) (MX, GT, BZ, HN, SV, NI, CR, PA, SA) (UVAL023178) (Fig. 25)
- 16- *Cranichis cochleata* Dressler (xi, xii) (MX, GT, BZ)
- 17- *Cranichis sylvatica* A. Rich. & Galeotti (xi, xii) (MX, GT, BZ, HN, SV, NI, CR) (UVAL023057) (Fig. 26)
- 18- *Cyclopogon comosus* (Rchb. f.) Burns-Bal. & E. W. Greenw. (iv) (MX, GT, BZ, HN, SV, NI, CR, PA) (Fig. 27)
- 19- *Cyrtopodium macrobulbon* (Lex.) G. A. Romero & Carnevali (iv, vii) (MX, GT, BZ, HN, SV, NI, CR, PA, SA) (Fig. 28)
- 20- *Dichaea intermedia* Ames & Correll (vii) (MX, GT, BZ) (Fig. 29)
- 21- *Dichaea muricatoides* Hamer & Garay (viii-xii) (MX, GT, BZ, HN, SV, NI, CR) (UVAL023177) (Fig. 30)
- 22- *Dichaea panamensis* Lindl. (iv, v) (MX, GT, BZ, HN, SV, NI, CR, PA, SA) (Fig. 31)
- 23- *Dryadella guatemalensis* (Schltr.) Luer (vi, viii) (MX, GT, NI, CR, PA, SA) (Fig. 32)
- 24- *Dryadella linearifolia* (Ames) Luer (x) (MX, GT, BZ, HN, PA)
- 25- *Elleanthus cynarocephalus* Rchb. f. (ix) (MX, GT, BZ, HN, SV, NI, CR, PA) (Fig. 33)
- 26- *Encyclia ceratistes* (Lindl.) Schltr. (ix) (MX, GT, HN, SV, NI, CR, PA, SA) (Fig. 34)
- 27- *Epidendrum archilarum* Chiron (ix, xi) (GT) (Fig. 35)
- 28- *Epidendrum atroscripsum* Hágsater (i, iii, v, viii, x-xii) (MX, GT) (UVAL023044, UVAL023049, UVAL023116) (Fig. 36)
- 29- *Epidendrum cardiophorum* Schltr. (vii) (MX, GT, BZ, HN, SV, NI, CR, PA, SA) (Fig. 37)
- 30- *Epidendrum cerinum* Schltr. (xi, xii) (MX, GT, HN, SV, NI) (Fig. 38)
- 31- *Epidendrum chlorocorymbos* Schltr. (vii, viii) (MX, GT, BZ, HN, SV, NI, CR, PA, SA) (UVAL023172) (Fig. 39)
- 32- *Epidendrum ciliare* L. (vi) (MX, GT, BZ, HN, SV, NI, CR, PA, SA) (Fig. 40)
- 33- *Epidendrum diffusum* Sw. (viii, ix) (MX, GT, BZ, HN, PA, SA) (Fig. 41)
- 34- *Epidendrum flexuosum* G. Mey (iv) (MX, GT, BZ, HN, NI, CR, PA, SA) (Fig. 42)
- 35- *Epidendrum incomptum* Rchb. F. (ix-xii) (MX, GT, HN, SV, NI, CR, PA, SA) (UVAL023052) (Fig. 43)
- 36- *Epidendrum isomerum* Schltr. (x) (MX, GT, BZ, HN, SV, NI, CR, PA, SA) (Fig. 44)
- 37- *Epidendrum nitens* Rchb. f. (viii-xi) (MX, GT, BZ, CR) (UVAL023055) (Fig. 45)
- 38- *Epidendrum polyanthum* Lindl. (xii) (MX, GT, BZ, HN, SV, NI, CR, PA, SA) (UVAL023113)
- 39- *Epidendrum radicans* Pav. ex Lindl. (i-xii) (MX, GT, HN, SV, NI, CR, PA, SA) (Fig. 46)

- 40- *Epidendrum ramosum* Jacq. (viii, ix) (MX, GT, BZ, HN, SV, NI, CR, PA, SA) (UVAL023114, UVAL023105) (Fig. 47)
- 41- *Epidendrum singuliflorum* Schltr. (viii, ix) (MX, GT) (UVAL023107, UVAL023181, UVAL023173) (Fig. 48)
- 42- *Epidendrum veroscriptum* Hagsater (v, x, xi, xii) (MX, GT, BZ, HN, SV)
- 43- *Epidendrum verrucipes* Schltr. (v, vi, viii, ix) (MX, GT, HN) (Fig. 49)
- 44- *Epidendrum verrucosum* Sw. (x, xii) (MX, GT, BZ, HN, SV, NI) (UVAL023043)
- 45- *Erycina crista-galli* (Rchb. f.) N.H. Williams & M.W. Chase (viii) (MX, GT, HN, SV, NI, CR, PA) (Fig. 50)
- 46- *Eulophia maculata* (Lindl.) Rchb. f. (v, xi, xii) (MX, GT, BZ, HN, SV, NI, CR, PA) (Fig. 51) El nombre más aceptado ahora es *Eulophia maculata* (Lindl.) Rchb.f.
- 47- *Gongora batemanii* (Lindl.) Henshall ex. Mabb. & Jenny (vii-xii) (GT, HN, SV, NI) (Fig. 52)
- 48- *Govenia mutica* Rchb. f. (viii-xii) (MX, GT, HN, SV, NI) (Fig. 53)
- 49- *Guarianthe bowringiana* (O'Brien) Dressler & W.E. Higgins (viii) (MX, GT, BZ, HN) (Fig. 54)
- 50- *Habenaria floribunda* Lindl. (x) (MX, GT, BZ, HN, SV, NI, CR, PA, SA) (UVAL023051) (Fig. 55)
- 51- *Habenaria monorrhiza* (Sw.) Rchb.f. (i, x, xii) (MX, GT, BZ, HN, SV, NI, CR, PA, SA) (Fig. 56)
- 52- *Habenaria strictissima* Rchb. f. (x, xi) (US, MX, GT, HN, SV, NI, CR, PA, SA)
- 53- *Heterotaxis maleolens* (Schltr.) Ojeda & Carnevali (x) (MX, GT, BZ, HN, NI, CR, PA) (Fig. 57)
- 54- *Heterotaxis sessilis* (Sw.) F. Barros (viii, ix) (MX, GT, BZ, HN, SV, NI, CR, PA, SA) (Fig. 58)
- 55- *Isochilus carnosiflorus* Lindl. (i, ii, xii) (MX, GT, BZ, HN, SV, NI, CR, PA) (UVAL023045) (Fig. 59)
- 56- *Jacquinella cobanensis* (Ames & Schltr.) Dressler (i, x) (MX, GT, BZ, HN, SV, NI) (Fig. 60)
- 57- *Lankesteriana barbulata* (Lindl.) Karremans (xii) (MX, GT, BZ, HN, NI, CR, PA, SA) (Fig. 61)
- 58- *Lepanthes acuminata* Schltr. (i, ii, v-xii) (MX, GT, BZ, HN, SV, NI, CR) (UVAL023056) (Fig. 62)
- 59- *Lepanthes cobanensis* Archila (viii, ix, xi, xii) (GT)
- 60- *Lepanthes disticha* (A. Rich. & Galeotti) Garay & R.E. Schult. (v-xii) (MX, GT, BZ, HN, NI, CR, PA) (Fig. 63)
- 61- *Lepanthes scopula* Schltr. (x, xi) (RNP-R) (MX, GT, BZ, HN, SV) (Fig. 64)
- 62- *Lepanthes stenophylla* Schltr. (i, ii, v, vi, viii-xi) (RNP-R) (MX, GT, BZ, HN, SV, NI, CR) (Fig. 65)
- 63- *Lepanthes systole* Luer (x) (RII) (GT) (Fig. 66)
- 64- *Lockhartia hercudonta* Rchb. f. ex Kraenzl. (vii-xii) (MX, GT, BZ, HN, NI, CR, PA, SA) (UVAL023175) (Fig. 67)
- 65- *Lockhartia oerstedii* Rchb. f. (vii-ix) (MX, GT, HN, SV, NI, CR, PA, SA) (UVAL023124) (Fig. 68)
- 66- *Lophiaris lurida* (Lindl.) Braem (v, vi) (MX, GT, BZ, HN, SV, NI, SA) (Fig. 69)
- 67- *Lophiaris oerstedii* (Rchb. f.) Dressler (vi, viii) (MX, GT, BZ, HN, SV, NI, CR, PA) (Fig. 70)
- 68- *Lycaste cochleata* Lindl. & Paxton (iv, v, vi, viii, ix) (MX, GT, BZ, HN, SV, NI)
- 69- *Lycaste consobrina* Rchb. f. (vii-ix) (MX, GT, NI) (Fig. 71)
- 70- *Lycaste lasioglossa* Rchb. f. (ii, x, xii) (MX, GT, HN, SV) (Fig. 72)
- 71- *Lycaste suaveolens* Summerh. (vi, viii) (GT, HN, SV, NI)
- 72- *Malaxis histionantha* (Link, Klotzsch & Otto) Garay & Dunst. (ix-xi) (MX, GT, BZ, HN, SV, NI, CR, PA, SA) (Fig. 73)
- 73- *Masdevallia floribunda* Lindl. Luer (x-xii) (MX, GT, BZ, HN, NI, CR) (UVAL023053) (Fig. 74)
- 74- *Maxillaria moralesii* Carnevali & J.T. Atwood (vi, x, xi) (MX, GT, BZ, HN, SV, NI, CR, PA) (Fig. 75)
- 75- *Maxillaria ringens* Rchb. f. (ix) (MX, GT, BZ, HN, NI, CR, PA, SA) (Fig. 76)
- 76- *Maxillariella elatior* (Rchb. f.) M.A. Blanco & Carnevali (i, ii, xii) (MX, GT, BZ, HN, NI, CR) (Fig. 77)
- 77- *Maxillariella tenuifolia* (Lindl.) M. A. Blanco & Carnevali (iv, v) (MX, GT, BZ, HN, SV, NI, CR) (UVAL023117, UVAL023118) (Fig. 78)
- 78- *Maxillariella tuerckheimii* (Schltr.) M. A. Blanco & Carnevali (ii, xii) (MX, GT, HN, SV, NI)
- 79- *Maxillariella variabilis* (Bateman ex Lindl.) Blanco & Carnevali (i-iv, xi, xii) (MX, GT, BZ, HN, SV, NI, CR, PA) (Fig. 79)
- 80- *Mormodes nagelii* L.O. Williams (vii, viii) (MX, GT, HN) (UVAL023103) (Fig. 80)
- 81- *Nidema boothii* (Lindl.) Schltr. (vii-ix) (MX, GT, BZ, HN, SV, NI, CR, PA) (UVAL023110) (Fig. 81)
- 82- *Oncidium hagsaterianum* R. Jiménez & Soto-Arenas (viii) (MX, GT) (Fig. 82)
- 83- *Oncidium sphacelatum* Lindl. (v) (MX, GT, BZ, HN, SV, NI, PA, SA) (Fig. 83)
- 84- *Ornithocephalus archilarum* Chiron (vii-ix) (GT) (Fig. 84)
- 85- *Ornithocephalus inflexus* Lindl. (vii, viii, ix) (MX, GT, BZ, HN, NI, CR, PA) (UVAL023121) (Fig. 85)
- 86- *Ornithocephalus tripterus* Schltr. (vi) (MX, GT)
- 87- *Phragmipedium humboldtii* (Warsz.) J.T. Atwood & Dressler (vi) (MX, GT, HN, NI, CR, PA) (Fig. 86)
- 88- *Platystele jungermannioides* (Schltr.) Garay (x) (MX, GT, CR, PA)
- 89- *Platystele ovatilabia* (Ames & C. Schweinf.) Garay (v, vi) (MX, GT, BZ, HN, CR, PA) (Fig. 87)
- 90- *Platystele oxyglossa* (Schltr.) Garay (v, vii) (MX, GT, BZ, HN, SV, NI, CR, SA) (Fig. 88)
- 91- *Platystele pedicellaris* (Schltr.) Garay (viii) (MX, GT, CR) (Fig. 89)
- 92- *Pleurothallis cardiophylla* Rchb. f. (i, x-xii) (MX, GT, BZ, HN, SV, NI, CR, PA, SA) (Fig. 90)
- 93- *Pleurothallis correllii* Luer (i, ii, ix-xii) (MX, GT, HN)
- 94- *Pleurothallis leucantha* Schltr. (i, viii-xii) (MX, GT, HN, CR, PA) (UVAL023179) (Fig. 91)
- 95- *Pleurothallis pansamala* Schltr. (xii) (MX, GT, BZ, HN, SV, NI)
- 96- *Polystachya caracasana* Rchb. f. (viii, x, xii) (MX, GT, BZ, HN) (Fig. 92)
- 97- *Ponthieva guatemalensis* Rchb. f. (i) (MX, GT, HN) (UVAL023054) (Fig. 93)
- 98- *Ponthieva triloba* (L.O. Williams) L.O. Williams (x) (MX, GT, BZ, HN, SV) (UVAL023046, UVAL023050) (Fig. 94)
- 99- *Prescottia stachyodes* (Sw.) Lindl. (viii, ix) (MX, GT, BZ, HN, SV, NI, CR, PA, SA) (UVAL023108, UVAL023111, UVAL023115) (Fig. 95)
- 100- *Prosthechea cochleata* (L.) W.E. Higgins (i-iii, v, vii-xii) (MX, GT, BZ, HN, SV, NI, CR, PA, SA) (Fig. 96)
- 101- *Prosthechea livida* (Lindl.) W.E. Higgins (v, vi, viii) (MX, GT, BZ, HN, SV, NI, CR, PA, SA) (Fig. 97)
- 102- *Prosthechea madrensis* (Schltr.) Karremans (i, ii) (MX, GT, BZ, HN, SV, CR) (Fig. 98)
- 103- *Prosthechea ochracea* (Lindl.) Higgins (v-vii, x) (MX, GT, BZ, HN, SV, NI, CR, PA) (UVAL023182) (Fig. 99)
- 104- *Prosthechea pseudopygmaea* (Finet) W.E. Higgins (i, ii, ix-xii) (MX, GT, HN, SV, CR, PA) (Fig. 100)
- 105- *Prosthechea pygmaea* (Hook.) W.E. Higgins (x-xii) (MX, GT, BZ, HN, NI, CR, PA, SA) (Fig. 101)
- 106- *Prosthechea radiata* (Lindl.) W.E. Higgins (vi, xi, xii) (MX, GT, BZ, HN, SV, NI, CR) (Fig. 102)
- 107- *Prosthechea rhynchophora* (A. Rich. & Galeotti) W.E. Higgins (viii) (MX, GT, HN, SV, NI)
- 108- *Psilochilus macrophyllus* (Lindl.) Ames (i) (MX, GT, BZ, HN, SV, NI, CR, PA, SA) (Fig. 103)
- 109- *Restrepia archilarum* Chiron & Slach. (i, ii, x-xii) (GT) (Fig. 104)

- 110- *Restrepia muscifera* (Lindl.) Rchb. f. ex Lindl. (i-iii, xi, xii) (MX, GT, HN, SV, NI, CR, PA, SA) (Fig. 105)
- 111- *Restreplopsis ujarensis* (Rchb. f.) Luer (x) (MX, GT, NI, CR, PA, SA) (Fig. 106)
- 112- *Rhetinantha aciantha* (Rchb. f.) M.A. Blanco (x, xii) (MX, GT, BZ, HN, SV, CR, PA, SA) (Fig. 107)
- 113- *Rhetinantha friedrichsthallii* (Rchb. f.) M.A. Blanco (xi) (MX, GT, BZ, HN, SV, NI, CR, PA, SA)
- 114- *Scaphosepalum microdactylum* Rolfe (v, vii-x, xii) (MX, GT, HN, NI, CR, PA, SA) (Fig. 108)
- 115- *Scaphosepalum standleyi* Ames (x) (MX, GT, HN, CR, PA) (Fig. 109)
- 116- *Scaphyglottis confusa* (Schltr.) Ames & Correll (ii, iii) (MX, GT, BZ, HN, SV, NI) (UVAL023047) (Fig. 110)
- 117- *Scaphyglottis fasciculata* Hook. (xi, xii) (MX, GT, BZ, HN, SV, NI) (Fig. 111)
- 118- *Scaphyglottis lindeniana* (A. Rich. & Galleotti) L.O. Williams (ii) (MX, GT, BZ, HN, SV, NI, CR, PA, SA) (Fig. 112)
- 119- *Scaphyglottis minutiflora* Ames & Correll (iv, vii-x) (MX, GT, BZ, HN, SV, NI, CR, PA, SA) (Fig. 8)
- 120- *Sobralia decora* Bateman (i) (MX, GT, BZ, HN, SV, NI, CR, PA, SA) (Fig. 113)
- 121- *Sobralia fragrans* Lindl. (v, viii) (MX, GT, BZ, HN, NI, CR, PA, SA) (Fig. 114)
- 122- *Sobralia laurisii* Archila & Chiron (ix) (GT)
- 123- *Sobralia rogersiana* Christenson (viii-xi) (MX, GT, HN, NI, CR) (Fig. 115)
- 124- *Specklinia echinata* (L.O. Williams) Soto-Arenas & Solano (i, xi, xii) (MX, GT, HN, SV, NI, CR, PA) (Fig. 116)
- 125- *Specklinia fuegi* (Rchb. f.) Solano & Soto-Arenas (viii-xii) (MX, GT, HN, SV, NI, CR, PA)
- 126- *Specklinia marginata* (Lindl.) Pridgeon & M.W. Chase (v) (MX, GT, HN) (Fig. 117)
- 127- *Specklinia tribuloides* (Sw.) Lindl. (viii) (MX, GT, BZ, HN, NI, CR, PA) (Fig. 118)
- 128- *Stanhopea whitteni* Soto-Arenas, Salazar & G. Gerlach (ix) (MX, GT, BZ, HN) (Fig. 119)
- 129- *Stelis anagraciae* Archila & Szlach. (ix, xi) (MX, GT) (UVAL023109) (Fig. 120)
- 130- *Stelis bidentata* Schltr., 1912 (viii, ix, xi, xii) (MX, GT, BZ, HN, SV, NI, CR, PA) (UVAL023119) (Fig. 121)
- 131- *Stelis chihobensis* Ames, 1922 (xii) (MX, GT, NI, CR)
- 132- *Stelis cleistogama* Schltr., 1918 (ix) (MX, GT, HN, SV, NI, CR) (UVAL023184)
- 133- *Stelis immersa* Linden & Rchb. f. (xii) (MX, GT, HN, NI, CR, PA) (Fig. 122)
- 134- *Stelis microchila* Schltr. (i-iii, v-xii) (MX, GT, BZ, HN, SV, CR, PA, SA) (UVAL023183) (Fig. 123)
- 135- *Stelis pardipes* Schltr. 1899 (viii) (GT, CR, PA, SA) (UVAL023106, UVAL023112)
- 136- *Stelis rubens* Schltr. (viii) (MX, GT, BZ, HN, NI) (UVAL023185) (Fig. 124)
- 137- *Stenotyla lendyana* (Rchb. f.) Dressler (viii, ix) (MX, GT, HN, SV, NI, CR, PA) (UVAL023123, UVGA023174, UVAL023176) (Fig. 125)
- 138- *Stenotyla maculata* Archila (viii, ix) (GT) (Fig. 126)
- 139- *Trichosalpinx blaisdellii* (S. Watson) Luer (ii, iii, xi) (MX, GT, BZ, HN, SV, NI, CR, PA, SA)
- 140- *Trigonidium egertonianum* Bateman ex Lindl. (iv, v) (MX, GT, BZ, HN, SV, NI, CR, PA, SA) (Fig. 127)
- 141- *Tubella fransiscantha* Archila (vi, xi) (GT)
- 142- *Vanilla planifolia* Andrews (iv) (MX, GT, BZ, HN, SV, NI, CR, PA, SA) (Fig. 128)
- 143- *Warrea costaricensis* Schltr. (ix) (MX, GT, HN, NI, CR, PA)
- 144- *Xylobium elongatum* (Lindl. & Paxton) Hemsl. (v, viii-xi) (MX, GT, HN, SV, NI, CR, PA, SA) (Fig. 129)

ANEXO 2

Orquídeas del área de la Hidroeléctrica Renace, Alta Verapaz

Lámina I

Fig. 11. *Acianthera angustispala*Fig. 12. *Acianthera violacea*Fig. 13. *Arpophyllum giganteum*Fig. 14. *Bletia purpurea*Fig. 15. *Bressia maculosa*Fig. 16. *Camaridium cucullatum*Fig. 17. *Camaridium densum*Fig. 18. *Camaridium hogsaterianum*Fig. 19. *Camaridium meleagris*Fig. 20. *Campylocentrum schiedei*Fig. 21. *Conasium integerrimum*Fig. 22. *Christensonella uncata*

Orquídeas del área de la Hidroeléctrica Renace, Alta Verapaz

Lámina II



Fig. 23. *Chysis laevis*



Fig. 24. *Coelia bella*



Fig. 25. *Compurella falcata*



Fig. 26. *Cranichis sylvatica*



Fig. 27. *Cyclopogon comosus*



Fig. 28. *Cyrtopodium macrobulbon*



Fig. 29. *Dichaea intermedia*



Fig. 30. *Dichaea muricatoides*



Fig. 31. *Dichaea panamensis*



Fig. 32. *Dryadella guatemalensis*



Fig. 33. *Elleanthus cynarcephallus*



Fig. 34. *Encyclia ceratites*

Orquídeas del área de la Hidroeléctrica Renace, Alta Verapaz

Lámina III



Fig. 35. *Epidendrum archilarum*



Fig. 36. *Epidendrum atroscriptum*



Fig. 37. *Epidendrum cardiophorum*



Fig. 38. *Epidendrum cerinum*



Fig. 39. *Epidendrum chlorocorymbos*



Fig. 40. *Epidendrum ciliare*



Fig. 41. *Epidendrum diffusum*



Fig. 42. *Epidendrum flexuosum*



Fig. 43. *Epidendrum incomptum*



Fig. 44. *Epidendrum isomerum*



Fig. 45. *Epidendrum nitens*



Fig. 46. *Epidendrum radicans*

Orquídeas del área de la Hidroeléctrica Renace, Alta Verapaz

Lámina IV



Fig. 47. *Epidendrum ramosum*



Fig. 48. *Epidendrum singuliflorum*



Fig. 49. *Epidendrum verrucipes*



Fig. 50. *Erycina crista-galli*



Fig. 51. *Eulophia maculata*



Fig. 52. *Gongora batemanii*



Fig. 53. *Govenia mutica*



Fig. 54. *Guarianthe howringiana*



Fig. 55. *Habenaria floribunda*



Fig. 56. *Habenaria monorrhiza*



Fig. 57. *Heterotaxis maleolens*



Fig. 58. *Heterotaxis sessilis*

Orquídeas del área de la Hidroeléctrica Renace, Alta Verapaz

Lámina V



Fig. 59. *Isochilus carnosiflorus*



Fig. 60. *Jacquiniella cobanensis*



Fig. 61. *Lankesteriana barbulata*



Fig. 62. *Lepanthes acuminata*



Fig. 63. *Lepanthes disticha*



Fig. 64. *Lepanthes scopula*



Fig. 65. *Lepanthes stenophylla*



Fig. 66. *Lepanthes systole*



Fig. 67. *Lockhartia hercodynia*



Fig. 68. *Lockhartia oerstedii*



Fig. 69. *Lophiaris lurida*



Fig. 70. *Lophiaris oerstedii*

Orquídeas del área de la Hidroeléctrica Renace, Alta Verapaz

Lámina VI



Fig. 71. *Lycaste consobrina*



Fig. 72. *Lycaste laetiglossa*



Fig. 73. *Malaxis histiocalantha*



Fig. 74. *Masdevallia floribunda*



Fig. 75. *Maxillaria moralesii*



Fig. 76. *Maxillaria ringens*



Fig. 77. *Maxillariella elatior*



Fig. 78. *Maxillariella tenuifolia*



Fig. 79. *Maxillariella variabilis*



Fig. 80. *Mormodes nagelii*



Fig. 81. *Nidema boothii*



Fig. 82. *Oncidium hagsaterianum*

Orquídeas del área de la Hidroeléctrica Renace, Alta Verapaz

Lámina VII



Fig. 83. *Oncidium sphacelatum*



Fig. 84. *Ornithocephallus archilarum*



Fig. 85. *Ornithocephallus inflexus*



Fig. 86. *Phragmipedium humboldtii*



Fig. 87. *Platystele ovatilabia*



Fig. 88. *Platystele oxyglossa*

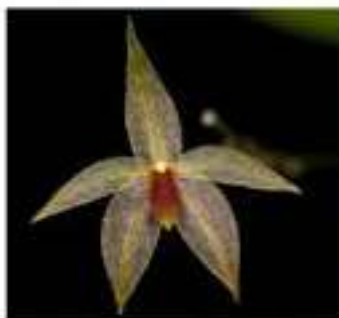


Fig. 89. *Platystele pedicellaris*



Fig. 90. *Pleurothallis cardiophylla*



Fig. 91. *Pleurothallis leucantha*



Fig. 92. *Polystachia caracasana*



Fig. 93. *Ponthieva guatemalensis*

Orquídeas del área de la Hidroeléctrica Renace, Alta Verapaz

Lámina VIII



Fig. 94. *Ponthieva triloba*



Fig. 95. *Prescottia stachyodes*



Fig. 96. *Prosthechea cochleata*



Fig. 97. *Prosthechea livida*



Fig. 98. *Prosthechea madrensis*



Fig. 99. *Prosthechea ochracea*



Fig. 100. *Prosthechea pseudopygmaea*



Fig. 101. *Prosthechea pygmaea*



Fig. 102. *Prosthechea radiata*



Fig. 103. *Psilochilus macrophyllus*



Fig. 104. *Restrepia archilae*



Fig. 105. *Restrepia muscifera*

Orquídeas del área de la Hidroeléctrica Renace, Alta Verapaz

Lámina IX



Fig. 106. *Restrepoides njarenis*



Fig. 107. *Rhetimanthus acianthus*



Fig. 108. *Scaphosepalum microdactylum*



Fig. 109. *Scaphosepalum standleyi*



Fig. 110. *Scaphyglottis confusa*



Fig. 111. *Scaphyglottis fusciculata*



Fig. 112. *Scaphyglottis lindeniata*



Fig. 113. *Sobralia decora*



Fig. 114. *Sobralia fragrans*



Fig. 115. *Sobralia rogersiana*



Fig. 116. *Specklinia echinata*



Fig. 117. *Specklinia marginata*

Orquídeas del área de la Hidroeléctrica Renace, Alta Verapaz

Lámina X



Fig. 118. *Specklinia tribuloides*



Fig. 119. *Stanhopea whittenii*



Fig. 120. *Stelis amagraciae*



Fig. 121. *Stelis bidentata*



Fig. 122. *Stelis immersa*



Fig. 123. *Stelis microchila*



Fig. 124. *Stelis rubens*



Fig. 125. *Stenotylia leidyana*



Fig. 126. *Stenotylia maculata*



Fig. 127. *Trigonidium egertonianum*



Fig. 128. *Vanilla planifolia*



Fig. 129. *Xylobium elongatum*

Análisis de la efectividad del cuadernillo de matemáticas en estudiantes de Primero Básico de una institución privada, Guatemala

Analysis of the effectiveness of a mathematics workbook for first grade students in a private educational institution, Guatemala

Alexandra Floridalma Anabell MONTALVO-GUERRERO^{1,*}

¹Facultad de Educación, Universidad del Valle de Guatemala, Guatemala

*Correspondencia: Alexandra Floridalma Anabell Montalvo-Guerrero (mon19492@uvg.edu.gt)

Recibido: 03/VIII/2024; Aceptado: 05/VI/2025

Resumen: Este estudio analiza la efectividad de un cuadernillo de matemáticas diseñado para estudiantes de primero básico del centro educativo "Liceo Profesional en Computación y Ciencias Comerciales", Ciudad de Guatemala. Las carencias en el aprendizaje fueron identificadas a través de observación docente, pruebas y la revisión del desempeño académico, evidenciando dificultades en operaciones básicas, comprensión de conceptos y resolución de problemas. Para abordarlas, se desarrolló un cuadernillo que fue implementado en el 2024 durante dos sesiones semanales de una hora cada una durante un lapso de tres meses. Este incluyó temas como suma, resta, multiplicación, división, valor posicional, fracciones, números ordinales y resolución de problemas, con el fin de reforzar el aprendizaje y mejorar el rendimiento académico. Se empleó una metodología cuasi experimental con dos grupos: uno experimental que utilizó el cuadernillo y uno control que no. Se aplicaron pruebas pre y post test para evaluar el impacto de la intervención. Los resultados mostraron un aumento del 50% en los puntajes del grupo experimental y que el 71% mejoró su rendimiento, frente al 29% del grupo control. Estos datos respaldan la hipótesis de que los recursos didácticos complementarios pueden tener un efecto positivo significativo en el aprendizaje, especialmente en contextos de limitaciones económicas. Se concluye que el cuadernillo representó una herramienta accesible y efectiva para fortalecer el rendimiento académico en matemáticas.

Palabras clave: Aprendizaje activo, evaluación cuasi experimental, material didáctico, recursos educativos complementarios.

Abstract: This study analyzes the effectiveness of a mathematics workbook designed for first-grade students at the educational center "Liceo Profesional en Computación y Ciencias Comerciales" in Guatemala City. Learning difficulties were identified through teacher observation, diagnostic testing, and academic performance records, revealing difficulties in basic operations, concept comprehension, and problem solving. To address these issues, a workbook was developed and implemented in 2024 over the course of three months, with two weekly one-hour sessions. It included topics such as addition, subtraction, multiplication, division, place value, fractions, ordinal numbers, and problem solving, with the aim of reinforcing learning and improving academic performance. A quasi-experimental methodology was employed with two groups: an experimental group that used the workbook and a control group that did not. Pre- and post-tests were administered to evaluate the effect of the intervention. The results indicated a 50% improvement in post-test scores in the experimental group, with 71% of its students showing improved performance, compared to 29% in the control group. These findings support the hypothesis that supplementary educational resources, like the workbook, can have a significant positive effect on learning, especially in contexts with economic limitations. It is concluded that the workbook served as an accessible and effective tool for strengthening academic performance in mathematics.

Keywords: Active learning, complementary educational resources, didactic material, quasi-experimental evaluation.

INTRODUCCIÓN

En América Latina, el aprendizaje de las matemáticas continúa siendo un reto significativo. Según el Estudio Regional Comparativo y Explicativo (UNESCO 2021), más del 60% de los estudiantes de sexto grado no alcanzan el nivel mínimo de competencias fundamentales en matemáticas. En el caso de Guatemala, los resultados son particularmente preocupantes: el 64% de los estudiantes de sexto grado se ubicaron en el nivel más bajo de desempeño en matemáticas, y solo el 1% alcanzó el nivel más alto, evidenciando una marcada brecha de aprendizaje en comparación con el promedio regional. Así mismo se determinó que solo el 6.7% de los estudiantes guatemaltecos de sexto grado alcanzaron los niveles más altos de desempeño en matemáticas, en comparación con el 17.4% del promedio regional (UNESCO 2021). Esta situación se refleja también en las evaluaciones nacionales: el informe de resultados generales de aprendizaje del Ministerio de Educación de Guatemala para el año 2022 señala que los estudiantes de sexto grado obtuvieron un promedio nacional del 50.69% en matemáticas, sin alcanzar en su mayoría el nivel satisfactorio (MINEDUC 2023).

Estos resultados reflejan inequidades estructurales persistentes en la región. Según el informe nacional del (UNESCO 2021), los estudiantes guatemaltecos muestran un rendimiento significativamente inferior en matemáticas, especialmente aquellos que provienen de contextos socioeconómicos desfavorecidos o que pertenecen a pueblos originarios. Incluso cuando se comparan estudiantes de igual nivel socioeconómico, persisten brechas importantes, lo cual evidencia que el sistema educativo aún no logra garantizar una educación equitativa y de calidad para todos (UNESCO 2021). Esta situación pone de manifiesto una crisis de aprendizaje que exige la implementación de estrategias pedagógicas más eficaces y recursos que se adapten a las realidades de cada contexto.

En el centro educativo “Liceo Profesional en Computación y Ciencias Comerciales” (LPCCC), se enfrenta una problemática significativa en el área de matemáticas relacionada con el rendimiento de los estudiantes y los resultados de años anteriores debido a que más del 50% de los estudiantes de primero básico no ha aprobado el curso de matemáticas. Los estudiantes que ingresan a primero básico provienen directamente de sexto de primaria, etapa en la cual se aplican las evaluaciones de la UNESCO. Si los resultados de estas pruebas reflejan un bajo desempeño en matemáticas, significa que los alumnos no cuentan con una base sólida de conocimientos al momento de iniciar primero básico, lo que contribuye a que pierdan aprendizajes fundamentales. Uno de los principales desafíos identificados a través de la observación docente, radica en la carencia de materiales didácticos adecuados y personalizados para satisfacer las necesidades individuales de los estudiantes en el proceso de aprendizaje de las matemáticas.

El libro de matemáticas de primero básico, utilizado como recurso principal en el Centro Educativo, no cubre de manera integral los diferentes aspectos del aprendizaje matemático. La estructura y el enfoque del libro no permitían una práctica adecuada en áreas clave, como la resolución de problemas, el desarrollo del pensamiento crítico y la aplicación práctica de las operaciones matemáticas básicas. Estas limitaciones en el recurso disponible hizo que la docente detectara la necesidad de un material adicional que pudiera complementar y reforzar los contenidos enseñados, cubriendo así las deficiencias identificadas en el libro de texto y proporcionando a los estudiantes más oportunidades para practicar y afianzar sus habilidades matemáticas. Esta situación ha generado preocupaciones tanto para la docente como en la dirección de la institución en cuanto al impacto en la adquisición de destrezas y competencias matemáticas por parte de los estudiantes.

En este contexto, la implementación de un cuadernillo didáctico de matemáticas surge como una posible solución. Diversos estudios en la literatura educativa señalan que el uso de materiales complementarios, como cuadernillos y recursos didácticos, puede tener un impacto positivo en el rendimiento académico de los estudiantes, al proporcionarles más oportunidades para practicar y afianzar sus conocimientos de manera estructurada. Por ejemplo, un estudio en Perú evidenció una correlación positiva entre el uso de materiales didácticos y el rendimiento académico en la resolución de problemas matemáticos en estudiantes de segundo grado de primaria (Ñañez Laura 2014). Así mismo, una investigación realizada en Guatemala concluyó que el material didáctico juega un papel muy importante, enriqueciendo el sistema educativo y orientándolo con determinados principios y métodos (Rodríguez Xitumul 2012). Proporcionar materiales prácticos como estos puede mejorar significativamente la comprensión y aplicación de conceptos matemáticos (Boaler 2015). Sin embargo, aún queda por determinar si esta intervención puede abordar eficazmente las deficiencias identificadas y mejorar sustancialmente el rendimiento de los estudiantes en matemáticas. Por lo tanto, el objetivo principal de esta investigación fue evaluar el impacto de la introducción de un cuadernillo de matemáticas para estudiantes de primero básico en el LPCCC. El estudio trabajó con la siguiente hipótesis: la implementación del cuadernillo diseñado para complementar el material del libro de texto influye de manera positiva en el rendimiento académico de los estudiantes de primero básico.

MATERIALES Y MÉTODOS

El cuadernillo fue elaborado por la autora de este estudio, quien, además, se desempeñó como la docente encargada de la enseñanza del curso. Cabe destacar que este material no se considera parcial ni sesgado, ya que se desarrolló con el objetivo de complementar el libro utilizado y reforzar los contenidos del currículo nacional y proporcionar a los estudiantes

herramientas adicionales para la práctica y el dominio de conceptos matemáticos. Los ejercicios incluidos en el cuadernillo (ver Material suplementario) fueron diseñados siguiendo criterios pedagógicos basados en el aprendizaje activo y la resolución de problemas. Se centra en una serie de ejercicios prácticos enfocados en la resolución de problemas y la comprensión de conceptos básicos de aritmética, como sumas, restas, multiplicaciones y divisiones. Se realizó una investigación cuantitativa y cuasi experimental, se administró pruebas pre- y post-test a ambos grupos para medir el rendimiento académico en matemáticas antes y después de la intervención con el cuadernillo para establecer una línea de base, detectar cambios en el rendimiento y la efectividad de la intervención educativa.

Para evaluar la efectividad del cuadernillo didáctico en matemáticas, se aplicaron pruebas de diagnóstico y seguimiento en el LPCCC durante el año 2024. El pre-test se realizó en enero, mientras que el post-test se aplicó en abril. Participaron un total de 40 estudiantes divididos en dos grupos: un grupo experimental, compuesto por 20 estudiantes que utilizaron el cuadernillo, y un grupo control, integrado por 20 estudiantes que recibieron la enseñanza tradicional. Este diseño permitió comparar los avances en el aprendizaje matemático entre ambos grupos y medir el impacto del material didáctico implementado.

El grupo control, compuesto por estudiantes de primero básico, presentó características similares al grupo experimental en términos de edad, que oscila entre los 13 y 14 años, lo que aseguró que ambos grupos se encuentren en el mismo rango de desarrollo cognitivo y madurez. En cuanto al nivel socioeconómico, los estudiantes provienen mayoritariamente de familias de clase media-baja, lo que implica que enfrentan retos económicos comunes en la comunidad, pero con acceso a servicios básicos y educación formal. A pesar de estas condiciones, la escolarización en este contexto es relativamente estable, lo que permite una comparación equitativa con el grupo experimental, que también pertenece al mismo entorno socioeconómico y educativo. Estos factores contribuyen a que cualquier diferencia en el rendimiento académico pueda atribuirse principalmente a la intervención con el cuadernillo y no a otros factores externos. Dado el nivel socioeconómico medio-bajo de los estudiantes, se hizo evidente que cambiar el libro de matemáticas por uno nuevo o más costoso no era una opción viable debido a las limitaciones económicas. Por esta razón, la autora decidió desarrollar una alternativa más económica, el cuadernillo de matemáticas, como una herramienta complementaria que pudiera ser fácilmente distribuida y accesible para todos los estudiantes sin generar un gasto adicional para sus familias. Esta solución no solo optimiza los recursos disponibles, sino que también proporciona una opción accesible y efectiva para mejorar el rendimiento académico en el área de matemáticas.

El procedimiento para la recolección y análisis de los datos.

Consistió en la aplicación de pruebas pre- y post-test a dos grupos de estudiantes de primero básico del LPCCC. Inicialmente, se administraron las pruebas pre-test para establecer una línea base del rendimiento académico en matemáticas de ambos grupos. Posteriormente, se implementó el cuadernillo de matemáticas en el grupo experimental, mientras que el grupo control continuó con el material estándar. El puntaje mínimo que pudieron obtener los estudiantes en estas pruebas fue de 0 puntos, mientras que el máximo fue de 100 puntos.

Antes de aplicar las pruebas utilizadas en el presente estudio, las herramientas de medición fueron validadas por dos expertos en el área educativa, quienes realizaron revisiones constantes de las pruebas para asegurar su calidad y adecuación. Luego de sus sugerencias y ajustes, las pruebas fueron aprobadas para ser utilizadas en el estudio, por el Ing. Carlos Alfredo Mayén Pérez, docente de la Universidad del Valle de Guatemala y la Licenciada Jackelin Hernández, coordinadora del área científica del LPCCC. Es importante señalar que la aplicación del cuadernillo fue la única intervención realizada durante el período de análisis y que, hasta donde se tiene conocimiento, no se implementaron otros cambios que pudieran haber influido positiva o negativamente en el rendimiento académico de los estudiantes.

Una vez obtenidos los resultados de las pruebas pre- y post-test, se procedió a comparar las medias de las notas obtenidas en ambas pruebas entre los dos grupos de estudiantes: aquellos que utilizaron el cuadernillo de matemáticas y aquellos que no lo utilizaron. Este análisis se llevó a cabo utilizando la prueba t de Student para muestras pareadas, con el fin de identificar diferencias significativas en el rendimiento antes y después de la intervención. Este análisis permitió evaluar las variaciones en el desempeño académico de ambos grupos a lo largo del periodo estudiado. Maxwell & Delaney (2017) destacan la utilidad de la comparación de medias para identificar diferencias significativas entre grupos en un estudio experimental, lo que permite evaluar el impacto de una intervención educativa, como en este caso el uso del cuadernillo de matemáticas.

RESULTADOS

Los datos del grupo control reflejan una mejora significativa en los resultados académicos entre el pre- y el post-test. La media aumentó de 21.42 a 40.49 con una desviación estándar entre 12.149 y 13.316, respectivamente (Cuadro 1). También aumentaron los valores mínimos y máximos entre pre- y post-test.

Los datos del grupo control reflejan una mejora significativa en los resultados académicos entre el pre- y post-test, con un aumento en la media de 21.42 a 40.49 y una desviación estándar

Cuadro 1. Media, mediana, moda, desviación estándar, rango, mínimo y máximo del puntaje (0-100) de las pruebas pre- y post-test de los grupos control y experimental de estudiantes de primer grado del Centro Educativo “Liceo Profesional en Computación y Ciencias Comerciales”, Ciudad de Guatemala.

Table 1. Mean, median, mode, standard deviation, range, minimum and maximum of the scores (0-100) of control and experimental groups pre- and post-tests of first grade students of the educational center “Liceo Profesional en Computación y Ciencias Comerciales” in Guatemala City.

Estadístico	Grupo Control Pre-test	Grupo Control Post-test	Grupo Control Pre-test	Grupo Control Post-test
Media	21.42	40.49	23.89	64.87
Mediana	23	40.5	24	68.5
Moda	23	51	16	74
Desviación estándar	12.15	13.32	9.51	17.07
Rango	58	53	37	67
Mínimo	5	18	11	30
Máximo	63	71	48	97

Cuadro 2. Resultados de la prueba t de Student para muestras pareadas en las comparaciones entre pruebas pre- y post-test y entre grupos experimental y control, estudiantes de primer grado del Centro Educativo “Liceo Profesional en Computación y Ciencias Comerciales”, Ciudad de Guatemala. Los valores *p* en negrita indican diferencias significativas.

Table 2. Results of paired-samples Student's t-test comparing pre- and post-tests scores and differences between experimental and control groups among first grade students at the educational center “Liceo Profesional en Computación y Ciencias Comerciales”, Guatemala City. Bold *p*-values indicate significant differences.

Comparación	Media Pre-test	Media Post-test	Estadístico t	p (dos colas)	Valor crítico t (dos colas)
Grupo Control: Pre-test vs Post-test	24.15	42.55	-5.559	2.32 x 10⁻⁵	2.093
Grupo Experimental: Pre-test vs Post-test	25.55	67.25	-14.534	9.58 x 10⁻¹²	2.093
Comparación Pre-test: Control vs Experimental	24.15	25.55	-0.406	0.689	2.093
Comparación Post-test: Control vs Experimental	42.55	67.25	-5.095	6.44 x 10⁻⁵	2.093

de 12.15 y 13.32, respectivamente. También se observaron incrementos en los valores mínimos y máximos entre ambas pruebas (ver Cuadro 1). El grupo experimental mostró una mejora aún más pronunciada, con la media de las calificaciones aumentando de 23.89 en el pre-test a 64.87 en el post-test, y un aumento notable en los puntajes mínimo y máximo, que pasaron de 11 a 30 (pre-test) y de 48 a 97 (post-test), respectivamente (ver Cuadro 1).

Los resultados de la prueba t de Student para muestras pareadas muestran (Cuadro 2) que, dentro de cada grupo, las diferencias entre las medias del pre- y post-test son

estadísticamente significativas. En el grupo control, el estadístico t fue -5.559 ($p < 0.001$), mientras que en el grupo experimental el estadístico t fue aún mayor en magnitud, -14.534 ($p < 0.001$).

Al comparar los grupos entre sí, no se encontraron diferencias significativas en las medias del pre-test ($t = -0.406$, $p = 0.689$). Sin embargo, en el post-test, sí se observaron diferencias significativas entre el grupo experimental y el control ($t = -5.095$, $p < 0.001$).

DISCUSIÓN

Los resultados muestran que el grupo experimental que utilizó el cuadernillo didáctico de matemáticas mejoró significativamente su rendimiento académico en comparación con el grupo control que mostró una mejora de menor magnitud. Estos resultados indican que el cuadernillo contribuyó de manera efectiva al aprendizaje de matemáticas en estudiantes de primer grado.

Estos hallazgos son consistentes con estudios previos que resaltan la importancia de materiales didácticos adaptados y recursos pedagógicos innovadores para mejorar el rendimiento en matemáticas. Por ejemplo, Arias Baño *et al.* (2024) reportaron mejoras significativas en estudiantes de quinto grado mediante la implementación de actividades investigativas y materiales didácticos personalizados. Asimismo, Simbaña Navarrete *et al.* (2024) encontraron que la incorporación de recursos educativos abiertos fortaleció las competencias matemáticas en estudiantes de educación básica secundaria.

La ausencia de diferencias significativas en las medias del pre-test entre grupos experimental y control refuerza la validez del estudio, ya que ambos grupos comenzaron con niveles similares. La diferencia significativa en el post-test confirma el efecto positivo del cuadernillo en el grupo experimental. Estos resultados apoyan la idea de que intervenciones didácticas específicas son clave para superar las deficiencias en el aprendizaje inicial de matemáticas (Arias Baño *et al.* 2024; Simbaña Navarrete *et al.* 2024).

Los datos analizados confirman la relevancia de enfoques pedagógicos que enfatizan la personalización del aprendizaje y su alineación con el currículo. Según Coll (2016), personalizar el aprendizaje escolar implica un cambio sistémico y profundo en el sistema educativo, mediante la acción educativa. En este sentido, el cuadernillo no solo se alineó con los estándares del Currículo Nacional Base (CNB), sino que también ofreció un recurso adaptable que permitió a los docentes ajustar su enseñanza a las necesidades individuales de los estudiantes.

Esta investigación respalda la importancia de integrar materiales complementarios en la enseñanza de las matemáticas. El cuadernillo proporcionó una variedad de ejercicios y actividades que promovieron un aprendizaje más activo y significativo, lo que resultó en una mejora notable en el rendimiento académico de los estudiantes. Sin embargo, surgen preguntas como: ¿Cómo podría el cuadernillo ser adaptado para abordar diferentes estilos de aprendizaje? ¿Qué impacto tendría la implementación del cuadernillo a largo plazo en el rendimiento académico de los estudiantes? ¿Sería eficaz la intervención en otros niveles educativos o con otros contenidos matemáticos? Estas interrogantes abren nuevas líneas de exploración sobre cómo los materiales complementarios pueden seguir optimizando el aprendizaje en las matemáticas.

Se recomienda continuar utilizando y perfeccionando el cuadernillo en el proceso educativo, asegurando su alineación con el CNB para mantener su relevancia y efectividad en la adaptación del aprendizaje a las necesidades individuales de los estudiantes. Esta alineación garantiza que los contenidos y objetivos del cuadernillo sean pertinentes, facilitando su integración en el plan de estudios y contribuyendo al logro de los objetivos educativos establecidos.

Finalmente, se propone explorar otros efectos del cuadernillo, como el desarrollo de habilidades metacognitivas, para obtener una visión más completa de su impacto en el proceso educativo.

AGRADECIMIENTOS

Al Colegio Liceo Profesional en Computación y Ciencias Comerciales por brindarme la oportunidad y el apoyo necesario para llevar a cabo esta investigación. A la M.A. María de los Ángeles Ovalle López, por su invaluable orientación y asesoría brindada. Asimismo, reconozco la valiosa contribución de los revisores del presente artículo. Finalmente, agradezco a Ingo Wehrtmann, editor de la revista, por su dedicación y apoyo en la edición y corrección del texto.

REFERENCIAS

- Arias Baño, R. M., Monar Mantilla, G. C., Ortiz Aguilar, W. & Hernández Hechavarría, C. M. (2024). Mejoramiento del desempeño matemático de los estudiantes de quinto grado de educación general básica mediante actividades investigativas estudiantiles. *Maestro y Sociedad* (Número Especial): 327-333.
- Boaler, J. (2015). *Mathematical mindsets: Unleashing students' potential through creative math, inspiring messages and innovative teaching*. Jossey-Bass, Wiley.
- Coll, C. (2016). La personalización del aprendizaje escolar El qué, el por qué y el cómo de un reto insoslayable. En: Vilalta, J. (ed.), *Reptes de l'educació a Catalunya*. Anuari d'Educació 201, Fundació Jaume Bofill; pp. 43-104.
- Maxwell, S. E., Delaney, H. D. & Kelley, K. (2017). *Designing experiments and analyzing data: A model comparison perspective*. Routledge. <https://doi.org/10.4324/9781315642956>
- Ministerio de Educación de Guatemala. (2023). *Informe nacional de resultados generales 2022*. Dirección General de Evaluación e Investigación Educativa (DIGEDUCA). [https://edu.mineduc.gob.gt/digeduca/documents/resultados/Resultados_generales.pdf]. Accedido: 4 de junio 2025.
- Ñañez Laura, L. A. (2014). *Uso de materiales didácticos y el rendimiento académico en resolución de problemas matemáticos en los estudiantes del segundo grado de la Institución Educativa 1244 "Micaela Bastidas" Ate - 2014*. [<https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/3798>]. Accedido: 5 de junio 2025.
- Rodríguez Xitumul, L. N. (2012). *La utilización de los materiales didácticos en el aula influencia el avance del proceso educativo bilingüe*. Universidad de San Carlos de Guatemala.

Simbaña Navarrete, F. O., Figueroa Mieleles, A. O., Triviño Macías, Y. K., Rivera Alava, M. M., Pérez Bajaña, J. V. & Avilés Navarrete, W. E. (2024). Incidencia del rendimiento académico de los estudiantes en el área de matemática en la educación superior. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar* 8(5): 11691-11708.
https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v8i5.14561

UNESCO. (2021). *Estudio Regional Comparativo y Explicativo (ERCE 2019). Reporte nacional de resultados*. Guatemala. Oficina Regional de Educación para América Latina y el Caribe (OREALC/ UNESCO Santiago).
[https://edu.mineduc.gob.gt/digeduca/documents/erce/ERCE_Guatemala.pdf]. Accedido: 4 de junio 2025



Liceo Profesional de Computación y Ciencias Comerciales

Lcda. Alexandra Montalvo Guerrero

Curso: Matemáticas

Grado: Primero Básico

Jornada: Matutina

/100

Nombre: _____ Fecha: _____ Clave: _____

EXAMEN DIAGNÓSTICO

Competencia	Calcula operaciones combinadas de los diferentes conjuntos numéricos (naturales, enteros y racionales) con algoritmos escritos, mentales, exactos y aproximados.
Indicadores de logro	- Opera dentro de los conjuntos numéricos naturales y enteros, mediante procedimientos correspondientes - identifica la representación, y ubicación del conjunto de los racionales al realizar operaciones jerarquizadas y estimaciones.

Baremo de ponderación:

Serie	Valor de cada respuesta correcta	Valor Total
1	2pts.	/6pts.
2	2pts.	/6pts.
3	8pts.	/24pts.
4	1pt.	/5pts.
5	3pts.	/9pts.
6	8pts.	/32pts.
7	5pts.	/15pts.
8	3pts.	/3pts.
Total		/100pts.

Instrucciones generales: Lee cuidadosamente cada inciso antes de responder. No se permiten calculadoras u otros dispositivos electrónicos. El examen estará dividido en varias series que cubren diferentes temas y habilidades matemáticas, al inicio de cada una están instrucciones específicas para resolverla. Asegúrate de revisar todas las series, responder todos los ítems dejando constancia del procedimiento y coloca la respuesta en el espacio indicado. Si tiene dudas, levante la mano y espere que la profesora le atienda.

Duración del examen: 1 hora.

Serie 1: Subrayar la opción correcta. Valor 6pts.

1. ¿Qué propiedad establece que la suma de dos números es el mismo resultado, sin importar el orden en que se sumen?

- a) Propiedad asociativa
- b) Propiedad distributiva
- c) Propiedad conmutativa

2. ¿Cuáles son las fracciones homogéneas?

- a) Fracciones propias
- b) Fracciones con el mismo denominador
- c) Fracciones con distinto denominador

3. ¿Cómo se define la fracción en la cual el denominador es menor que el numerador?

- a) Fracciones propias
- b) Fracciones mixtas
- c) Fracciones impropias

Serie 2: Asociar la opción correcta para cada pregunta. Valor 6pts.

Fracciones propias	Número mixto	Fracciones heterogéneas
--------------------	--------------	-------------------------

1. ¿Cómo se define la fracción en la cual el denominador es mayor que el numerador? _____

2. ¿Cómo se denominan las fracciones en las que el denominador es más grande que el numerador? _____

3. ¿Cuál es la expresión que se compone por un número entero y una fracción propia? _____

Serie 3: Analizar las siguientes operaciones ya resueltas. Seleccionar el error que se encuentra en cada operación. Tomar en cuenta que no todas las operaciones tienen error, si este fuera el caso, colocar "no hay error". Valor 24pts.

1.

$$-96 \div \{ 4 \{ 8 - 2(1 - 3) \} \}$$

$$-96 \div \{ 4 \{ 8 - 2(-2) \} \}$$

$$-96 \div \{ 4 \{ 8 - 2 \cdot 2 \} \}$$

$$-96 \div \{ 4 \{ 4 \} \}$$

$$-96 \div \{ 16 \}$$

$$-6$$

2.

$$48 \div \{ 4 \{ 8 - 2 \{ 3 - 1 \} \} \}$$

$$48 \div \{ 4 \{ 6 \{ 2 \} \} \}$$

$$48 \div \{ 4 \{ 12 \} \}$$

$$48 \div \{ 48 \}$$

$$1$$

3.

$$-8 \{ 3 - 2(4 + 1) \} - 3$$

$$-8 \{ 3 - 2(5) \} - 3$$

$$-8 \{ 3 - 10 \} - 3$$

$$-8 \{ -7 \} - 3$$

$$56 - 3$$

$$53$$

Serie 4: Calcular las siguientes operaciones. Valor 5pts.

1. $258965 + 5895782 =$ _____	2. $6598897 - 289686 =$ _____
3. $5895 \cdot 583 =$ _____	4. $1575 \div 25 =$ _____
5. $48 \div \{ 4 \{ 8 - 2 \{ 3 - 1 \} \} \} =$ _____	

Serie 5: Operar los siguientes problemas. Valor 9pts.

1. En una tienda de juguetes, Julia tiene Q.100 y compró un tren eléctrico por Q.35 y un set de bloques por Q.27. Luego, su hermano mayor le dio Q.20. ¿Cuánto dinero tiene ahora Julia? _____ ¿Puede comprar otro set de bloques que cuesta Q. 32? _____ Si es así, ¿cuánto dinero le sobra? _____
2. Un edificio cuenta con 5 niveles, en cada nivel hay 7 apartamentos y en cada apartamento hay 3 televisiones. ¿Cuántas televisiones hay en total? _____
3. Una tienda de libros ordenó 72 libros de matemáticas y 54 libros de ciencias. Si cada caja puede contener 9 libros, ¿cuántas cajas necesitarán en total? _____ Si ya tienen 8 cajas de matemáticas, ¿cuántas cajas más necesitarán para los libros de ciencias? _____

Serie 6. Resolver las siguientes operaciones. Valor 32pts.

$$1) \left(\frac{9 - (-3)}{8 - 6} \right) \left(\frac{3 + (-8)}{7 - 2} \right) = \underline{\hspace{2cm}}$$

$$2) \left(\frac{6 + (-2)}{3 + (-7)} \right) \left(\frac{8 + (12)}{2 - 4} \right) = \underline{\hspace{2cm}}$$

$$3) \frac{3 - 5 \left(\frac{4+2}{2+1} \right) - 2}{-4 + 3 \left(\frac{4-2}{4-6} \right) - 2} = \underline{\hspace{2cm}}$$

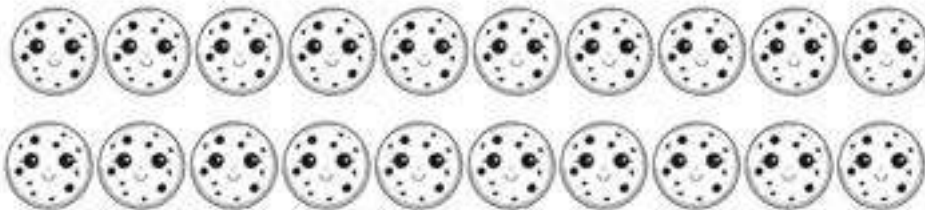
$$4) \frac{8 + 2 \left(\frac{9-15}{3-1} \right) - 2}{-4 + 8 \left(\frac{6-3}{1-4} \right) + 12} = \underline{\hspace{2cm}}$$

Serie 7: Crear el gráfico partiendo de la respuesta de cada problema. Valor 15pts.

1. Tienes una pizza y la divides en 6 partes iguales. Si comes 5 pedazos, ¿qué fracción de la pizza te has comido? R// ____ Colorear las partes que te comiste.



2. Santiago cocinó 20 galletas y decide compartirlas con su mamá. Quiere darle la cuarta parte de estas, ¿cuántas galletas le dará? R// ____ Colorear las galletas que le compartió.



3. Toby tiene una caja con 17 juguetes. Si le regala 6 juguetes a su amigo, 4 a su vecino y 3 a su hermano, ¿cuál es la fracción de los juguetes que regaló? R// ____ Construir el gráfico partiendo de la respuesta.

Serie 8: Argumentar la importancia de la matemática en la vida cotidiana. Valor 3pts.

Liceo Profesional en Computación y Ciencias Comerciales

2da. Avenida 10-79 zona 1

Tel.: 22320092 – 22328292

WhatsApp: 40367676



CUADERNILLO DE EJERCICIOS NO.1

Nombre del Estudiante:

Liceo

Leda. Alexandra Montalvo Guerrero
PROFESIONAL
EN COMPUTACION Y
CIENCIAS COMERCIALES

Contenido

Unidad 3	27
Tarea No. 21 - Recta numérica	27
Tarea No. 22 - Propiedades de los números reales	28
Leyes de Signos y jerarquía de operaciones	29
Tarea No. 23 - leyes de signos y jerarquía de operaciones	30
Tarea No. 24 - propiedades de la multiplicación	31
Tarea No. 25 - Operaciones con números reales	32
Tarea No. 26 - Números racionales / Fracciones	33
Tarea No. 27 - Conversión de fracciones impropias a números mixtos	34
Tarea No. 28 - Conversión de números mixtos a fracciones impropias	35
Tarea No. 29 - simplificación de fracciones	36
Tarea No. 30 - operaciones de fracciones	37
Tarea No. 31 - Representación Gráfica de Fracciones	38
Continuación de la tarea No. 31	39
Continuación de la tarea No. 31	40
Tarea No. 32 - Operaciones con fracciones	41
Anexo No. 2	42

Liceo
PROFESIONAL
EN COMPUTACION Y
CIENCIAS COMERCIALES



UNIDAD 3

TAREA NO. 21 - RECTA NUMÉRICA

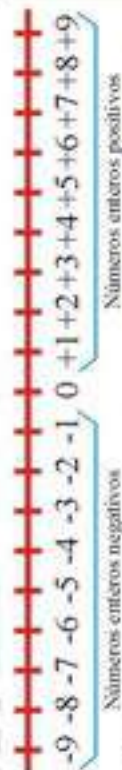
Competencia 3: Calcula operaciones combinadas de los diferentes conjuntos numéricos (naturales, enteros y racionales) con algoritmos escritos, mentales, exactos y aproximados.

Indicador de logro 3.1	Opera dentro de los conjuntos numéricos naturales y enteros, mediante procedimientos correspondientes.
Saber 3.1.1.2.	Representación en la recta numérica

Instrucciones: Clasifica los números positivos y negativos dados, ubicándolos con un punto correctamente en la recta numérica. Finalmente computa cuántos enteros positivos y negativos encontraste. Coloca este cuadernillo de manera horizontal para la realización de esta tarea.

5	-9	8	-8	-6
0	-3	3	7	2

Enteros Positivos	
Enteros Negativos	



PRONAL
EN COMPUTACION Y
CIENCIAS COMERCIALES
LCDA. ALEXANDRA MONTALVO GUERRERO

TAREA NO. 22 - PROPIEDADES DE LOS NÚMEROS REALES

Competencia 3: Calcula operaciones combinadas de los diferentes conjuntos numéricos (naturales, enteros y racionales) con algoritmos escritos, mentales, exactos y aproximados.

Indicador de logro 3.1	Opera dentro de los conjuntos numéricos naturales y enteros, mediante procedimientos correspondientes.
Saber 3.1.1.1	Definición
Saber 3.1.1.5	operaciones y sus propiedades

Instrucciones: Genera una definición de las propiedades de los números reales tal como se presentan en las páginas 102 y 103 del libro. En la última columna crea un ejemplo original que ilustre cada una de estas propiedades en un contexto relevante.

Propiedad	Definición	Ejemplo
Conmutativa		
Asociativa		
Existencia de elementos neutros para la suma		
Inverso aditivo		

Liceo
PROFESIONAL
EN COMPUTACION Y
CIENCIAS COMERCIALES
LCDA. ALEXANDRA MONTALVO GUERRERO

LEYES DE SIGNOS Y JERARQUÍA DE OPERACIONES

1. Leyes de signos de suma y resta

Signos iguales se suman y se copia el signo

Signos diferentes se restan y se copia el signo del número mayor

2. Leyes de signos de multiplicación y división

+	x	+	+
+	x	-	-
-	x	+	-
-	x	-	+

3. Jerarquía de operaciones



Liceo
PROFESIONAL
EN COMPUTACION Y
CIENCIAS COMERCIALES
LCDA. ALEXANDRA MONTALVO GUERRERO

TAREA NO. 23 - LEYES DE SIGNOS Y JERARQUÍA DE OPERACIONES

Competencia 3: Calcula operaciones combinadas de los diferentes conjuntos numéricos (naturales, enteros y racionales) con algoritmos escritos, mentales, exactos y aproximados.

Indicador de logro 3.1	Opera dentro de los conjuntos numéricos naturales y enteros, mediante procedimientos correspondientes.
Saber 3.1.1.1	Definición

Instrucciones: Memoriza y escribe las leyes de los signos y la jerarquía de operaciones en los espacios provistos. Puedes utilizar recursos de referencia, incluyendo la página anterior si es necesario, para reforzar tu comprensión.

2. Leyes de signos de multiplicación y división

3. Jerarquía de operaciones

PROFESIONAL
EN COMPUTACION Y
CIENCIAS COMERCIALES
LCDA. ALEXANDRA MONTALVO GUERRERO

TAREA NO. 24 - PROPIEDADES DE LA MULTIPLICACIÓN

Competencia 3: Calcula operaciones combinadas de los diferentes conjuntos numéricos (naturales, enteros y racionales) con algoritmos escritos, mentales, exactos y aproximados.

Indicador de logro 3.1	Opera dentro de los conjuntos numéricos naturales y enteros, mediante procedimientos correspondientes.
Saber 3.1.1.1	Definición
Saber 3.1.1.5	Operaciones y sus propiedades

Instrucciones: Genera una definición de las propiedades de la multiplicación tal como se presentan en la página III del libro. En la última columna crea un ejemplo original que ilustre cada una de estas propiedades en un contexto relevante.

Propiedad	Definición	Ejemplo
Ley de uniformidad o unicidad		
Asociativa		
Conmutativa		

Liceo
PROFESIONAL
EN COMPUTACION Y
CIENCIAS COMERCIALES
LCDA. ALEXANDRA MONTALVO GUERRERO

TAREA NO. 2S - OPERACIONES CON NÚMEROS REALES

Competencia 3: Calcula operaciones combinadas de los diferentes conjuntos numéricos (naturales, enteros y racionales) con algoritmos escritos, mentales, exactos y aproximados.

Indicador de logro 3.1	Opera dentro de los conjuntos numéricos naturales y enteros, mediante procedimientos correspondientes.
Saber 3.1.1.3	Relación de orden
Saber 3.1.1.5	Operaciones y sus propiedades

Instrucciones: Calcula los resultados de las siguientes operaciones de números reales aplicando las propiedades previamente vistas, así como las leyes de signos y la jerarquía de operaciones.

$(-10 \times 3) + 4$	$(36 / 4) \times 3$
$[-2(7 - 5)] - 8$	$-96 + \{4[8 - 2(1 - 3)]\}$
$48 + \{4[8 - 2(3 - 1)]\}$	$\sqrt{256} - 3(6 \div 2)$
$\sqrt{121} + 5^2 - (12 + 20)$	$5^2 + \sqrt{169} - 5^3 + \sqrt{256} \div (3 \times 2^3)$

Liceo
PROFESIONAL
EN COMPUTACIÓN Y
CIENCIAS COMERCIALES
LCDA. ALEXANDRA MONTALVO GUERRERO

TAREA NO. 26 - NÚMEROS RACIONALES / FRACCIONES

Competencia 3: Calcula operaciones combinadas de los diferentes conjuntos numéricos (naturales, enteros y racionales) con algoritmos escritos, mentales, exactos y aproximados.	
Indicador de logro 3.2	Identifica la representación, y ubicación del conjunto de los racionales al realizar operaciones jerarquizadas y estimaciones.
Saber 3.2.1.1	Números racionales: Representación

Instrucciones: Clasifica si la fracción dada es propia, impropia o un número mixto. Luego, crea un ejemplo original de una fracción propia, impropia o número mixto, dependiendo de lo solicitado, demostrando comprensión de cada tipo.

$6\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{365}{258}$
$55\frac{8}{10}$	$\frac{89}{56}$	$\frac{23}{87}$
$\frac{78}{2456}$	$\frac{14}{43}$	$\frac{789}{356}$
Número Mixto	Fracción Propia	Fracción Propia
Fracción Impropia	Número Mixto	Fracción Propia
Fracción Impropia	Fracción Propia	Número Mixto

Liceo
PROFESIONAL
EN COMPUTACION Y
CIENCIAS COMERCIALES
LCDA. ALEXANDRA MONTALVO GUERRERO

TAREA NO. 27 - CONVERSIÓN DE FRACCIONES IMPROPIAS A NÚMEROS MIXTOS

Competencia 3: Calcula operaciones combinadas de los diferentes conjuntos numéricos (naturales, enteros y racionales) con algoritmos escritos, mentales, exactos y aproximados.

Indicador de logro 3.2	Identifica la representación, y ubicación, del conjunto de los racionales al realizar operaciones jerarquizadas y estimaciones.
Saber 3.2.1.1	Números racionales: Representación
Saber 3.2.1.4	Operaciones y sus propiedades

Instrucciones: Reformula las siguientes fracciones impropias en forma de número mixto, demostrando el dominio de la conversión entre diferentes representaciones de fracciones.

$$\frac{15}{2}$$

$$\frac{145}{4}$$

$$\frac{98}{3}$$

$$\frac{10}{9}$$

$$\frac{36}{7}$$

$$\frac{56}{9}$$

Liceo
PROFESIONAL
EN COMPUTACION Y
CIENCIAS COMERCIALES
LCDA. ALEXANDRA MONTALVO GUERRERO

TAREA NO. 28 - CONVERSIÓN DE NÚMEROS MIXTOS A FRACCIONES IMPROPIAS

Competencia 3: Calcula operaciones combinadas de los diferentes conjuntos numéricos (naturales, enteros y racionales) con algoritmos escritos, mentales, exactos y aproximados.	
Indicador de logro 3.2	Identifica la representación, y ubicación del conjunto de los racionales al realizar operaciones jerarquizadas y estimaciones.
Saber 3.2.1.1	Números racionales; Representación
Saber 3.2.1.4	Operaciones y sus propiedades

Instrucciones: Reformula los siguientes números mixtos en forma de fracciones impropias, demostrando el dominio de la conversión entre diferentes representaciones de fracciones.

$3\frac{2}{4}$	$4\frac{1}{7}$	$4\frac{2}{7}$
$2\frac{2}{6}$	$9\frac{2}{3}$	$10\frac{10}{13}$
$5\frac{5}{6}$	$14\frac{9}{12}$	$45\frac{2}{7}$
$13\frac{12}{14}$	$24\frac{21}{27}$	$5\frac{2}{8}$
$4\frac{5}{9}$	$7\frac{1}{9}$	$10\frac{1}{7}$

Liceo
PROFESIONAL
EN COMPUTACION Y
CIENCIAS COMERCIALES
LCDA. ALEXANDRA MONTALVO GUERRERO

TAREA NO. 29 - SIMPLIFICACIÓN DE FRACCIONES

Competencia 3: Calcula operaciones combinadas de los diferentes conjuntos numéricos (naturales, enteros y racionales) con algoritmos escritos, mentales, exactos y aproximados.

Indicador de logro 3.2: Identifica la representación, y ubicación del conjunto de los racionales al realizar operaciones jerarquizadas y estimaciones.

Saber 3.2.1.4: Operaciones y sus propiedades.

Instrucciones: Reduce las fracciones a su forma más simple utilizando el concepto de simplificación.

$$\frac{20}{30}$$

$$\frac{63}{7}$$

$$\frac{54}{9}$$

$$\frac{15}{3}$$

$$\frac{36}{24}$$

$$\frac{100}{50}$$

Liceo
PROFESIONAL
EN COMPUTACION Y
CIENCIAS COMERCIALES
LCDA. ALEXANDRA MONTALVO GUERRERO

TAREA NO. 30 - OPERACIONES DE FRACCIONES

Competencia 3: Calcula operaciones combinadas de los diferentes conjuntos numéricos (naturales, enteros y racionales) con algoritmos escritos, mentales, exactos y aproximados.	
Indicador de logro 3.2	Identifica la representación, y ubicación del conjunto de los racionales al realizar operaciones jerarquizadas y estimaciones.
Saber 3.2.1.4	Operaciones y sus propiedades.

Instrucciones: Resuelve las operaciones, aplicando las propiedades de las fracciones, demostrando comprensión y habilidad en el manejo de este tipo de cálculos.

$$\frac{2}{3} + 3\frac{2}{4}$$

$$5\frac{1}{2} - 4\frac{1}{7}$$

$$\frac{1}{3} + \frac{8}{4} - \frac{2}{7}$$

$$\frac{15}{3} + 3\frac{1}{2}$$

$$\frac{1}{2} - \frac{1}{3}$$

$$\frac{20}{60} + \frac{100}{50} - \frac{45}{9}$$

Liceo
PROFESIONAL
EN COMPUTACION Y
CIENCIAS COMERCIALES
LCDA. ALEXANDRA MONTALVO GUERRERO

TAREA NO. 31 - REPRESENTACIÓN GRÁFICA DE FRACCIONES

Competencia 3: Calcula operaciones combinadas de los diferentes conjuntos numéricos (naturales, enteros y racionales) con algoritmos escritos, mentales, exactos y aproximados.

Indicador de logro 3.2	Identifica la representación, y ubicación del conjunto de los racionales al realizar operaciones jerarquizadas y estimaciones.
Saber 3.2.1.1	Número racionales: Representación

Instrucciones:

1. Recorta los moldes del Anexo No. 2.
2. Con los moldes, discrimina las representaciones gráficas adecuadas para cada fracción, aplicando criterios de selección al ubicarlos en los espacios correspondientes.
3. Colorea los espacios necesarios para representar cada fracción de manera precisa.

$\frac{1}{2}$	1
$\frac{4}{6}$	$\frac{8}{11}$
$3\frac{1}{4}$	$2\frac{4}{7}$

Liceo
PROFESIONAL
EN COMPUTACION Y
CIENCIAS COMERCIALES
LCDA. ALEXANDRA MONTALVO GUERRERO

CONTINUACIÓN DE LA TAREA NO. 31

Instrucciones:

1. Recorta los moldes del Anexo No. 2.
2. Con los moldes, discrimina las representaciones gráficas adecuadas para cada fracción, aplicando criterios de selección al ubicarlos en los espacios correspondientes.
3. Colorea los espacios necesarios para representar cada fracción de manera precisa.

$3\frac{2}{4}$	$4\frac{1}{7}$
$3\frac{1}{2}$	$2\frac{1}{2}$
$3\frac{2}{10}$	$1\frac{1}{7}$

Liceo
 PROFESIONAL
 EN COMPUTACION Y
 CIENCIAS COMERCIALES
 LCDA. ALEXANDRA MONTALVO GUERRERO

CONTINUACIÓN DE LA TAREA NO. 31

Instrucciones:

1. Recorta los moldes del Anexo No. 2.
2. Con los moldes, discrimina las representaciones gráficas adecuadas para cada fracción, aplicando criterios de selección al ubicarlos en los espacios correspondientes.
3. Colorea los espacios necesarios para representar cada fracción de manera precisa.

$\frac{2}{4}$ 	$\frac{1}{7}$
$\frac{1}{5}$	$\frac{2}{3}$
$\frac{4}{9}$	$\frac{7}{10}$

Liceo
 PROFESIONAL
 EN COMPUTACION Y
 CIENCIAS COMERCIALES
 LCDA. ALEXANDRA MONTALVO GUERRERO

TAREA NO. 32 - OPERACIONES CON FRACCIONES

Competencia 5: Calcula operaciones combinadas de los diferentes conjuntos numéricos (naturales, enteros y racionales) con algoritmos escritos, mentales, exactos y aproximados.

Indicador de logro 3.2	Identifica la representación, y ubicación del conjunto de los racionales al realizar operaciones jerarquizadas y estimaciones.
Saber 3.2.1.1	Números racionales: Representación
Saber 3.2.1.2	Orden ascendente y descendente
Saber 3.2.1.4	Operaciones y sus propiedades

Instrucciones: Resuelve de las siguientes operaciones de números racionales/fracciones aplicando las propiedades previamente vistas, así como las leyes de signos y la jerarquía de operaciones.

$$\left(\frac{9 - (-3)}{8 - 6}\right) \left(\frac{3 + (-8)}{7 - 2}\right)$$

$$\left(\frac{6 + (-2)}{3 + (-7)}\right) \left(\frac{8 + (12)}{2 - 4}\right)$$

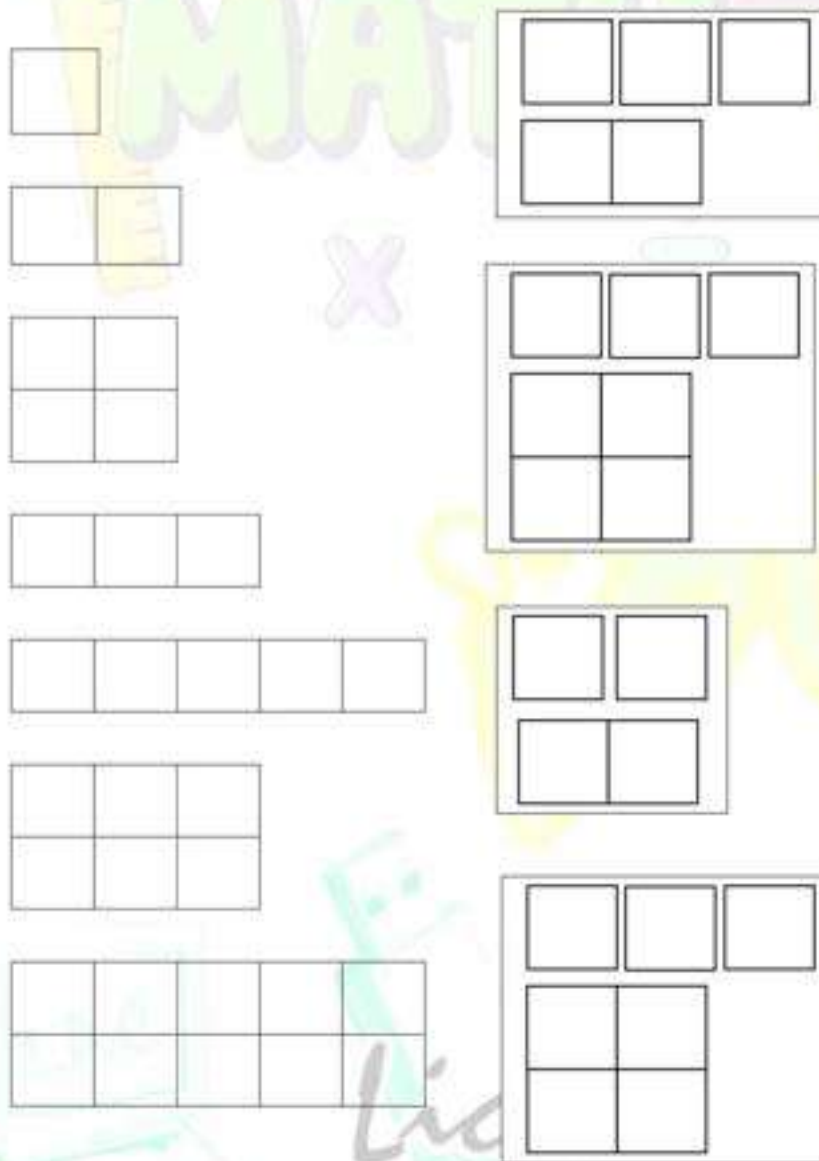
$$\frac{3 - 5 \left(\frac{4 + 2}{2 + 1}\right) - 2}{-4 + 3 \left(\frac{4 - 2}{4 - 6}\right) - 2}$$

$$\frac{8 + 2 \left(\frac{9 - 15}{3 - 1}\right) - 2}{-4 + 8 \left(\frac{6 - 3}{1 - 4}\right) + 12}$$

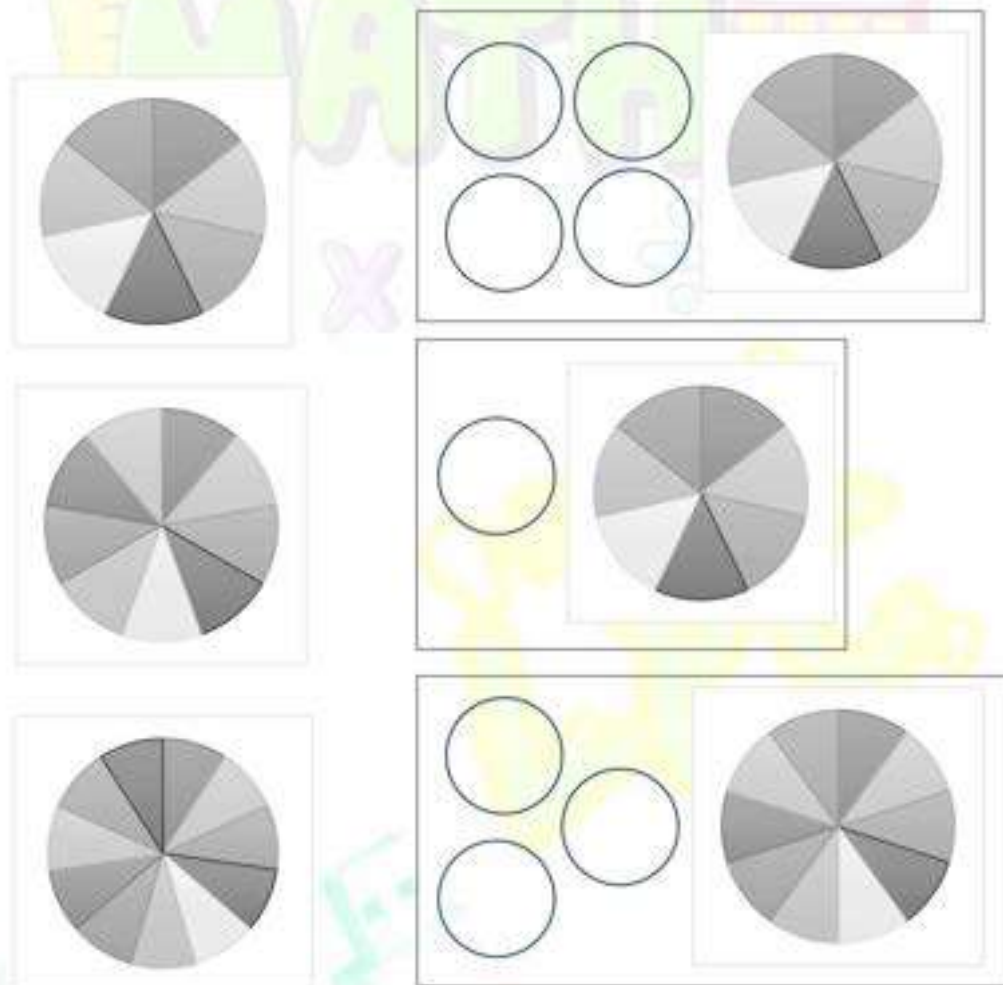
Liceo
PROFESIONAL
EN COMPUTACION Y
CIENCIAS COMERCIALES
LCDA. ALEXANDRA MONTALVO GUERRERO

Anexo No. 2

Instrucciones: Recorta los moldes como parte del proceso para abordar la Tarea No. 31.



PROFESIONAL
EN COMPUTACION Y
CIENCIAS COMERCIALES
LCDR. ALEXANDRA MONTALVO GUERRERO



Liceo
 PROFESIONAL
 EN COMPUTACION Y
 CIENCIAS COMERCIALES
 LCDA. ALEXANDRA MONTALVO GUERRERO

“Exponerse a otro mundo” - Nueva perspectiva tras el intercambio de aprendizaje, conociendo el ecosistema de innovación del Instituto Tecnológico de Massachusetts, EE.UU.

“Being exposed to another world” - A new perspective after a learning exchange experience, exploring the innovation ecosystem of the Massachusetts Institute of Technology, U.S.A.

Regina FANJUL DE MARSICOVETERE^{1,*}, Judith L. GIBBONS² & Camila DEL CID SAAVEDRA¹

¹Universidad de Valle de Guatemala, Ciudad de Guatemala 01015, GUATEMALA

²Saint Louis University, Department of Psychology, St. Louis, Missouri, U.S.A.

*Correspondencia: Regina Fanjul de Marsicovetere: (rmfanjul@uvg.edu.gt)

Recibido: 13/IX/2024; Aceptado: 22/V/2025

Resumen: Este estudio observó cambios cognitivos y actitudinales en 12 estudiantes, docentes y colaboradores de la Universidad del Valle de Guatemala (UVG) tras participar en un viaje de intercambio académico al campus del Instituto Tecnológico de Massachusetts en 2023. Se buscó explorar: ¿qué cambios ocurrieron en la perspectiva y actitud de las personas que viajaron a Cambridge en abril de 2023, relacionadas con emprendimiento e innovación? El objetivo fue extraer de los hallazgos recomendaciones sobre cómo mejorar el ecosistema de innovación y emprendimiento de la UVG. Se utilizó un diseño de métodos mixtos convergentes, aplicando simultáneamente cuestionarios cuantitativos y entrevistas semiestructuradas previas y posteriores al viaje para detectar cambios cognitivos y actitudinales. El análisis cuantitativo no mostró un incremento estadísticamente significativo en las puntuaciones postviaje en las escalas de esperanza, actitud hacia la innovación y autoeficacia. El análisis cualitativo de las entrevistas postviaje proporcionó 114 códigos, que se clasificaron en cinco temas de aprendizajes e impresiones de los participantes. De los hallazgos se extrajeron las siguientes recomendaciones para la UVG: (1) crear procesos metódicos que guíen paso a paso la innovación y el emprendimiento en la UVG, para que las ideas que surgen en el aula puedan eventualmente convertirse en emprendimientos exitosos; (2) promover la colaboración de equipos multidisciplinarios que reciban mentoría y acompañamiento; (3) brindar más espacios para que los estudiantes tengan libertad de colaborar; y (4) optimizar procesos actuales de la UVG para liberar más tiempo para que las personas de toda la universidad puedan innovar y emprender.

Palabras clave: Innovación y emprendimiento, intercambio académico, MIT, Universidad del Valle de Guatemala.

Abstract: This study observed cognitive and attitudinal changes in 12 students, faculty and administrative personnel of Universidad del Valle de Guatemala (UVG) after participating in an academic exchange trip to the Massachusetts Institute of Technology campus in 2023. The study explored the following question: What changes occurred in the perspectives and attitudes of the participants in an exchange trip to Cambridge in April of 2023 related to entrepreneurship and innovation? The goal was to derive recommendations from the findings to enhance UVG's innovation and entrepreneurship ecosystem. A convergent mixed methods design was employed, simultaneously applying quantitative questionnaires and semi-structured interviews before and after the exchange experience to detect cognitive and attitudinal changes. The quantitative analysis did not indicate a statistically significant increase in the post-trip questionnaire scores on the scales of hope, attitude towards innovation, and self-efficacy. The qualitative analysis of post-trip interviews resulted in 114 codes, which were grouped into five themes reflecting participant's insights and impressions. The following recommendations for UVG were derived from the findings: (1) create methodical processes that guide innovation and entrepreneurship step-by-step at UVG, so that ideas generated in the classroom can eventually develop into successful ventures; (2) promote collaboration among multidisciplinary teams that receive mentorship and support; (3) provide more spaces where students have the freedom to collaborate; and (4) optimize UVG's current processes to free up more time so that people across the university can innovate and engage in entrepreneurship.

Keywords: Academic exchange, innovation and entrepreneurship, MIT, Universidad del Valle de Guatemala.

INTRODUCCIÓN

En 2022 inició un proyecto financiado por USAID en Guatemala, llamado “Alianzas Sostenibles Para la Innovación, Investigación y Emprendimiento” (ASPIRE, por sus siglas; UVG 2022), en el que colaboraron tres instituciones: (1) Universidad del Valle de Guatemala (UVG), una universidad privada, no lucrativa, con tres campus en Guatemala; (2) el Instituto Tecnológico de Massachusetts (MIT, por sus siglas en inglés) prestigiosa universidad ubicada en Massachusetts, Estados Unidos; y (3) la Asociación Guatemalteca de Exportadores (AGEXPORT), una institución privada sin fines de lucro que busca fortalecer las exportaciones de Guatemala.

Entre los objetivos del proyecto ASPIRE se buscaba “generar un cambio de mentalidad en relación con la innovación y el emprendimiento, que pueda transferirse a la comunidad UVG, hacia una cultura de sí se pueden hacer las cosas”. La literatura muestra que el recibir información y educación relacionada con innovación y emprendimiento tiene un impacto positivo en cambiar la actitud de los estudiantes universitarios y propiciar que se involucren más en proyectos de emprendimiento (Wang *et al.* 2021; Montiel Méndez *et al.* 2023). Wakkee *et al.* (2019), por su parte, resaltan cómo una universidad enfocada en el emprendimiento puede llegar a tener un impacto en el desarrollo de la comunidad local.

El director del proyecto ASPIRE para la UVG había observado que una visita de cinco días al Campus de MIT en Cambridge, MA, había propiciado en varios estudiantes y docentes un incremento en apertura y optimismo para participar en proyectos de innovación y emprendimiento (Victor Hugo Ayerdi, comunicación personal, 5 de diciembre de 2022). Expresó que sería deseable que toda la universidad pudiera experimentar este cambio, pero lamentablemente no sería posible enviar a tantas personas a un viaje similar, por limitaciones económicas y logísticas. Sin embargo, el Proyecto ASPIRE sí previó algunos intercambios académicos: en diciembre de 2022 se seleccionaron entre estudiantes, personal docente y administrativo de la UVG a 12 personas para viajar a Cambridge, Massachusetts del 23 al 29 de abril de 2023, a conocer las instalaciones, la cultura, infraestructura y el ambiente del MIT.

Al ser seleccionada como parte de este grupo, la primera autora de este artículo propuso realizar una investigación sobre los efectos de este viaje al MIT en abril de 2023 en los participantes del mismo, asumiendo que habría un incremento en interés y optimismo con relación a proyectos de innovación y emprendimiento. El objetivo final fue extraer de los hallazgos recomendaciones para UVG, sobre cómo mejorar el ecosistema de innovación y emprendimiento de la universidad, ya que esto permitiría aprovechar el viaje de un grupo pequeño para beneficiar de manera indirecta a toda la comunidad universitaria.

El estudio se enfocó en indagar en aquellos cambios cognitivos y actitudinales que ocurrieron en los participantes del viaje a MIT en abril de 2023, así como en qué aspectos de la experiencia fueron más relevantes para ellos, para responder la pregunta: ¿qué cambios ocurrieron en la perspectiva y actitud de las personas que viajaron a Cambridge en abril de 2023, relacionadas con emprendimiento e innovación?

Se buscó en la literatura las variables asociadas con emprendimiento e innovación, para identificar cuáles podrían ser relevantes para esta investigación: Fatima & Khan (2017) muestran que la esperanza hace que las personas se involucren más en actividades que generan innovación, ya que la esperanza es un atributo cognitivo necesario para emprender y establecer metas (Arnau *et al.* 2010). Liu & Yao-Ping Peng (2025) encontraron en un ambiente universitario que las personas que tienen una buena disposición hacia el emprendimiento, así como un alto nivel de autoeficacia en el tema, si reciben apoyo del ambiente relacionado, tienen mayores probabilidades de involucrarse en proyectos de emprendimiento.

Basadur & Hausdorf (1996) crearon un cuestionario que ayuda a medir la actitud hacia la innovación y lo vincularon con la creatividad necesaria para llevar a cabo el emprendimiento. Mauer *et al.* (2017), además, vincularon la autoeficacia a las actitudes necesarias para el emprendimiento. Por lo tanto, se eligió medir previo y posterior al viaje las siguientes variables: esperanza, actitud hacia la innovación y autoeficacia. Adicionalmente, se acordó que sería deseable determinar si las personas seleccionadas para el viaje a MIT mostraban rasgos que se asocian con el liderazgo (Victor Hugo Ayerdi, comunicación personal, 17 de marzo de 2023). Se optó por emplear el cuestionario de personalidad conocido como “Big Five” ya que según Judge & Bono (2000) y Chmielewski & Morgan (2013) este cuestionario puede ayudar a identificar características de personalidad que están ligadas al liderazgo transformativo, vinculado al emprendimiento e innovación.

Creswell & Clark (2011) enfatizan que el análisis cualitativo es esencial para comprender los fenómenos complejos que involucran las perspectivas y experiencias de los seres humanos, y así obtener una información más completa sobre el significado que los participantes construyen de sus experiencias.

Por todo lo anterior, se acordó evaluar los cambios cuantitativos en esperanza, actitud hacia la innovación y autoeficacia en el trabajo previo y posterior al viaje y explorar la relación entre la personalidad y los cambios actitudinales. Asimismo, efectuar una entrevista posterior al viaje para obtener una información más amplia.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se eligió un estudio pre-post con métodos mixtos convergentes (Creswell & Clark 2011) con el fin de detectar aprendizajes, impresiones y cambios ocurridos en la perspectiva y actitudes de los participantes, aplicando simultáneamente métodos cuantitativos (cuestionarios ya existentes que miden algunas variables relevantes) y métodos cualitativos (entrevistas semi estructuradas previas y posteriores al viaje, que aportaron datos cualitativos complementarios a los cuestionarios).

Participantes: Como parte del Proyecto ASPIRE, en diciembre de 2022 se hizo una convocatoria a todos los estudiantes, personal docente, investigadores y administrativo de la UVG para efectuar un viaje al MIT en Massachusetts del 23 al 29 de abril de 2023. De 188 personas que aplicaron, se seleccionaron 12 personas para efectuar el viaje: cuatro estudiantes, cinco catedráticos y tres colaboradores del área administrativa de la universidad, y esta fue la muestra empleada para la presente investigación: seis mujeres y seis hombres, comprendidos entre 20 y 61 años de edad, con un promedio de 33 años de edad; cinco solteros, cinco casados y dos viudos; 10 ladinos y dos indígenas; cuatro cursando actualmente estudios de licenciatura, cuatro graduados de licenciatura y cuatro graduados de una maestría.

Instrumentos: Debido a que la investigación no contaba con financiamiento externo, se emplearon instrumentos de uso gratuito, y por no contar con baremos para Guatemala, se emplearon cuestionarios que habían sido adaptados a poblaciones de otros países, similares a la muestra de este estudio.

1. Índice de esperanza de Herth (Castillo Cabello *et al.* 2014). Consta de 10 ítems que se responden en una escala de Likert que se califica de 1 a 5 puntos, que abarca desde “muy en desacuerdo” (1 punto) hasta “muy de acuerdo” (5 puntos). Con respecto a los valores Alfa de Cronbach obtenidos a través del Software SPSS, fueron satisfactorios y demostraron una consistencia interna aceptable para esta escala: .89 para la escala previaje y .91 para la escala postviaje.

2. Cuestionario de actitud hacia la innovación (obtenido de Basadur & Hausdorf 1996). Consta de 24 ítems, que se califican de 1 a 5 puntos, en una escala que abarca desde “muy en desacuerdo” con la aseveración del ítem (1 punto) hasta “muy de acuerdo” (5 puntos). Los ítems siguientes se califican al reverso: 4, 18, 20 y 24. Para aumentar la confiabilidad de resultados, se revirtieron también los ítems 2, 6, 8, 10, 12, 14 y 22. Con respecto a los valores Alfa de Cronbach obtenidos a través del Software SPSS, fueron satisfactorios y mostraron una consistencia interna aceptable para esta escala: .89 para la escala previaje y .91 para la escala postviaje.

3. Cuestionario de Autoeficacia en el trabajo (obtenido de Maffei *et al.* 2012). Consta de 10 ítems, que al igual que los cuestionarios anteriores, se responden en una escala de Likert que se califica de 1 a 5 puntos (ver arriba). En la escala de apertura a la innovación, el valor Alfa de Cronbach en el cuestionario previaje fue de .83 y en el cuestionario postviaje fue de .84. Estos resultados mostraron una consistencia interna aceptable en la escala.

4. Cuestionario Big Five. Se basa en el modelo más empleado y fundamentado para medir rasgos de personalidad (ver Chmielewski & Morgan 2013). Se empleó la prueba disponible gratuitamente en este sitio: <https://bigfive-test.com/es>. Consta de 120 preguntas, se responden en una escala de Likert que se califica de 1 a 5 puntos (ver arriba). Según un estudio en una población mejicana de Chavira Trujillo & Celis de la Rosa (2021), el valor de Alfa de Cronbach es de .77, que está dentro del límite aceptable.

Procedimiento: Después de obtener la aprobación del Comité de Ética de Ciencias Sociales de la UVG para este estudio, se procedió a contactar a los participantes. Se les envió por correo electrónico una carta de invitación que fungió como consentimiento informado, así como un cuestionario con datos demográficos el cual las personas enviaron de vuelta. El cuestionario preguntaba edad, género, etnicidad, último grado académico cursado, estado civil y pseudónimo. Se registraron las respuestas en una computadora resguardada con contraseña de seguridad, y se asociaron todas las respuestas a los seudónimos elegidos por los participantes, tanto para los datos cuantitativos como cualitativos.

Luego se les enviaron por correo electrónico los cuatro cuestionarios descritos anteriormente, que fueron respondidos previo al viaje y sus respuestas se almacenaron de la misma manera. Posterior al viaje, los participantes respondieron de nuevo los siguientes cuestionarios: el Índice de esperanza de Herth, el cuestionario de actitud hacia la innovación y el cuestionario de autoeficacia en el trabajo. Se hizo un análisis cuantitativo empleando el software de análisis estadístico SPSS (Versión 28) y Jamovi (Versión 2.3.28) para comparar los datos obtenidos de estos tres cuestionarios pre- y postviaje, incluyendo únicamente a los participantes que sí enviaron respuestas en ambas ocasiones (R Core Team 2021; The Jamovi Project 2022).

En cuanto al cuestionario de personalidad, Big Five, este se incluyó para verificar si el grupo de participantes seleccionados tenían características asociadas con liderazgo y capacidad de transmitir a otras personas el aprendizaje adquirido a través del viaje, ya que se determinó que el cuestionario Big Five tiene tres subescalas (extroversión, simpatía y apertura), que se correlacionan con liderazgo transformativo (Judge & Bono 2000).

Como complemento a los cuestionarios, se diseñó una entrevista semi-estructurada con preguntas abiertas (O’Cathain & Thomas 2004), la cual se llevó a cabo previo y posterior al

viaje, de manera individual, conducida por la investigadora principal, ya sea a través de una reunión presencial o por llamada de Zoom. Se grabaron las entrevistas en formato de audio. Se transcribieron las entrevistas previas y posteriores al viaje, y se almacenaron en una computadora, protegidas mediante una contraseña e identificando a cada participante únicamente a través de su seudónimo.

Dado que la entrevistadora también fue parte del viaje al MIT, se reconoció que esta condición podría influir en la interpretación de los datos. Para asegurar la validez de los datos recopilados, se solicitó a cada participante revisar la transcripción de su entrevista y verificar su exactitud: se envió a cada persona una copia de sus dos entrevistas transcritas, para brindar la oportunidad de revisar y corregir el contenido, previo a emplear sus respuestas para fines de análisis. Pueden verse las preguntas planteadas tanto para la entrevista inicial como para la entrevista post-viaje en el Anexo.

La entrevista previa al viaje buscaba que los participantes pudieran reflexionar sobre los conocimientos y experiencia que tienen acerca de innovación y emprendimiento, y explorar qué podrían esperar del viaje, para propiciar que estuvieran atentos a cómo este intercambio académico podría beneficiarlos a ellos, a la Comunidad UVG y al país, Guatemala.

Conscientes de la posibilidad de que los participantes podrían descartar algunas impresiones luego de la experiencia del intercambio académico, las autoras de este estudio determinaron que la entrevista posterior al viaje tendría mayor valor para el análisis, ya que permitiría detectar y analizar (en las propias palabras de los participantes) cuáles fueron las experiencias más relevantes que vivieron, después del viaje, así como explorar cuáles fueron los cambios en su perspectiva o actitudes. Por ello, la etapa de análisis cualitativa se realizó utilizando únicamente las transcripciones de las entrevistas postviaje. Después de que los participantes habían revisado y corregido las transcripciones de las entrevistas postviaje, se llevó a cabo la primera ronda de codificación, con el contenido de las primeras seis entrevistas.

Se hizo un análisis del contenido, clasificando las respuestas por categoría, para buscar temas en común mencionados por varios participantes (Creswell 2014). Para asegurar la consistencia en la codificación, la cual se hizo manualmente (sin el apoyo de un software), las investigadoras llevaron a cabo el proceso de codificación de manera independiente para la primera mitad de las entrevistas. Al terminar esta ronda de codificación, se compararon los resultados y se discutieron las diferencias entre las tres versiones codificadas; se llegó a un acuerdo para unificar los códigos (con base en significados en común) y se elaboró un catálogo, que contenía 94 distintos códigos, con citas que ejemplifican el significado de cada uno de ellos. Se procedió a codificar la segunda

mitad de las entrevistas utilizando este catálogo, y en este proceso, se eliminaron algunos códigos que estaban duplicados, y se agregaron algunos nuevos que surgieron, para terminar con un catálogo de 114 códigos.

Posteriormente, cada una de las autoras reflexionó y generó posibles temas para agrupar los códigos encontrados. Las investigadoras se reunieron para discutir e integrar las ideas generadas, y finalmente se concluyó con cinco temas comunes. Estas categorías proporcionaron una estructura para el análisis de los datos y facilitaron la identificación de patrones.

RESULTADOS

Análisis Cuantitativo. El análisis cuantitativo se hizo en tres pasos: (1) Se calcularon correlaciones entre todas las variables (Cuadro 1). (2) La comparación de la puntuación promedio obtenida por los participantes que respondieron cada uno de los tres cuestionarios previo y posterior al viaje. (3) Los cambios relacionados con la personalidad. Los principales resultados fueron: Con respecto a las correlaciones, el índice de esperanza previo al viaje tuvo una correlación positiva con la autoeficacia y una correlación negativa con la neurosis. Dentro de los índices de personalidad, se correlacionaron positivamente la simpatía con las experiencias. No se encontraron cambios significativos al comparar los resultados previos y los posteriores al viaje. Los factores de personalidad no tienen una correlación con los cambios observados. Estos resultados se muestran a continuación.

A continuación, se presentan los resultados del análisis pre- y postviaje para cada una de las variables principales. No se encontraron diferencias estadísticamente significativas.

Índice de Esperanza de Herth. Para analizar las diferencias entre los puntajes previos y posteriores al viaje en el Índice de Esperanza de Herth, se llevó a cabo una prueba t con los datos de los nueve participantes que respondieron ambos cuestionarios. Los resultados fueron que la media de los puntajes previo al viaje fue de 4.42 ± 0.51 y la media posterior al viaje fue de 4.63 ± 0.39 . La estadística t fue $t(8) = -1.64$, $p = .139$, N.S.

Cuestionario de actitud hacia la innovación. Para analizar las diferencias entre los puntajes previos y posteriores al viaje en el cuestionario de actitud hacia la innovación, se llevó a cabo una prueba t con los datos de los nueve participantes que respondieron ambos cuestionarios. Los resultados fueron que la media de los puntajes previo al viaje fue de 3.94 ± 0.51 y la media posterior al viaje fue de 4.11 ± 0.45 . La estadística t fue $t(8) = -1.42$, $p = .194$, N.S.

Cuadro 1. Resultados del análisis pre- y post-viaje (al MIT en Massachusetts del 23 al 29 de abril de 2023) de correlación para cada una de las variables primarias. No se encontraron diferencias estadísticamente significativas.

Table 1. Results of the pre- and post-trip (to MIT in Massachusetts from 23 to 29 April 2023) correlation analysis for each of the primary variables. No statistically significant differences were found.

	Esperanza pre viaje	Esperanza post viaje	Innovación pre viaje	Innovación post viaje	Autoeficacia pre viaje	Autoeficacia post viaje	Neurosis	Extraversión	Experiencias	Simpatía	Meticulosidad
Esperanza pre viaje	1										
Esperanza post viaje	0.663	1									
Innovación pre viaje	0.445	0.297	1								
Innovación post viaje	-0.2	0.73	0.743	1							
Autoeficacia pre viaje	0.852**	0.682	0.579	0.092	1						
Autoeficacia post viaje	0.616	0.835	0.58	0.258	0.703	1					
Neurosis	-0.798*	-0.440	-0.298	0.079	-0.767	-0.401	1				
Extraversión	0.433	0.764	0.437	0.138	0.543	0.884	0.398	1			
Experiencias	0.427	0.265	-0.213	-0.324	0.134	0.206	-0.411	0.284	1		
Simpatía	0.496	0.396	0.119	0.068	0.279	0.459	-0.392	0.39	0.831**	1	
Meticulosidad	0.557	0.63	0.516	0.492	0.551	0.729	-0.298	0.448	0.203	0.674	1

Cuestionario de autoeficacia en el trabajo. Para analizar las diferencias entre los puntajes previos y posteriores al viaje en el cuestionario de autoeficacia en el trabajo, se llevó a cabo una prueba t con los datos de los nueve participantes que respondieron ambos cuestionarios. Los resultados fueron que la media de los puntajes previo al viaje fue de 4.24 ± 0.54 y la media posterior al viaje fue de 4.41 ± 0.44 . La estadística t fue $t(8) = -1.29$, $p = .233$, N.S.

Cuestionario Big Five de personalidad. Once de los 12 participantes completaron el cuestionario y los resultados se muestran en los Cuadros 1 y 2.

Se hizo un análisis de correlación bivariado de Pearson con SPSS (Versión 28) pero no se encontraron correlaciones significativas entre los puntajes de las cinco subescalas del cuestionario Big Five y los cambios entre los resultados pre- y postviaje de los cuestionarios de Índice de Esperanza de Herth, Actitud hacia la innovación y Autoeficacia en el trabajo.

Análisis cualitativo

A partir del análisis de contenido descrito previamente, se desarrolló un catálogo de 114 códigos recopilados, del cual se generaron cinco temas: (1) aprendizaje sobre innovación y emprendimiento; (2) áreas de oportunidad para la UVG; (3) impacto del viaje en las personas; (4) lo que admiramos del MIT, y (5) logística del viaje. A continuación, se presenta un resumen de los tres primeros temas, incluyendo los códigos que cuatro o más participantes tuvieron en común. Se incluyen ejemplos de citas textuales de las transcripciones de las entrevistas postviaje, identificando a los participantes con un código de tres letras basado en los pseudónimos para proteger su confidencialidad.

Aprendizaje sobre innovación y emprendimiento. El emprendimiento es más exitoso si sigue un proceso metódico. STE: "(en MIT) lo hacen de una manera muy técnica, muy profesional... todo bien estudiado...el factor suerte lo reducen

Cuadro 2. Las puntuaciones, las medias y desviaciones estándar de los 11 participantes de la Universidad del Valle de Guatemala en un viaje de intercambio académico al campus del Instituto Tecnológico de Massachusetts en 2023, en las cinco subescalas del cuestionario Big Five.

Table 2. The scores, means, and standard deviations of 11 participants of the Universidad del Valle de Guatemala in an academic exchange trip to the Massachusetts Institute of Technology campus in 2023, on the five subscales of the Big Five questionnaire.

Participantes	Neurosis	Extroversión	Apertura a experiencias	Simpatía	Meticulosidad
LUI	49	83	92	102	104
KIA	80	83	94	106	96
ALI	79	83	82	77	69
NAT	42	104	94	105	101
MAR	62	99	95	99	92
ANI	60	90	77	99	101
STE	61	79	100	109	96
VIV	75	79	43	63	86
DAV	54	96	88	100	106
ANR	84	96	77	103	115
ALE	70	87	109	99	109
Media ± desviación estándar	65.09±13.6	89.00±8.6	86.45±17.3	96.55±13.9	97.73±12.5

al máximo". ANI: "el emprendimiento tiene una metodología...no es algo que salga solo porque sí". KIA: "Una metodología que aprendimos en MIT D-Lab sobre cómo analizar problemas para los cuales se puede innovar y se puede emprender; esto me cambió la visión, me hizo verlo como algo más factible, más posible, más aterrizado, que se puede aplicar en mi trabajo". NAT: "Un método preciso, breve: escribir cuáles son las causas de este problema... cuáles son los efectos y qué cosas podemos hacer nosotros para resolverlo, qué recursos tenemos, qué vamos a proponer como solución".

Es importante empezar con cambios pequeños. DAV: "Con las acciones pequeñas, puedo hacer grandes cambios... a veces nos restringimos tanto a querer hacer grandes cambios... poder obtener grandes resultados. Mientras que la metodología del MIT es que con un pequeño cambio se puede lograr algo".

Es un proceso gradual. ANI: "Tiene un tiempo para desarrollarse... no es solo de que yo tenga un emprendimiento y ya, sino...hay que irlo trabajando poco a poco". ROD: "Trabajar un proceso de diseño requiere ser tolerante, tener paciencia, porque es un experimento. Uno va haciendo experimentos, y la gran ventaja es que aquí está viendo los resultados."

Pasar las ideas a la acción: ALI: "Todos somos generadores de ideas y no vamos a saber del impacto hasta su aplicación. En donde las ideas no solo se quedan en ideas, sino que en acciones o proyectos en concreto...podemos tener la idea... pero si no se hace ¿De qué sirve?" KIA: "Lo importante (en MIT) es que ellos no se quedan solo con ideas, sino que pasan a ponerlas en práctica, empezando desde lo más sencillo, y cuando se encuentran con retos, dificultades o errores, no se dan por vencidos, sino que siguen adelante".

La importancia de la mentoría y el acompañamiento hacia los estudiantes. ALE: "Para que en nuestra universidad pase lo que queremos que pase, necesitaríamos muchísimo más el tema de mentoría... acompañamiento". STE: "No tenemos un presupuesto muy grande o investigadores pagados que estén trabajando en eso (innovación y emprendimiento), pero sí podemos darle un enfoque para que los estudiantes lo trabajen, para que los estudiantes hagan ese tipo de cosas". MAR: "Yo me he dado cuenta que probablemente en nuestras clases de emprendimiento... ideamos proyectos muy interesantes... se le podría dar apoyo a todos esos emprendedores aquí mismo en UVG, dándoles un espacio". LUI: "(En MIT) el docente empodera al estudiante a continuar con la investigación...".

NAT: “No se trata solamente de que ellos (los estudiantes) tengan estas grandes ideas o que ellos sean estas personas muy capaces... sino que le ponen mucho énfasis en meterles a los estudiantes en la cabeza que ellos sí pueden hacer lo que sea que se les ocurra... se enfocan mucho en que los estudiantes pueden hacer cualquier cosa que ellos se propongan, y por supuesto, MIT les da las herramientas”.

La importancia de establecer alianzas multisectoriales y multidisciplinarias para promover la innovación y el emprendimiento. ANI dice: “Los centros de investigación (en MIT) recibían estudiantes de todas las carreras, no era solo de una, y sí se sentía como un espíritu de colaboración... Creo que eso es importante: tratar de ver cómo se puede hacer acá, para trabajar un poquito más colaborativamente.” LUI sugiere crear espacios donde pueda divulgarse a otras áreas o incluso otras entidades en otros países: “Miren, en Guatemala estoy haciendo esto, y me gustaría llevarlo acá, y trasladarlo... trabajarlo con un profesor, tal vez un espacio de coordinación, de vinculación, de proyectos”.

La necesidad de definir procesos para propiciar innovación y emprendimiento. LUI: “Actualmente no tenemos una unidad que se dedique a consolidar las investigaciones de los docentes, o por lo menos darles una ruta de hasta dónde pueden llegar. Y veo la oportunidad ahora... que los proyectos no se queden solamente en una idea que es parte de un curso [sino que puedan desarrollarlo en el futuro como algo] más concreto, con más soporte, más vinculación con el estudiante, más oportunidad para que las empresas nos conozcan, y servirles como un apoyo”.

La posibilidad de monetizar los proyectos de los estudiantes. ANI: “Debemos aprender... a darle un valor a lo que hacemos y aprender a cobrar... para que eso sea sostenible”. KIA: “Que se pueda motivar más a los estudiantes y a diferentes personas, incluso colaboradores, docentes, etc., para lanzarse a no solo innovar sino a crear empresas, a crear proyectos que se puedan monetizar”. NAT: “Fomentar ese ambiente de que, bueno alguien tiene una idea: ¡hagámoslo un proyecto! Lo desarrollamos, y quién sabe, puede terminar siendo un éxito... o incluso una empresa”.

Áreas de oportunidad para la UVG. La similitud del talento humano entre MIT y UVG. ALE: “Los estudiantes de MIT y los nuestros no son muy distintos.” ALI: “Siguen siendo personas... no muy diferentes a nosotros”. ANR: “La gran riqueza que hay en UVG para poder hacer cosas grandes (es) el equipo de gente que hay: creo que hay mucho, mucho talento... podríamos hacer muchas cosas”. DAV: “La gente que nos recibió, la gente que nos capacitó, la gente que estuvo con nosotros... no están tan lejos de nosotros”.

La actitud de apertura de las personas en MIT, tanto para compartir su conocimiento como sus espacios. ANR: “Son muy

abiertos, quieren que se replique su modelo ... nos daban un espacio, permitieron que ingresáramos”. DAV: “Es gente que... brinda a uno esa mano para poder ingresar... que nos ayudan a ser mejores”. STE: “La cultura que tienen ellos... de todo Sí, de todo es ver cómo hacerlo mejor; el ayudar al otro a que aprenda”. VIV: “La cultura sí se siente... bien distinta, desde el trato de la gente, el acceso a las oficinas, a los inmuebles de MIT... en aulas, no tenemos nada que envidiarles... Lo que sucede es que a veces en UVG cuesta mucho acceder a ciertos espacios”. ANR: “Su éxito está basado en los valores que tienen, y eso se ve reflejado en las personas, porque el hecho de que sean cálidos, que sean personas cordiales, eso es parte de su estructura y de su ecosistema”.

Los valores en los que se basa el MIT, de “Mente y manos” promueven la innovación. ANI: “El lema de ‘Mens et Manus’... interpreto, que todos somos generadores de ideas y que no vamos a saber del impacto hasta su aplicación.” KIA: “Me impactó ver por todas partes... el slogan y valores de *Mind and Hands*, y tomar conciencia cómo esto... puede abrir mentes y propiciar la experimentación (con la invitación de simplemente ‘poner la mente a trabajar’). En contraste, nuestro slogan de UVG... es un poco más amenazador y estresante, porque tiene implícita la presión de que no podemos equivocarnos ni experimentar, sino que ‘tenemos que ser excelentes y trascender’”.

El uso de los espacios públicos del MIT para brindar más libertad a los estudiantes para enfocarse en proyectos propios. LUI: “Todos los pasillos con pizarras, donde los estudiantes interactúan... la universidad les facilita los medios, los recursos para que ellos constantemente no pierdan esa idea y puedan continuar trabajando en el proyecto”. ALE: “En el tema de los pasillos (en MIT), que se nota que hay vida... los estudiantes sin miedo de... tocar las paredes... apropiándose de su espacio: creo que es una de las oportunidades más grandes... infraestructura”. LUI: “Todavía nos falta coordinar un poco esos espacios de aprendizaje que se pueden desarrollar (en Campus Sur)”. ROD: “Me impresionó la libertad que hay en MIT... lo deberíamos de empezar a hacer desde la Universidad; por ejemplo, las máquinas: démosles cierta libertad (a los estudiantes) en que las usen, ya no tanta restricción como ahorita”. NAT: “Las aulas no son súper tecnológicas o un edificio que parezca futurista... sino que... son edificios grandes y que ya tienen bastantes años... pero está más enfocado en los estudiantes; en los clubes estudiantiles”.

La necesidad de optimizar procesos para que las personas en la UVG tengan tiempo de innovar. ALE: “No hay tiempo... porque la gente (en UVG)... sigue sin tener tiempo”. ANI: “Viene uno feliz... (motivado para) poder poner en práctica lo que aprendió... Solo que estamos muy recargados.” VIV: “Creo que podemos darle tiempo a la innovación y al emprendimiento, en crear e innovar, a la larga todos vamos a salir beneficiados, y nuestros puestos van a ser más innovadores y más creativos”. ROD:

“Muchas veces lo que...decepciona o desgasta, son esos procesos repetitivos y que no suman, solo quitan tiempo... gran parte de la carga que tienen los investigadores y catedráticos de la U es ese tipo de tema.” KIA: “Podemos tomar muchos ejemplos de MIT en nuestros procesos...para hacer que todo funcione de manera más eficaz y que esto pueda beneficiar a toda la comunidad universitaria”.

Impacto del viaje en las personas. El viaje cambió la perspectiva de los 12 participantes. ALE: “Me quedé con... una perspectiva diferente de mi carrera, y de mi futuro... de las cosas que yo puedo hacer”. ANR: “Mi perspectiva se abrió...veo que sí hay muchas oportunidades”. NAT: “Fue una experiencia inolvidable...es un punto de partida en mi perspectiva sobre cómo se ve la innovación y el emprendimiento, y que definitivamente sí es una gran oportunidad”. MAR: “Fue una gran experiencia para aprender lo que otros están haciendo allá, pero también para darme cuenta de los cambios que uno puede hacer aquí, comenzando conmigo misma”. NAT: “Me dio como un aire fresco sobre lo que significa el emprendimiento y la innovación”. VIV: “Le abre la mente a uno en todo aspecto... ir a traer ideas”. ROD lo ve como “... una nueva dimensión a la innovación y emprendimiento, porque los proyectos que están trabajando (en MIT) ... en ningún momento pasaron por mi cabeza como posibilidades”.

Las personas regresaron con la motivación de poner en práctica lo aprendido. ALI: “Este viaje me motivó a creer en mí misma... Poner en práctica lo que he aprendido y lo que... puede servir a mi comunidad, a las comunidades en donde pertenezco”. STE: “Creo que eso es algo que sí puedo hacer en mi vida cotidiana, acá en la U... intentando contagiar de eso a los que están alrededor mío...modelar parte de lo que vi”. VIV: “Ya no tener una actitud tan cómoda... sino que puedo crear, innovar”. LUI: “(Quiero desarrollar) mi propia ruta de investigación; voy a tomar en cuenta la ruta de emprendimiento que... conocimos en MIT... empezar a ponerla en práctica... en mis cursos, y luego de esa forma yo le voy a poder transmitir a mis colegas cómo me ha servido, y cómo ellos también la pueden utilizar”. NAT: “100% dispuesta a participar en actividades así, de innovación y emprendimiento”.

DISCUSIÓN

Este estudio contaba con varias limitaciones: una muestra de participantes muy pequeña y homogénea (limitada a las personas seleccionadas para un solo viaje de intercambio académico al MIT); al no contar con financiamiento, se emplearon instrumentos muy sencillos disponibles de manera gratuita, para medir cuantitativamente tres variables relevantes (esperanza, actitud hacia la innovación y autoeficacia; así mismo, un instrumento para medir características generales de personalidad de los participantes); no se contaba con baremos para Guatemala, así es que se emplearon cuestionarios

que habían sido adaptados para poblaciones similares en Latinoamérica. El análisis cualitativo se hizo con base en una breve entrevista semi-estructurada, porque no se contaba con tiempo ni recursos para hacer una exploración más profunda. A pesar de ello, los hallazgos cualitativos del estudio muestran que el viaje al MIT sí cumplió con el objetivo de generar un cambio de perspectiva y actitud en relación con la innovación y el emprendimiento, y además generó hallazgos que pueden transferirse como recomendaciones a la comunidad UVG.

El cambio de perspectiva que se observó es congruente con estudios como el de Rowan-Kenyon & Newhaus (2011) y van 't Klooster (2014), que muestran que los estudiantes universitarios que tienen una experiencia aún breve en una universidad de otro país, no solo desarrollan nuevos conocimientos, sino que cambian su manera de ver el mundo, así como la manera de verse a ellos mismos, y tienden a buscar nuevas maneras de integrar los conocimientos obtenidos.

Aunque los datos de los tres cuestionarios cuantitativos (Índice de esperanza de Herth, el cuestionario de actitud hacia la innovación y el cuestionario de autoeficacia en el trabajo) no muestran un cambio estadísticamente significativo entre los puntajes previos y posteriores al viaje, se detectó un aumento moderado en la media de las respuestas a los ítems: en la mayoría de los participantes aumentó el nivel de esperanza, autoeficacia y actitud hacia la innovación.

Debido a la posibilidad de que este cambio moderado pueda explicarse por el hecho de que los participantes ya habían sido expuestos previamente al instrumento, al responderlo previo al viaje, no se pudo hacer una integración entre los resultados cuantitativos y cualitativos. Sin embargo, es importante considerar que pudo haber factores que influyeron en que los cambios no fueron estadísticamente significativos: por ejemplo, pudo ser que los participantes ya poseían un alto nivel de esperanza, apertura hacia la innovación y autoeficacia previo al viaje, y que justamente, de manera no deliberada, hayan sido seleccionadas para participar porque mostraban algunas de estas características.

Con respecto a los resultados del cuestionario Big Five, de personalidad, de acuerdo con Judge & Bono (2000), entre las subescalas de este cuestionario, la escala de simpatía es la que más se asocia con un líder transformativo, seguida de las escalas de extroversión y apertura a las experiencias. Zadok & Benoliel (2023) muestran resultados muy similares a Judge & Bono (2000). En el caso de los participantes del presente estudio (ver Cuadro 2), la media del puntaje en la subescala de simpatía fue de 96.55 sobre 120 puntos. Asimismo, las escalas de extroversión y apertura a las experiencias presentan puntajes promedio de 89 y 85.45 sobre 120 puntos, respectivamente, lo cual indicaría que, en promedio, todos los participantes en esta investigación muestran estos tres rasgos con niveles moderadamente altos, lo cual estaría asociado con un liderazgo transformativo. Esto confirmaría que los 11

participantes que completaron este cuestionario sí tienen las características que el proyecto ASPIRE buscaba seleccionar, al ser líderes capaces de transformar su ambiente.

En cuanto a la correlación entre las subescalas del cuestionario Big Five, extroversión con el puntaje postviaje del Índice de Esperanza de Herth y del cuestionario de autoeficacia, aunque los hallazgos hablan de correlación y no de causa, y la muestra es demasiado pequeña para obtener conclusiones generalizables, se puede concluir que para esta muestra de participantes, las personas con puntajes más altos de extroversión obtuvieron altos puntajes de esperanza y autoeficacia. Quienes obtuvieron alto puntaje en la escala de meticulosidad también obtuvieron altos puntajes postviaje en el Índice de Esperanza de Herth. Sería interesante verificar si estos resultados se sostienen a lo largo del tiempo, y si se cumple la misma tendencia con futuras cohortes que efectúen un viaje similar para conocer el MIT.

Con respecto al aspecto cualitativo del estudio, el análisis de los temas mostró que los participantes reportaron una serie de aprendizajes relacionados con innovación y emprendimiento, por ejemplo: la importancia de establecer procesos metódicos para llevarlo a cabo; empezar con cambios pequeños y ejecutarlos poco a poco; “pasar las ideas a la acción”; brindar mentoría y acompañamiento a los estudiantes para que las ideas generadas en sus cursos puedan convertirse en proyectos de emprendimiento o buscar la manera de monetizar algunos servicios que se brindan para hacerlos sostenibles. Cada uno de estos aprendizajes puede traducirse en recomendaciones para la UVG sobre cómo potenciar el ecosistema de innovación y emprendimiento en los tres campus.

De los temas analizados también se desprende que los participantes cambiaron su perspectiva con respecto a cómo se ven a ellos mismos y a la UVG: según su percepción, el talento humano que hay en la UVG no es muy distinto al del MIT, ya que existen aquí en Guatemala las capacidades para lograr grandes proyectos, y existen oportunidades de lograrlo. La mayoría observó en las personas del MIT actitudes de apertura y calidez que les hicieron reflexionar sobre la importancia de ser más abiertos y buscar formar alianzas multidisciplinarias para lograr proyectos más exitosos. Los participantes enfatizaron la importancia de hacer más eficientes los procesos repetitivos en la UVG, para liberar tiempo y energías del personal docente y administrativo, y con ello permitir que puedan dedicar más tiempo a la investigación y la innovación. Asimismo, los participantes hablaron de propiciar más libertad y espacios colaborativos en el campus, para que los jóvenes se sientan más libres de innovar juntos.

Finalmente, con base a los resultados cualitativos, pareciera que el viaje dejó en los participantes un cambio actitudinal, al incrementar su motivación de salir de su zona de comodidad, animarse a innovar e incluso involucrarse en proyectos de emprendimiento.

La mayoría de los elementos que los viajeros mencionaron como impactantes son más bien intangibles, y por ende, más fáciles de replicar en Guatemala. Por ejemplo: el uso de una metodología para innovar y emprender; valores como el concepto de Mente y Manos, que busca propiciar que las personas se enfoquen en pasar sus ideas a la acción sin temor a cometer errores; el acompañamiento y mentoría que genera empoderamiento en los estudiantes; la actitud de apertura y calidez de los investigadores y cuerpo docente; el buen aprovechamiento de las instalaciones para propiciar la colaboración y el desarrollo de ideas.

Dos años después de efectuado este viaje de intercambio, se realizó una entrevista con Jorge Mario García quien dirige el Centro de Emprendimiento UVG-CREA (UVG 2025), el cual se enfoca en fortalecer la cultura de emprendimiento en la comunidad UVG. Se le preguntó si notó algún cambio en las personas que participaron en el viaje académico relacionado con este estudio (así como en otras visitas a MIT que se llevaron a cabo en 2023 por parte de otros miembros de la comunidad UVG) y su respuesta fue: “No conocí a gente que haya podido ir al viaje y que no regresara con nuevas ideas, con nuevas perspectivas o con iniciativas innovadoras... algunos se dedicaron a escribir, otros se dedicaron a hacer clubes... otros... nos dedicamos a... transformar... el modelo del camino del emprendedor.” Al preguntarle si todo esto tuvo algún impacto real en la cultura de emprendimiento en la universidad, explicó que “la adopción del modelo del camino del emprendedor en el centro de emprendimiento qué se diseñó en ASPIRE es el resultado más tangible de cómo benefician los viajes académicos y las conexiones en una comunidad universitaria que tienen los recursos para poderlo hacer.”

En resumen, se puede constatar que varios de los elementos que los participantes de la investigación vieron en el MIT en 2023 y percibieron como impactantes, en 2025 son cambios que ya se han llevado a cabo en la comunidad UVG, por ejemplo: el uso sistemático de una metodología para innovar y emprender; el acompañamiento y mentoría de emprendimiento para los estudiantes; el aprovechamiento de las instalaciones para propiciar la colaboración y el desarrollo de ideas, que se visibiliza en las instalaciones del CREA, muy similares a algunos espacios dedicados al emprendimiento en el MIT.

Otros cambios específicos que se han llevado a cabo a partir de las visitas al MIT, incluyen ideas mencionadas por los participantes: “en comunicación: manejamos un podcast, un blog, un calendario para visibilizar las actividades. En el eje de inspiración fortalecimos al club de emprendimiento... Tenemos los conversatorios con egresados emprendedores y los festivales de Pitches. En formación tal vez lo más relevante es nuestra primera edición de la metodología de graduación vía emprendimiento, se llama *Grad Venture*... (además) un programa hermano de Venture Mentoring Service (VMS), que se llama EMS, *Entrepreneurial Mentoring Service*, y es una

forma en la que logramos mantener conexión y vinculación con el MIT... (estimo que se ha podido) quintuplicar la cantidad de conexiones con el MIT, porque hay gente de investigación haciendo cosas con el MIT; hay muchas personas que están teniendo algún tipo de relacionamiento con los investigadores del MIT; nosotros con la oficina de mentorías... entonces se amplificó y hemos logrado tener más incidencia" (Jorge Mario García, comunicación personal; 3 de abril de 2025). Esto demuestra que mucho de lo que impactó e inspiró a los participantes de este estudio sí fue posible trasladarlo en acciones y cambios a la comunidad UVG.

El presente estudio buscaba detectar cambios en la perspectiva y actitud de las personas que viajaron a Boston y Cambridge en abril de 2023, relacionadas con emprendimiento e innovación. El aspecto cualitativo del estudio demostró que los participantes percibieron en ellos mismas cambios importantes tanto en su manera de ver la innovación y el emprendimiento, como en las oportunidades que ellos visualizan para ellos mismos, para la UVG y para Guatemala. Manifestaron un incremento en su motivación para participar en proyectos relacionados con la innovación y el emprendimiento. Adicionalmente, aportaron ideas, con base en sus experiencias en el intercambio académico de MIT, sobre cómo mejorar el ecosistema de innovación y emprendimiento de la UVG.

Dos años más tarde, muchas de estas ideas ya son una realidad en UVG. De acuerdo a Victor Hugo Ayerdi (comunicación personal, 21 de abril de 2025), "Los viajes permitieron conocer (el ecosistema de innovación y emprendimiento de MIT)... el modelo de gestión de la propiedad intelectual, el modelo de investigación con industria, y el apoyo de oficinas administrativas a la investigación en MIT. Si bien UVG es distinta en muchos aspectos, conocer estos modelos ha sido muy valioso para el proceso de transformación que sigue actualmente UVG".

Con base en el éxito que se demostró al lograr mejoras en el ecosistema de innovación y emprendimiento de la UVG, se recomienda en el futuro continuar con viajes académicos a otras universidades, ya que esta experiencia de ASPIRE y los viajes al MIT demostraron que exponer tanto a estudiantes como colaboradores de la comunidad de la universidad a nuevas ideas y buenas prácticas permite generar cambios en la perspectiva de las personas pero también en sus actitudes, y eventualmente estos cambios benefician a la universidad.

REFERENCIAS

- Arnau, R. C., Martínez, P., Niño de Guzmán, I., Herth, K. & Yoshiyuki Konishi, C. (2010). A Spanish-language version of the Herth Hope Scale: Development and psychometric evaluation in a Peruvian sample. *Educational and Psychological Measurement* 70(5): 808-824. <https://doi.org/10.1177/0013164409355701>
- Basadur, M. & Hausdorf, P. A. (1996). Measuring divergent thinking attitudes related to creative problem solving and innovation management reactivity. *Research Journal* 9(1): 21-32. https://doi.org/10.1207/s15326934crj0901_3
- Castillo Cabello, H., Urrutia Felix, C., Telo, M. S. & Caycho Rodríguez, T. (2014). Análisis psicométrico del índice de esperanza de Herth en una muestra no clínica peruana. *Psicología desde el Caribe* 31(2): 187-206. <https://www.scielo.org.mx/pdf/aip/v11n2/2007-4719-aip-11-02-83.pdf>
- Chavira Trujillo, G. & Celis de la Rosa, A. (2021). Propiedades psicométricas del inventario de los Cinco Factores de Personalidad (BFI) en población mexicana. *Acta de Investigación Psicológica* 11(2): 83-94. <https://doi.org/10.22201/fpsi.20074719e.2021.2.384>
- Chmielewski, M. S. & Morgan, T. A. (2013). Five-factor model of personality. En: *Encyclopedia of behavioral medicine*, Gellman, M. D. & Turner, J. R. (eds), Springer; pp. 803-804. https://doi.org/10.1007/978-1-4419-1005-9_1226
- Creswell, J. W. & Clark, V. P. (2011). *Designing and conducting mixed methods research*. Sage Publications, New Delhi, India.
- Creswell, J. W. (2014). *Research design. Qualitative, quantitative, and mixed methods approaches*. Thousand Oaks, CA; Sage.
- Fatima, A. & Khan, M. A. (2017). Do hope foster innovative work behavior through employee engagement and knowledge sharing behavior? A conservation of resources approach using MPLUS tool. *Business & Economic Review* 9(4): 181-212. <https://doi.org/10.22547/BER/9.4.9>
- Judge, T. A. & Bono, J. E. (2000). Five-factor model of personality and transformational leadership. *Journal of Applied Psychology* 85(5): 751-765. <https://doi.org/10.1037//0021-9010.85.5.751>
- Liu, Q., Yao-Ping Peng, M. (2025). Exploring factors influencing university students' entrepreneurial intentions: The role of attitudes, beliefs, and environmental support. *PLoS ONE* 20(1): e0316392. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0316392>
- Maffei, L., Spontón, C., Spontón, M., Castellano, E. & Medrano, L. A. (2012). Adaptación del cuestionario de autoeficacia profesional (AU-10) a la población de trabajadores cordobeses. *Pensamiento Psicológico* 10(1): 51-62.
- Mauer, R., Neergaard, H. & Linstead, A. K. (2017). Self-efficacy: Conditioning the entrepreneurial mindset. En: *Revisiting the entrepreneurial mind*. Brännback, M. & Carsrud, A. L. (eds). Springer; pp. 293-317. https://doi.org/10.1007/978-3-319-45544-0_19
- Montiel Méndez, O. J., Canales García, R. A. & Calderón Martínez, M. G. (2023). Educación universitaria y mentalidad para el emprendimiento: el caso de una universidad pública mexicana. *Entreciencias: Diálogos en la Sociedad del Conocimiento* 11(25): 1-17. <https://doi.org/10.22201/enesl.20078064e.2023.25.83965>
- O'Cathain, A. & Thomas, K. J. (2004). "Any other comments?" Open questions on questionnaires - a bane or a bonus to research? *BMC Medical Research Methodology* 4: 25. <https://doi.org/10.1186/1471-2288-4-25>

- R Core Team. (2021). R: A Language and Environment for Statistical Computing (Version 4.1) [Computer Software]. [<https://cran.r-project.org>]. Accesado: 14 de mayo 2025.
- Rowan-Kenyon, H. T. & Niehaus, E. (2011). One year later: The influence of short-term study abroad experiences on students. *Faculty Publications in Educational Administration* 38(2): 207-222.
- The Jamovi Project. (2022). Jamovi (Version 2.3) [Computer Software]. [<https://jamovi.org>]. Accesado: 14 de mayo 2025.
- UVG. (2025). CREA. [<https://www.uvg.edu.gt/impacto/crea/>]. Accesado: 14 de mayo 2025.
- van 't Klooster, E. (2014). Travel to learn: the influence of cultural distance on competence development in educational travel (No. EPS-2014-312 - MKT). ERIM Ph.D. Series Research in Management. [<http://hdl.handle.net/1765/51462>]. Accesado: 15 de mayo 2025.
- Wakkee, I., van der Sijde, P., Vaupell, C. & Ghuman, K. (2019). The university's role in sustainable development: Activating scholars as agents of change. *Technological Forecasting and Social Change* 141: 195-205. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2018.10.013>
- Wang, Q., Sun, Z. & Wu, C. (2021). The impact of university innovation and entrepreneurship education on entrepreneurial intention from the perspective of educational psychology. *Frontiers in Psychology* 12: 745976. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2021.745976>
- Zadok, A. & Benoliel, P. (2023). Middle-leaders' transformational leadership: big five traits and teacher commitment. *International Journal of Educational Management* 37(4): 810-829. <https://doi.org/10.1108/IJEM-12-2022-0541>

ANEXO

Cuestionario para entrevista semi-estructurada

Preguntas para entrevista semi-estructurada previa al viaje:

1. ¿Qué es lo que usted conoce sobre innovación y emprendimiento?
2. ¿Ha puesto usted en práctica en su vida personal o profesional la innovación y el emprendimiento?
¿De qué manera?
3. ¿Qué oportunidades de innovación y emprendimiento visualiza para UVG y para Guatemala?
4. ¿Qué lo motiva a trabajar para apoyar iniciativas de innovación y emprendimiento en UVG y en nuestro país?
5. ¿Qué espera usted que sea lo más interesante o relevante de su viaje a MIT?
6. ¿Algo más que usted desee agregar con respecto a la oportunidad del viaje a MIT?

Preguntas para entrevista semi-estructurada posterior al viaje:

1. ¿Qué es lo que usted aprendió en el viaje sobre innovación y emprendimiento?
2. ¿Qué prevé poner en práctica en su vida personal o profesional con respecto a lo aprendido sobre la innovación y el emprendimiento? ¿De qué manera piensa emplearlo?
3. ¿Qué oportunidades de innovación y emprendimiento visualiza para UVG y para Guatemala?
4. ¿Qué lo motiva a trabajar para apoyar iniciativas de innovación y emprendimiento en UVG y en nuestro país?
5. De los lugares visitados en MIT, ¿cuáles disfrutó más conocer, y por qué?"
6. ¿Qué considera que fue lo más interesante o relevante de su viaje a MIT?
7. ¿Algo más que usted desee agregar con respecto al viaje a MIT?

Ciencia abierta: importancia, desafíos y oportunidades para el desarrollo científico en Guatemala

Open science: Importance, challenges and opportunities for scientific development in Guatemala

Silvia Verónica VIVAR^{1,*}

¹Departamento de Comunicación y Letras, Facultad de Ciencias y Humanidades,
Universidad del Valle de Guatemala, Ciudad de Guatemala, Guatemala

*Correspondencia: (sverov@gmail.com)

Recibido: 23/IX/2024; Aceptado: 23/V/2025

Resumen: La ciencia abierta constituye un movimiento mundial impulsado por las tecnologías de la información y la comunicación. Este artículo busca conectar los aportes de la ciencia abierta a través de distintas corrientes filosóficas de acceso al conocimiento, con las necesidades que países como Guatemala tienen en relación con el aprovechamiento del avance científico. Aquí se exploran las oportunidades que ofrece el acceso abierto, destacando el papel que tiene la divulgación científica para la democratización del conocimiento en un contexto con poca inversión en educación e investigación, aportando un enfoque distinto al entendimiento de la temática. En ese sentido, se profundiza en el entendimiento de la ciencia abierta, para destacar la importancia que esta tiene y el significado que encierra para superar las barreras de acceso al conocimiento científico. Al analizar su importancia, se revisa distintas iniciativas que tienen el potencial de influir positivamente en el desarrollo nacional al fortalecer la investigación local, impulsar economías basadas en el conocimiento y mejorar la calidad de vida de las comunidades. En resumen, esta contribución destaca cómo la ciencia abierta no solo es un ideal académico, sino una herramienta poderosa para el progreso social y económico.

Palabras clave: acceso abierto, ciencia abierta, comunicación científica, investigación científica.

Abstract: Open science is a global movement driven by information and communication technologies. This article seeks to connect the contributions of open science through different philosophical currents of access to knowledge, with the needs that countries like Guatemala have in relation to the use of scientific progress. Here we explore the opportunities offered by open access, highlighting the role of scientific dissemination for the democratization of knowledge in a context with little investment in education and research, providing a different approach to the understanding of the subject. In this sense, the understanding of open science is deepened in order to highlight its importance and the meaning it has for overcoming the barriers to access to scientific knowledge. In analyzing its importance, it reviews different initiatives that have the potential to positively influence national development by strengthening local research, boosting knowledge-based economies and improving the quality of life of communities. In summary, this contribution highlights how open science is not only an academic ideal, but a powerful tool for social and economic progress.

Keywords: open access, open science, scientific communication, scientific research.

INTRODUCCIÓN

En la década de los años 90, las nuevas tecnologías de la información y la comunicación (TIC) ya se habían consolidado, lo que generó la digitalización de la economía y de otros ámbitos sociales, dando paso a una transición en el mundo académico y principalmente en los procesos de investigación y divulgación científica. En dicho proceso el desarrollo del software libre y el código de programación abierto permitió que los resultados de las investigaciones tuvieran una amplia difusión (Stracke 2020). En paralelo, la ciencia se fue especializando en diversas disciplinas y comunidades académicas, lo que dio paso al surgimiento de la economía de la ciencia (David 2008) a la sociología de la ciencia (Merton 1973) generando una fusión de mucho interés para el enfoque científico divergente, frente al monopolio que surgía con la divulgación científica, dando así lugar a otros mecanismos para ampliar el acceso al conocimiento científico.

El surgimiento de instituciones como *Open Knowledge Foundation* (OKF), la Fundación del Software Libre y el *Open Science Training Handbook* (OSTH), potenciaron el ideal del acceso libre y abierto. Con la OKF se crearon herramientas como el *Open Data Handbook*, que genera una guía para la publicación y uso de datos abiertos, mientras que, con el OSTH, se proporcionaron recursos y herramientas que ayudan a generar prácticas de investigación abierta.

La Organización de las Naciones Unidas para la Educación y la Ciencia y la Cultura (UNESCO), también asumió el reto y dio inicio a procesos de consulta en distintas partes, enfocadas principalmente en el ámbito de la educación superior. Esta logra institucionalizar la ciencia abierta a nivel mundial, promoviendo la creación de políticas nacionales y marcos legales de actuación que permite a los países y a sus instituciones educativas generar un modelo de intervención frente a los requerimientos de las sociedades en ese campo. Al mismo tiempo abre la posibilidad de contar con repositorios de publicaciones científicas como la *Open Access Repository*, mientras organiza conferencias sobre la ciencias en donde incluye estos temas para su discusión.

Con el desarrollo del llamado “capitalismo académico” (Corral Soto 2015; Brunner *et al.* 2019) y la gestión del conocimiento que propició una mayor mercantilización de los procesos de investigación en universidades a través de la financiación y apropiación del conocimiento por parte de empresas e instituciones con intereses particulares en temas específicos, se fue contraponiendo el enfoque de ciencia abierta para estudios realizados con fondos públicos y de interés social en sus resultados. De las asimetrías existentes entre ciencia privada y pública, surgen las preocupaciones epistemológicas en torno al uso de los datos, la información y las conclusiones que los estudios alcanzan. En esas confluencias surgen los conceptos de contenido y datos abiertos.

En resumen, una línea del tiempo del desarrollo de la ciencia abierta se puede empezar a partir de 1990, con iniciativas como ArWiv que es un primer repositorio de preimpresiones vinculadas a la física y a la matemática (OPUS 2024). Luego surge la iniciativa de Budapest (Budapest 2002) sobre acceso abierto cuyo objetivo principal fue promover el acceso libre a la literatura científica, creando la *Public Library of Science* (PLOS), que se convierte en una de las principales editoriales de revistas de acceso abierto en biología y medicina.

Otro avance importante se da con la declaración de Berlín (Sociedad Max Planck 2003), en donde se establece que, para que exista acceso abierto debe satisfacer dos condiciones previas: (1) garantizar el derecho gratuito, irrevocable y mundial de acceso al trabajo erudito, así como licencia para copiarlo, usarlo y distribuirlo públicamente; y, (2) los trabajos y materiales deben estar depositados en un repositorio *online* cuya definición de acceso abierto debe ser explicado. Con ello se establecen los principios fundamentales que dan sustento al acceso abierto.

La Universidad de Harvard aprueba su política de acceso abierto (Harvard Library 2014), que requiere que todos los profesores publiquen sus trabajos en un repositorio institucional. Luego Estados Unidos de América establece una iniciativa de datos abiertos, con financiamiento del gobierno federal para cumplir con dichos objetivos. Lo mismo hace la Unión Europea a través del proyecto *Open Data* y la Organización Mundial de Salud con el Acceso OMS sobre literatura científica enfocada a la salud.

En ese sentido, el presente artículo hace una revisión bibliográfica sobre el estado actual de la ciencia abierta y la divulgación científica, su evolución y el proceso actual en Guatemala. Es una primera aproximación para entender cómo se han desarrollado en el ámbito universitario guatemalteco estas prácticas, analizando cuáles podrían ser los desafíos que aún existen y las oportunidades que ofrece un país que tiene poca difusión científica a pesar de los grandes avances que en esa materia se han registrado en los últimos años.

Definiciones y contexto del desarrollo de la ciencia abierta

Ciencia abierta es un concepto en construcción. Más que una definición, es un conjunto de valores y fundamentos en desarrollo que debe contener un proceso de investigación y divulgación científica. Para Suber (2019), la ciencia abierta es un movimiento para hacer investigación científica en donde los datos y sus resultados pueden ser accesibles para todos sin restricción alguna. Para Vicente-Saez & Martínez-Fuentes (2018), ciencia abierta es el conocimiento transparente y accesible que se comparte.

Partiendo de que “el conocimiento, tal como se le concibe hoy, es el proceso progresivo y gradual desarrollado por el

hombre para aprehender su mundo y realizarse como individuo y especie” (Ramírez 2009), podemos entonces comprender el conocimiento como un producto derivado de la actividad humana. Aunque en el contexto actual, también podemos hablar del conocimiento derivado de la “inteligencia” artificial, y en este artículo únicamente abordaremos el conocimiento humano como producto colectivo sin pertenencia alguna y que es parte de los bienes comunes. Suber (2006) nos da una guía detallada de acciones que se pueden tomar para lograr el acceso abierto.

Estos conceptos abarcan la creación y la difusión en conjunto del conocimiento (Bartling & Friesike 2014), haciendo énfasis en la obligación que tienen las instituciones educativas públicas en desarrollar el acceso al conocimiento producto de la investigación. En el contexto guatemalteco, solo se cuenta con una universidad pública, la cual, dado que se sostiene con fondos públicos, coloca sus resultados de investigaciones en su repositorio institucional, con acceso libre. Esto lo realiza de manera automática con cada tesis, trabajos de graduación, monografías e informes de proyectos de investigación realizados por sus centros e institutos de investigación.

La libre difusión del producto de las investigaciones científicas puede darse de forma institucional ya que con la Iniciativa de Budapest (Budapest 2002) se intenta aprovechar la brecha que surge de los sistemas tradicionales de divulgación científica con el desarrollo de las nuevas tecnologías. Así Jean-Claude Guéron explora la relación entre la tecnología digital y la comunicación científica, en cuyo enfoque resalta la difusión democrática de las publicaciones académicas y científicas, argumentando que la ciencia abierta es más que solamente hacer artículos de acceso abierto (Gueron 2002). Su trabajo se centra en la relación entre la tecnología digital y la comunicación científica, y ha abogado por un enfoque más democrático y accesible a la publicación académica y científica. La contribución de Jean-Claude Guéron a la definición y al concepto de ciencia abierta ha sido destacar la importancia de la apertura en la comunicación científica y ver la ciencia como un proceso de transformación fundamental en la producción y su sistema de comunicación que forma parte de una nueva visión del enfoque abierto. Además, ha abogado por un enfoque más crítico y reflexivo hacia la tecnología digital en la comunicación científica.

La ciencia abierta contribuye a la transformación del sistema de comunicación científica, basado en la idea del conocimiento como un bien público que debe ser compartido ampliamente, fundado en cuatro pilares fundamentales: (1) conocimiento científico abierto, (2) infraestructura de la ciencia abierta, (3) participación abierta de los agentes sociales y (4) diálogo abierto con otros sistemas de conocimiento (UNESCO 2023). Se cree que la apertura en estos pilares fomentan la transparencia en los procesos de investigación y permiten además la participación pública de la comunidad científica y

por lo tanto, forma parte fundamental de la democratización del conocimiento (UNESCO 2021). Aquí surge un concepto vinculado también a la ciencia abierta y es la ciencia de ciudadanos o ciencia ciudadana (*Citizen Science*) que se refiere a la participación de la ciudadanía en el desarrollo del conocimiento a través de redes transdisciplinarias que permiten asumir la evidencia a través de mejorar la interacción entre ciencia, sociedad y política (García Aristegui & Rendueles 2014). Es una dinámica que muestra cómo se genera la interacción entre los distintos actores que participan en la creación y divulgación de nuevos conocimientos, así como la apropiación y uso de los mismos.

El acceso abierto está contenido en la Declaración de Budapest (Bethesda 2003), donde se definen los objetivos de la investigación científica como un proceso informado por el resultado de otros. Este proceso implica compartir información, ideas, descubrimientos y resultados de dichos procesos, fomentando un espacio común de información que puede estar accesible para todas las personas. El surgimiento de la Asociación de Bibliotecas de Investigación (ARL por sus siglas en inglés), permite una promoción de la ciencia, en cuyo aporte se incluye la Iniciativa de Acceso Abierto (OAI).

Hasta aquí, se han vinculado conceptos como ciencia abierta y acceso abierto. En ambos casos, se trata de un enfoque de la investigación y sus resultados, la diferencia radica en los objetivos complementarios de cada uno de los conceptos. La ciencia abierta busca que el conocimiento sea accesible, aspecto que puede tener diversas perspectivas. El acceso abierto se refiere al uso y apropiación del conocimiento ya disponible.

La creación del conocimiento puede estar relacionado con el descubrimiento de las reglas que se expresan en el mundo natural y al mismo tiempo enfocadas en la condición humana en sí (Bartling & Friesike 2014). Esta interpretación parte de la idea de que “la interdisciplinariedad implica puntos de contacto entre las disciplinas en la que cada una aporta sus problemas, conceptos y métodos de investigación y la transdisciplinariedad, es lo que simultáneamente le es inherente a las disciplinas y donde se termina por adoptar el mismo método de investigación” (Pérez Matos & Setién Quesada 2008). En ese sentido, con el enfoque de datos abiertos y desde luego la ciencia abierta se asume un enfoque transdisciplinar e interdisciplinar, pues estos buscan fomentar la transparencia, la colaboración y la confiabilidad de los resultados de las investigaciones. Esto significa que los datos, las publicaciones y los procesos metodológicos que surgen y que están relacionados con la creación del conocimiento, forman parte de un proceso público que puede ser reutilizado y ampliado por la comunidad científica en particular y por el público en general. Esto nos lleva al planteamiento de que la ciencia abierta constituye un enfoque de investigación cuyo principal fin es promover la transparencia, la colaboración y

el acceso libre a la información científica y a los resultados de la investigación.

En la región latinoamericana existen autores que han trabajado en el tema de ciencia abierta, algunos de ellos son: Eduardo Aguado López, investigador y profesor de la Universidad Nacional de Colombia, ha trabajado en proyectos relacionados con el acceso abierto y la ciencia abierta en América Latina; Arianna Becerril García, directora ejecutiva de Redalyc, una plataforma de acceso abierto a revistas científicas de América Latina, ha sido una defensora y pionera en la región sobre la temática especialmente vinculado a las publicaciones de ciencias sociales y humanidades (Aguado-López & Becerril-García 2016); Natalia Villota, es una de las fundadoras de la Red de Repositorios de Acceso Abierto a la Ciencia en América Latina y el Caribe (LA Referencia), una iniciativa regional que busca aumentar la visibilidad y el acceso a la investigación científica en la región; Dominique Babini, investigadora y directora del Programa de Acceso Abierto de CLACSO, ha trabajado en proyectos relacionados con el acceso abierto y la ciencia abierta en América Latina y el Caribe, aborda el tema de los repositorios institucionales y la construcción social de la tecnología (Babini *et al.* 2010).

En resumen, un estado del arte de ciencia abierta puede abarcar una amplia variedad de temas y aspectos, desde la definición de la ciencia abierta hasta los desafíos y oportunidades que enfrenta este campo emergente. El movimiento de ciencia abierta ha surgido como respuesta a la necesidad de una mayor transparencia y colaboración en la investigación científica, y ha evolucionado en una serie de iniciativas y prácticas que buscan aumentar el acceso libre y gratuito a la información científica.

El papel de la UNESCO

La UNESCO ha desempeñado un papel importante en la promoción de la ciencia abierta a nivel mundial. En noviembre del 2021 emitió una recomendación donde propone un consenso global sobre valores y acciones (UNESCO 2021). Sobre la base de promover sistemas integrados de información, para evaluar y promover las producciones científicas, insta a los gobiernos y a las instituciones académicas a crear un entorno normativo para propiciar y fomentar prácticas responsables que incentive la ciencia de calidad (Beigel 2022).

La organización ha reconocido que la ciencia abierta es un factor clave para la innovación, el desarrollo sostenible y la construcción de sociedades más equitativas y participativas. Entre las iniciativas lideradas por la UNESCO en relación con la ciencia abierta, se pueden destacar las siguientes: (1) Creación de políticas y marcos legales favorables a la ciencia abierta. (2) Plataforma de acceso abierto llamada *Open Access Repository* dentro del programa de Ciencias Naturales. (3) Conferencia Mundial sobre la Ciencia para el Siglo XXI (1999)

en donde introduce el tema de la ciencia abierta y la participación ciudadana. (4) Creación del Portal de Ciencia Abierta, que ofrece acceso a distintos recursos en línea, como repositorios de publicaciones científicas y datos abiertos. (5) Iniciativas con *STEM and Gender Advancement* (SAGA), que busca mejorar la participación de las mujeres y las niñas en la ciencia, la tecnología, la ingeniería y las matemáticas. (6) Portal AmeliCA brinda acceso a revistas académicas. (7) AmeliCA XML es un software para fomentar un modelo de publicación científica en comunicación abierta. (8) OJS Communitie es el portal *Open Journal Systems* en donde la UNESCO ha tenido participación. (9) Ha propiciado las métricas responsables y la evaluación de la investigación.

La divulgación científica

Según la Real Academia Española, divulgar es la acción de publicar, extender, poner al alcance del público un determinado conocimiento. Partiendo de este concepto, la divulgación científica es el proceso de acercar la ciencia a la sociedad en general, tomando en cuenta la diversidad de públicos y contextos. En ese sentido, la divulgación científica es la transmisión de información científica a un público no especializado o no experto en la materia, para hacer que la ciencia sea más accesible, comprensible y relevante para todos los interesados en general. Esta se puede manifestar en diferentes medios y canales: revistas científicas, ferias científicas, programas de televisión, charlas públicas, redes sociales (tanto científicas como no científicas), podcasts, infografías, talleres o congresos. La divulgación científica también puede ayudar a aumentar la conciencia pública sobre los avances científicos, los desafíos y los problemas que enfrenta la sociedad.

En este contexto se debe distinguir los tres conceptos claves que permiten tener una visión más clara del problema que se aborda, que son, la información, la comunicación y la divulgación científica, cada una con características y propósitos específicos. Por ejemplo, la información científica se refiere a los datos, resultados y conocimientos generados por una investigación científica, generalmente presentados en formatos técnicos o especializados, como artículos académicos, informes técnicos o bases de datos y cuya información está dirigida principalmente a audiencias expertas y suele requerir un alto nivel de conocimiento previo para su interpretación. Por otro lado, la comunicación científica implica el intercambio de información entre investigadores, comunidades académicas e instituciones con el objetivo de facilitar el avance del conocimiento dentro de un ámbito científico particular. Por último, la divulgación científica busca acercar la ciencia a públicos no especializados, haciéndola accesible, comprensible y relevante para una audiencia más amplia.

En este sentido, se distinguen dos modalidades principales de divulgación científica: (1) divulgación general, orientada a un público no especializado y (2) divulgación especializada, dirigida

a personas con conocimientos previos en el tema, como científicos o profesionales de áreas específicas. Ambas modalidades buscan hacer que la ciencia sea más accesible y útil para sus respectivos públicos, aunque adaptan su lenguaje, formato y medios según las características del receptor.

Entre los principales exponentes de la divulgación científica está Eugene Garfield, quien desarrolló las herramientas de citación científica a través de fundar el *Institute for Scientific Information*, considerado uno de los pioneros en lo que se conoce como cienciometría o el estudio cuantitativo de la ciencia. Ese aporte transformó la forma en que se accede y evalúa la literatura científica, estableciendo para ello un marco teórico práctico para analizar la producción científica (Spinak 2017). Sus trabajos han inspirado a otros desarrollos posteriores y han dado origen a lo que hoy conocemos como Google Scholar.

También Robert K. Merton, sociólogo de la ciencia, realizó importantes contribuciones a la teoría de la comunicación científica y el funcionamiento de la comunidad científica al introducir conceptos claves que explican los valores y las normas que rigen la actividad académica, a través de su noción de “ethos de la ciencia” que abarca varios aspectos como el comunismo científico a partir de compartir el conocimiento subrayando la importancia de la transparencia en la divulgación científica (Merton 1973). Estas ideas han tenido un impacto positivo en el acceso abierto, pues aboga por la divulgación libre de los datos y las publicaciones científicas.

Y el más conocido, Carl Sagan, astrónomo y divulgador científico, cuya visión de empoderamiento de la actividad científica para el bienestar colectivo, ha permitido la alfabetización científica de temas críticos como el cambio climático en la actualidad. Es importante mencionar que la divulgación científica, como lo propone Vergano (2025), debe realizarse a través de narrativas evocadoras, que abarquen una audiencia global cuyo enfoque principal es llegar a un público diverso a través de la enseñanza de la ciencia o de la pedagogía de la ciencia para difundir y fomentar el pensamiento crítico.

Herramientas de la ciencia abierta y la divulgación científica

Las herramientas tecnológicas han sido fundamentales para el desarrollo de la ciencia abierta y para la difusión del conocimiento, ya que permite el acceso gratuito de datos, resultados y conclusiones de los procesos de investigación, así como la colaboración entre pares para su evaluación. Algunas de las herramientas tecnológicas que son particularmente importantes para la ciencia abierta incluyen (ver UNESO 2021): (1) Repositorios de datos de acceso abierto, con plataformas electrónicas que permiten a las personas que realizan investigación compartir y almacenar datos en un lugar centralizado sin restricciones de acceso.

Esto facilita el acceso y la reutilización de los datos por parte de otros investigadores y el acceso al público en general de los resultados. (2) Publicaciones de acceso abierto, permiten publicar los resultados de investigaciones en línea, lo que facilita el acceso a la información por parte de otros investigadores y el público en general. Es importante tomar en cuenta que publicar en sitios de acceso abierto eventualmente requiere de inversión económica con la que en ocasiones no es fácil contar, ya que pueden tener costos muy altos; esto cuando se trata de sitios como la plataforma Scopus; por mencionar alguna, donde se paga un elevado costo por parte del investigador o la institución que lo representa para publicar y dejar la información con acceso abierto. Por el contrario se encuentran revistas indexadas que no tienen costo para las personas autoras como Latindex, SciELO, La Referencia, RedCLARA, entre otras. En Guatemala contamos con otras que son costeadas por las universidades que las representan, a manera de ejemplo, la Revista de la Universidad del Valle de Guatemala que no tiene un costo para el investigador o estudiante que publica, y es colocada en su repositorio institucional permitiendo el libre acceso a las publicaciones de la Revista y algunas de sus tesis y trabajos de graduación, tanto en el repositorio como en Google Scholar. Otros ejemplos de publicación gratuita en Guatemala son las revistas indexadas de la Universidad de San Carlos de Guatemala con sus repositorios de libre acceso. (3) Herramientas de análisis y visualización de datos, permiten analizar y visualizar los datos de investigación de manera más eficiente y efectiva, lo que puede ayudar a identificar patrones y relaciones importantes. (4) Plataformas de colaboración en línea, permiten colaborar en tiempo real, compartir información y datos, y comunicarse de manera efectiva sin importar la ubicación geográfica. (5) Software libre de código abierto, son programas informáticos cuyo código fuente está disponible para su uso, modificación y distribución por cualquier persona que así lo requiera. Además permite a los investigadores compartir y colaborar en el desarrollo de software y herramientas de investigación, lo que puede mejorar la calidad y la eficiencia de la investigación científica. Los programas de software libre y de código abierto son fundamentales en la ciencia abierta, ya que permiten la colaboración y el intercambio de herramientas y recursos entre investigadores. Acá también es relevante tomar en cuenta que no todo código de fuente abierta es gratuito. (6) Redes sociales científicas, son plataformas en línea que permiten la comunicación y colaboración entre investigadores de diferentes disciplinas y lugares geográficos. Estas redes sociales científicas promueven la colaboración abierta y el intercambio de conocimientos y recursos.

La divulgación científica puede ayudar a combatir la desinformación a través de estrategias integrales que tenga un enfoque colaborativo y sean interdisciplinarias para crear un puente entre la investigación y sus resultados con el público en general. Esta refuerza las herramientas de

verificación a través de fomentar el pensamiento crítico e informado. Aquí pueden entrar, a manera de ejemplo, la manipulación de datos, el uso de fuentes no verificables y la difusión de noticias falsas. Para contrarrestar las narrativas falsas, como las que se da en temas de salud, por ejemplo, es importante construir confianza a través de conectar la ciencia y sus resultados con la vida de las personas y su impacto en su cotidianidad.

El desarrollo de la inteligencia artificial (IA) puede desempeñar un papel importante en la difusión científica al permitir el análisis y la interpretación automatizada de grandes conjuntos de datos, así como la identificación de patrones y relaciones complejas en la información científica (Almeida-Campos 2024). Es importante tener en cuenta que, como con cualquier tecnología, la IA puede ser propensa a errores. Los algoritmos de aprendizaje automático pueden producir resultados sesgados o inexactos si los datos utilizados para entrenarlos son incompletos o sesgados. También es posible que la IA produzca resultados que sean difíciles de interpretar o que requieran una validación adicional por parte de expertos humanos.

Acceso abierto y ciencia abierta

La ciencia abierta se enfoca en la apertura en todas las etapas del proceso científico, desde la planificación y ejecución de la investigación, hasta la comunicación y difusión de los resultados. Esto incluye la apertura en la selección de temas de investigación, el acceso a los datos y materiales de investigación, la publicación en acceso abierto, la revisión por pares abierta y la colaboración entre disciplinas y sectores, mientras que el acceso abierto se refiere a la forma en que se comparte los resultados de la creación científica. La ciencia abierta se refiere a una filosofía más amplia de apertura y transparencia en todas las etapas del proceso científico y es también una manera o modelo de divulgación científica (Fressoli 2018). Ambos conceptos están estrechamente relacionados y son importantes para promover la apertura y el acceso libre al conocimiento científico. El acceso abierto es el medio y la ciencia abierta es el fin.

Existen varias iniciativas de acceso abierto y de ciencia abierta a nivel mundial, entre las que se destacan: (1) *Budapest Open Access Initiative* (BOAI) (BOAI 2002) que busca fomentar el acceso libre y gratuito a la investigación científica. Es considerada una de las primeras iniciativas de acceso abierto y es producto de la Declaración de Budapest. (2) *Open Access Scholarly Publishers Association* (OASPA) es una organización sin fines de lucro que reúne a editoriales académicas que se comprometen a publicar investigación científica en acceso abierto de alta calidad (OASPA, s.f.). (3) *Directory of Open Access Journals* (DOAJ) es una base de datos que indexa y proporciona acceso a revistas científicas de acceso abierto revisadas por pares de todo el mundo (DOAJ, s.f.). (4) *Creative*

Commons (CC) es una organización sin fines de lucro que promueve la creación y el uso de contenidos creativos mediante licencias de derecho de autor que permiten la reutilización y el acceso abierto a los mismos (Creative Commons, s.f.). (5) *Open Science Framework* (OSF) es una plataforma en línea que permite a los investigadores compartir datos, colaborar y realizar investigaciones en un entorno abierto y colaborativo (OSF, s.f.). (6) Redalyc es una iniciativa que promueve el acceso abierto a la investigación científica y académica en América Latina, el Caribe, España y Portugal (Redalyc, s.f.). (7) SciELO es una plataforma en línea que proporciona acceso abierto a revistas científicas de América Latina, España, Portugal y Sudáfrica (SciELO 2023).

Oportunidades para el desarrollo científico y el acceso al conocimiento

El conocimiento es parte esencial de la llamada “nueva economía” y le han denominado “capitalismo cognitivo” (Corral Soto 2015). Está relacionada con la teoría del capital humano, dada la importancia que le otorgan al conocimiento y las habilidades que se requieren para la economía actualmente. En ambos planteamientos, las habilidades, destrezas y conocimientos forman parte de un activo de capital que genera valor en los procesos productivos. Para Fumagalli (2010), el sistema actual lo denomina “biocapitalismo cognitivo” y es la forma cómo se aprovecha para el desarrollo el conocimiento.

Desde esa perspectiva, en un país en vías de desarrollo como Guatemala, el avance científico y su divulgación debe ir de la mano con el desarrollo social. Contar con un servicio público de ciencia abierta puede tener varios beneficios en países con poca inversión en investigación y desarrollo (I+D).

A lo largo del texto se mencionaron varias de las ventajas de la ciencia abierta para la investigación y la ciencia. Para Guatemala estos beneficios están vinculados a reducir las barreras de acceso a la información científica abierta, gratuita y de calidad, a toda la población interesada, pero también la reducción de costos, ya que pocas instituciones académicas tienen capacidades técnicas y humanas para emprender programas de investigación. Asimismo, puede optimizar y acelerar la inversión en investigación para el país y la región.

Los datos abiertos son fundamentales para eliminar la pérdida de datos. En Guatemala, son pocas las instituciones con repositorios institucionales, y la mayor parte de los datos se pierden en correos electrónicos o archivos de escritorio. La ciencia abierta permite a países como Guatemala ampliar la divulgación y la visibilidad de la investigación, de las personas investigadoras y de las instituciones, así también incrementa el impacto.

Para compaginar lo interdisciplinario y la transdisciplinariedad con las transformaciones en acceso libre al conocimiento, se pueden tomar varias medidas, como por ejemplo: (1) fomentar

la colaboración y el intercambio de conocimientos entre diferentes disciplinas con la creación de redes y comunidades de investigación interdisciplinarias. (2) apoyar la creación y difusión de conocimiento en acceso abierto a través de prácticas de acceso abierto mediante la creación de repositorios o el uso de los ya existentes que tengan la política de acceso abierto y revistas científicas de acceso abierto. (3) fomentar la transparencia y la colaboración en la investigación a través de prácticas de evaluación y revisión de pares. (4) asegurar la inclusión y diversidad en la investigación desde distintas perspectivas y enfoques interdisciplinarios. (5) promover la diversidad en la investigación y la creación de conocimiento. (6) promover la educación interdisciplinaria y la formación de habilidades. (7) capacitar a los investigadores sobre la importancia de la publicación de los resultados de sus investigaciones.

Para que Guatemala se posicione como un líder en ciencia abierta en la región, es fundamental adoptar un enfoque estratégico y multidimensional que aproveche sus fortalezas, aborde sus desafíos estructurales y fomente una cultura de colaboración, innovación y acceso al conocimiento. La implementación de prácticas de ciencia abierta puede transformar el panorama científico y educativo del país, permitiéndole destacar como un referente regional.

Como conclusión, esto se puede sintetizar en cuatro puntos: (1) mejorar el aprovechamiento de las Tecnologías de la Información y Comunicación (TIC), lo que implica incrementar el acceso a internet, mejorar el contenido en los dispositivos móviles y ofrecer capacidades para fortalecer el acceso al conocimiento científico a través de plataformas digitales abiertas. Para lograr esto se puede fomentar activamente la participación en iniciativas regionales e internacionales de ciencia abierta, como RedCLARA (Red de Cooperación Latino Americana de Redes Avanzadas), de la cual Guatemala es parte) o proyectos financiados por organismos como la UNESCO y el Banco Mundial. (2) promover la divulgación científica en idiomas mayas y contextos locales dado que el país tiene una diversidad cultural y lingüística que podría destacar como un ejemplo de inclusión y relevancia cultural. (3) capacitar a investigadores y ciudadanos en ciencia abierta a través de instituciones ya existentes como las universidades o el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (Concyt), a través de facilitar las herramientas y las metodologías indispensables para concretar una apertura científica importante en este campo; en la ciencia abierta las universidades juegan un papel fundamental en la gestión de datos abiertos, licencias Creative Commons y comunicación científica efectiva. (4) crear alianzas público-privadas que permitan a las instituciones jugar un rol importante en el fomento de la ciencia abierta como motor del desarrollo.

REFERENCIAS

- Aguado-López, E. & Becerril-García, A. (2016). ¿Publicar o perecer? El caso de las Ciencias Sociales y las Humanidades en Latinoamérica. *Revista Española de Documentación Científica* 39(4): e151. <https://doi.org/10.3989/redc.2016.4.1356>
- Almeida-Campos, S. (2024). La ciencia abierta y la inteligencia artificial en la *Revista Médica Electrónica*. *Revista Médica Electrónica* 46: e5498.
- Babini, D., González, J., López, F. & Medici, F. (2010). Construcción social de repositorios institucionales: el caso de un repositorio de América Latina y el Caribe. *Información, Cultura y Sociedad* 23: 63-90.
- Bartling, S. & Friesike, S. (2014). *Opening science: The evolving guide on how the Internet is changing research, collaboration and scholarly publishing*. Springer Science+Business Media, Mannheim, Germany. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-00026-8>
- Beigel, M. (2022). El proyecto de la ciencia abierta en un mundo desigual. *Relaciones Internacionales* 50: 163-181. <https://doi.org/10.15366/relacionesinternacionales2022.50.008>
- Bethesda. (2003). Declaración de Bethesda sobre publicación de acceso abierto. [<https://n9.cl/2lslc>]. Accedido: 09 de abril 2025
- BOAI. (2002). Iniciativa de acceso abierto de Budapest. [<https://www.budapestopenaccessinitiative.org/read/>]. Accedido: 15 de mayo 2025.
- Brunner, J. L., Labraña, J., Ganga, F. & Rodríguez-Ponce, E. (2019). Circulación y recepción de la teoría del "academic capitalism" en América Latina. *Archivos Analíticos de Políticas Educativas* 27(79): 1-32. <https://doi.org/10.14507/epaa.27.4368>
- Budapest. (2002). Iniciativa de Budapest para el Acceso Abierto. [<https://www.budapestopenaccessinitiative.org/read/>]. Accedido: 15 de mayo 2025.
- Creative Commons. (s.f.). Who we are. [<https://creativecommons.org/mission/>]. Accedido: 15 de mayo 2025.
- Corral Soto, S. G. (2015). *El capitalismo académico: gestión del conocimiento y perfil de egreso en la Universidad Autónoma de Ciudad Juárez*. Tesis, Universidad de Salamanca, España. [<https://gredos.usal.es/handle/10366/128115>]. Accedido: 09 de abril 2025.
- David, P. A. (2008). The historical origins of 'Open Science': An essay on patronage, reputation and common agency contracting in the scientific revolution. *Capitalism and Society* 3(2): Article 5. <https://doi.org/10.2202/1932-0213.1040>
- DOAJ. (s.f.). About DOAJ. [<https://doaj.org/about/>]. Accedido: 15 de mayo 2025.
- Fressoli, M. (2018). Acceso abierto y ciencia abierta: una oportunidad histórica. *SciELO en Perspectiva*. [<https://blog.scielo.org/es/2018/09/14/acceso-abierto-y-ciencia-abierta-una-oportunidad-historica/>]. Accedido: 09 de abril 2025.
- Fumagalli, A. (2010). *Bioeconomía y capitalismo cognitivo, hacia un nuevo paradigma de acumulación*. Traficantes de Sueños, Madrid, España.
- García Aristegui, D. & Rendueles, C. (2014). Abierto, libre.... y público. Los desafíos políticos de la ciencia abierta. *Argumentos de Razón Técnica* 17: 45-64.

- Guédon, J.-C. (2002). Open Access: Toward the internet of the mind. Budapest Open Access Initiative [<https://apo.org.au/node/74479>]. Accesado: 09 de abril 2025.
- Harvard Library. (2014). Policy on access to digital reproductions of works in the public domain. [<https://library.harvard.edu/policy-access-digital-reproductions-works-public-domain>]. Accesado: 15 de mayo 2025.
- Merton, R. (1973). *La sociología de la ciencia: investigaciones teóricas y empíricas*. Prensa Universidad de Chicago, Chicago, EE.UU.
- Open Access Scholarly Publishing Association (OASPA). (s.f.). Who we are. [<https://www.oaspa.org/about/>]. Accesado: 15 de mayo 2025.
- Open Science Framework (OSF). (s.f.). OSF. [<https://osf.io/>]. Accesado: 15 de mayo 2025.
- Open Universal Science (OPUS). (2024). Understanding the open science movement through the lens of history. [<https://opusproject.eu/openscience-news/understanding-the-open-science-movement-through-the-lens-of-history/>]. Accesado: 15 de mayo 2025.
- Pérez Matos, N. E. & Setién Quesada, E. (2008). La interdisciplinariedad y la transdisciplinariedad en la ciencias: una mirada a la teoría bibliológico-informativa. *ACIMED* 18(4):
- Ramírez, A. V. (2009). La teoría del conocimiento en investigación científica: una visión actual. *Anales de la Facultad de Medicina* 70(3): 217-224.
- Redalyc. (s.f.) Acerca de redalyc.org. [<https://redalyc.org/redalyc/acerca-de/mision.html>]. Accesado: 15 de mayo 2025.
- SciELO. (2023). Declaración de Apoyo a la Ciencia Abierta con IDEIA. [<https://wp.scielo.org/wp-content/uploads/Declaracion-de-Apoyo-a-la-Ciencia-Abierta-con-IDEIA.pdf>]. Accesado: 15 de mayo 2025.
- Sociedad Max Planck. (2003). Declaración de Berlín sobre acceso abierto. *GeoTrópico* 1(2): 152-154.
- Spinak, E. (2017). In memoriam: Eugene Garfield - 1925-2017. *Informatics Studies* 4(2): 5-6.
- Stracke, C. (2020). Open science and radical solutions for diversity, equity and quality in research: A literature review of different research schools, philosophies and frameworks and their potential impact on science and education. En: *Radical solutions and open science*, Burgos, D. (ed.), Springer Open, Germany; pp. 17-37. https://doi.org/10.1007/978-981-15-4276-3_2
- Suber, P. (2006). Una introducción al acceso abierto. En: *Edición electrónica, bibliotecas virtuales y portales para las ciencias sociales en América Latina y el Caribe*, Babini, D. & Fraga, J. (eds), CLASCO, Ciudad de Buenos Aires, Argentina; pp. 15-33.
- Suber, P. (2019). What is Open Access? [<https://openaccesseks.mitpress.mit.edu/pub/6y6fc8k5/release/2>]. Accesado: 16 de mayo 2025.
- Turco, R. P., Toon, O. B., Ackereman, T. P., Pollack, J. B. & Sagan, C. (1983). Nuclear winter: Global consequences of multiple nuclear explosions. *Science* 222(4630): 166-176. <https://www.science.org/doi/10.1126/science.222.4630.1283>
- UNESCO. (2021). *Recomendación de la UNESCO sobre la Ciencia Abierta*. United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization, Paris, France. [https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000379949_spa]. Accesado: 09 de abril 2025.
- UNESCO. (2023). Kit de herramientas de ciencia abierta. [<https://doi.org/10.54677/TESH7304>]. Accesado: 16 de mayo 2025.
- Vergano, A. (2025). Carl Sagan, el astrónomo que nos hizo amar el universo. [<https://www.nationalgeographic.es/espacio/quien-fue-carl-sagan>]. Accesado: 16 de mayo 2025.
- Vicente-Saez, R. & Martínez-Fuentes, C. (2018). Open Science now: A systematic literature review for an integrated definition. *Journal of Business Research* 88: 428-436. <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2017.12.043>

La utilidad de la interseccionalidad en el monitoreo y evaluación de proyectos de desarrollo

The usefulness of intersectionality in the monitoring and evaluation of development projects

Lourdes María BLANCO-PINEDA^{1,*}

¹Facultad de Ciencias Sociales, Universidad del Valle de Guatemala, Ciudad de Guatemala, Guatemala

*Correspondencia: (lourdesblancogt@gmail.com)

Recibido: 22/IX/2024; Aceptado: 15/V/2025

Resumen: La interseccionalidad es una visión de análisis interdisciplinario de las desigualdades multidimensionales que no opta por categorías de identidad únicas, sino relaciones con otras categorías en un contexto específico. Su aplicación analiza cómo las identidades que conforman a una persona suelen simplificarse o ignorarse al no considerar sus diferencias. Las identidades emergen de la intersección de múltiples categorías que influyen en la vida de las personas. Estas interactúan y afectan las experiencias especialmente en contextos de desigualdad. Consecuentemente, ante el aumento de las desigualdades, surge la pregunta de cómo mejorar el uso del monitoreo y evaluación (M&E) para visibilizar las desigualdades que limitan el desarrollo humano. Para este ensayo se empleó el método deductivo explicativo para ilustrar la aplicación de la interseccionalidad. Para ejemplificar esta aplicación, se tomó como referencia la pandemia de Covid-19. La metodología utilizada fue constructivista, basada en una revisión bibliográfica de conceptos clave y estudios descriptivos como recurso de ejemplificación. El ensayo concluye que la implementación del análisis interseccional en el M&E de proyectos de desarrollo proporciona información que respalda decisiones orientadas a la equidad. Este enfoque visibiliza las diversas desigualdades que afrontan las personas dependiendo del lugar que ocupan en la sociedad. También, propone profundizar en el uso de categorías abiertas para la autoidentificación, como un recurso que enriquece los datos que se recaban en M&E y utilizar correlaciones. El ensayo propicia una apertura al diálogo sobre este tema en la comunidad científica, para poder continuar discutiendo su contribución al desarrollo humano.

Palabras clave: Covid-19, desarrollo humano, evaluación, interseccionalidad, monitoreo.

Abstract: Intersectionality is an interdisciplinary analytical approach to understand multidimensional inequalities that does not rely on single identity categories, but rather on the relationships among multiple categories within a specific context. Its application analyzes how the identities that constitute a person are often simplified or ignored when their differences are not taken into account. Identities emerge from the intersection of multiple categories that influence people's lives. These categories interact and shape individual experiences, especially in contexts of inequality. Consequently, with the rise of inequalities, the key question arises of how to improve the use of monitoring and evaluation (M&E) to make visible the inequalities that limit human development. This essay employs a deductive explanatory method to illustrate the application of intersectionality. The COVID-19 pandemic was used as a reference point to exemplify this application. The methodology followed a constructivist approach, based on a literature review of key concepts and descriptive studies as illustrative resources. The essay concludes that implementing intersectional analysis in the M&E of development projects provides information that supports equity-oriented decision-making. This approach highlights the multiple inequalities people face depending on their position in society. Furthermore, it proposes expanding the use of open-ended self-identification categories as a resource to enrich the data collected in M&E processes and recommends incorporating correlation analyses. The essay encourages an open dialogue within the scientific community about this in order to continue exploring its contribution to human development.

Keywords: Covid-19, evaluation, human development, intersectionality, monitoring.

INTRODUCCIÓN

El monitoreo y evaluación (M&E) son herramientas que permiten recolectar información en los proyectos (CEPAL 2005). Ante el evidente aumento de desigualdades, surge la pregunta de cómo mejorar el uso de estas herramientas para visibilizar las desigualdades que limitan el desarrollo humano, como el uso de la interseccionalidad, la cual es una visión de análisis interdisciplinario de las desigualdades multidimensionales que no opta por categorías de identidad únicas, sino relaciones con otras categorías en un contexto específico (Sales 2017). En ese sentido, se plantea que, si se implementa la interseccionalidad en el M&E, se podrá tomar decisiones más informadas y orientadas a la equidad en los proyectos de desarrollo.

Este ensayo parte de considerar que (1) la desigualdad es un concepto aunado al desarrollo humano, que restringe el bienestar de las personas dependiendo del lugar que ocupen en la sociedad (PNUD 2016); y (2) que la aplicación de una visión interseccional en el M&E de proyectos visibiliza las diferentes desigualdades que afrontan las personas en un contexto determinado (FAO 2022). Por último, (3) que existen numerosas formas de entender la desigualdad que requieren de mediciones más acertadas para brindar información y respaldar la toma de decisiones (CEPAL 2007). Se desarrolla el presente ensayo, con el objetivo de indagar sobre la aplicación de la interseccionalidad al M&E de proyectos, esperando que propicie la apertura al diálogo sobre este tema en la comunidad científica interesada, para poder continuar discutiendo su aplicación, limitantes y contribución al desarrollo.

El presente texto expone en una primera parte el concepto de desigualdad y su vinculación con el desarrollo humano. En una segunda parte se presenta los puntos clave sobre la interseccionalidad y cómo ésta visibiliza desigualdades. Como tercera parte se define M&E como una herramienta de análisis para los proyectos de desarrollo y se aborda la aplicación de la visión interseccional. Por último, se procede a un análisis para implementar la interseccionalidad en el M&E de proyectos para el desarrollo.

Ante el aumento de las desigualdades existe una necesidad de iniciar una discusión en la comunidad científica para debatir los beneficios y efectos que el análisis interseccional pueda contribuir en su aplicación al M&E para visibilizar las desigualdades que limitan el desarrollo humano. Por lo tanto, el objetivo de este ensayo es fortalecer la toma de decisiones orientadas a la equidad y al desarrollo humano, tomando como caso ilustrativo la pandemia de Covid-19.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se utilizó el método deductivo explicativo donde a partir de puntos generales y contextos específicos se explica la aplicación de la interseccionalidad en el M&E de proyectos para el desarrollo. El método fue seleccionado para abordar las

premisas teóricas de los conceptos, para luego ser aplicadas a un caso. Como metodología se empleó un proceso constructivista a partir de la revisión bibliográfica de los conceptos claves planteados y los estudios descriptivos como recurso de ejemplificación. El caso utilizado como recurso de ejemplificación fue el contexto de la pandemia por Covid-19.

RESULTADOS y DISCUSIÓN

La desigualdad y su vinculación con el desarrollo humano.

El contexto de la pandemia por Covid-19 hizo visibles las desigualdades presentes en la estructura de la sociedad (Serrano 2020). El Covid-19 es una enfermedad que no hace distinción de sexo, etnia o clase social. Sin embargo, visibilizó la desigualdad que existe en las personas dependiendo del lugar que ocupan en la sociedad, respecto al acceso a la salud y repercusiones que las acciones de contención y mitigación puedan tener como consecuencia. Por ejemplo, las consecuencias económicas del aislamiento y la cuarentena al que varios países optaron como medida para la contención y mitigación del Covid-19, variaron según el sexo, área rural o urbana, entre otros factores (Serrano 2020).

La desigualdad se define como las restricciones para el bienestar de las personas, generadas a partir de estructuras de poder en la sociedad, donde la acción humana interactúa y produce su existencia causando relaciones sociales complejas relacionadas con el acceso limitado a la riqueza (PNUD 2016). Las estructuras de poder son el marco de las relaciones económicas y políticas que se visibilizan a través de organizaciones sociales o instituciones. Por lo tanto, la desigualdad, comprendida como las restricciones para el bienestar de las personas, surge a partir del desarrollo histórico de estructuras de poder donde existen dos acciones de influencia: (1) la acción humana modifica el entorno y orden social, o, (2) el entorno y el orden social histórico limitan o potencian el bienestar de la persona (PNUD 2016).

La desigualdad es un concepto aunado al desarrollo humano y su aplicación permite visibilizar las restricciones para el bienestar de las personas que limitan el desarrollo humano. Las restricciones para el bienestar son restricciones a funcionamientos que definen una vida valiosa, es decir esquemas vitales de las personas que definen su vida sobre lo que es y hace (PNUD 2016). Por ejemplo, existe una desigualdad en el acceso a servicios públicos debido al proceso de privatización, o como en el caso de los sistemas de salud, donde la privatización excluye a las personas con menores recursos económicos (Oxfam Intermón 2024).

La desigualdad refleja un mundo injusto o inequitativo cuando existen factores asociados a la identidad de las personas que restringen su bienestar, pues factores como el sexo, género, etnia, clase social determinan el lugar que ocupa una persona en la sociedad. Por esta razón las desigualdades no pueden explicarse con medidas unidimensionales, pues no se limitan

a restricciones sobre términos de ingreso y riqueza. También se debe considerar que las desigualdades pueden empezar a acumularse antes del nacimiento de la persona, ser transmitidas entre generaciones y acumularse en el transcurso de la vida, manifestándose primordialmente en la intersección entre la salud, educación y situación socioeconómica (PNUD 2019).

El desarrollo humano «es un proceso político en el que se han conformado las relaciones de poder que estructuran la sociedad» (PNUD 2016: p. 5). Ha estado relacionado con la acumulación de riqueza, sin embargo, no está arraigado al desarrollo económico, también abarca el desarrollo social, educativo, legal y de género, por mencionar algunos factores relacionados con la oportunidad que tienen las personas de potencializar su bienestar. El desarrollo humano plantea como el centro del desarrollo a las personas y el progreso de la sociedad es traducido en un mayor bienestar y mayores opciones para las personas. Los principios básicos del enfoque de derechos humanos son la equidad, la eficiencia y productividad, la participación y empoderamiento o agencia, y la sostenibilidad (PNUD 2010). Dentro de estos principios básicos resalta el concepto de equidad, que considera las características y circunstancias de cada individuo para un trato justo, más no igualitario (PNUD 2010). La equidad, asume que existen desigualdades y actúa en consecución de la justicia a partir de estas. También resalta el concepto de agencia (PNUD 2010), el cual es la capacidad de actuar de las personas y de participar en las decisiones que afectan su vida en un determinado contexto. En el contexto influyen factores personales, culturales, sociales, entre otros que condicionan el bienestar de una persona.

El Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) en su Informe sobre Desarrollo Humano (PNUD 2019), plantea que existen exclusiones que van más allá de las líneas de pobreza y el desarrollo económico, como las desigualdades relacionadas con los pueblos indígenas, género, residencias en zonas rurales, entre otras formas de exclusión que no se asocian a factores materiales sino a brechas dentro de la sociedad. También, establece que nuevas brechas de desigualdad se están visibilizando en la actualidad en torno a los avances tecnológicos, educación y cambio climático (PNUD 2019). Para comprender las brechas de desigualdad se debe definir el concepto de capacidad como «...el conjunto de funcionamientos alternativos que las personas efectivamente pueden lograr, es decir, la libertad real (libertades positivas) para alcanzar vidas con razones para valorar.» (PNUD 2016: p. 2). Las capacidades se pueden diferenciar entre: (1) capacidades básicas que se refieren a las privaciones extremas como el acceso a la educación y servicios de salud, y (2) capacidades aumentadas, que están relacionadas con áreas que actualmente están teniendo mayor importancia y se espera que sea mayor en el futuro, como es la educación a todo nivel, el acceso a Internet e innovaciones tecnológicas. Las capacidades aumentadas también se pueden comprender como la capacidad de las personas de adaptarse a cambios climáticos y tecnológicos, pues estos dos factores están teniendo

como consecuencia la aparición de nuevas brechas de desigualdad. En ese sentido, las personas que en la actualidad tienen una mayor capacidad, estarán mejor posicionadas en el futuro (PNUD 2019).

Las repercusiones de los programas implementados en el contexto de la pandemia por Covid-19 son un ejemplo claro de como las brechas de desigualdad se acentúan en las capacidades básicas y las capacidades aumentadas. Por ejemplo, en Guatemala, como parte de las acciones para disminuir el contagio, se optó por cancelar las clases presenciales a todo nivel y recurrir a un programa televisivo para difundir los contenidos (AGN 2020), sin contemplar que no todos los estudiantes tienen acceso a medios de telecomunicación y otras tecnologías. Además, la educación a través de la televisión en contraposición a la educación a través de plataformas de comunicación en Internet, presenta obvias diferencias como lo es una comunicación unilateral contra una bilateral y personalizada. Sin embargo, la desigualdad en el acceso a la educación es visible aun en los estudiantes con acceso a Internet, pues existen diferencias entre la velocidad y capacidad del Internet en conjunto al número de aparatos tecnológicos para el uso de cada estudiante (PNUD 2019). Según el censo de población del año 2018, el 78% de la población de Guatemala no cuenta con computadora (García & Orellana 2020). Por lo tanto, en relación con la publicación de PNUD (2019), se afirma que está surgiendo una nueva generación de desigualdades relacionadas al desarrollo humano, pues nuevas capacidades como el acceso a nuevas tecnologías han adquirido importancia fundamental para la mejora de la vida de las personas.

El desarrollo humano ha dado un paso adelante al no considerar al factor de ingreso y riqueza como único factor de bienestar para las personas y adoptar un enfoque multidimensional, que considera otros factores como causa de las distintas restricciones para el bienestar de las personas que limitan el desarrollo humano. Por consiguiente, la aplicación del enfoque del desarrollo humano en el empleo de proyectos permite que se establezca el bienestar de las personas como centro de la intervención y se incorporen acciones e instrumentos que visibilicen las desigualdades a favor de un trato justo. Es decir que los proyectos de desarrollo humano pueden ser vistos como un proceso de expansión de las capacidades de las personas orientadas a la equidad, donde la universalización de capacidades permita que cada persona construya una vida que considere valiosa respetando la diversidad de perspectivas que puede implicar el bienestar. Esto implica que las capacidades básicas y aumentadas no estén limitadas por sexo, género, etnia, clase social, entre otras categorías.

Para ello se debe visibilizar las desigualdades que afrontan las personas dependiendo del lugar que se ocupe en la sociedad, donde se reproducen estas relaciones sociales complejas que se traducen en experiencias asociadas a distintos factores. Partiendo de la complejidad, existen numerosas formas de entender la desigualdad que requiere de mediciones más acertadas para brindar información y respaldar la toma de decisiones.

La interseccionalidad. Existe una amplia bibliografía que abre el debate sobre la definición de interseccionalidad como una teoría o un paradigma (Viveros Vigoya 2016)). A la fecha no se cuenta con una definición establecida de interseccionalidad. Sin embargo, para efectos del presente texto se comprende la interseccionalidad como una visión de análisis interdisciplinario que comprende las desigualdades como multidimensionales al no optar por categorías de identidad únicas, sino relaciones con otras categorías en un contexto específico (Sales 2017). Por ejemplo, las desigualdades de género varían de acuerdo con otros factores como la edad, etnia o país de origen, entre otras.

El concepto fue propuesto por Kimberle Crenshaw (1991), con el propósito de explicar la exclusión de las mujeres afroamericanas en las políticas identitarias feministas y políticas antirracistas por su condición conjunta de género y etnia, debido a que en su momento estas no consideraban diferentes identidades dentro del sistema de opresión y exclusión. Crenshaw (1991) explica que en la creación de políticas identitarias comúnmente se reducen o ignoran las diferencias intergrupales, lo que en muchas ocasiones contribuye a crear tensión entre los grupos, hasta llegar a parecer que estas políticas identitarias son mutuamente excluyentes, aunque sea fácilmente observable cómo es que múltiples identidades se cruzan. Estas experiencias de diferentes identidades no se pueden comprender si se estudian por separado, como en el caso que expuso sobre las mujeres afroamericanas quienes experimentaban de forma simultánea ambos tipos de discriminación por sexo y raza.

Las diferentes identidades surgen cuando múltiples categorías se cruzan e influyen en la vida de las personas, por ejemplo, sexo, género, etnia, clase social, edad, nacionalidad, estado civil y estado migratorio, por mencionar algunas. Estas diferentes identidades conformadas por múltiples categorías no representan una suma de desigualdades, sino experiencias individuales que muestran dinámicas de privilegios y desigualdad en estructuras de poder existentes en la sociedad (Yuval-Davis 2015). Por lo que la aplicación de la interseccionalidad permite comprender aspectos estructurales que orbitan en torno al concepto de desigualdad. La interseccionalidad identifica las distintas formas en que las categorías se cruzan con otras, generando diferentes identidades que conforman experiencias individuales y permiten comprender necesidades, intereses y capacidades (Crenshaw 1991). De acuerdo con Cubillos Almendra (2015) se puede comprender la interseccionalidad como una herramienta analítica útil para la investigación para comprender las formas particulares en que el género se enlaza con otros ejes de exclusión en diferentes contextos, niveles y ámbitos.

De acuerdo con Crenshaw (1991), el proceso de categorización es en sí mismo un ejercicio del poder que dependiendo del contexto puede llegar a ser sinónimo de empoderamiento si se muestra una afirmación de resistencia y un discurso positivo de autoidentificación. En el caso de Guatemala, la autoidentificación étnica es un tema complejo que permite observar el uso del poder a través de la hegemonía étnica

“ladina” sobre la “maya”, que comúnmente se asocia a la clase económica y hasta el nivel educativo. Como experiencia personal, se ha observado (1) un discurso positivo de autoidentificación por parte de la etnia garífuna y maya; así como (2) un discurso de rechazo hacia la etnia maya que conlleva a ejercer la autoidentificación étnica ladina; y por último, (3) un discurso de rechazo ante cualquier intento de categorización étnica. Esto es un fenómeno contrario a lo que Crenshaw (1991: p. 117) afirma: *«Las estrategias clave de resistencia de los grupos desempoderados están situadas en ocupar y defender una política de localización social en lugar de vaciarlas y destruirlas»*.

Además, Crenshaw (1991) afirma que las identidades se limitan a categorías que responden a construcciones sociales donde se puede analizar cómo el poder ha agrupado a las personas en determinadas categorías empleadas para procesos de subordinación. Por lo que todas las categorías contienen un significado, se asocian a valores que promueven y en consecuencia crean jerarquías y dinámicas de privilegios. En este punto es importante señalar que al reconocer que existen diferentes identidades, a su vez se reconoce que existen desigualdades, a razón de que las diferentes identidades proveen información sobre el lugar que ocupa una persona en la sociedad y la oportunidad que en esta posición tiene de potencializar sus capacidades (Loeza 2015). Por lo tanto, la interseccionalidad permite una aproximación de análisis sobre la desigualdad más allá de la clase social que ocupa una persona en la sociedad, pues se considera que depende de otras categorías de clasificación que determinan conjuntamente el bienestar de la persona y su acceso diferenciado a las capacidades básicas y las capacidades aumentadas. Patricia H. Collins (1998) aporta que las categorías deben abordarse como elementos de un sistema social de opresión que no operan a través de focos aislados sino desde la conformación de categorías híbridas como clase-género, clase-raza, etc. (Santibañez Guerrero 2018).

Asimismo, Crenshaw (1991) afirma que *«la interseccionalidad puede darnos los medios para enfrentarnos también con otras marginaciones. Por ejemplo, la raza puede ser también una coalición entre personas heterosexuales y gays de color, y así servimos de base para criticar a las iglesias y otras instituciones culturales que reproducen el heterosexismo»* (Crenshaw, 1991: p. 120). Para un análisis orientado al desarrollo humano es de mayor utilidad realizar un análisis de interseccionalidad de las categorías para tener una visión holística que visibilice las desigualdades causadas por aspectos estructurales que impulsan dichas desigualdades. Por lo que, de acuerdo con Carmen Expósito Molina (2012), la aproximación desde la visión interseccional implica una complejidad mayor que permite comprender cómo se relacionan las categorías en un determinado contexto que potencia la igualdad o perpetúa la desigualdad. Entonces, la interseccionalidad refleja las complejidades necesarias para comprender los contextos de desigualdad. Esto concuerda con la propuesta de Leslie McCall (2005) quien es la primera autora en introducir un método

cuantitativo desde la visión interseccional, y además introduce la noción de complejidad en las relaciones de desigualdad dada por la interacción entre múltiples dimensiones y diferentes categorías que dependen del contexto. Además, McCall (2005), afirma que a partir del análisis interseccional aparecen diferentes formas de desigualdad que no pueden ser identificadas por una única categoría, sino por la interacción que se producen por los ejes de distribución (Zapata Galindo et al. 2014).

Expósito Molina (2012: p. 218) también concluye que *«la interseccionalidad aparece como una herramienta útil para conocer con más exactitud el nivel de intensidad con respecto a la desigualdad que afecta a las mujeres en función de una serie de variables y actuar en consecuencia derivando más o menos recursos sobre determinados grupos sociales. Desde esta definición es un instrumento eficaz que permite actuar más desde la equidad, que desde la igualdad propiamente entendida»*. Sobre lo cual, únicamente se hace la salvedad que la desigualdad puede ser observada desde el ángulo o categoría que se decida priorizar. Por ejemplo, en el contexto de la pandemia por Covid-19, en el caso de los Estados Unidos de América, los contagios se analizaron desde la priorización de la categoría de raza y etnia (Serrano 2020). Los datos reflejan que la población afroamericana fue la más afectada por el Covid-19, pues históricamente han tenido menor acceso a los servicios de salud, seguros, menores ingresos, menores ahorros, y son parte de la población que siguió asistiendo a su lugar de trabajo durante la cuarentena. Este análisis también se realizó desde el caso de los latinos, donde se priorizó como categoría la condición migratoria.

La aplicación de una visión interseccional permite visibilizar y analizar las desigualdades multidimensionales. La relación de categorías en un determinado contexto representa experiencias individuales que muestran dinámicas de privilegios y desigualdad en estructuras de poder en la sociedad que restringen el bienestar de las personas. Por consiguiente, al visibilizar las desigualdades por medio del análisis interseccional, se puede tomar mejores decisiones en los proyectos orientados al desarrollo humano y de esta forma, ejecutar acciones que propicien equidad en la sociedad. Consecuentemente, se propone la aplicación de la visión interseccional en el M&E de proyectos para documentar en categorías los distintos factores que restringen el bienestar de las personas, las capacidades básicas y las capacidades aumentadas.

El monitoreo y evaluación como herramienta para los proyectos de desarrollo. El M&E son herramientas que permiten llevar a cabo la elaboración, la ejecución y el cierre del proyecto, con el propósito de alcanzar las metas establecidas en los indicadores propuestos (Ortegón et al. 2005a). Su aplicación permite recolectar información para la toma de decisiones, realizar un uso eficiente de los recursos, efectuar modificaciones de metas, de focalización, de criterios de selección y brindar información para intervenciones en el futuro. El empleo del M&E ha tomado mayor relevancia de la mano de la exigencia de la rendición de cuentas y transparencia del

uso de los recursos a las entidades implementadoras. Además, su uso está asociado a la gestión basada en resultados que ha sido empleada como estrategia para la ejecución de proyectos con resultados claramente definidos, pues *«Al identificar de antemano los resultados previstos de un proyecto o programa y la forma de medir su grado de avance, es posible lograr una mejor gestión de éste y determinar si realmente se ha marcado alguna diferencia para beneficio de las personas concernidas.»* (IFRC 2011: p. 11).

Es importante distinguir que el M&E se interrelacionan, pero no pueden ser comprendidos como sinónimos. El monitoreo es un proceso continuo de análisis y observación que documenta los avances de un proceso para comprobar su eficiencia y efectividad de acuerdo con metas previamente establecidas en indicadores (Ortegón et al. 2005b). La aplicación del monitoreo es de utilidad en el desarrollo de un proyecto para identificar los logros, las debilidades y recomendar medidas correctivas para optimizar los resultados deseados expresos en las metas de los indicadores y de esta forma alcanzar su objetivo. Por otra parte, la evaluación es un proceso que se realiza en tiempos determinados con el objetivo de valorar diseño, ejecución, eficiencia, efectividad, procesos, resultados e impacto de un proyecto en ejecución o completado (Ortegón et al. 2005b).

Los indicadores son parte esencial del M&E de proyectos. Son el medio para poder realizar el M&E de un proyecto, dado que estos permiten definir los objetivos, componentes o productos esperados de la implementación, y en la etapa de ejecución muestran la ubicación del proyecto respecto a sus avances. Se define un indicador como *«la especificación cuantitativa y cualitativa para medir el logro de un objetivo, aceptada colectivamente por los involucrados en el proyecto como adecuada para lograr el objetivo correspondiente»* (Ortegón et al. 2005a: p. 30). De acuerdo con esta definición, en la construcción del indicador también debe de existir un consenso sobre qué es lo que se mide.

El M&E de proyectos para el desarrollo es un proceso riguroso que responde a criterios específicos de los indicadores. Esta característica es la que conllevó a cuestionar la aplicación de la interseccionalidad en el M&E de proyectos, debido a que se ha observado que la categorización que se realiza de las personas beneficiarias de los proyectos, al aplicar estas herramientas, responde a categorías que reproducen las estructuras sociales, y no a categorías que permitan una visión interseccional para visibilizar las desigualdades dentro de esas estructuras. En el caso de Guatemala se mantiene una lucha por el reconocimiento de las diversas etnicidades, sin embargo, en muchos casos el dato es recolectado como: indígena o no indígena. Ello reduce a dos variables diversos factores que incluyen las identidades de los guatemaltecos. También se ha tenido la experiencia de trabajar con diferentes identidades de género, que se ven invisibilizadas por la categoría de sexo. Por lo tanto, la aplicación de la visión interseccional representa un reto metodológico en la aplicación del M&E, ya que se

requiere de una documentación de categorías que aborde la complejidad de los sujetos sin caer en el reduccionismo o simplificación.

El M&E tiene la importante tarea de brindar avances y resultados a través de un proceso que implica la caracterización de las personas, por lo que es imperante que los datos recolectados permitan aplicar un análisis interseccional para revelar las diferentes identidades en las que se tiene incidencia para poder focalizar futuras acciones.

Elementos para implementar la interseccionalidad en el monitoreo y evaluación de proyectos para el desarrollo.

Para la aplicación del análisis interseccional en el M&E de proyectos se propone explorar la propuesta de la perspectiva interseccional para el estudio de desigualdades que realizó Angie Marie Hancock (2007). Esta propuesta reconoce que las categorías son dinámicas y diversas, además generan realidades y diferencias sociales al cruzarse. La propuesta también cuestiona los datos estadísticos disponibles relacionados con categorías múltiples que se consideran homogéneas, estáticas y uniformes. Por lo tanto, para la aplicación de esta propuesta se implementa la "lógica del conjunto difuso" [*Fuzzy-set logic* en inglés] para captar las diferencias y diversidades que hay dentro de los datos disponibles para una única categoría. A partir de esta se construyen las categorías sociales según los intereses, mostrando que las categorías sociales son dinámicas e históricas (Sales 2017). La revisión bibliográfica realizada para el presente ensayo, ha permitido identificar avances en la construcción de estas categorías a través de indicadores, sin embargo, se considera que su construcción recae en categorías rígidas que precisamente limitan el análisis interseccional, por ejemplo, el Conjunto de indicadores propuestos para el índice de inclusión LGBTI publicado por PNUD (2018).

Partiendo del enfoque de desarrollo humano, el consenso sobre qué se mide debe centrarse en las personas y su relación con las desigualdades que restringen su bienestar y limitan su desarrollo (CEPAL 2007). Por lo tanto, es importante que los indicadores que se construyan para el proceso de M&E contemplen la desegregación por categorías al nivel más específico de detalle posible. El detalle de información que proporcione cada indicador permitirá visibilizar las distintas identidades que se identifiquen en un análisis interseccional. En Guatemala la presentación de datos por parte del gobierno sobre el contagio de Covid-19 sufrió constantes críticas (Velásquez Pérez 2021), pues la desegregación de los datos que proporcionaron no permitió realizar un análisis interseccional. En consecuencia, no se obtuvo información detallada que permitiera conocer la identidad de la población que estaba siendo más afectada. Según Velásquez Pérez (2021, p. 19), en un primer momento los datos públicos generados por el Ministerio de Salud Pública «no se encontraban clasificados según el lugar de origen del contagio, el circuito de movilidad del contagiado, la ubicación geográfica y territorial ni por el grupo etario al que pertenecía, provocando una sensación de desconfianza y una narrativa social de la

posibilidad de subregistro que impactaría en el conteo real de los casos». Para poder aplicar un análisis que permita observar tendencias y desigualdades que la pandemia por Covid-19 tuvo como implicación en la población guatemalteca, es necesario analizar más categorías por caso como el sexo, edad, etnia, idioma natal, municipio de residencia, tipo de contagio, nacionalidad, profesión u oficio, escolaridad, entre otras. La obtención y cruce de datos detallados por categoría permitiría la construcción de identidades para poder focalizar las acciones de contención y mitigación.

Otra contribución que es importante considerar, es el uso de categorías prioritarias que realizó Yuval-Davis (2012). Por lo que se propone que para la aplicación de la visión interseccional al M&E de proyectos se establezca cuáles son las categorías prioritarias y secundarias en un determinado contexto (Sales 2017). Se debe identificar categorías transversales en la propuesta de los proyectos. Por lo general, estas están relacionadas con la inclusión de etnia, juventud, personas con discapacidad y mujeres. La identificación de categorías transversales implica su desagregación en todos los indicadores que el marco lógico del proyecto presente. Las categorías transversales deben ser identificadas como categorías prioritarias de análisis, que serán cruzadas con otras categorías secundarias dentro de un contexto determinado.

Para comprender la aplicación de estas categorías, se propone como ejemplo un programa de desarrollo organizacional cuyo diseño se focaliza en fortalecer las capacidades de las organizaciones de sociedad civil (OSC) con un enfoque de género, juventud y pertinencia étnica. A pesar de que el consenso sobre qué es lo que se mide se focaliza en las OSC, el enfoque establece las categorías transversales que deberán estar presentes en los instrumentos de recolección de datos de métodos cualitativos y cuantitativos, como las entrevistas, cuestionarios de autoevaluación, fichas de inscripción y listados de participantes. Suponiendo que un indicador es el número de OSC que reportan un incremento en sus actividades de incidencia, se podrá realizar un análisis interseccional de las categorías transversales, al recurrir al monitoreo de instrumentos de recolección de datos que cuantificará el género, juventud y pertinencia étnica de las personas representantes de OSC que participaron las actividades implementadas por el programa de desarrollo organizacional. El análisis interseccional permitirá identificar desigualdades que las categorías transversales pueden visibilizar y se podrá tomar decisiones informadas y orientadas a la equidad en para fortalecer las capacidades de las OSC.

Retomando el contexto de la pandemia por Covid-19, se propone como ejemplo el documento que ONU Mujeres Guatemala (2020) presentó sobre las dimensiones de género en la crisis del Covid-19 en Guatemala, a partir del cual destaca la categoría de género como variable dependiente en un contexto específico que implica análisis, como el porcentaje de mujeres empleadas en el sistema de salud, el aumento del

trabajo de cuidados a causa de la cuarentena y el riesgo del aumento de violencia contra las mujeres a causa de la convivencia prolongada. Además, propone como recomendación: «recolectar datos desagregados por sexo, edad y pertinencia étnica para monitorear los efectos distintos que la emergencia tiene sobre hombres y mujeres, grupos etarios y poblaciones indígenas. Esto informará la toma de decisiones y facilitará la adopción de decisiones para enfrentar esta y futuras crisis» (ONU Mujeres Guatemala 2020: p. 6). De esta forma se evidencia como el concepto de interseccionalidad ofrece elementos de análisis para desarrollar proyectos que aborden desigualdades sociales en contextos específicos.

Aunado a la identificación de categorías transversales, también se debe tomar en consideración un mayor énfasis en la recolección de datos desagregados. Parte clave del análisis interseccional es contar con los datos adecuados para tomar decisiones informadas como la focalización y hacer uso de los recursos de una forma eficaz y eficiente (FAO 2022). La recolección de datos desagregados se considera como un paso previo primordial para aplicar un análisis interseccional a las categorías e identificar las desigualdades de la población meta del proyecto. Además, puede contribuir a la inclusión de grupos que no habían sido identificados. La propuesta del énfasis en la recolección de datos se sustenta en que la desigualdad se ha simplificado en medidas resumidas, dicotómicas y datos incompletos que no ofrecen una mirada holística a la complejidad que implica la desigualdad como restricción del bienestar de las personas (Arzate Salgado 2009).

CONCLUSIONES

Las desigualdades en el bienestar de las personas no son iguales para todas, dependen de diferentes factores en un contexto determinado, por lo que existen numerosas formas de entender la desigualdad y se requiere de mediciones más acertadas para brindar información que respalde la toma de decisiones. En la mayoría de los casos, la información recabada en el M&E de los proyectos se presenta de forma general sin evidenciar las complejidades que las desigualdades representan para el desarrollo humano. En ese sentido, se reflexiona sobre la oportunidad que se está perdiendo de poder obtener más datos que permitan un aprendizaje para que los proyectos de desarrollo puedan tomar decisiones más informadas y orientadas a la equidad.

Es por esto por lo que se considera que, a partir de la implementación del análisis interseccional en el M&E, se podrá brindar información que respalde la toma de decisiones a favor de la equidad, pues permite visibilizar las diferentes las desigualdades que afrontan las personas dependiendo del lugar que se ocupe en la sociedad. Con este propósito, se debe considerar la construcción de indicadores e instrumentos de recolección de datos que contemplen la desagregación por categorías al nivel más específico de detalle posible e identificar categorías transversales en la propuesta de los proyectos, las

cuales deben ser identificadas como categorías prioritarias de análisis, que serán cruzadas con otras categorías secundarias dentro de un contexto determinado. Incorporar el análisis interseccional en el M&E permite identificar las desigualdades estructurales que afectan a la población objetivo de los proyectos. Por ejemplo, en el caso de la categoría de género, esta no debe ser vista únicamente como una variable identitaria sino también como un marco de análisis más amplio y fundamental para entender los roles sociales asignados a las personas y las estructuras y relaciones de poder. El género no debe incluirse únicamente como una variable cuantitativa, ya que su análisis permite comprender cómo se construyen socialmente los roles, responsabilidades, relaciones y jerarquías, y cómo estas estructuras influyen en la distribución del poder, el acceso a recursos, oportunidades y la toma de decisiones. Se propone, además, profundizar en el uso de categorías abiertas para la autoidentificación, como un recurso que puede enriquecer los datos que se recaban en el M&E; así como el uso de correlaciones. Sin embargo, se debe tomar en consideración que su uso puede afectar la calidad del dato, ya que las respuestas de categorías abiertas son más difíciles de codificar, analizar y comparar, además puede presentar inconsistencias al usar términos distintos para una misma referencia, lo que afecta la uniformidad de los datos. Además, como principal desafío para aplicar la interseccionalidad en el M&E de proyectos para el desarrollo, se identifica las categorías generalizadoras, que en la mayoría de los casos son impuestas por los sistemas de monitoreo de las contrapartes donantes del proyecto. Estas categorías generalizadoras obligan a invisibilizar identidades, por ejemplo, la categorización de personas transexuales en la categoría de género cuando los sistemas de monitoreo únicamente permiten el ingreso de hombres y mujeres. Ante este desafío, se reflexiona sobre la importancia de no concentrarse únicamente en los datos y considerar las mediciones cualitativas en el M&E. El estudio de caso y el diseño fenomenológico son metodologías cualitativas de investigación que pueden contribuir a visibilizar las desigualdades, por lo que se propone que se utilicen en el M&E.

La interseccionalidad enriquece, refuerza y amplía el M&E en el ciclo de proyectos de desarrollo social al no limitarse a recolectar únicamente datos, sino a analizar como diferentes categorías se entrecruzan, interactúan e impactan en la efectividad del proyecto, demostrando formas particulares de desigualdad que no pueden ser abordadas desde una sola dimensión. Por lo tanto, la interseccionalidad en el M&E permite incorporar la adaptación y toma de decisiones más informada para sustentar un ciclo de proyecto más eficiente, efectivo y eficaz, orientado al beneficio equitativo de los participantes. De esta forma, se hace un llamado a afrontar los desafíos que conlleva la recolección de datos para aplicar la interseccionalidad en el M&E de proyectos para el desarrollo, con el fin de visibilizar las diferentes las desigualdades que afrontan las personas dependiendo del lugar que se ocupe en la sociedad y que a partir de estas mediciones se tomen decisiones más informadas

y orientadas a la equidad. La aplicación del análisis interseccional permitirá reflejar las complejidades y evitar las potenciales generalizaciones en los análisis de M&E. Aplicar una visión desde la interseccionalidad al proceso M&E permite la construcción de identidades en torno a experiencias únicas, que se obtienen del proceso de cruce de categorías. Esto implica una mejora en la recolección de datos, que a partir del análisis interseccional visibilizan diferentes desigualdades que otras mediciones han generalizado.

REFERENCIAS

- AGN (Agencia Guatemalteca de Noticias). (2020). *Gobierno innova durante pandemia e impulsa educación a distancia*. [<https://agn.gt/gobierno-innova-durante-pandemia-e-impulsa-educacion-a-distancia/>]. Consultado: 24 de abril 2025.
- Arzate Salgado, J. (2009). Las desigualdades desde una perspectiva de complejidad: Hacia una epistemología teórico-normativa del conflicto social. *Revista de Paz y Conflictos* 2(1): 1-20.
- CEPAL (Comisión Económica para América Latina y el Caribe). (2005). *Manual para la evaluación de impacto de proyectos y programas de lucha contra la pobreza*. CEPAL. [<https://www.cepal.org/es/publicaciones/5605-manual-la-evaluacion-impacto-proyectos-programas-lucha-la-pobreza>]. Consultado: 24 de abril 2025.
- CEPAL (2007). *La medición de la pobreza en dimensiones distintas al ingreso*. [<https://repositorio.cepal.org/handle/11362/4760>]. Consultado: 24 de abril 2025.
- Collins, P. H. (1998). It's all in the family: Intersections of gender, race, and nation. *Hypatia*, 13(3): 62-82. [<https://doi.org/10.1111/j.1527-2001.1998.tb01370.x>]
- Crenshaw, K. (1991). Mapping the margins: Intersectionality, identity politics, and violence against women of color. *Stanford Law Review* 43(6): 1241-1299.
- Cubillos Almendra, J. (2015). La importancia de la interseccionalidad para la investigación feminista. *Oxímora. Revista Internacional de Ética y Política* 7: 119-137.
- Expósito Molina, C. (2012). ¿Qué es eso de la interseccionalidad? Aproximación al tratamiento de la diversidad desde la perspectiva de género de España. *Investigaciones Feministas* 3: 203-222. [https://doi.org/10.5209/rev_INFE.2012.v3.41146]
- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). (2022). *Practical guide for the incorporation of the intersectionality approach in sustainable rural development programmes and projects*. Santiago de Chile. [<https://www.fao.org/americas/publications/practical-guide-for-the-incorporation-of-the-intersectionality-approach-in-sustainable-rural-development-programmes-and-projects/en>]. Consultado: 24 de abril 2025.
- García, J. & Orellana, D. (2020). *Gráfica: La educación en tiempos de coronavirus*. Nómada. [<https://nomada.gt/pais/actualidad/grafica-la-educacion-en-tiempos-de-coronavirus/>]. Consultado: 24 de abril 2025.
- Hancock, A.-M. (2007). When multiplication doesn't equal quick addition: Examining intersectionality as a research paradigm. *Perspectives on Politics* 5(1): 63-79
- IFRC (Federación Internacional de Sociedades de la Cruz Roja y de la Media Luna Roja). (2011). *Guía para el seguimiento y la evaluación de proyectos y programas*. Ginebra, Suiza.
- McCall, L. (2005). The complexity of intersectionality. *Signs: Journal of Women in Culture and Society* 30(3): 1771-1800. [<https://doi.org/10.1086/426800>]
- Loeza Reyes, L. (2015). Desigualdad e injusticia social: los núcleos duros de las identidades sociales en México. *Sociológica* (Méx.) 30(84): 181-206.
- ONU Mujeres Guatemala. (2020). *Dimensiones de género en la crisis del COVID-19 en Guatemala*. PNUD, Guatemala.
- Ortegón, E., Pacheco, J. F. & Prieto, A. (2005a). *Metodología del marco lógico para la planificación, el seguimiento, la evaluación de proyectos y programas*. Serie Mundiales 42. CEPAL, Santiago de Chile, Chile.
- Ortegón, E., Pacheco, J. F. & Roura, H. (2005b). *Metodología general de identificación, preparación y evaluación de proyectos de inversión pública*. Serie Mundiales 39. CEPAL, Santiago de Chile.
- Oxfam Intermón. (2024). *Alianzas público-privadas en sanidad*. [https://www.oxfamintermon.org/es/publicacion/Alianzas_publico_privadas_en_sanidad]. Consultado: 24 de abril 2025.
- PNUD (Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo). (2010). *Guatemala: Hacia un Estado para el desarrollo humano. Informe nacional de desarrollo 2009/2010*. PNUD, Guatemala.
- PNUD. (2016). *Más allá del conflicto, luchas por el bienestar. Informe Nacional de Desarrollo Humano 2015/2016*. PNUD, Guatemala.
- PNUD. (2018). *Conjunto de indicadores propuestos para el índice de inclusión LGTBI*. PNUD, Nueva York, EE.UU.
- PNUD. (2019). *Más allá del ingreso, más allá de los promedios, más allá del presente. Desigualdades del desarrollo humano en el siglo XXI. Informe sobre Desarrollo Humano 2019*. PNUD, Nueva York, EE.UU.
- Sales Gelabert, T. 2017. Repensando la interseccionalidad desde la teoría feminista. *AGORA - Papeles de Filosofía* 36(2): 229-256. [<https://doi.org/10.15304/ag.36.2.3711>]
- Santibañez Guerrero, D. (2018). El concepto interseccionalidad en el feminismo negro de Patricia Collins. *Resonancias. Revista de Filosofía* 4:49-58.
- Serrano, C. (2020). *Coronavirus en EE.UU: El devastador impacto del covid-19 entre los afroamericanos*. BBC News Mundo. [<https://www.bbc.com/mundo/noticias-internacional-52219474>]. Consultado: 24 de abril 2025.
- Velásquez Pérez, L. G. (2021). Asesoría científica y política pública: La gestión de la pandemia en Guatemala. *Revista de Ciencia Política* 59(1): 11-33.
- Viveros Vigoya, M. (2016). La interseccionalidad: una aproximación situada a la dominación. *Debate Feminista* 52:1-17. [<https://doi.org/10.1016/j.df.2016.09.005>]
- Yuval-Davis, N. (2012). Más allá de la dicotomía del reconocimiento y la redistribución. En: Zapata Galindo, M., García Peter, S. & Chan de Avila, J. (eds), *Actas del Congreso Internacional "Indicadores Interseccionales y Medidas de Inclusión Social en Instituciones de Educación Superior" (Berlín, 23-27 Noviembre 2012)*. Proyecto Medidas para la Inclusión Social y Equidad en Instituciones de Educación Superior en América Latina (MISEAL); pp. 21-34.
- Yuval-Davis, N. (2015). Situated intersectionality and social inequality. *Raisons Politiques* 58(2): 91-100. [<https://doi.org/10.3917/rai.058.0091>]
- Zapata Galindo, M., Cuenca, A. & Puga, I. (2014). *Guía desde un enfoque interseccional. Metodología para el Diseño y Aplicación de Indicadores de Inclusión Social y Equidad en Instituciones de Educación Superior de América Latina*. MISEAL, Alemania.

Estrategias innovadoras en la enseñanza de la matemática en la educación superior

Innovative strategies for teaching mathematics in higher education

Nancy ZURITA-VILLAGRÁN^{1,*} & Amalia RUBALLOS-JUÁREZ¹

¹Departamento de Matemática, Universidad del Valle de Guatemala, Ciudad de Guatemala, Guatemala

*Correspondencia: Nancy Zurita-Villagrán (NAZurita@uvg.edu.gt)

Recibido: 20/IX/2024; Aceptado: 13/V/2025

Resumen: La investigación se centró en la revisión de la literatura sobre estrategias innovadoras para la enseñanza de la matemática en la educación superior, debido a la necesidad de replantear las prácticas docentes frente a los retos educativos actuales y promover metodologías que respondan a los cambios tecnológicos, pedagógicos y contextuales del entorno postpandemia. Los artículos seleccionados se centraron en temas como el constructivismo, el uso de Tecnologías de Información y Comunicación (TICs), la Clase Invertida, el Aprendizaje Basado en Proyectos, la gamificación y el rol del docente. Se observó un interés creciente en estrategias formativas innovadoras que transforman la experiencia de aprendizaje matemático. Se encontró que para mejorar la enseñanza de las matemáticas es necesario promover el aprendizaje significativo, cambiar el rol del docente y aplicar estrategias innovadoras. Las estrategias innovadoras incluyen el Aprendizaje Basado en Proyectos, que se basa en la idea de que los estudiantes aprenden mejor cuando están activamente involucrados en la resolución de problemas reales. El Aprendizaje Personalizado adapta el contenido y la metodología de enseñanza a las necesidades individuales de cada estudiante. La Clase Invertida es un modelo pedagógico que utiliza la tecnología para transformar la experiencia de aprendizaje. El uso de la gamificación y las TICs ha demostrado ser una herramienta poderosa para mejorar el interés y el rendimiento de los estudiantes en matemáticas. La combinación de tecnología y gamificación enriquece el proceso educativo, promoviendo la participación activa y la comprensión profunda. En conclusión, el aprendizaje y la enseñanza de las matemáticas han experimentado una transformación significativa debido al impacto de la tecnología y las metodologías innovadoras.

Palabras clave: aprendizaje basado en proyectos, aprendizaje personalizado, clase invertida, enseñanza de la matemática, gamificación, rol del docente.

Abstract: The present study focused on a literature review of innovative strategies for teaching mathematics in higher education, driven by the need to rethink teaching practices in light of current educational challenges and to promote methodologies that address the technological, pedagogical, and contextual changes in the post-pandemic environment. The selected articles centered on topics such as constructivism, the use of Information and Communication Technologies (ICTs), the Flipped Classroom, Project-Based Learning, gamification, and the role of the teacher. A growing interest was observed in innovative formative strategies that transform the mathematical learning experience. It was found that in order to improve the teaching of mathematics, it is necessary to promote meaningful learning, change the role of the teacher and apply innovative strategies. These strategies include Project-Based Learning, which is based on the idea that students learn best when they are actively involved in solving real problems. Personalized Learning adapts teaching content and methods to the individual needs of each student. The Flipped Classroom is a pedagogical model that uses technology to transform the learning experience. The use of gamification and ICT has proven to be a powerful tool to improve student's interest and performance in mathematics. The combination of technology and gamification enriches the educational process by promoting active participation and deep understanding. In conclusion, the learning and teaching of mathematics have undergone a significant transformation due to the impact of technology and innovative methodologies.

Keywords: flipped classroom, gamification, mathematics teaching, meaningful learning, project-based learning, personalized learning, role of the teacher.

INTRODUCCIÓN

La crisis educativa derivada de la pandemia de COVID-19 expuso las debilidades estructurales de los sistemas educativos a nivel global. Según la Oficina Internacional de Educación de UNESCO (2017), aproximadamente el 90% de los niños y adolescentes en todo el mundo vieron interrumpida su educación durante la pandemia, afectando a más de 1,600 millones de estudiantes. Esto provocó una interrupción significativa en el avance hacia los Objetivos de Desarrollo Sostenible, particularmente en lo relacionado a la Agenda 2030. En América Latina, la situación fue especialmente grave: más de 15 millones de estudiantes se vieron afectados por el cierre temporal de instituciones educativas, lo que provocó interrupciones en el aprendizaje y un aumento significativo en el abandono escolar (CEPAL 2022). En países como Guatemala, el impacto fue particularmente profundo: aproximadamente el 10% de los estudiantes migraron de escuelas privadas a públicas, lo que refleja una reconfiguración significativa del sistema educativo (Ham González *et al.* 2023). En consecuencia, se acentuaron las brechas de acceso, equidad y calidad educativa, revelando con mayor claridad los efectos de la desigualdad socioeconómica y digital (World Bank 2023). Este escenario subraya la necesidad de una transformación profunda en la manera en que se enseña y aprende, especialmente en disciplinas tradicionalmente consideradas complejas como la matemática.

La transformación de la educación nos ha llevado a preguntarnos cómo aprenden ahora los estudiantes. Después de la pandemia, regresar a una enseñanza tradicional en una era donde la tecnología avanza y cambia rápidamente no es factible. Por eso es necesario que los docentes desarrollen nuevas habilidades para reconocer el material adecuado, diseñar y aplicar estrategias para que los estudiantes logren las metas de aprendizaje y competencias para el mundo actual. Los desafíos a los que nos enfrentamos requieren que se pueda encontrar una metodología de la enseñanza que haga una fusión entre la educación tradicional y la enseñanza virtual (Koeswanti 2021). Como menciona Najmanovich (2019), no encontrar cosas nuevas sino ver las cosas con ojos diferentes; transformar o cambiar para recrear a partir de lo que ya se tiene quitando los malos hábitos. Para poder identificar la óptima adaptación es necesario provocar que los docentes e instituciones estén abiertas a realizar investigación en el aula. Solo de esta manera podremos generar el conocimiento y documentar las mejores prácticas para esta nueva era (Sánchez Ambríz *et al.* 2023).

Las estrategias formativas innovadoras en la enseñanza de la matemática buscan involucrar a los estudiantes en actividades que les permitan explorar, experimentar y reflexionar sobre los conceptos matemáticos, promoviendo así un aprendizaje significativo y duradero. Estas estrategias pueden incluir el uso de tecnología educativa, enfoques pedagógicos centrados en el estudiante como el aprendizaje basado en proyectos y el aprendizaje colaborativo, así como la integración de las

matemáticas en contextos del mundo real. Fomentar la curiosidad, implica abrir la puerta a la exploración y descubrimiento en lugar de presentar respuestas definitivas o hechos. Es importante promover en el estudiante la investigación, invitarle a hacerse preguntas y contribuir con la formación de conocimiento para sí mismo y sus pares, guiándole e incentivando su curiosidad (Verde Vera *et al.* 2024). En este contexto, el presente estudio buscó explorar y sistematizar experiencias y estrategias innovadoras aplicadas a la enseñanza de las matemáticas en el nivel superior a través de una revisión bibliográfica. Se parte de la premisa de que la tecnología, combinada con metodologías activas, puede mejorar la comprensión, motivación y rendimiento de los estudiantes. Así, los resultados de nuestra revisión aportan una referencia actualizada para docentes y académicos interesados en transformar sus prácticas educativas.

MATERIALES Y MÉTODOS

La metodología empleada en esta investigación se basó en una revisión sistemática de literatura relacionada al estrategias innovadoras en la enseñanza de la matemática en la educación superior entre los años 2011 y 2023.

Estrategia de búsqueda y criterios de inclusión: Para dar inicio a la búsqueda se definieron las palabras clave de la siguiente manera: (1) se hizo una búsqueda en herramientas de Inteligencia Artificial: Copilot y ChatGPT sobre investigaciones relacionadas con el tema: Estrategias innovadoras en la enseñanza de la Matemática en la educación superior; (2) de los artículos encontrados se escogieron las siguientes palabras clave: docente, matemática, estrategias innovadoras, enseñanza superior, aprendizaje basado en proyectos, clase invertida, flipped classroom, casos de éxito. Con las palabras clave se realizó ecuaciones de búsqueda con combinaciones y palabras truncadas para encontrar todos los artículos que las incluyeran. El Cuadro 1 muestra las ecuaciones de búsqueda.

Las búsquedas se realizaron en los catálogos y bases de datos tal como mencionan Arnau Sabatés & Sala Roca (2020). Los catálogos que se consultaron fueron: Google Scholar, Redalyc y Dialnet, siguiendo los siguientes criterios de inclusión: (1) relevancia temática: se seleccionaron fuentes que abordaran directamente estrategias o metodologías aplicadas en la enseñanza de las matemáticas en educación superior. (2) Actualidad: se priorizaron publicaciones realizadas entre 2014 y 2024, con énfasis en los últimos cinco años. (3) Idioma: artículos y libros en español e inglés. (4) Tipo de fuente: literatura académica arbitrada o revisada por pares. (5) Aplicabilidad: estudios que describieran experiencias prácticas, resultados medibles o recomendaciones aplicables en contextos reales de aula. (6) Calidad metodológica: se verificó que los artículos seleccionados incluyeran una descripción clara del enfoque metodológico, objetivos y conclusiones alineadas con los resultados. (7) Diversidad geográfica: se incluyeron estudios

Cuadro 1. Ecuaciones de búsqueda de publicaciones sobre estrategias innovadoras para la enseñanza de la matemática.

Table 1. Search equations for publications about innovative strategies for teaching mathematics.

Tema	Ecuación de búsqueda
Aprendizaje basado en proyectos en matemáticas	("aprendizaje basado en proyectos" OR "project-based learning") AND "enseñanza de la matemática" AND "educación superior".
Estrategias innovadoras del docente en matemática superior	(docente AND "estrategias innovadoras" AND "matemática" AND "educación superior").
Clase invertida y matemáticas	("clase invertida" OR "flipped classroom") AND "enseñanza de la matemática" AND "educación superior".
Casos de éxito en estrategias innovadoras	("casos de éxito" AND "enseñanza de la matemática" AND "estrategias innovadoras").

Cuadro 2. Resultados de la búsqueda de artículos sobre estrategias innovadoras para la enseñanza de la matemática en diferentes base de datos.

Table 2. Search results of articles on innovative strategies for teaching mathematics across different databases.

Ecuaciones de búsqueda de palabras clave	Redalyc	Dialnet	Google Scholar
docente AND matemática AND estrategias innovadoras AND enseñanza superior	6922 disponibles 15 sobre enseñanza de la matemática	11 disponibles 4 sobre enseñanza de la matemática	172 disponibles 2 sobre enseñanza de la matemática
aprendizaje basado en proyectos AND enseñanza de la matemática AND educación superior	6346 disponibles 12 sobre enseñanza de la matemática	22 disponibles 5 sobre enseñanza de la matemática	141 disponibles 0 sobre enseñanza de la matemática
clase invertida OR flipped classroom AND enseñanza de la matemática AND educación superior	4357 disponibles 10 sobre enseñanza de la matemática	6 disponibles 5 sobre enseñanza de la matemática	80 disponibles 0 sobre enseñanza de la matemática
casos AND estrategias innovadoras AND enseñanza de la Matemática	6277 disponibles 15 sobre enseñanza de la matemática	27 disponibles 5 sobre enseñanza de la matemática	431 disponibles 18 sobre enseñanza de la matemática

de distintas regiones para enriquecer el análisis con perspectivas internacionales. (8) Artículos y libros publicados entre 2014 y 2024. (9) Enfoque en educación superior. (10) Descripción de experiencias o propuestas metodológicas concretas.

De la búsqueda se encontraron 24,792 artículos y libros de los cuales 91 se relacionaban con la enseñanza de la matemática como se muestra en la siguiente tabla.

Proceso de revisión: Siguiendo el proceso de revisión (ver Arnau Sabatés & Sala Roca 2020), se identificaron 18 publicaciones (2 libros y 16 artículos) que afirman los siguientes cuestionamientos: (1) ¿Está claro donde se sitúa el estudio en el panorama de conocimiento actual? (2) ¿cuál es el tema central del estudio? (3) ¿se sabe cómo se ha conceptualizado el problema? (4) ¿se ha realizado una revisión reciente de la literatura? (5) ¿se han utilizado mayoritariamente fuentes primarias? (6) ¿se ha generado un análisis crítico de la literatura

disponible? (7) ¿se ha identificado fortalezas y debilidades de la investigación previa? (8) ¿se ha recogido las diferentes perspectivas del tema de estudio? (9) ¿la revisión que hemos hecho está libre de sesgos, conflictos de interés, presiones políticas, etc.? (10) ¿la revisión ofrece suficiente información para fundamentar el estudio y las preguntas de investigación? (11) ¿la revisión teórica ofrece suficiente información para guiar el plan de investigación, la selección de la muestra y de las técnicas de producción de información? (12) ¿el desarrollo de la literatura está conectado con la formulación de las preguntas y el diseño de tu investigación?

El Cuadro 3 muestra las fuentes según su año y país de publicación, tipo de documento (artículo y libro) y tipo de investigación. Debe tomarse en cuenta que se consideró el libro del año 1983 por ser una fuente primaria y de aporte teórico.

Cuadro 3. Publicaciones asociadas al tema estrategias innovadoras para la enseñanza de la matemática encontradas en diferentes bases de datos.

Table 3. Publications related to the topic of innovative strategies for teaching mathematics encountered in different databases.

Título	País	Año	Tipo de documento	Tipo de investigación
Psicología educativa, un punto de vista cognoscitivo	México	1983	Libro	Libro
Aprendizaje relacional de la matemática en el preuniversitario	Cuba	2011	Artículo	Cualitativo de divulgación
Flip your classroom: Reach every student in every class every day	USA	2012	Libro	Libro
Estrategias para la enseñanza de la matemática: una mirada desde los docentes en formación	Colombia	2019	Artículo	Cuantitativo descriptivo
Una revisión sistemática de la metodología flipped classroom a nivel universitario en España	España	2019	Artículo	Revisión bibliográfica
El aula invertida como metodología aplicada a estudiantes universitarios en el contexto COVID-19	Perú	2020	Artículo	Cuantitativo descriptivo
The cultivation of self-directed learning in teaching mathematics	USA	2021	Artículo	Cualitativa
Optimization of online learning with a combination of offline practices in the post-pandemic era	Indonesia	2021	Artículo	Cualitativa
Recursos audiovisuales y la calidad de la enseñanza de las matemáticas universitarias	España	2021	Artículo	Revisión bibliográfica
Las competencias para el aprendizaje de la estadística en los estudiantes de educación superior.	Ecuador	2021	Artículo	Cuantitativa y cualitativa descriptiva
Aprendizaje basado en juegos (GBL) aplicada a la enseñanza de la matemática en educación superior. Una revisión sistemática de literatura	Colombia	2021	Artículo	Revisión bibliográfica
Estrategias Educativas Implementadas en la UMT ante la Pandemia de la COVID-19	México	2022	Artículo	Cuantitativo descriptivo
The flipped classroom	USA	2022	Artículo	Cualitativo de divulgación
Flipped classroom teaching model research: A case study of "Innovation and Entrepreneurship Education and Practice"	China	2022	Artículo	Cualitativo de presentación de caso
Invirtiendo las matemáticas en los últimos cursos de secundaria mediante el uso de videos enriquecidos	España	2022	Artículo	Estudio empírico
Propuesta metodológica para el uso de geogebra en la enseñanza de funciones polinómicas	Ecuador	2022	Artículo	Cuantitativo Cuasiexperimental
Tecnología y gamificación para el aprendizaje de matemática en la educación superior	Ecuador	2022	Artículo	Cuantitativa y cualitativa descriptiva
Lo que dice la investigación sobre la enseñanza de las matemáticas a través del planteamiento de problemas	México	2023	Artículo	Documental

Después de almacenar todas las referencias bibliográficas, se llevó a cabo un proceso de lectura crítica siguiendo las recomendaciones de Calle (2016). Este proceso incluyó la identificación de las características de cada artículo, el análisis de la literatura contemplada, la revisión detallada de la metodología empleada en cada investigación, así como el

examen de los resultados obtenidos. Además, se evaluaron las discusiones e implicaciones planteadas por los autores, lo cual permitió valorar la calidad y relevancia de cada fuente. Esta etapa fue fundamental para seleccionar aquellos trabajos con mayor aporte teórico y práctico al estudio de las estrategias innovadoras en la enseñanza de la matemática.

Cuadro 4. Categorías de temas encontrados con sus citas correspondientes como resultados de la búsqueda bibliográfica.

Table 4. Categories of topics found with their corresponding citations as results of the literature search.

Categorías	Referencias
(A) Estrategias de Aprendizaje significativo	Ausubel <i>et al.</i> (1983); Toapanta-Toapanta <i>et al.</i> (2018); Bergmann & Sams (2012); Tucker (2012); Galindo-Domínguez & Bezanilla (2019); Guevara Duarez <i>et al.</i> (2020); Zhao (2023)
(B) Uso de las TIC's y la gamificación para la enseñanza de la matemática	Koeswanti (2021); Mera Miele (2022); Aguilar Enriquez <i>et al.</i> (2020); Jiménez Hernández <i>et al.</i> (2023)
(C) Rol del docente	Rodríguez Ortiz (2011); Pineda-Izasa <i>et al.</i> (2019); Zabala-Vargas <i>et al.</i> (2020); Cueva Valladolid & Yoctun Cabrera (2021); Mera Miele (2022); Cai (2023)

RESULTADOS

En el ámbito educativo, la enseñanza de la matemática ha sido tradicionalmente un desafío para muchos estudiantes, enfrentándose a conceptos abstractos y métodos de enseñanza estáticos. Sin embargo, en las últimas décadas, se ha observado un creciente interés en el desarrollo de estrategias formativas innovadoras que buscan transformar la experiencia de aprendizaje matemático en el aula. Este cambio de paradigma ha sido impulsado por la búsqueda de resultados tangibles que mejoren tanto el rendimiento académico como la comprensión profunda de los conceptos matemáticos por parte de los estudiantes. Después de la lectura de los artículos se han encontrado tres grandes temas (Cuadro 4) relacionados a las estrategias innovadoras para la enseñanza de la matemática en la educación superior.

(A) Estrategias de aprendizaje significativo

La importancia de los enfoques pedagógicos y estrategias innovadoras que se adaptan a las necesidades individuales de los estudiantes radica en su capacidad para promover un aprendizaje significativo (Ausubel *et al.* 1983) y equitativo. En un entorno educativo tan diverso, en el que los estudiantes provienen de diferentes contextos socioeconómicos, culturales y de aprendizaje, es fundamental que los educadores adopten prácticas que reconozcan y respondan a la individualidad de cada estudiante como decía Piaget (Dongo Montoya 2008). Estas prácticas no solo fomentan el éxito académico, sino que también promueven el desarrollo integral de los estudiantes, fortaleciendo su autoestima, automotivación, el desarrollo de sus factores resilientes y habilidades para alcanzar el éxito profesional y personal. Algunas estrategias para alcanzar un aprendizaje significativo son:

Aprendizaje basado en proyectos (ABP): Se fundamenta en la idea de que los estudiantes aprenden mejor cuando están activamente involucrados en la construcción de conocimiento a través de la exploración y resolución de problemas reales. Torrego Egido & Martínez Scott (2018) indicaron que ABP no

ha surgido como una moda o invención de personas que buscan lucrar con innovación educativa, sino que dicha propuesta tiene más de un siglo de antigüedad y está asociada con la crítica a la enseñanza tradicional y la búsqueda de integrar la educación con cambios sociales. Esta metodología educativa se apoya en varios principios teóricos:

- **Constructivismo:** la cual sostiene que los estudiantes construyen su propio conocimiento a través de la interacción con el entorno y la experiencia directa. En lugar de simplemente recibir información, los estudiantes participan en la construcción activa de su comprensión a través de la investigación, la reflexión y la resolución de problemas.
- **Aprendizaje activo:** los estudiantes son agentes activos en su propio proceso de aprendizaje. En lugar de ser receptores pasivos de información, los estudiantes participan activamente en la búsqueda de soluciones a problemas reales, lo que promueve una comprensión más profunda y duradera.
- **Aprendizaje colaborativo:** promueve la colaboración entre estudiantes, lo que les permite trabajar juntos en la resolución de problemas, compartir ideas y aprender unos de otros. La colaboración fomenta habilidades sociales y cognitivas importantes, como el trabajo en equipo, la comunicación efectiva y el pensamiento crítico.
- **Relevancia y contextualización:** enfatiza la importancia de conectar el aprendizaje con la vida real y el mundo exterior. Al abordar proyectos relacionados con problemas reales, los estudiantes pueden ver la relevancia y la aplicabilidad de lo que están aprendiendo, lo que aumenta su motivación y compromiso con el proceso educativo.
- **Autonomía y responsabilidad:** brinda a los estudiantes la oportunidad de tomar decisiones y asumir la responsabilidad de su propio aprendizaje. Al tener cierta autonomía sobre cómo abordan y gestionan un proyecto, los estudiantes desarrollan habilidades de autorregulación y toma de decisiones, lo cual los prepara para enfrentar desafíos futuros de manera más efectiva.

La enseñanza de las matemáticas a través del planteamiento de problemas, permite que los docentes puedan abordar la enseñanza a través de los siguientes cuestionamientos: (1) ¿Qué es el planteamiento de problemas y cómo se implementa en el aula? (2) ¿cómo deben los maestros manejar los problemas planteados por los estudiantes? (3) ¿cuál es el efecto de la instrucción del Aprendizaje Basado en el Planteamiento de Problemas (ABPP) en maestros y estudiantes? (Cai 2023)

Por lo tanto, el ABP se basa en la idea de que los estudiantes aprenden mejor cuando están activamente comprometidos en la exploración y resolución de problemas reales, colaborando con sus pares y conectando el aprendizaje con su vida cotidiana.

Aprendizaje personalizado: Se adapta el contenido, la secuencia y la metodología de enseñanza para satisfacer las necesidades individuales de cada estudiante. La Oficina Internacional de Educación de la Oficina Internacional de Educación de UNESCO (2017) indica “Poner al alumno en el centro de la escena es una forma de reconocer que la labor del docente no debe limitarse únicamente a transmitir contenidos”. Los estudiantes tienen la libertad de elegir el ritmo y el estilo de aprendizaje que mejor se adapte a ellos, lo que les permite asumir un mayor control sobre su proceso de aprendizaje. Pueden seleccionar recursos, actividades y evaluaciones que se alineen con sus intereses y habilidades, fomentando así la autodirección y la motivación intrínseca. Características clave del aprendizaje personalizado son: (1) Flexibilidad: el aprendizaje personalizado permite a los estudiantes tener más control sobre cómo, cuándo y dónde aprenden. Pueden seleccionar recursos educativos que se adapten a sus preferencias y necesidades, personalizar la velocidad de aprendizaje según sus capacidades individuales y elegir actividades alineadas con sus intereses y objetivos. (2) Tecnología: la tecnología desempeña un papel crucial en la implementación del aprendizaje personalizado. Herramientas digitales, como sistemas de aprendizaje adaptativo y plataformas en línea, analizan el progreso y preferencias de los estudiantes para ofrecer recomendaciones personalizadas. Esto permite

avanzar a su propio ritmo y recibir retroalimentación inmediata. (3) Autonomía y responsabilidad: al dar voz y elección a los estudiantes en su educación, se fomenta su motivación y compromiso con el aprendizaje. Además, desarrollan habilidades como la autorregulación, resolución de problemas y toma de decisiones, fundamentales para el éxito personal y profesional.

El aprendizaje personalizado no solo mejora la efectividad del aprendizaje, sino también empodera a los estudiantes como individuos completos. Es un enfoque poderoso que prepara a las nuevas generaciones para enfrentar los desafíos del mundo real.

Clase invertida (*Flipped Classroom*): Es un modelo pedagógico efectivo que utiliza la tecnología para transformar la experiencia de aprendizaje, enfocándose en el estudiante y promoviendo un aprendizaje más profundo y significativo (Zhao 2023). Características clave del modelo: (1) Preparación previa fuera del aula: Los estudiantes acceden a materiales de aprendizaje antes de la clase, como videos, lecturas, podcasts o simulaciones en línea. Estos recursos están diseñados para presentar conceptos clave y proporcionar una base de conocimientos sobre el tema que se explorará en clase. (2) Actividades de aprendizaje activo en el aula: Durante el tiempo en clase, los estudiantes participan en actividades interactivas y colaborativas que refuerzan y aplican los conceptos aprendidos previamente. Estas actividades pueden incluir discusiones en grupo, resolución de problemas, proyectos prácticos, debates o juegos educativos. (3) Apoyo y retroalimentación del docente: El papel del docente en el aula invertida es facilitar el aprendizaje activo y proporcionar orientación y retroalimentación personalizada a los estudiantes. El docente puede dedicar más tiempo a interactuar individualmente con los estudiantes, responder preguntas, aclarar conceptos y ofrecer apoyo adicional según las necesidades de cada estudiante (Bergmann & Sams 2012).

Hay múltiples de ventajas y beneficios del enfoque de Clase Invertida, tanto para los profesores como para los alumnos como se observa en el Cuadro 5.

Cuadro 5. Ventajas de la clase invertida
Table 5. *Advantages of “Flipped Classroom”*

Ventajas para los profesores	Ventajas para los alumnos
Los profesores dedican menos tiempo a introducir nuevos temas que permite explorar los temas con más profundidad.	Los estudiantes desarrollan habilidades de aprendizaje independiente que les permite acostumbrarse al proceso de autoaprendizaje y aprender a su propio ritmo.
Los profesores pueden crear clases más atractivas.	Los alumnos que faltan no se quedan atrás.
Los profesores pueden reutilizar los contenidos que crean.	Los estudiantes pueden profundizar sus conocimientos.
Los profesores pueden ofrecer un enfoque más personalizado, pues se facilita la identificación de aquellos que han comprendido completamente la información, aquellos que pueden necesitar orientación adicional y aquellos que pueden necesitar volver a revisar los conceptos básicos.	Los estudiantes encuentran más interesante el tiempo que pasan en clase.

Independientemente de lo novedoso del modelo siempre existen algunos desafíos para los docentes y que exige que no haya brecha digital y de desarrollo de habilidades para crear contenido digital. Además, requiere que el docente investigue diseñar apropiadamente la estrategia enseñanza-aprendizaje. Por último, existe rechazo por estudiantes acostumbrados a la enseñanza tradicional. A pesar de esto, Galindo-Domínguez & Bezanilla (2019), indican que casi la mitad de las universidades españolas ha utilizado la Clase invertida para enseñar y que aunque no existe un claro consenso sobre su efectividad en el rendimiento académico, un alto porcentaje de estudios manifestaron conclusiones generales positivas o positivas y neutra.

(B) Uso de las TIC's y la gamificación para la enseñanza de la matemática

La combinación de tecnología y gamificación en la enseñanza de las matemáticas enriquece el proceso educativo, promoviendo la participación activa, la comprensión profunda y la diversión en el aprendizaje.

Aguilar Enríquez *et al.* (2020) proponen que el uso de tecnología y gamificación se usen por parte de los docentes como estrategias para mejorar el aprendizaje de matemática y estadística en la educación superior. Destaca que más del 70% de los estudiantes no alcanzan el nivel básico en resolución de problemas matemáticos según la prueba PISA 2019. La gamificación y herramientas tecnológicas como Blippar, Minecraft y Thing-link se presentan como alternativas para fomentar habilidades de observación, análisis y síntesis en los estudiantes. Los resultados de la investigación de Aguilar Enríquez *et al.* (2020) identificaron que, al implementar estrategias de gamificación, el interés de los estudiantes por las matemáticas aumentó en un 33.5% en comparación a la educación tradicional. Se resalta la necesidad de que los docentes se capaciten en el uso de tecnología y gamificación aplicada a ciencias exactas. Concluyeron que estas estrategias fomentan una mayor interacción y trabajo cooperativo, contribuyendo al desarrollo del pensamiento lógico-matemático.

Por otro lado, Jiménez Hernández *et al.* (2023) proponen que no solamente usar una estrategia puede ser de beneficio para alcanzar el aprendizaje significativo. En su investigación, presentan el uso de la herramienta EdPuzzle para trabajar matemáticas siguiendo el modelo de clase invertida en estudiantes de 3° y 4° de Educación Secundaria Obligatoria (ESO). Se realizaron pruebas de conocimientos previos (pretest) y se analizaron las calificaciones obtenidas en el examen del primer trimestre (postest) para comparar el desempeño de los estudiantes que aprovecharon los videos enriquecidos en EdPuzzle (grupo G1) con aquellos que no lo hicieron (grupo G2). Los resultados muestran que las medianas de las calificaciones del postest fueron significativamente superiores

en el grupo G1 en comparación con el G2, tanto en 3° como en 4° curso. Además, la encuesta de satisfacción reveló una actitud muy positiva del alumnado hacia el uso de EdPuzzle en el aula de matemáticas. Estos hallazgos sugieren que el uso de EdPuzzle es una herramienta eficaz para invertir la clase de matemáticas en los últimos cursos de secundaria.

En su artículo sobre aprendizaje basado en juegos (GBL) aplicado a la enseñanza de la matemática en educación superior, Zabala Vargas *et al.* (2020) presentan una revisión sistemática de la literatura sobre el aprendizaje basado en juegos (GBL) aplicado a la enseñanza de las matemáticas en la educación superior. El objetivo fue examinar los tipos de juegos utilizados, las metodologías y los instrumentos de investigación, así como las dimensiones del comportamiento, la motivación y el desempeño de los estudiantes en estas intervenciones. Se utilizó una metodología de revisión de registros en cinco bases de datos relevantes en el área educativa. Los resultados muestran 19 estudios que abordan diferentes mediaciones orientadas al desarrollo cognitivo, emocional, afectivo, de habilidades blandas y de comportamiento. Los hallazgos permiten a investigadores e instituciones educativas analizar la relevancia y los aportes positivos de los juegos (digitales o no digitales) en los procesos de enseñanza-aprendizaje de las matemáticas en la educación superior.

(C) Rol del docente

El rol del docente en el contexto educativo está experimentando una transformación fundamental. Tradicionalmente, el docente se consideraba como el principal transmisor de conocimientos, pero en la actualidad, se espera que desempeñe un papel más activo y dinámico. El aprendizaje significativo, que va más allá de la simple memorización, requiere que el docente adopte nuevas estrategias y enfoques. Pineda-Izasa *et al.* (2019), mencionan que los docentes usualmente tienden a centrarse en el desarrollo de contenidos sin considerar las necesidades específicas de los estudiantes, que hacen poco uso de asesorías virtuales y software educativo en matemáticas y la evaluación es principalmente de carácter sumativo.

Para que, en lugar de ser un mero dispensador de información, el docente debe mejorar sus estrategias didácticas, Rodríguez Ortiz (2011) propone que ajusten a cuatro momentos: (1) Diagnóstico: Evaluar el nivel de conocimientos y habilidades de los estudiantes. (2) Orientación: Guiar a los estudiantes hacia las relaciones lógicas entre conceptos y procedimientos. (3) Ejecución: Implementar actividades que fomenten el aprendizaje relacional. (4) Evaluación: Valorar la aplicación efectiva de las relaciones lógicas en situaciones nuevas.

El docente debe dejar de ser un mero transmisor de información y convertirse en un guía activo que facilite el aprendizaje significativo de sus estudiantes utilizando diferentes estrategias

Cuadro 6. Resumen comparativo de estrategias innovadoras aplicadas a la enseñanza de la matemática en educación superior.

Table 6. Comparative summary of innovative strategies applied to mathematics teaching in higher education.

Estrategia	Ventajas	Limitaciones	Referencias teóricas	Evidencias empíricas
Aprendizaje Basado en Proyectos (ABP)	Fomenta pensamiento crítico, colaboración y conexión con problemas reales.	Requiere mayor tiempo de planificación y evaluación auténtica.	Torrego Egido & Martínez Scott (2018)	Cai (2023)
Aprendizaje Personalizado	Atiende la diversidad del alumnado y mejora la motivación.	Puede depender del acceso a plataformas adaptativas y conectividad.	Ausubel <i>et al.</i> (1983); Oficina Internacional de Educación de UNESCO- (2017)	Oficina Internacional de Educación de UNESCO (2017)
Clase Invertida	Promueve el aprendizaje activo y refuerza el contenido en el aula.	Demanda competencias digitales del docente y estudiantes.	Bergmann & Sams (2012); Zhao (2023)	Galindo-Domínguez & Bezanilla (2019)
Gamificación	Aumenta el interés y la participación de los estudiantes.	Puede ser superficial si no se vincula con objetivos pedagógicos claros.	Zabala Vargas <i>et al.</i> (2020)	Aguilar Enríquez <i>et al.</i> (2020)
Uso de TICs	Permite visualización dinámica y acceso a múltiples recursos educativos.	Requiere capacitación y adaptación de materiales a los entornos digitales.	Jiménez Hernández <i>et al.</i> (2023)	Jiménez Hernández <i>et al.</i> (2023)

DISCUSIÓN

El aprendizaje y la enseñanza de la matemática han experimentado una transformación significativa debido al impacto de la tecnología y las metodologías innovadoras. En el contexto de la pandemia COVID-19, la necesidad de adaptar los procesos educativos se ha vuelto imperativa (Ham González *et al.* 2023). Los resultados obtenidos indican que las estrategias innovadoras aplicadas en la enseñanza de la matemática en educación superior están alineadas con los objetivos del presente estudio: transformar la práctica docente, favorecer el aprendizaje significativo y mejorar el rendimiento académico. El Aprendizaje Basado en Proyectos (ABP), por ejemplo, responde directamente al objetivo de conectar los contenidos matemáticos con situaciones del mundo real. Esta metodología promueve el pensamiento crítico, la colaboración y la contextualización del aprendizaje, aunque requiere tiempo y compromiso por parte de docentes e instituciones (Cai 2023). El Aprendizaje Personalizado destaca por atender las necesidades individuales del estudiante y promover la autorregulación. Esto es clave en entornos diversos como los de América Latina. No obstante, su implementación está condicionada por el acceso a tecnologías adaptativas y el desarrollo de competencias digitales, tanto en estudiantes como docentes (Oficina Internacional de Educación de UNESCO 2017).

La Clase Invertida permite aprovechar el tiempo de clase para profundizar en los contenidos mediante el trabajo colaborativo, una ventaja significativa en comparación con clases magistrales tradicionales. Aun así, su efectividad depende de la motivación del estudiante para revisar el contenido previo y de las capacidades docentes para rediseñar materiales y estrategias (Galindo-Domínguez & Bezanilla 2019).

Por su parte, la Gamificación y el uso de TICs han demostrado incrementar el interés de los estudiantes y facilitar el aprendizaje interactivo, pero su implementación efectiva requiere formación docente específica. Investigaciones (Aguilar Enríquez *et al.* 2020; Jiménez Hernández *et al.* 2023) evidencian beneficios concretos, aunque también advierten sobre el riesgo de caer en dinámicas superficiales si no se integran con intencionalidad pedagógica.

La implementación del Aprendizaje Basado en Proyectos (ABP) en el aula requiere integrar proyectos interdisciplinarios conectados con el entorno local y el uso de plataformas como Khan Academy, EdPuzzle o Moodle para personalizar el aprendizaje. Además, se recomienda combinar clases invertidas con recursos digitales y actividades colaborativas presenciales, así como incorporar herramientas gamificadas como Kahoot, Quizizz o Minecraft: Education Edition para aumentar la motivación del estudiantado. Para aplicar estas estrategias de forma efectiva, es fundamental contar con acceso a tecnología,

conectividad, materiales adecuados y una planificación docente colaborativa, apoyada por evaluaciones diagnósticas y formativas continuas.

En conjunto, estas estrategias promueven una enseñanza más activa, participativa y adaptada a las realidades del siglo XXI. Para su implementación, es necesario promover una cultura institucional de innovación educativa que considere los recursos disponibles, la formación docente continua y el seguimiento a los resultados de aprendizaje.

En cuanto a la formación docente, se sugiere promover programas de capacitación en metodologías activas y evaluación auténtica, así como talleres enfocados en el diseño instruccional con apoyo de TICs. El fortalecimiento de comunidades de aprendizaje entre docentes también es clave para compartir experiencias e innovaciones. Finalmente, futuras investigaciones podrían explorar la aplicación longitudinal de estas estrategias en diversos contextos institucionales, analizando su impacto en el desarrollo de competencias matemáticas, el pensamiento crítico y la equidad en el proceso de enseñanza-aprendizaje.

El análisis de las estrategias innovadoras abordadas en este estudio permite concluir que su carácter innovador radica en romper con los esquemas tradicionales de enseñanza centrados en la transmisión pasiva del conocimiento. En su lugar, estas estrategias fomentan una participación activa del estudiante, lo que contribuye significativamente al aprendizaje significativo y al desarrollo de competencias clave en el área de la matemática.

REFERENCIAS

- Aguilar Enríquez, F. D., Quintana Bornot, A., Arellano Garcés, P. R. & Arévalo Bonilla, P. V. (2020). Tecnología y gamificación para el aprendizaje de matemática en la educación superior. *Revista Conectividad* 1(2): 31-51. <https://doi.org/10.37431/conectividad.v2i1.16>
- Ausubel, D. P., Novak, J. D. & Hanesian, H. (1983). *Psicología educativa: Un punto de vista cognoscitivo* (2a ed.). Trillas, México.
- Arnau Sabatés, L. & Sala Roca, J. (2020). *La revisión de la literatura científica: Pautas, procedimientos y criterios de calidad*. Departament de Teories de l'Educació i Pedagogia Social, Universitat Autònoma de Barcelona, España.
- Bergmann, J. & Sams, A. (2012). *Flip your classroom: Reach every student in every class every day*. International Society for Technology in Education. EE.UU.
- Cai, J. (2023). Lo que dice la investigación sobre la enseñanza de las matemáticas a través del planteamiento de problemas. *Educación Matemática* 35(3): 7-48. <https://doi.org/10.24844/EM3503.01>
- Calle, L. A. (2016). *Metodologías para hacer la revisión de literatura de una investigación*. Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, Ecuador.
- CEPAL (Comisión Económica para América Latina y el Caribe). (2022). *Panorama social de América Latina 2022: la transformación de la educación como base para el desarrollo sostenible*. Naciones Unidas. <https://repositorio.cepal.org/server/api/core/bitstreams/3ca376cf-edd4-4815-b392-b2a1f80ae05a/content>. Accesado: 29 de abril 2025.
- Cueva Valladolid, H. G. & Yoctun Cabrera, J. C. (2021). Recursos audiovisuales y la calidad de la enseñanza de las matemáticas universitarias. *Journal of Business and Entrepreneurial Studies*. <https://doi.org/10.37956/jbes.v0i0.220>
- Dongo Montoya, A. O. (2008). La teoría del aprendizaje de Piaget y sus consecuencias para la praxis educativa. *Revista de Investigación en Psicología* 11(1): 167-181.
- Galindo-Domínguez, H. & Bezanilla, M.-J. (2019). Una revisión sistemática de la metodología flipped classroom a nivel universitario en España. *Innoeduca: International Journal of Technology and Educational Innovation* 5(1): 81-90. <https://doi.org/10.24310/innoeduca.2019.v5i1.4470>
- Guevara Duarez, M. F., Condezo Tascas, S., Panez Villanueva, P., Saldaña del Aguila, J., Vasquez Duarez, P. & Villarruel Diaz, J. (2020). El aula invertida como metodología aplicada a estudiantes universitarios en el contexto covid-19. *Revista Pakamuros* 8(4): 3-14. <https://doi.org/10.37787/df69h438>
- Ham González, A., Vazquez, E. J. & Yanez Pagans, M. (2023). *El impacto de la pandemia de la COVID-19 en la educación guatemalteca*. Blogs del Banco Mundial. <https://blogs.worldbank.org/es/latinamerica/impacto-pandemia-covid-19-educacion-guatemala>. Accesado: 23 de abril 2025.
- Jiménez Hernández, C., Jordán Lluch, C., Magreñán Ruiz, Á. A. & Orcos Palma, L. (2023). Invirtiendo la clase de matemáticas en los últimos cursos de secundaria usando videos enriquecidos. *Innovación Educativa* 33: 1-13. <https://doi.org/10.15304/ie.33.9257>
- Koeswanti, H. D. (2021). Optimization of online learning with a combination of offline practices in the post-pandemic era. *International Journal of Elementary Education* 5(2): 315-322. <https://doi.org/10.23887/ijee.v5i2.34752>
- Mera Miele, C. C. & Fosado Tellez, O. (2022). Propuesta metodológica para el uso de geogebra en la enseñanza de funciones polinómicas. *Serie Científica de la Universidad de las Ciencias Informáticas* 15(5): 110-125.
- Najmanovich, D. (2019). Qué vemos cuando vemos... | Denise Najmanovich | TEDxPlazadeLector [Video]. YouTube. https://www.youtube.com/watch?v=t_LzznJxur4. Accesado: 23 de abril 2025.
- Oficina Internacional de Educación de la UNESCO. (2017). *Herramientas de formación para el desarrollo circular. Aprendizaje personalizado*. OIE-UNESCO, Ginebra, Suiza. https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000250057_spa. Accesado: 08 de abril 2025.
- Pineda-Izasa, W. B., Hernández-Suárez, C. A. & Rincón-Leal, O. L. (2019). Estrategias para la enseñanza de la matemática: una mirada desde los docentes en formación. *Perspectivas* 4(1): 48-53.
- Rodríguez Ortiz, M. (2011). Aprendizaje relacional de la matemática en el preuniversitario. *Cuadernos de Educación y Desarrollo* 3(29): sin número de páginas.
- Sánchez Ambriz, G., Yañez-Hernández, A. & Sánchez-Ambriz, M. L. (2023). Investigación científica y transferencia de conocimiento: ¿Desafío en la formación universitaria? *Revista Universitaria Digital de Ciencias Sociales* 14(26): No. 26. Enero-Junio 2023
- Toapanta-Toapanta, G. M., Pérez-Narváez, M. V. & Lema-Yungan, J. G. (2018). Las competencias para el aprendizaje de la estadística en los estudiantes de educación superior. *Roca: Revista Científico - Educaciones de la Provincia de Granma* 14(1): 253-266.

- Torrego Egido, L. & Martínez Scott, S. (2018). Sentido del método de proyectos en una maestra militante en los Movimientos de Renovación Pedagógica. *Revista Electrónica Interuniversitaria de Formación del Profesorado* 21(2): 1-12. <https://doi.org/10.6018/reifop.21.2.323181>
- Tucker, B. (2012). The flipped classroom. Online instruction at home frees class time for learning. *Education Next* 12(1): 82-83.
- Verde Vera, R. O., Sandoval Casas, M. B. & Pesantes Rojas, J. M. (2024). Metodologías innovadoras en la enseñanza de la matemática: un análisis sobre la efectividad y barreras emergentes. *South Florida Journal of Development* 5(9): 1-18. <https://doi.org/10.46932/sfjdv5n9-044>
- World Bank. (2023). *Informe sobre el desarrollo mundial 2023: Migrants, refugees, and societies*. World Bank, Washington DC, U.S.A. [<https://www.worldbank.org/en/publication/wdr2023>]. Accesado: 23 de abril 2025.
- Zabala-Vargas, S. A., Ardila-Segovia, D. A., García-Mora, L. H. & de Benito-Crosetti, B. L. (2020). Aprendizaje basado en juegos (GBL) aplicado a la enseñanza de la matemática en educación superior. Una revisión sistemática de literatura. *Formación Universitaria* 13(1): 13-26. <https://doi.org/10.4067/S0718-50062020000100013>
- Zhao, X. (2023) "Flipped Classroom" teaching model research: A case study of "Innovation and Entrepreneurship Education and Practice (Theory)". *Open Journal of Applied Sciences* 13(11): 2007-2013. <https://doi.org/10.4236/ojapps.2023.1311157>

Tratamiento de residuos sólidos utilizando pirólisis: explorando las posturas sobre su aplicación

Solid waste treatment using pyrolysis: exploring perspectives on its application

Luis Ernesto NÚÑEZ-GONZÁLEZ^{1,*}, Angie Nohemí VITOLA-SANCHINELLI¹ & Gamaliel Giovanni ZAMBRANO-RUANO¹

¹Centro de Procesos Industriales y Departamento de Ingeniería Química, Universidad del Valle de Guatemala, Guatemala

*Correspondence: Luis Ernesto Núñez-González (lenunez@uvg.edu.gt)

Recibido: 23/IX/2024; Aceptado: 13/VI/2025

Resumen: Ante las alarmante cifras de generación de residuos sólidos a nivel mundial y las preocupantes estadísticas de tratamiento que se les da a los mismos, se han planteado una amplia variedad de tecnologías de tratamiento de residuos sólidos. Dentro de ellas, la técnica de pirólisis representa una forma de tratamiento térmico que permite la valorización de los residuos tratados al generar biocombustibles de diferentes especificaciones que pueden comercializarse. Varios estudios se han enfocado en tipos de residuos específicos, llevando a los autores a tomar posturas con respecto a la aplicación de la técnica. Con base en esto, se elaboró una revisión de las posturas y enfoques de la aplicación de la técnica donde se determinó que los estudios publicados se pueden categorizar en una de tres siguientes posturas: (1) negativa, en donde se encuentran limitantes para su aplicación, (2) positiva parcial, en donde se visualiza la aplicación de la técnica para solamente tratar algunos tipos de residuos sólidos y en condiciones específicas, y (3) positiva total, que indica la posibilidad de abarcar múltiples tipos de residuos sólidos, llevando al desarrollo de biorefinerías. Cualquiera que sea la postura de los autores, se evidencia que el tratamiento con esta técnica genera la oportunidad de tratar residuos sólidos, por lo que con base en los estudios publicados, se determinó que el modelo de negocio que se utilice es determinante para llevar la técnica a una realidad aplicable.

Palabras clave: Biorefinerías, pirólisis, prefactibilidad, valorización de residuos sólidos.

Abstract: Given the alarming global figures on solid waste generation and the concerning statistics regarding how it is treated, a wide range of solid waste treatment technologies have been proposed. Among these, the pyrolysis technique represents a form of thermal treatment that enables the valorization of treated waste by generating biofuels of various specifications that can be commercialized. Several studies have focused on specific types of waste, leading the authors to take positions regarding the application of the technique. Based on this, a review was conducted on the positions and approaches regarding the application of the technique, which determined that the published studies can be categorized into one of the following three positions: (1) negative, where limitations for its application are identified, (2) partial positive, where the application of the technique is considered viable only for treating certain types of solid waste under specific conditions, and (3) fully positive, which suggests the potential to handle multiple types of solid waste, leading to development of biorefineries. Regardless of the authors' position, it is evident that treatment using this technique presents an opportunity for managing solid waste. Based on the published studies, it was determined that the business model adopted is decisive in making the technique a viable and applicable reality.

Keywords: Biorefinery, prefeasibility, pyrolysis, solid waste valorization.

INTRODUCCIÓN

La generación de residuos sólidos, su manejo y tratamiento son uno de los principales problemas con que la humanidad debe tratar en la actualidad. De acuerdo con Kaza *et al.* (2018), en el mundo se generan más de 2010 millones de toneladas métricas de residuos sólidos con más del 33% sin tratamiento y gestión que depende del desarrollo socioeconómico de la región. Latinoamérica es una región con baja tasa de generación de residuos sólidos, pero que contribuye con más de 231 millones de toneladas métricas anuales, de las cuales solamente el 30% son gestionados en zonas rurales (70% con descarte indiscriminado) y más del 50% son gestionados en vertederos o basureros (Kaza *et al.* 2018; Banco Mundial 2022). Esto ocasiona que se tenga problemas sanitarios y de cuidado ambiental, derivado de acumulaciones de residuos, lixiviados generados y emisiones gaseosas, que terminan por causar diferentes tipos de enfermedades, producción de olores o la generación de circunstancias que disminuyen la calidad de vida humana (Le Courtois 2012).

En Latinoamérica los principales tipos de residuos sólidos son: residuos alimenticios, cartones y papeles, y plásticos (Kaza *et al.* 2018; Banco Mundial 2022). Dentro de ellos, los plásticos suelen ser fuertemente criticados, llegan a una producción anual de más de 300 millones de toneladas métricas a nivel mundial (Ratnasari *et al.* 2017; Miandad *et al.* 2019; Núñez *et al.* 2019). Sin embargo, están hechos de hidrocarburos petroquímicos con aditivos como retardantes de llama, estabilizadores y oxidantes que dificultan su biodegradación (Gandidi *et al.* 2018). Por otro lado, los residuos alimenticios y celulósicos suelen ser menos criticados, pero generan considerables problemas de contaminación, asociados a la proliferación de plagas y emisiones gaseosas (Le Courtois 2012).

En medio de las posibilidades de tratamiento que puedan idearse, surge la técnica de pirólisis como una opción para convertir residuos sólidos en combustibles sólidos, líquidos y gaseosos. Dicha técnica es una degradación térmica de los residuos a diferentes temperaturas (300-900 °C) y velocidades de calentamiento, que se tratan en reactores especializados en ausencia de oxígeno para valorizar diferentes tipos de residuos sólidos (Rehan *et al.* 2016). Sin embargo, las posturas y enfoques de estudio de dicha técnica son variadas y no coinciden.

Para contar con la información necesaria sobre las posturas de aplicar la técnica de pirólisis y con ello identificar el tratamiento de los residuos sólidos, es esencial contar con una descripción detallada de cada uno de los puntos de vista y hallazgos científicos publicados. Por lo tanto, el objetivo de este estudio fue el presentar una clasificación de las posturas encontradas junto con un análisis de cada una de ellas con su argumentación y enfoque.

MATERIALES Y MÉTODOS

Para la consecución del objetivo buscado, se partió de una revisión exhaustiva de la literatura científica y técnica relacionada con la problemática generada de residuos sólidos en el mundo y la aplicación de la reacción de pirólisis como técnica de tratamiento de los mismos. La búsqueda se realizó utilizando los motores de búsqueda Google Scholar y Research Gate, procesando publicaciones encontradas de los años 1995 al 2025, y empleando las palabras clave: pirólisis, residuos sólidos, valorización y potencial aplicación. Las publicaciones fueron depuradas inicialmente de acuerdo a la relevancia de lo presentado, que implicó principalmente el contar con una postura clara del autor respecto a la potencial aplicación de la técnica estudiada. Posteriormente, las publicaciones finales que se presentan y citan en este artículo, se seleccionaron considerando publicaciones actualizadas y los criterios de confiabilidad, relevancia, reputación, autoridad de los autores y pertinencia, que fueron evaluados de acuerdo con el criterio profesional de los investigadores del Centro de Procesos Industriales de la Universidad del Valle de Guatemala. Esto redujo a 16 publicaciones depuradas, que fueron la base para el análisis efectuado.

El análisis de la información recopilada se abordó mediante un enfoque holístico y referencial, organizando las posturas encontradas en categorías temáticas que facilitaron la comparación entre distintos enfoques y resultados. Esta categorización incluyó aspectos técnicos, ambientales, económicos y sociales asociados a la pirólisis y su implementación en contextos de baja infraestructura. Con esto, se identificaron similitudes, diferencias y vacíos en el conocimiento actual sobre el tema.

Las posturas teóricas y técnicas fueron reforzadas mediante la incorporación de resultados típicos obtenidos en estudios representativos del área, lo que permitió validar las categorías establecidas y construir la clasificación deseada. Esta estrategia metodológica facilitó la generación de conclusiones pertinentes sobre las diferentes posturas de la aplicación de la pirólisis a residuos sólidos de composición variada. En conjunto, el método empleado fortaleció la solidez argumentativa del estudio, proporcionando una base empírica para futuras aplicaciones e investigaciones en el campo.

RESULTADOS

Se procesaron 132 posibles publicaciones de acuerdo a sus características, llegando a 16 publicaciones relevantes y representativas de las posturas encontradas, que son los analizadas en el marco de este artículo. Se determinó que muchos autores han investigado con diferentes perspectivas la técnica de pirólisis, abarcando desde la parte ambiental, hasta los detalles fisicoquímicos y cinéticos de la reacción.



Figura 1. Proceso general de reciclaje químico de plásticos y la opción de tratamiento con pirólisis, generación de energía o producción de químicos especializados (basado en Baranski 2021).

Figure 1. General process of chemical recycling of plastics and the treatment options of pyrolysis, energy generation, or production of specialized chemicals (based on Baranski 2021).

Para cada autor, el enfoque del estudio obedece a una necesidad específica, pero se logró interpretar que en general los autores consultados tienen una de las siguientes tres posturas con respecto a la aplicación de la técnica: (1) corriente y autores que visualizan una viabilidad negativa de tratar residuos sólidos con esta técnica (con únicamente dos autores argumentando en esta línea), (2) postura que reporta una viabilidad parcial, es decir, que solamente entienden o visualizan el tratamiento aplicado a un tipo particular de residuos (con 12 autores que de forma directa o indirecta evidencian esta tendencia), y (3) las posturas que reportan el potencial de la técnica, como el punto de partida de una posible Biorefinería que abarca varios posibles tipos de residuos como base para la generación de biocombustibles y otros productos (con dos autores siendo los promotores de este tipo de argumentación).

Corriente con postura negativa. Baranski (2021) y Radhakrishnan *et al.* (2023) han reportado argumentos en contra de la técnica de pirólisis, que van desde razones energéticas y técnicas, hasta las estimaciones económicas efectuadas con diferentes tipos de metodologías. Las principales limitantes encontradas son:

- **Ambientales:** Mencionando que en investigaciones previas, se ha estudiado que los fuelóleos procedentes de la pirólisis de diferentes publicaciones producen mayores emisiones de escape que el diésel obtenido directamente del procesamiento de hidrocarburos tradicionales. Se reporta entonces una posible necesidad de regulaciones técnicas para utilizar los biocombustibles producidos, pero en muchos países o regiones, la elaboración de dichas regulaciones

carece de sustento o de expertos que promuevan su correcto uso, por lo que el riesgo ambiental es evidente.

- **Energéticas:** Los fuelóleos extraídos a altas temperaturas pueden producir mayores emisiones que los producidos con otras técnicas. Además, se reporta la utilización de fuentes energéticas para obtener productos con menos potencial energético que los materiales originalmente empleados, con lo que se argumenta que no hace sentido aplicar la técnica con un balance negativo energético.
- **Tecnológicas y económicas:** En este caso, Baranski (2021) y Radhakrishnan *et al.* (2023) indican que los métodos de conversión son relativamente nuevos, con lo que se necesitan más investigaciones o estudios para elaborar normas y guías que estandaricen las actividades de recuperación de energía con esta técnica. Por otro lado, existen algunos estudios preliminares, que muestran que el proceso de conversión en combustibles con pirólisis tiene una tasa negativa de consumo energético, lo cual en términos de rentabilidad puede llegar a ser adverso si no se encuentran los modelos de negocio adecuados.

A pesar de estas limitantes (Ratnasari *et al.* 2017; Miandad *et al.* 2019), es importante comprender que como sucede con cualquier técnica de procesamiento, la pirólisis no tiene una aplicación universal, sino que representa una posible línea de tratamiento para residuos mixtos, contaminados o no procesables por otros métodos (ver Fig. 1 para lógica central publicada del proceso con plásticos). Esto implica que la técnica funciona como una última opción de valorización de residuos,

cuyo tratamiento implica que ya no puede usarse las populares 3R (Prevenir residuos, reusar y reciclar). Y además, el tratamiento implica el rompimiento de enlaces químicos para formar combustibles o monómeros funcionales, lo que se traduce en una demanda energética considerable.

Corriente con postura positiva parcial. Antal Jr. *et al.* (1996), Demirbas (2004), Sun *et al.* (2014), Ionescu & Bulmău (2019) y Viltres & Alarcón (2022) han estudiado principalmente el aprovechamiento de residuos de tipo lignocelulósico o alimenticio, generando principalmente combustibles sólidos. Dichos autores buscaron describir, analizar y aplicar métodos analíticos para la estimación del poder calorífico de los productos sólidos generados por la pirólisis de estos materiales, determinando que el impacto de las propiedades de la biomasa o masa residual y las condiciones operativas de la pirólisis son determinantes en los combustibles producidos.

A pesar de esto y debido a la amplia gama de composiciones de dichos residuos, de acuerdo con Ionescu & Bulmău (2019), se ha publicado poco sobre la relación entre los tipos de residuos y el contenido energético de los carbones generados con pirólisis, con lo que dicho campo de investigación continúa en auge a nivel de laboratorio. Por otro lado, Ionescu & Bulmău (2019) lograron determinar el valor calorífico máximo (HHV: *Higher Heating Value*) de diferentes biomásas crudas, residuos plásticos y mezclas de biomasa-residuos plásticos y sus subproductos (biocarbón y carbón vegetal), comprobando que existe una correlación entre el HHV conseguido del carbón producido y el tipo de residuos procesado. Como se muestra en Cuadro 1, diferentes porcentajes elementales componen a cada uno de los residuos estudiados.

Los resultados experimentales de esta investigación (Ionescu & Bulmău (2019) reflejaron que el contenido de cenizas es la propiedad principal que influencia en el contenido energético

de los el biocarbón/carbón, debido a que esto representa una masa que no genera energía durante el proceso de combustión. El porcentaje de materia volátil es la segunda propiedad que influencia en el HHV (Ionescu & Bulmău 2019). Además, estos autores reportan valores desde 24,000kJ/kg hasta 36,000kJ/kg para el combustible sólido en dependencia del tipo de residuo tratado, con lo que es posible competir con otros combustibles sólidos tradicionales.

Por otro lado, analizando otro tipo de residuos, muchos autores han estudiado la aplicación de pirólisis en residuos plásticos (Serrano *et al.* 2012; Ratnasari *et al.* 2017; Gandidi *et al.* 2018; Miandad *et al.* 2019). En general, han establecido que la aplicación de esta técnica con este tipo de residuos genera combustibles sólidos y líquidos con poderes caloríficos por encima de otros materiales, incluso equiparándose al poder calorífico de derivados del petróleo. Este hecho se ha correlacionado con su composición elemental, generando interés por su alto potencial, alcanzado los niveles energéticos de la combustión de diésel o gasolina.

Dentro de las técnicas empleadas para el tratamiento de plásticos y/o polímeros, Serrano *et al.* (2012) reportan buenos rendimientos y poderes caloríficos sin el uso de catalizadores, pero Miandad *et al.* (2019) especifican que los mejores rendimientos se obtienen con procesos catalizados (ver Fig. 2 para resultados obtenidos con este tipo de materiales). Dentro de estos últimos, Ratnasari *et al.* (2017) publicaron que los catalizadores más utilizados son el ZSM-5, zeolita, zeolita Y, FCC y MCM-41. Además, establecieron que las reacciones catalíticas durante la pirólisis de residuos plásticos sobre catalizadores ácidos sólidos incluyen craqueo, oligomerización, ciclación, aromatización y reacciones de isomerización, que dan como resultado mejores propiedades de los combustibles obtenidos.

Cuadro 1. Composición de los residuos analizados por análisis proximal y elemental (basado en Ionescu & Bulmău 2019, p. 79).

Table 1. Composition of the residues based on proximate and elemental analysis (based on Ionescu & Bulmău 2019, p. 79).

Tipo de Muestra	Análisis Elemental [% m/m]						Análisis Proximal [% m/m]			
	Carbono	Hidrógeno	Nitrógeno	Azufre	Oxígeno	Total	Material Volátil	Carbono Fijado	Cenizas	Total
Periódicos	47.00	7.00	2.00	1.00	43.00	100.00	88.4	3.5	8.1	100.0
Cartón	48.00	8.00	2.00	1.00	41.00	100.00	87.5	6.6	5.9	100.0
Residuos de madera	49.52	5.81	0.31	0.02	44.34	100.00	84.9	15.0	0.1	100.0
Polipropileno	85.50	12.50	1.20	0.10	0.70	100.00	99.1	0.3	0.6	100.0
Polietileno de alta densidad	84.70	14.47	0.11	0.12	0.60	100.00	99.7	0.1	0.2	100.0

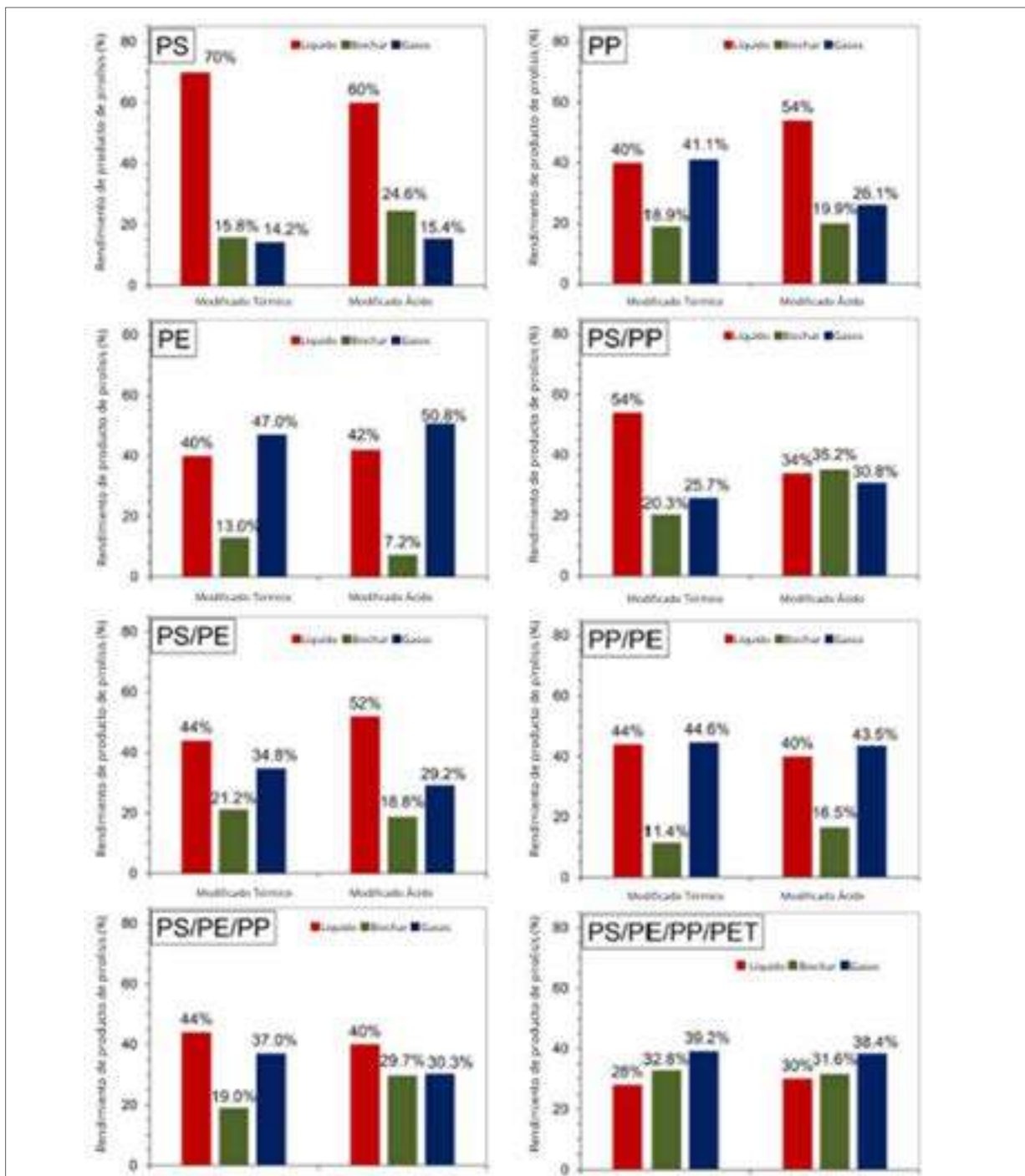


Figura 2. Rendimientos de combustibles líquido, sólido y gaseoso para polímeros puros y combinaciones de Poliestireno-PS, Polipropileno-PP, Polietileno-PE y Polietileno tereftalato-PET con tratamiento térmico y ácido (basado en Miandad *et al.* 2019, p. 5).

Figure 2. Yields of liquid, solid and gaseous fuels from pure polymers and combinations of Polystyrene-PS, Polypropylene-PP, Polyethylene-PE and Polyethylene terephthalate-PET with thermal and acid treatments (based on Miandad *et al.* 2019, p. 5).

Corriente con postura positiva total. Ratnasari *et al.* (2017) y Miandad *et al.* (2019) sostienen un enfoque con alto potencial para la pirólisis, y han generado publicaciones donde se proponen biorrefinerías basadas en dicha técnica. Dichas publicaciones indican que la técnica tiene un gran potencial para convertir residuos como el plástico y biomasa, en energía

y otros productos valiosos, para lograr el máximo económico y beneficios medioambientales.

En el estudio efectuado por Miandad *et al.* (2019), se llevó a cabo la pirólisis de diferentes tipos de residuos plásticos (poliestireno-PS, polietileno-PE, polipropileno-PP y Poliestileno tereftalato-PET) solos o mezclados en diferentes

proporciones y en presencia de catalizadores de zeolita natural (NZ) modificados. En general, la pirólisis catalítica de PS produjo un mayor aceite líquido (70 y 60%) que el PP (40 y 54%) y el PE (40 y 42%), mostrando una gama amplia de resultados en función de los catalizadores y tipo de plástico tratado. Pero lo más alentador de esta publicación es que el aceite líquido tiene un rango de valor calorífico máximo (HHV) de 41,7-44,2 MJ/kg, cercano al diésel convencional (ver Cuadro 2). Por lo tanto, tiene el potencial de ser utilizado como fuente alternativa de energía y como combustible para el transporte después de refinar o mezclar con combustibles convencionales. De esto y de los anteriores estudios con combustibles sólidos con alto poder calorífico, se sustentan Miandad *et al.* (2019) para formular su propuesta sobre biorefinerías basadas en la técnica de pirólisis.

A pesar de que, existe esta exploración práctica y teórica de la técnica, y a videos informales de casos que narran modelos de negocio exitosos, no se han encontrado publicaciones dedicadas a generar herramientas que permitan el análisis de los tipos de desechos tratados, su correlación con los productos que generan, el proceso que necesitan para efectuarse y el potencial económico que presentan. Es por esto que algunos autores mencionan que sería de mucha utilidad el hacer estudios para generar herramientas de evaluación de proyectos, diseño de plantas industriales y modelaje de reacciones químicas, que permitan esclarecer el potencial de la aplicación de la técnica desde el punto de vista técnico y económico. Por otro lado, algunos de los autores (Ionescu & Bulmău 2019) consultados mencionan que la influencia del contexto y marco legal son fundamentales para aplicar la técnica.

Cuadro 2. Valor calorífico máximo (HHV) y valor calorífico catalizado del aceite de pirólisis de diversos polímeros puros o combinados (basado en Miandad *et al.* 2019, p. 14). [Poliestireno-PS, Polipropileno-PP, Polietileno-PE y Polietilen tereftalato-PET]

Table 2. Higher heating value (HHV) and catalyzed calorific value of pyrolysis oil from various pure or combined polymers (basado on Miandad *et al.* 2019, p. 14). [Polystyrene-PS, Polypropylene-PP, Polyethylene-PE and Polyethylene terephthalate-PET]

Plásticos usados	Valor calorífico catalizado (MJ/kg)	Valor calorífico Máximo (MJ/kg)
PS	41.7	42.1
PP	43.4	42.9
PE	42.9	43.5
PS/PP	42.5	42.9
PS/PE	42.6	43.7
PP/PE	44.1	43.7
PS/PE/PP	42.4	44.2
PS/PE/PP/PET	41.9	43.7
Gasolina comercial	-	44 a 46
Diésel comercial	-	42 a 46

DISCUSIÓN

Dentro de las posturas que se encontraron durante la revisión de literatura, se encuentra una diversidad amplia de argumentos para cada postura encontrada, que van desde consumos energéticos y costos asociados a la técnica, hasta cinéticas de reacción, posibilidades de tratar múltiples residuos y técnicas de escalamiento. Pero en ninguno de los casos se ha encontrado estudios que abarquen la totalidad del proceso, sino que se presentan resultados parciales de alguna etapa o estudio específico que obedece a un vacío de conocimiento que se buscó solucionar (ver Fig. 2 y Cuadro 2). Hasta los autores como Ratnasari *et al.* (2017) y Miandad *et al.* (2019) no presentan el enfoque completo del proceso, a pesar de argumentar el alto potencial de la técnica.

Con la variedad de estudios que se categorizan en las tres posturas mencionadas, pueden encontrarse una gama amplia de residuos investigados con respecto a la posible aplicación de la técnica de pirólisis para valorizarlos (ver Cuadro 2). La mayoría de los estudios determinan que técnicamente el tratar los residuos con esta técnica, representa una forma viable para reducir la contaminación que los mismos pueden introducir al descartarse indiscriminadamente. El consenso general es que, el aplicar esta técnica genera la posibilidad de minimizar el impacto ambiental y de salud adverso que los mismos pueden tener, a la vez que se producen biocombustibles que pueden comercializarse como parte del tratamiento. Esto representa un indicio claro de una prefactibilidad técnica de aplicar este tipo de reacciones en el tratamiento de cada uno de dichos residuos estudiados.

Tomando en cuenta el alto potencial mencionado por Miandad *et al.* (2019) con las variables analizadas y los argumentos en contra que Baranski (2021) y Radhakrishnan *et al.* (2023) mencionan, se concluye de manera deductiva que la factibilidad de aplicar la técnica estudiada depende de múltiples factores, que se pueden categorizar en factores técnicos y económicos. De los 16 autores citados el 69% identifica una prefactibilidad técnica positiva y el 31% no identifica prefactibilidad positiva o negativa en su análisis de forma directa. Por el otro lado, solamente Ratnasari *et al.* (2017) y Miandad *et al.* (2019) analizaron la parte económica levemente, pero dado que en esta parte la rentabilidad e indicadores financieros son clave en la determinación de viabilidad, se deduce que el modelo de negocio que se lleve al mercado y las regulaciones medio ambientales del lugar donde busque aplicarse serán determinantes.

Otra conclusión obtenida durante el análisis es que para poder analizar prefactibilidades de modelos de negocio que apliquen la técnica de pirólisis, se necesita contar con herramientas específicas. Por un lado se encuentran las herramientas de tipo técnico, que permiten predecir los resultados del tratamiento en función del tipo de residuo como las mostradas por Ionescu

& Bulmău (2019), el tener modelos válidos de escalamiento y aplicaciones que permitan verificar la capacidad de llevar el tratamiento de cada residuo. Mientras que por otro lado, se tiene las herramientas de tipo económico que permite contar con modelos de evaluación económica de proyectos, en función de la escala y las estrategias de ventas. Estos campos de estudio, permiten la evaluación completa del proceso de tratamiento y dan la información necesaria para incentivar la utilización y aceptación de esta técnica por parte los grupos involucrados, incluyendo generadores de residuos sólidos, inversionistas y potenciales clientes de los subproductos generados. Estas líneas de investigación, sin duda son prometedoras como futuras líneas de investigación aplicada para el tratamiento y la valorización de residuos sólidos, además de las otras posibilidades de tratamiento que se han investigado para residuos contaminados o para plásticos que puedan ser complementarias a la técnica de pirólisis (ver Fig. 1).

Finalmente, es importante destacar a partir de lo analizado de los autores citados, que para cumplir con las nuevas exigencias ambientales y realizar procedimientos que involucren economía circular, la pirólisis es una de tantas transformaciones o técnicas que sumadas, tienen el potencial de aportar cambios significativos para el adecuado manejo de residuos sólidos, que lleven a la mejora de la compleja situación de tratamiento que se tiene a nivel mundial y que es uno de los grandes desafíos de nuestra era. Por esta razón, es recomendable continuar con estudios técnicos, económicos y de posible impacto social y ambiental, que se complementen y generen la información necesaria para poder tomar decisiones informadas sobre la aplicación de la técnica estudiada y otras técnicas de tratamiento.

REFERENCIAS

- Antal Jr., M. J., Croiset, E., Dai, X., DeAlmeida, C., Mok, W. S.-L. & Norberg, N. (1996). High-yield biomass charcoal. *Energy & Fuels* 10(3): 652-658. <https://doi.org/10.1021/ef9501859>
- Banco Mundial. (2022). *More growth, less garbage*. World Bank Group. [<https://www.worldbank.org/en/topic/urbandevelopment/publication/more-growth-less-garbage>]. Consultado: 3 de junio 2025.
- Baranski, A. (2021). *Plastic pyrolysis pros and cons: Converting plastics into energy*. Profolus. [<https://www.profolus.com/topics/plastic-pyrolysis-pros-and-cons-converting-plastics-into-energy/>]. Consultado: 3 de junio 2025.
- Demirbas A. (2004). Effects of temperature and particle size on bio-char yield from pyrolysis of agricultural residues. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis* 72(2): 243-248. <https://doi.org/10.1016/j.jaap.2004.07.003>
- Gandidi, I. M., Susila, M. D., Mustofa, A. & Pambudi, N. A. (2018). Thermal-catalytic cracking of real MSW into bio-crude oil. *Journal of the Energy Institute* 91: 304-310. <https://doi.org/10.1016/j.joei.2016.11.005>
- Ionescu, G., & Bulmău, C. (2019). Estimation of energy potential for solid pyrolysis by-products using analytical methods. In: *Analytical pyrolysis*, P. Kusch (ed.), IntechOpen; pp. 71-84. <http://dx.doi.org/10.5772/intechopen.80861>
- Kaza, S., Yao, L., C.; Bhada-Tata, P. & Van Woerden, F. (2018). *What a waste 2.0: A global snapshot of solid waste management to 2050*. World Bank Publications. [<https://doi.org/10.1596/978-1-4648-1329-0>]. Consultado: 3 de junio 2025.
- Le Courtois, A. (2012). Municipal solid waste: turning a problem into resource. *Private Sector & Development* 15: 1-28.
- Miandad, R., Rehan, M., Barakat, M. A., Aburizaiza, A. S., Khan, H., Ismail, I. M. I., Dhavamani, J., Gardy, J., Hassanpour, A. & Nizami, A.-S. (2019). Catalytic pyrolysis of plastic waste: Moving toward pyrolysis based biorefineries. *Frontiers in Energy Research* 7: 27. <https://doi.org/10.3389/fenrg.2019.00027>
- Núñez, L., Zambrano, G. & Rossi, C. (2019). *Plásticos biodegradables: terminología y normativa como referencia en el ámbito científico y legislativo*. Centro de Procesos Industriales, Universidad del Valle de Guatemala.
- Radhakrishnan, K., Senthil Kumar, P., Rangasamy, G., Praveen Perumal, L., Sanaulla, S., Nilavendhan, S., Manivasagan, V. & Saranya, K. (2023). A critical review on pyrolysis method as sustainable conversion of waste plastics into fuels. *Fuel* 337: 126890. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2022.126890>
- Ratnasari, D. K., Nahil, M. A. & Williams, P. T. (2017). Catalytic pyrolysis of waste plastics using staged catalysis for production of gasoline range hydrocarbon oils. *Journal of Analytic and Applied Pyrolysis* 124: 631-637. <https://doi.org/10.1016/j.jaap.2016.12.027>
- Rehan, M., Nizami, A. S., Shahzad, K., Ouda, O. K. M., Ismail, I. M. I., Almeelbi, T., et al. (2016). Pyrolytic liquid fuel: a source of renewable energy in Makkah. *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects* 38(17): 2598-2603. <http://dx.doi.org/10.1080/15567036.2016.1153753>
- Serrano, D. P., Aguado, J. & Escola, J. M. (2012). Developing advanced catalysts for the conversion of polyolefinic waste plastics into fuels and chemicals. *ACS Catalysis* 2(9): 1924-1941. <https://doi.org/10.1021/cs3003403>
- Sun, Y., Gao, B., Yao, Y., Fang, J., Zhang, M. & Zhou, Y. (2014). Effects of feedstock type, production method, and pyrolysis temperature on biochar and hydrochar properties. *Chemical Engineering Journal* 240: 574-578. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2013.10.081>
- Viltres, R. & Alarcón, A. (2022). Caracterización química del bio-aceite de pirólisis rápida de biomasa. *Revista Cubana de Química* 34(1): 131-158.

Re-framing the *Rilaj Mam* in Santiago Atitlán: A discussion of evidence which suggests the “primordial” origin of *Maximón*

Reformulando al Rilaj Mam en Santiago Atitlán: un análisis de evidencias que sugieren el origen “primordial” de Maximón

David Matthew SCHAEFER^{1,*}

¹ Department of English, Campus Altiplano and Campus Sur,
Universidad del Valle de Guatemala, Guatemala

*Correspondence: David M. Schaefer (dmschaefer@uvg.edu.gt)

Received: 18/IX/2024; Accepted: 10/VII/2025

Abstract: This work presents a discussion of evidence to better define the antiquity of a contemporary Maya tradition in Santiago Atitlán known as the *Rilaj Mam* (also known as “*Maximón*”). While the physical formation and formalization of the *Mam* (“Grandfather”) tradition may be relatively recent in its making (such as in the 19th century), the mytho-historical themes and archetypal beliefs that the tradition is argued to be rooted in are very ancient. The discussion of these themes is largely based on epigraphic and art historical sources, which are used to investigate the *Mam*’s possible relationship to sacred geography where the tradition is found, a proposed correlation between the *Mam* and a Classic Maya deity known as God L, the *Mam*’s likely association with a five-day period of the ancient solar calendar known as *Wayeb’*, and a probable connection to the ancestral Mesoamerican tree and sacred wood. The study relates to topics relevant to Maya studies such as the *Popol Vuh*, the *Haab’* calendar, and mytho-chronology, and is relevant to the study of world religions, including how ancient flood mythology may have influenced narratives bound to time and calendars.

Keywords: Contemporary Maya Spirituality, God L, *Nawal*, *Popol Vuh*, Santiago Atitlán.

Resumen: Este trabajo presenta una discusión de la evidencia para definir con más precisión la antigüedad de una tradición maya contemporánea en Santiago Atitlán conocida como el *Rilaj Mam* (también conocido como “*Maximón*”). Mientras la formación física y formulación de la tradición *Mam* (“Abuelo”) pueden ser relativamente reciente en su creación (como en el siglo XIX), los temas mito-históricos y las creencias arquetípicas en las que se argumenta que dicha tradición está arraigada son muy antiguos. La discusión de estos temas proviene principalmente de fuentes epigráficas e histórico-artísticas, las cuales se utilizan para investigar la posible relación del *Mam* con la geografía sagrada donde se encuentra la tradición, una correlación propuesta entre el *Mam* y una deidad maya clásica conocida como Dios L, la probable asociación del *Mam* con un periodo de cinco días del antiguo calendario solar conocido como *Wayeb’*, y una probable conexión con el árbol ancestral mesoamericano y la madera sagrada. El estudio aborda temas relevantes para los estudios mayas como el *Popol Vuh*, el calendario *Haab’*, y la mito-cronología, y es pertinente para los estudios de las religiones del mundo, incluyendo cómo la antigua mitología diluviana, pudo haber influido en narrativas ligadas al tiempo y los calendarios.

Palabras clave: Dios L, Espiritualidad Maya Contemporánea, *Nawal*, *Popol Vuh*, Santiago Atitlán.

INTRODUCTION

In this paper, I summarize and further elaborate upon points of my Delvas presentation to students of the Universidad del Valle de Guatemala on the subject of a famous yet deeply mysterious center of contemporary Maya spirituality at Lake Atitlán: the *Rilaj Mam* (also known as “*Maximón*”), a weekly destination for dozens of devotees and hundreds of global visitors. The aim is to present various lines of evidence suggesting that the *Mam* deity complex in this Highland Guatemalan town is not only significantly older but also more closely related to widespread Mesoamerican traditions than is generally accepted or believed. The arguments presented in this contribution are intended to bring greater clarity to the Nawal's contested identity, being that the *Rilaj Mam* is a sculpture with enormous symbolic power (Vallejo 2005) not only to those interested in understanding the origins of contemporary indigenous identity in Highland Guatemala but also to those who are threatened by these native traditions. Nathaniel Tam (also known as E. Michael Mendelson), who completed the first ethnography of Santiago Atitlán in the 1950's, once stated among many of his observations that the *Mam* was “loved by the majority of the village, and also by the tourists” (Mendelson 1957: 344). But like Lothrop (1929) from a generation before him, he also documents abuse by Catholic church officials, whose activities across multiple generations since have effectively reoriented the village away from its “Old Ways” (Carlsen 1997). The stunning rise of the Pentecostal Evangelical movement and megachurch phenomenon has put even greater pressure on the population to abandon the beliefs of grandparents and great-grandparents. While many tourists and villagers continue to view the *Mam* with curiosity and a nostalgic fondness, I have personally observed periodic hostility from locals, foreigners, and the highest-ranking regional Catholic church officials toward the *Mam* and *Cofradía* caretakers. Intolerance is also allegedly manifested through violence toward prayer-maker/carriers of the *Rilaj Mam* known as *telinels*. Two former *telinels* who I became familiar with since I came to reside in the village in 2013 were murdered, and a third, Pedro Ramírez Ixbalán (Fig. 1), disappeared in July 2024. These events, accomplished with complete impunity, are arguably comparable to the death of Maya daykeeper and “curandero” Domingo Choc Che, accused by his local community in San Luis, Petén, of witchcraft and burned in 2020, which resulted in national and international outrage as well as criminal convictions (BBC News Mundo 2020).

But in the case of Santiago Atitlán, there exists what might be considered a “crisis of perception” by which the *Rilaj Mam* is not recognized as a surviving Pre-Columbian tradition. Most individuals, including *Cofradía* members who attend the *Nawal* daily, perceive the tradition to be localized and of relatively recent origin. Sexton & Bizzaro Ujpán (1999: 141) state that the “belief in *Maximón* is of uncertain origin, but it seems to have emerged in the 19th century,” citing studies by Tax & Hinshaw



Figure 1. Pedro Ramírez Ixbalán, *telinel*, carries the *Mam* on Holy Friday, 2012.
Photo by David M. Schaefer

Figura 1. Pedro Ramírez Ixbalán, *telinel*, carga el *Mam*, viernes santo de 2012.
Foto por David M. Schaefer

(1969), Schwarz (1983), and Glittenberg (1994). This perception likely places the formation of the *Mam* on the shoulders of an eminent late-18th century Maya priest named Francisco Sojuel, a semi-mythical ancestor capable of transcending time who is “credited with instituting many, if not most, of the ritual practices currently observed in Santiago Atitlán” (Christenson 2009). Former *telinel* Juan Tacaxoy Coo often stated “500 years” - since the time of Spanish arrival and one-quarter the antiquity of Christ - as the *Mam*'s approximate age (Juan Tacaxoy Coo, pers. comm., 2024). Lacking known connections to the Mesoamerican past, it is the “ambiguous” and “equivocal” nature of the *Mam* (Mendelson 1957), which attracts some, while also creating a void onto which even well-intentioned individuals frequently project great prejudice and fear.

I must respectfully emphasize that despite the intensity of worship and authenticity of faith shown at the *Rilaj Mam* shrine in Santiago Atitlán, the figure need not be seen as purely a religious/spiritual object or one which visitors must choose to either admire or despise according to their convictions and upbringing. Rather, it is by “re-framing the *Rilaj Mam* through the lens of ancient Mesoamerican writing, art, and calendars - with the goal of identifying the mytho-historical archetypes underlying the tradition - that I believe it may come to be better understood, more respected and protected, and even admired by both the local

and international community. These perspectives may also provide evidence as to which Mesoamerican ancestors the origin beliefs of the Tz'utujil and other Highland Maya were and continue to be connected to, and how the sacred geography of Lake Atitlán was interpreted through origin beliefs. The paper, through its discussion of the *Rilaj Mam* tradition, seeks to reveal the subtle mytho-historical “undercurrent” still perceptible at the lake to this day by demonstrating its close association with related traditions in remote times and places of Mesoamerican history.

MATERIAL AND METHODS

A major hurdle when investigating questions of identity with respect to the *Rilaj Mam* is the fact that ethnographic analogy - often made through interviews, which attempt to reconstruct ancient meanings by relating them to the beliefs of contemporary peoples - has failed to provide any clarity or satisfying results. Despite interviews by Mendelson some 70 years ago, which revealed that the *Mam* was considered, by some, to be “primordial” and created “in the beginning of the world” (Mendelson 1959), his ethnography also uses words like “confusion” and “chaos” (Mendelson 1957) to describe the dozens of names, titles, and associations that circulated among the village and its visitors at that time, many which show an obvious fusion with “imported” Christianized ideas. While interviews with current visitors to the Cofradía of the Santa Cruz may provide data for certain types of investigations, personal experience has taught me that interview-based inquiry into the *Mam*'s origins is an exercise in futility. There is no agreed-upon explanation for the *Mam*'s identity or origins from anyone, neither from his traditionalist caretakers in the Cofradía, nor from academics in universities around the world, nor from the many inventive tour guides who bring national and international tourists to see the *Mam* each day of the year. In the case of the *Rilaj Mam*, it is the past which best seems to inform the present, rather than the present to inform the past - this is the theoretical perspective which has guided my method of study in constructing an understanding of the ancestor-*Nawal* presented here.

The method of inquiry by which the ancient past may be used to reconstruct modern meanings, rather than vice versa, is a privilege provided by advances in epigraphic and art historical studies in recent decades. It can now be argued that multiple, often overlapping mytho-historical themes which were important to ancient Maya identity seem to “converge” on the *Rilaj Mam* tradition and the geographical location where the tradition is said to have originated and is still found today. The following will be analyzed:

(1) Sacred Geography: The “three-ness” of majestic Lake Atitlán, with its triangular arrangement of volcanoes, with Santiago Atitlán between them, set beside the lake caldera seems to have formed a logical connection to ancient Mesoamerican narratives of time and sacred ancestors.

(2) The *Rilaj Mam* - God L Connection: In addition to a description of the two figures, four characteristics are summarized, which seem to be shared between a Classic Maya deity known as God L and contemporary *Rilaj Mam*, a relationship, which has been suggested in at least a dozen academic studies (e.g., Martin 2006, Carlson 2011).

(3) *Wayeb'* Symbolism: One of Mendelson's most important early observations about the *Rilaj Mam*, an alleged relation to *Wayeb'* - the five-day period at the end of the ancient, 365-day *Haab'* (or *Ab'*) solar calendar - is elaborated upon and shown to be tied symbolically to the popular name *Maximón*.

(4) The Ancestral Tree: The tree from which the *Mam* is made, known as *tzajtel* or *tzite'*, is seen as an expression of the ancestral Mesoamerican tree, iconographically represented in both hybrid and cross-like forms in ancient art. Primordial trees and sacred wood are shown to relate to *Wayeb'* as well as to the chronology of origin beliefs, such as in the *Popol Vuh* and hieroglyphic inscriptions known as *Ux Ahal*, the lost origins of the ballgame, at Yaxchilan.

Theoretical background

The notion that the dramatic geography of Lake Atitlán and its inhabitants may retain elements of ancestral Mesoamerican beliefs traceable to the Maya Classic period seems plausible. Yet it is the sheer magnitude of time represented here, spanning thousands of years, which stretches the limits of theoretical possibility. Claims like this may also conflict with prevailing attitudes and assumptions about Mesoamerican mythology and the ability of contemporary Mayan language speakers to maintain a worldview still oriented to such traditions. Therefore, this methodology requires additional explanation and justification. The following points are relevant considerations when attempting to compare the contemporary *Rilaj Mam* to God L, the ancestral sacred tree, and other “primordial,” archetypal beliefs:

(1) Indigenous populations of Highland Guatemala, and specifically the Tz'utujil in this case, do not show evidence of hieroglyphic writing. Attempting to connect traditions of the contemporary K'iche'-Mayan language group with more ancient ones from a distant geographical location written in entirely different languages, namely Ch'olan and/or Yucatecan, is therefore considered problematic to Classic Maya specialists who are often focused on hieroglyphic texts and the geographical areas where they are found. Similarly, the use of the Long Count calendar is not attested among the Tz'utujil or other Highland groups. Nevertheless, there is widespread agreement that the origins of the Mayan diaspora began some 4,500 years ago in the Highlands of Guatemala, only a short distance from modern Lake Atitlán (Barb MacLeod, pers. comm. 2024).

(2) Hieroglyphic texts which narrate the deeper past through dates and actions by ancient gods within the structure of the

Long Count calendar have often been labeled as “myth” or conceptualized as “just mythological” among influential academic circles. According to the modern use of these terms, this implies their inherent falsehood, or what Bricker (1981) refers to as the “antithesis” of history. While Mesoamerican peoples never differentiated between “myth” and “history” in the way that theoretical approaches do today (Boone 2000), there has been a strong preference within Mesoamerican studies to downplay the significance of 4 Ajaw 8 Kumk'u (see Thompson 1963) and other “mythological dates”, which formed the core of ancient Mesoamerican timekeeping, religion, and political order and which often feature God L, “numbered skies,” “stones,” and other key elements. However complex the reasons may be, this tendency has created bias in how ancient myths have been interpreted and presented to the public. Here I use the term “mytho-historical” when referring to the Long Count calendar and its deeper chronology of actors and events, similar to the terms “mythistory” recommended by Tedlock (1985), “theories of history” recommended by Bricker (1981), and “sacred history” suggested by Jansen & Pérez Jiménez (2007).

(3) While it is often assumed that one-to-one correspondence between the ancient and the modern naturally exists in cases of cultural continuity, there seems to exist a propensity - explained as the law of disjunction by Kubler (1969) - for original forms and meanings to be transformed, reinterpreted, and conflated over the course of many centuries and millennia. Just as Pre-Columbian beliefs have syncretically fused with Catholic saints during the past 500 years across the Americas and in places like Santiago Atitlán, disjunction states that these changes occur through natural processes, amplified in cases of intercultural contact and when passed along orally. The oldest Mesoamerican mytho-historical complexes - the original archetypes - are therefore the most likely to have undergone changes in how concepts were understood and expressed, resulting in highly localized narratives. This process not only affects the present moment but was in effect long ago, when the Classic Maya put even more ancestral beliefs (e.g., from Olmec times) into art and writing. I would also emphasize that numbers - including number-prefixed mytho-historical entities and “number-day” identified supernaturals - may be the most important surviving elements of ancient narratives because numbers are the most likely to have preserved original forms.

(4) The tendency of Mesoamerican deities to exhibit characteristics which differ by site, region, and time period has often favored a theoretical perspective whereby deities might best be conceptualized as “localized” phenomena (Gillespie & Joyce 1998). Thus, any attempt to reconstruct an “original” form or meaning of a deity is seen as counterintuitive. While cautious and conservative, this theoretical perspective is limiting in that it assumes that ancient Mesoamerican mythologies were independently contrived, such as by rulers to justify their power, and are therefore make-believe.

(5) Numerous Mesoamerican researchers, some mentioned below, have made pioneering contributions despite theoretical imitations, which demonstrate continuity and survival of beliefs across massive expanses of time and between cultures in both ancient and modern Mesoamerica. The Maize Lord, who plays a central role in Maya religion as a cultural hero who dies and is reborn again, known as *Hun Hunahpu* in the *Popol Vuh* and *Jun Ixim* in Classic Period art, has been interpreted as playing a central importance in 3,000-year-old Formative period Olmec art (Taube 1996). The Feathered Serpent complex has been found in monumental Olmec architecture at La Venta (Joralemon 1996) and appears in carvings at roughly contemporary Chalcatzingo. Lightning deity *K'awiil* has been seen to share meanings with that of Tezcatlipoca in Central Mexico (Coe 1973) and *Tohil* among the contact-period Highland K'iche' (Tedlock 1985; Valencia Rivera 2006). The identification of important *Popol Vuh*-themed monuments at Preclassic Izapa (Freidel *et al.* 1993; Guernsey 2006) verifies the antiquity of the central plot of a sacred Highland Maya book whose authenticity (because of its discovery in the early 18th century) had been subject to skepticism and doubt. Although God L, a hybrid jaguar-human, has not been identified in Formative Olmec art, it is noteworthy that were-jaguars (hybrid, jaguar-human beings) have historically been seen as playing a major theme of Olmec art (Miller & Taube 1993). In the absence of one-to-one correspondence between names and iconographic attributes, “cultural logics” (Early 2006) help bridge the gap between traditions shared by peoples from geographically separate places and times, providing a “long view” of Mesoamerican history with elements that are clearly unifying.

(6) Indigenous Mayan language-speaking peoples of Guatemala have historically been denied an ancestral connection to the ancient Maya by mainstream society (Montejo 2005). For example, origin mythology from the *Popol Vuh* and other Highland documents refer to a place of origin as *Tula*, *Tulan*, or *Tollan* - terms, which have been traditionally understood to refer to a specific geographical location in central Mexico. This and other interpretations have been used to disseminate a derogatory explanation for the origin of indigenous people in Guatemala, that of recently arrived “Mexican immigrants”; it complements the “Mayas totally disappeared” storyline, which is often repeated by elements of Guatemalan society to this day. Sachse & Christenson (2005) built a case that *Tollan* is more likely a mytho-historical place name referring to ancient conceptions of watery origin and emergence. Sachse (2006: 369) addresses the issue of outside influence on Highland Maya beliefs: “It can now be stated that although the Postclassic Highland Maya did indeed adopt some features of central Mexican religion...their religious ideas and myths were, to a large extent, the same as those of the Classic, and have survived to the present day.” With perspectives like these, one might sooner expect, rather than be surprised to find, millenia-old symbolism woven into the wooden *nawal-antewal* that is contemporary *Rilaj Mam*.

RESULTS

The study is organized into four thematic sections titled Sacred Geography, The God L - *Rilaj Mam* Connection, *Wayeb'* Symbolism, and The Ancestral Tree. They are presented in such a way that the reader is invited to observe and make logical connections between elements in each section, even though they may not be overtly stated.

Sacred Geography. The iconic beauty of Lake Atitlán excited early writer-explorers like John Lloyd Stevens and Aldous Huxley, who popularized the setting to readers around the planet, while some academics have described the lake as “one of the most beautiful places in the world” (Christenson 2009: 98). But the first, unnamed and long-forgotten visitors to the volcanic caldera arrived across thousands of years and long before the arrival of Spain to the area, a fact which is attested by local archaeology and the range of pottery and incense burners found beneath its waves (Galindo & Popenoe 2015). How did this natural environment appeal to the minds of earlier Pre-Columbian peoples, their cosmologies, and their sacred beliefs? What elements, if any, of this ancient ideology still survive at Lake Atitlán today...and is the *Rilaj Mam* one of them?

Stross (2008) stated that Mesoamerican peoples deemed certain landscapes to be sacred and inherently powerful because of their relationship to origin beliefs; these natural environments - often mountains, stones, caves, and bodies of water - play a role in preserving cultural memory and were a common destination for pilgrimage in ancient times. What may have given Lake Atitlán a sacred and powerful quality to ancient peoples, connected to beliefs of creation and origin, is the obvious and stunning “three-ness” of its volcanoes at the deep water’s edge (Bassie-Sweet 2008). It is between this massive triangular arrangement in a hidden bay where modern village life exists in *Tz’kin Jaay* (“The Bird House”), also known as Santiago Atitlán.

The tendency to organize sacred entities into groups of three is well attested and of very early origin in Mesoamerica, going back to at least Olmec times (Stross 1989; Rice 2007). Late Preclassic Izapa, the south coast site famous for having some of the earliest *Popol Vuh*-themed monuments from well before the time of Christ, has been noted as containing a triadic arrangement of pillars supporting three stones situated among symbolic primordial waters, located before the site’s most massive temple (Guernsey 2006, citing Taube 1998). Classic Maya sites such as Copan, Caracol (Fig. 2) and Ceibal were self-identified “three mountain” or “three stone” places according to inscriptions (Martin & Grube 2008). We might even take the comparison further, to the triadic temple group arrangements ubiquitous to Maya architecture, which reached unprecedented proportions in the Late Preclassic period, as seen in the El Tigre and La Danta triple-temple groups at El Mirador, Petén (Folan *et al.* 2001). Recent investigations just kilometers from modern-day Santiago Atitlán at the underwater archaeological

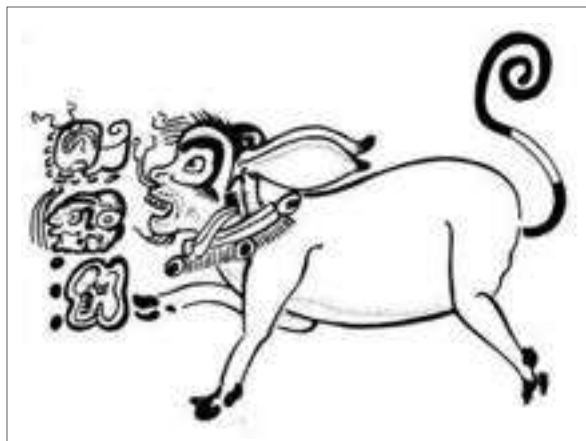


Figure 2. The “3-Mountain” placename identifies this *wahy*, a deer-monkey hybrid, from Caracol. Drawing from Helmke & Nielsen (2009): 75

Figura 2. El topónimo “3-Montaña” identifica este *wahy*, un híbrido venado-mono, de Caracol. Dibujo por Helmke & Nielsen (2009): 75

zone of Samabaj have revealed that the site was a probable pilgrimage destination containing a stela-raising tradition as well as evidence of ceramics going back to the Early Preclassic (Medrano & Rodríguez 2012).

Rare hieroglyphic inscriptions from the Maya Classic Period known today as “creation” or “era date” texts narrate the beginning of the Long Count calendar over 5,000 years in the past and consistently place it in connection with a “three stones place” (Freidel *et al.* 1993). These hieroglyphs, carved into stone, molded with stucco, and painted on ceramic vessels, are famously known from Classic Maya sites such as Palenque, Copan, Coba, Dos Pilas, and Naranjo. The Long Count calendar, Mesoamerica’s most ancient count of days, begins on the day 4 Ahau 8 Kum’u in the year 3114 B.C.E. at the “Yax Three-Stone-Nal,” with Yax (a logograph) being read as “First,” “New,” or “Blue/Green” and Nal (a logograph) being read as “place.” The “three stones” hieroglyph - likely also a logograph - has proven difficult to decipher, but accompanying hieroglyphs suggest a connection to the *jehl* (“change”) of either a k’ojob (“three stone hearth”) (Callaway 2011) or a k’oj b’aah (“face image”) related to the belt imagery of rulers (Stuart 2011); notably, these belts also often depict three massive, shining jade celts hanging from them. Whether or not the “three stones” held a physical, metaphorical, and/or chronological meaning to earlier Mesoamerican peoples, they have been identified in the iconography of Olmec art (Reilly III 1994), well over 1,000 years before such Classic Maya “creation” / “era date” texts. This makes the “three stones” not only archetypal but subject to potential evolution, reinterpretation, and regional variation with the passage of millennia.

Most relevant to the discussion of the *Rilaj Mam* presented here, the so-called “three stones of creation” have drawn comparison to the three volcanoes at Lake Atitlán by some authors (Christenson 2001; Bassie-Sweet 2008). Equally



Figure 3. God L sits on his Jaguar throne on 4 Ahau 8 Kumk'u, the Yax "Three Stone Place." Vase of the Eleven Gods (K7750) on display at LACMA. Photo by David M. Schaefer.

Figura 3. Dios L se sentó en su trono Jaguar en 4 Ahau 8 Kumk'u, el Yax "Lugar de Tres Piedras." Vaso de los Once Dioses (K7750) en exhibición en LACMA, Los Angeles, CA. Foto por David M. Schaefer.

intriguing, a pair of ceramic vessels from the Naranjo region (K2796 and K7750) show an interest in representing the cigar-smoking, jaguar-human merchant deity God L (Fig. 3) seated on a throne when Mesoamerica's most ancient count of time, the Long Count, commenced at the "three stones place." It is precisely this God L figure, which numerous investigators (Coe 1978; Miller & Taube 1993; Christenson 1998; Stanzione 2000; Vallejo 2005; Martin 2006; Grofe 2009; Carlson 2011; Nikolai Grube, pers. comm. 2012; Van Akkeren 2012; Schaefer 2018; MacKenzie 2021) have compared to the *Rilaj Mam* (also known as *Maximón*) in Santiago Atitlán.

The God L - *Rilaj Mam* Connection. The God L figure is depicted in ancient art as an old man or as a hybrid, jaguar-human supernatural with attributes such as a large hat mounted by a bird, and a cigarette or cigar in his mouth. Despite numerous studies (Coe 1973; Gillespie & Joyce 1998; Bernatz 2006; Carlson 2011; Tokovinine & Beliaev 2013), a common name which once identified God L remains elusive, and thus the alphabetic designation created by Paul Schellhas (1904) is used. The number "thirteen" has been noted to identify God L and his owl headdress (Martin 2006); out of over 50 examples

of God L in the archaeological record, about seven depict a "numbered sky" glyph in relation to God L, and three of these show the "13-Sky" glyph (the others being "9-Sky" and "12-Sky"). God L is identified by the calendar name "13-Dog" on a rare ceramic vessel (Bernatz 2006), a number-day combination that is found in a deep-time calculation at Palenque believed to correlate with the famous "Rabbit Pot" ceramic vessel, which depicts God L and contains the name *Mam* (Stuart *et al.* 1999; Wald & Carrasco 2004). According to the *Chilam B'alam* of Chumayel, mythology from the Yucatan involves a deity known as *Oxlajun-ti-Ku* ("13-God") who in the course of being defeated by a deity called *Bolon-ti-Ku* ("9-God"), is slapped, spat upon, and thrown upon his back. Martin (2006) identified this "13-God" as a reference to God L.

God L is also identified as "4-Dog" far beyond the Maya region in the western periphery at Cacaxtla, where he is depicted in a mural scene as a jaguar-human merchant traveler (Martin 2006). In a potentially extraordinary example of shared cultural logics, the name "4-Dog" identifies a primordial female in Central Mexican creation mythology of the Codex Vienna (page 49a), a creator mother named before the birth of the cultural hero, "Lord 9-Wind" (Boone 2000). God L also plays an important role in mythic contexts of the "three stones place," the Maize Lord, the Moon Goddess, and *K'awiil*. He is believed to have animal transformations (Kerr & Kerr 2005; Carlson 2011) and to relate closely to the deities *B'olon Yokte' K'uh*, a merchant deity known from the Yucatan designated as God M, and possibly to other "old" gods such as God D (Itzamna), God N (Pauhaun), and a Deer God (Barb MacLeod, pers. comm. 2024). All of these variations and associations hint at the antiquity and central importance of God L in certain mytho-historical narratives.

The *Rilaj Mam* is an approximately four-foot tall, masked, wooden statue closely guarded in the Santa Cruz Cofradía house, where he is presented alongside three Catholic images, including the Crucified Christ ("Señor Sepultado"). Handsomely dressed in boots, *skaf* (men's traditional, embroidered bird pants), a *pas* (traditional belt-wrap), a button-down shirt and coat draped over by more than a dozen scarves, and two "cowboy" hats, the *Mam* maintains a cigarette or cigar in his mouth. The figure is essentially a hybrid tree-man made from the wood of a sacred tree called *tzajtel* in Tz'utujil or *tzite'* in Kaqchikel and K'iche'. He is considered very old through the name *Mam* ("Grandfather") as well as the common epithet *saq awa*, *saq ametz'* ("white is your hair, white are your eyebrows"). The *Rilaj Mam* has dozens of names and titles, the most common being *Nawal Ala*, *Nawal Acha* ("Nawal Boy, Nawal Man"), Don Pedro (also known as "Luch"), and San Simón. Outside of the cofradía house, the name Judas Iscariot has often been applied to the *Mam* when ritually tied to a post during Catholic Holy Week, although Mendelson (1957) emphatically denied that Judas Iscariot was the *Mam*'s true or original identity, calling this a "confusion of personalities"; he documents the



Figure 4. The *Mam* was not tied to the post during Semana Santa 2023 in order to protest the *Mam-as-Judas* Iscariot identity that has long been applied. Photo by David M. Schaefer.

Figura 4. El *Mam* no fue atado al poste durante la Semana Santa 2023 para protestar la identidad *Mam-como-Judas* que ha sido aplicado desde hace mucho tiempo. Foto por David M. Schaefer.

Mam-Judas “confusion” to at least the time of Lothrop (1929). The identification of *Mam* as Judas - a connection some investigators have seen as a central aspect of the figure's syncretic identity - may have evolved as a way to rationalize the wooden statue's elevated status during the five days of Holy Week, especially following the loss of Pre-Columbian meanings and the imposition of Christian frameworks. In this interpretation, the tying of *Mam* conveniently echoes Judas's fate after his betrayal of Christ. However, Cofradía leaders in Santiago Atitlán tend to be critical of the *Mam-as-Judas* identity, sometimes radically, as was the case with former *telinel* Nicolas Gonzalez Tziná, alcalde of the Cofradía of the Santa Cruz during Holy Week in 2023. That year, Nicolas used his authority to physically remove the chapel's post and place the *Rilaj Mam* in an untied, seated position (Fig. 4) to protest the *Mam-as-Judas* narrative, which continues to dominate the village (Nicolas Gonzalez Tziná, pers. comm. 2023).

Another problematic name, San Simón, more commonly refers to a counterpart of the *Mam* found in dozens of Guatemalan villages, most famously in San Andrés Itzapa and Zunil, which has iconographic and semantic qualities distinct from the *Rilaj Mam* in Santiago Atitlán (Bell 2012). Depicted as a well-dressed Ladino and often wearing sunglasses and sporting a cane, San Simón has a following mostly among indigenous Highland Guatemalans, and also, like the *Mam*, among Ladinos and even foreigners. As observed by Mendelson (1957), visitors to the Cofradía of the Santa Cruz are often from other villages

who come to the *Rilaj Mam* in Santiago Atitlán as pilgrims, most commonly from Tz'utujil, Kaqchikel, and K'iche' communities but also from further afar; these visitors often visit San Simón shrines elsewhere, too. San Simón receives similar offerings and prayers and is celebrated on the Day of Saint Simón, October 28th, the date on which the *Mam* is now celebrated (although this appears not to have been noted by Mendelson and may be a new custom). Another problematic name with obscure origins is Don Pedro (“Luch”), believed by Mendelson (1957) to refer to the conquistador Pedro de Alvarado, himself. The *Mam*'s most “authentic” other common name - equally confusing for its numerous semantic variations and uses (Saler 1964) - is “*nawa*” (or “*nuwa*”). A loan word from Nahuatl, the term *nawal* relates to the Classic Maya *wahy* (plural *wahyob'*) complex and has semantic and linguistic connections with sleep, dreaming, spirit companions, co-essences, animal transformations, witchcraft, diseases, and powerful ancestral spirits (Stuart & Houston 1989; Helmke & Nielsen 2009; Brown 2015). All of these names, titles, and powers mentioned point to an ambiguous and transforming identity with an ability to accept all names and titles that are given. This is logical because the *Mam* is a well-known “trickster” and “shape-shifter” who can also transform into a dog or a skunk, his primary alter-egos, as well as into birds and insects.

Despite some distinctions between God L and the *Rilaj Mam* in the brief descriptions above, there are readily identifiable similarities between the pair, which point to a conservation of meaning between the deity complexes despite great chronological and geographical separation. Next, I briefly summarize these qualities:

The Cigar and Tobacco. Both God L and the *Rilaj Mam* smoke tobacco, known as *may* in Mayan languages. Famous scenes such as the Vase of the Seven Gods and a panel from the Temple of the Cross at Palenque show God L smoking a cigar. Possible astronomical symbolism of God L's cigar includes a proposal linked to comets by Milbrath (1999). God L is depicted in a series of Maya flasks (see Kerr & Kerr 2005) studied extensively by Carlson (2003), who believed that God L was probably known as *May* and considered “the personification of tobacco itself” (Carlson 2011: 209). A similar relationship to tobacco exists for the *Rilaj Mam*, who is often referred to in prayers as *May Ala*, *May Acha* (“Tobacco Boy, Tobacco Man”) and presented with lit cigarettes in his mouth during ceremonies. He also maintains an unlit cigar in his mouth outside of ceremonies, for public events, and even while “sleeping.” Contemporary sacred fire ceremonies, including those made in the company of *Mam* and especially by visitors from the Guatemalan south coast, frequently include the smoking of cigars by ritual participants. The linguistic similarity of *may* to the word “Maya” makes tobacco as well as the *Rilaj Mam* an important symbol for the origin for people who claim the Maya identity (Pedro Esquina, pers. comm. 2015).



Figure 5. God L enjoys the company of young female goddesses on the Princeton Vase. Originally published by Michael Coe (1973).

Figura 5. Dios L disfruta la compañía de las diosas jóvenes en la Vasija de Princeton. Originalmente publicado por Michael (Coe 1973).

Theme of mercantilism. Schele & Matthews (1998) described God L as the “patron” of merchants, which matches one of *Rilaj Mam*’s titles as “Lord of Merchants” (Carlsen 1997). God L is sometimes shown with a merchant’s pack, as in the Cacaxtla mural scene, as well as with a walking staff (Tokovinine & Beliaev 2013). Origin accounts of the *Rilaj Mam* in Santiago describe that he was made by the original *nawales*, ancestor merchant travelers who lived in an earlier, mytho-historical time. God L displays wealth and offerings on the Vase of the Seven Gods, similar to how *Rilaj Mam* is considered an “extremely wealthy man” because of the amount of tribute he receives (Stanzione 2000). Santiago Atitlán borders the Pacific coast and the cacao groves there, which were a source of great wealth in ancient times. It is known today as a village with a large merchant population.

Inappropriate behavior with women. The sexual transgressions of God L seemed obvious to Coe (1978) who described God L’s palace in the Princeton Vase as a “harem” where God L is surrounded by young, female goddesses (Fig. 5). Interpretations of Jaina figurines, which show an old man “toying” with a young woman have often pointed to the culprit as being God L (Kerr & Kerr 2005). This reputation for lechery God L shares with the *Rilaj Mam* (Christenson 1998). A common local origin account in Santiago Atitlán, of which there are many variations, relates the *Mam* to the theme of sexual transgression and the attempt to establish order within the community. According to this oral tradition, the *Mam*, instead of fulfilling the role for which he was created - to guard the wives of the merchant-traveler *nawales* while they were away - began sleeping with them, instead. This required the chopping down

of the wood which makes up the *Mam*’s body to its current, reduced size in order to control his sexual prowess.

Pairing with a female counterpart. At least one instance of God L paired with a female counterpart exists in Pre-Columbian art, an image which seems very significant given its relation to *Wayeb’*, as discussed below. It is from page 74 of the Dresden Codex in the famous “flood” scene (Fig. 6). In the sky above God L, from which pours a multitude of water, hangs a hybrid female deity identifiable as Goddess O, or Ixchel in the Yucatan, where she is known as the patroness of feminine activities such as weaving. In Santiago Atitlán, the *Rilaj Mam* is paired with a female counterpart known as the *Nawal Ixoc* (“*Nawal* Woman”) (Fig. 7). Having names including Maria Castellana and Maria B’atzbal, Mendelson (1959) and Christenson (1998) considered



Figure 6. Detail of Dresden Codex page 74, the flood scene with God L and Goddess O.

Figura 6. Detalle del Códice de Dresde página 74, la inundación, con Dios L y Diosa O.



Figure 7. The *Nawal Ixq*, female counterpart to the *Rilaj Mam* in Santiago Atitlán, 2023. Photo by David M. Schaefer.

Figura 7. La *Nawal Ixq*, contraparte femenina del *Rilaj Mam* en Santiago Atitlán, 2023. Foto por David M. Schaefer.

her to be the equivalent of the creator female *Xmukane* in the *Popol Vuh*. She is made from the *tzajitel* / *tzite'* tree, smokes tobacco, and is known as the patroness of weaving. Receiving daily prayers much like the *Rilaj Mam*, the *Nawal Ixq* is safeguarded away from daily public view in the house of the *telinel*.

Wayeb' Symbolism. Researchers have suggested that a syncretism in Maya communities exists between the ancient *Wayeb'* / New Year's ceremonies and post-contact, pre-Easter Holy Week, with Mendelson (1959) stating: "There appear to be certain parallelisms between Atiteco holy week and the Uayeb rites." *Wayeb'*, first studied by bishop Diego de Landa, is considered the five "delicate" days at the end of the *Haab'* 365-day calendar before the "seating" of the first month of the new year, known as *Pop* in contact-period Yucatan. This calendar has been noted for its agricultural functionality (Tozzer 1941; Thompson 1950) as well as for its ability to order public ritual, especially "ceremonies occurring at the start of the new year" (Rice 2007 citing Edmonson 1988). Although the Pre-Columbian calendars were not given importance in Santiago Atitlán by the time of Mendelson's initial studies, it should be stressed that at least 56 indigenous communities from the same cultural zone retained some use of the 260-day calendar and/or a variation of the 365-day calendar by the mid-20th century (Rice 2007 citing Gossen 1974); another study states that some 34 Ixil, Mam, and Pokomchi towns preserved remnants of the months of the ancient 365-day cycle (Tedlock 1992). Therefore, the possibility exists that Catholic Holy Week - with its shared theme of termination, sacrifice, and renewal - took the place of this most important, ancient five-day period at some point in the village's history. As Stanzione (2000) suggested, the predictable pre-Easter nearly full moon was also favorable for the nocturnal activities of Santiago Atitlán's Holy Week, which he considered to be a "disguised" form of ancient *Wayeb'*.

Holy Week activities in Santiago involving the *Rilaj Mam* as they currently exist are briefly summarized here, emphasizing interesting remnants from Pre-Columbian times that have been proposed: (1) **Holy Monday.** Around sunset and well into the night, the *Mam*'s clothes are washed upon three stones by male *cofradia* members at the edge of the Santiago bay. Christenson (1998) proposed that these three stones represent the "three stones of creation" set among primordial waters. These three stones are then painstakingly carried to the house of the third *cofrade*, where they traditionally remain until the following *Semana Santa*, to be used by the next *cofradia* that receives the Santa Cruz *Cofradía*. Meanwhile, the *Mam*'s clothes return, in procession, to the house of the *telinel* to dry. (2) **Holy Tuesday.** Early in the night, the *telinel* carries the *Mam*'s clothes and pair of hats on his back in a procession to the *cofradia* house. Under the cover of darkness, with lights off and cell phone use prohibited, the *Mam* is reconstructed by the *telinel* with help from the third and fourth *cofrades*, who are collectively hidden from view behind reed mats. About an hour later, the *Mam* is "reborn" or "renewed," revealed to the public with entirely new boots, new clothes, a new mask, new hats, and so on. Lying on his back on a fresh reed mat and new pillow, he may not be touched by human hands and is guarded throughout the night. (3) **Holy Wednesday.** In the morning, the *Mam* is processed upon the *telinel*'s shoulder to the municipality, where he symbolically "takes rulership over the community" (Christenson 1998). Hours later, the *Mam* is again processed, this time to his chapel below the Catholic church and immediately tied to the permanent post there. In my view, this is when the *Mam* becomes "*Maximón*" for the first time all year (discussed below). Immediately behind and extending above are the limbs and leaves of a *tney* tree to represent the sacred ceiba tree (Vallejo 2005; Pédrón-Colombani 2014). Here, *Maximón* remains publicly visible day and night for over 48 hours. (4) **Holy Thursday.** *Maximón* remains tied to the post, publicly visible all day and all night. (5) **Holy Friday.** Christ is crucified at noon on a cross placed in the *rumuxux ruchulew*, the symbolic navel of the earth, before the main altar at the center of the Catholic church. At about 3:00 p.m., the image of Christ enters its glass coffin and is processed down the stairs of the church to the plaza. In the late afternoon, the *Mam* is untied from his post and hoisted onto the shoulder of the *telinel*. With much excitement and fanfare, the *Mam* joins the procession of Christ (Fig. 1), eventually returning to the Santa Cruz *Cofradía* according to the *telinel*'s discretion and ability to carry its weight. Mendelson (1959, cited by Christenson 1998) claims that *Mam* was ritually dismembered at this point, a detail that Pédrón-Colombani (2014) traced back to at least 1973; I have not personally observed this dismemberment and have only witnessed the weekend pass in which the *Mam* is considered to be "resting" upstairs in the *Cofradía* house (Juan Pakach Ramírez, pers. comm. 2018).

The importance of a *Mam* figure has been documented in Maya communities where *Wayeb'* was once observed. An early Spanish priest to the Yucatan, Diego Lopez de Cogolludo (1688) wrote: "They had a wooden idol....and offered him things to eat and other gifts in a festival called Uayeyab. And at the end of the festival, they undressed him and threw the pieces of wood to the ground without giving him any more reverence. And this idol they called Mam" (Christenson 1998; also Mendelson 1959 citing Tozzer 1941). Thompson (1970: 298-299) argued: "Clearly the Yucatec and Atilán Mams are the same personage." The symbolism of a defeated *Mam* at the end of Holy Week has also been noted to exist elsewhere in Guatemala among the K'iche' and Kaqchikel. Martin (2006 citing Bunzel 1952) mentioned that the image there was "publicly stripped of his clothes at the end of his reign and beaten, kicked, and burned by boys"; he compared this to the defeat of *Oxlajunt-Ku* ("13-God") in the *Chilam B'alam* of Chumayel and further confirmed (p. 182): "A vestige of God L survives in Highland Guatemala in the complex character of *Maximón*, or more properly *Rilaj Mam*." Ceramic vessel scenes picturing God L being stripped and losing his power, with the Maize Lord in triumph, have also been likened to the *Popol Vuh* story (Coe 1978; Freidel *et al.* 1993).

The significance of Holy Week as a symbolic termination of an approximately 365-day year, symbolized by the re-creation, tying, and sacrifice of the *Mam*, makes sense in terms of the Mesoamerican ideology of "tying" or "bundling" completed units of time. The binding of *Mam* really represents the binding of time, the completion of the old "sun" at the end of the year (Stanzione 2000). Girard (1995) similarly noted that the Maya as well as Central Mexican cultures regarded completed time cycles as being "tied." According to Carlsen's explanation (1997), *Maximón* refers not to San Simón but to the Tz'utujil words *Ma*, or Mister, and *xim*, meaning "knot". It seems likely that this act of publicly tying the *Mam* to a post for much of Holy Week produced the popular name *Maximón*, which means roughly "The Tied One," "The Bound One," or "He, the Knotted One."

The completion or "tying" of the 365-day year at *Wayeb'* represented much more than the start of a new solar and agricultural cycle; *Wayeb'* was once tied to mytho-historical beliefs involving the destruction of the previous world and the creation of the new. Most famously, it is page 74 of the Dresden Codex (Fig. 6), which shows the flood scene linking *Wayeb'* visually to God L and Goddess O (Freidel *et al.* 1993; Miller & Taube 1993). In the *Chilam B'alam* of Chumayel, the sacrifice of a crocodile is one of the key events in the termination of the previous creation by flood (Roys 1933), an event which was recreated during the five days of *Wayeb'* (Pugh 2001 citing Taube 1988). This crocodile, known in the Yucatan as *Itzam Kab' Ayin*, "embodies the concept of completion and renewal appearing in Maya cosmology and calendrics" (Taube 1989: 9). The flood which ended the previous creation is associated with the raising of "world trees" with color and directional

symbolism, as well as the *Yax* ("first"/"Blue-Green") tree in the center according to the *Chilam B'alam*. Recent work on the *Chumayel* document by Knowlton (2010: 67) suggests that the raising of the central *Yax* ("first"/"Blue-Green") tree represents "an embodiment of memory of a past age" following the flood.

The Ancestral Tree. According to Schele & Matthews (1998: 19), God L was a "powerful god who destroyed the previous Creation by flood." Stanzione (2000: 48) described the *Mam* as "a creation from another era, making him a powerful boundary-crossing being" and "the last of the wooden beings left behind from a 'Sun' that no longer exists." Grofe (2009) and Van Akkeren (2012) associated the *Rilaj Mam* with the wooden people in the *Popol Vuh*, the race of human ancestors who lived during the previous, antediluvian creation. According to the *Popol Vuh*, the previous race of humans was created from precisely the same wood as the *Rilaj Mam*: "A flood was produced by Heart of Sky; a huge deluge formed, which fell upon the heads of the wooden ones. Of *tzite'* was made the flesh of the people.... But they didn't think, they didn't speak to their Creator, their Former, who had made them, who had created them. And for that reason they died...." (Recinos 1947; translated from Spanish by the author).

The *Rilaj Mam*'s construction from the sacred *tzajtel* or *tzite'* tree also has important ties to contemporary Maya spirituality elsewhere in Guatemala. This coral tree, which is relatively common in the Guatemalan highlands, is distinguished by the fiery red flowers as well as the red seeds it produces. The seeds of the tree, about the size and shape of a small bean, are used by *Ajq'ij* daykeepers in divination rituals with the 260-day *Cholq'ij* calendar, where the seeds are believed to communicate ancestral knowledge (Tedlock 1992). During a divination ritual I observed in Momostenango in 2008, the day keeper responded to a client's question by grasping a handful of *tzajtel* / *tzite'* randomly from a bag, placing the seeds on the table, and then grouping them into small squares of four seeds each until none remained. Finally, the day keeper counted the seeds while reciting the days of the *Cholq'ij* calendar until arriving at the final seed, which was used to make an interpretation. This divination was performed again for greater certainty. Divination through the *tzajtel* / *tzite'* seems to stem from ancient beliefs in a primordial, ancestral couple who were considered to be the first diviners (Miller & Taube 1993).

There is no evidence, to my knowledge, of the *tzajtel* / *tzite'* or "palo de pito" coral tree in Classic Maya art or hieroglyphic writing. However, a sacred, ancestral tree was of enormous importance to ancient Maya mythology, with expressions from Preclassic to modern times. This tree is found in a variety of naturalistic, hybrid, and cross-like forms. As noted by Roys (1933), the common "stylized" version of the tree is the Maya cross (also known as "Maltese cross" with the "+" shape). In Yucatan, where the deified tree is particularly well attested, the *yaxche'*, or *yaxcheel cab* "first tree" of the world, refers to both



Figure 8. Izapa Stela 25. The crocodile-tree hybrid with Yax ("first") snout, Hero Twin, & Bird Deity. Soconusco Archaeological Museum, Tapachula. Photo by David M. Schaefer.

Figura 8. Izapa Stela 25. La híbrida cocodrilo-árbol con nariz Yax ("Primer"), héroe gemelo, y deidad ave. Museo Arqueológico del Soconusco. Foto por David M. Schaefer

the sacred ceiba as well as the Maya cross (Freidel *et al.* 1993; Paxton 2001). Miller & Taube (1993) mentioned that the ceiba is inherently quadripartite, with four flower petals and four limbs, which typically extend from the trunk to the forest canopy, which perhaps made the ceiba and the quadripartite cross a logical pair. The ceiba formed the center of colonial Yucatan towns, was a symbol of their lineage history, and is said to have connections with the underworld (Thompson 1950).

A well-known hybrid deified tree incorporates the features of a crocodile or cayman. This crocodile-tree is attested iconographically as early as Izapa Stela 25 (Fig. 8), where it was carved with a "Yax" nose as well as a Hero Twin and the Principal Bird Deity (Guernsey 2006). In the books of *Chilam B'alam*, this tree is referred to by the names *Yax Imixche* or *Imix Yaxche*, emphasizing the tree as "first" while also giving it a hybrid crocodile quality through associations of the first day sign, *Imix*, of the 260-day calendar (Thompson 1950). Crocodilians, in general, have been associated with origin beliefs in Mesoamerica since a very early date. Tate (2008) mentioned that a recurring theme of Olmec iconography at La

Venta was that of a primordial crocodilian representing "first" or earliest earth of a previous creation. According to Houston *et al.* (2006), time has been interpreted to issue from the dismembered body of a crocodile, and these authors also noted the sacrificial association of the days of the *Tzolk'in/Cholq'ij* calendar in many early depictions of day-sign cartouches. In an interesting connection to the sacred tree of the contemporary Highland Maya, Stanzione (2000) stated that the *tzajtel* / *tzite'* tree, though far from enormous in stature, contains a spiny trunk and branches similar to the ceiba and reminiscent of a caiman's body.

Two Classic Maya ceramic vessels, K1607 (Fig. 9a) and a sherd known as Special Deposit #2 (Fig. 9b) from Buenavista, Belize, show that the deified tree appears in both the hybrid crocodile-tree and cross forms in similar scenes involving the deity Itzamná. The first example, K1607, shows the crocodile-tree hybrid in a plate and includes an odd calendar round-style date incorporating the "percentage sign" symbol, which substitutes for the *wahy* "spirit companion" glyph in other contexts (Houston & Stuart 1989). The second example, although fragmentary, appears to show Itzamná seated before a similar plate. But the cross within this plate is not the hybrid crocodile-tree but, rather, the stylized Maya cross (i.e., the Maltese or "+"); it is marked with *té* elements, which identify it as a "tree." A small hieroglyphic caption below the Buenavista plate and cross appears to read *Yax K'uh*, or "First god/holy." This cross is similar to the cross depicted on Pakal's famous sarcophagus lid at Palenque, also sitting within a plate and marked with *té* ("tree") and *Yax* ("first") signs, which may also relate it to "blue-green," the color of jade. These examples suggest that the crocodile-tree and the stylized Maya cross ("+") are two versions of the same entity, a Mesoamerican archetype of great antiquity and stylistic variation, perhaps even exhibiting the ability to transform.

Another hybrid tree of Classic Maya mythology is the jaguar-tree. The jaguar-tree occurs in important scenes from creation mythology such as accompanying the blowgunner hero twin in K1226. In this famous scene, the Principal Bird deity lands upon the tree, which also displays a *Yax* element extending from its trunk. This hybrid entity appears as the patron of the month of *Pax* and is read *te'* ("tree") (Freidel *et al.* 1993). Boot (2008) identified an important context of this *te'* glyph in the "God D Court Vessel," which he believed refers to four seated figures as the *Chan te' Chuwen*, or the "4-*te'* artisans." He proposed that the *te'* glyph identifies these individuals - two with clear simian features and one, a human figure possibly identifiable as a *wahy* known as "Glutton Death" - as wooden *te'* beings of the previous creation, stating: "the name *te'* for each of the supernatural beings is not coincidental and...refers to these particular passages from the sixteenth century epic *Popol Vuh*" (Boot 2008: 26-27).



Figure 9a. K1607 and 9b. Buenavista Sherd, showing two versions of the deified Yax "First" tree. 9a. Photo by Justin Kerr from mayavase.com. 9b. Drawing by D. Schaefer based on Boot (2008: 33).

Figura 9a. K1607 y 9b. Buenavista Fragmento, mostrando dos versiones del "Yax" primer árbol. 9a. Foto por Justin Kerr de mayavase.com. 9b. Dibujo por D. Schaefer basado en Boot (2008: 33)

Erik Boot's recognition of the importance of *Chan te'* (4-*te'*) mythology to Classic Period depictions of the *Popol Vuh* story is supported by my independent identification of a *Chan te'* (4-*te'*) glyph in an important context of an 8th century inscription known as *Ux Ahal*, at Yaxchilan. This inscription has been interpreted as the most complete record of the origins of the ballgame (Grube & Martin 2008) and is found atop Yaxchilan's most impressive elevated structure, Temple 33, in the center of a sequence of ballgame-related panels; the center three are in high-relief. It is the "play(ing) of the 4-*te'* *Chan* in the chasm" (with *chan* read as "sky") in the lower-left corner of Step 6 which I argued (Schaefer 2011: 79-87), introduces the chronology of

the three "axing" events contained in the lower-left corner of Step 7. This interpretation required careful analysis of sets of "numbered-sky" hieroglyphs and thoughtful comparison between the *Ux Ahal* Distance Numbers at Yaxchilan and the chronology of time represented in the Cross Group at Palenque, with its intense focus on 2360 B.C.E. It defines 4-*te'* *Chan* as the "first" time period when counting forward from 4 Ajaw 8 Kumk'u, equaling approximately $13 \times 13 \times 4 (= 676)$ years before the "axing" of the Maize Lord which begins Step 7 in the center panel.

Previous studies of the *Ux Ahal* inscription at Yaxchilan have consistently treated Step 7 in isolation, assuming that its expanded Long Count notation (13.13.13.13.13.13.13.9.15.13.6.9) is actually an enormous Distance Number connecting the monument's dedication date in 744 C.E. to the *Ux Ahal* mythology in the stone's lower-left corner. This interpretation places the origins of the ballgame and the demise of the Maize Lord over 350,315,789,460 *baktuns* in the past (Schele & Miller 1986), an unfathomable span of time greater even than the age of the known universe. Nevertheless, if the *Ux Ahal* inscription is interpreted to include and count forward from Step 6 (which nearly parallels Step 7 in its location of both text and image), then a more complete picture of archetypal mytho-historical beliefs is revealed, one which includes the all-important termination of the previous age of creation that is detailed in the *Popol Vuh*. Reading the *Ux Ahal* inscription this manner provides an important solution, for the death of the Maize Lord in Step 7 followed by the hero's rebirth - often depicted in conjunction with a turtle or other aquatic being in ancient art - foreshadows the death and rebirth of *Hun Hunahpu* (i.e. the Maize Lord) as the central plot of the *Popol Vuh*, and moreover, through symbolism of the ballgame. However, this intriguing connection is lost if we assume that the *Ux Ahal* ballgame origins were intentionally back-projected by scribes of *Yaxun B'alam* over a trillion years into the past, an interpretation which is possible when Step 7 is seen in isolation.

Despite the widespread occurrence and diversity of sacred trees and tree or ancestral wood symbolism in ancient Pre-Columbian art, it is difficult to determine the extent to which colonial and contemporary use of the Maya (Maltese or “+”) cross by Mayan language-speaking peoples represents a Pre-Columbian survival or some form of syncretism with the Christian cross. Early missionaries are known to have set up crosses at places where the Maya worshipped, often in the same spot where they destroyed or removed “idols” (La Farge & Byers 1931). Placement of crosses around the perimeters of towns during colonial times was part of the Spanish *reducción* effort; crosses were portrayed to the Maya as protectors, which were important in keeping the “devil” out of the spaces that these crosses defined (Bill Hanks, pers. comm. 2010).

Early ethnographic field work, however, revealed that the Maya cross is distinct from the Christian cross, and it has been noted that cross-shaped trees literally greeted the first Spanish visitors to the Maya area (Freidel *et al.* 1993). According to Girard (1995: 159, 281), contemporary Maya crosses are often physically distinguishable by the leaves or branches, mirrors, flowers, and colored paper which decorate them; Chorti leaders insist that there are two kinds of crosses: theirs and the Catholic one - only theirs, “made of special wood prepared by the proper rites, and covered in trifoliate green leaves...has the ability to respond to their petitions for rain and food.” These Maya crosses have been described as anthropomorphic, with some having the ability to communicate (Thompson 1960).

According to traditional Tz’utujil beliefs of Santiago Atitlán, the tree-cross may also be considered a Pre-Columbian survival. As stated by Carlsen & Prechtel (1991, cited by Brown 2015), the focus of Atiteco religion was oriented backward into the past, to an “Original Tree.” This conceptualization applies to contemporary women weavers who are “bound to...the ancestral deified tree at the center of existence, from which all creation was born” (Brown 2015: 67). Christenson (1998: 217) stated that the cross is considered among the Tz’utujil to have existed since the “beginning of the world.” A custom of decorating the principal cross in front of the Catholic church as a tree for the Day of the Cross, May 3, is an annual activity carried out by caretakers of the *Rilaj Mam* and organizers of the town’s traditional Holy Week activities: the Cofradía of the Santa Cruz. Six months later, the cofradía is again responsible for removing a small cross kept under lock and key in the Catholic church, ritually decorating it as a tree-cross with cypress branches, and somberly parading it through the streets for Day of the Dead. One might be led to believe, as I have been, that the sacred tree lives on in Santiago Atitlán through the Cofradía of the Santa Cruz and the millennial tradition that is the *Rilaj Mam*.

DISCUSSION

I chose to begin the paper by contextualizing the *Rilaj Mam* within its modern reality, as a controversial tradition frequently

threatened by verbal and even physical attack. I personally witnessed, for example, in 2013, a visiting archbishop delivering a sermon to the filled-to-capacity Catholic church, which included warnings about the evils of *Maximón*, framing the statue within the context of demonic possession and exorcism. The recent surge of the Pentecostal Evangelical movement in Santiago Atitlán has further fueled efforts to discredit the *Mam*, with church leaders portraying him as the “devil” in the eyes of their congregations (Pédron-Colombani 2008). Fear of idolatry in the village has even led to incidents of iconoclasm, as I witnessed during the Covid pandemic, with statues or images not representing Christ susceptible to destruction. It is no surprise that this rhetoric of intolerance has led to violence as well as murder and disappearance of many who carry on the *Nawal* tradition (McAnany & Brown 2016).

While the *Rilaj Mam* is certainly controversial within the very Mayan language-speaking community that originally gave rise to it, some interpretations presented in this contribution may also be considered contentious, as they offer perspectives on topics for which there is no established consensus within the academic community, or they offer new perspectives on topics for which a consensus has already been reached. The theoretical background section alone contains numerous viewpoints - such as my adamancy for treating Mesoamerican beliefs from the deeper past as “mytho-historical” as opposed to “just mythological” - which may seem irrelevant or even irksome. Central ideas presented, such as the association of the *Mam*, God L, *Wayeb’*, and crocodile-tree with flood mythology may conflict with common views on “creation,” which have been, historically, solely focused on 4 Ahau 8 Kum’u. Popular astronomy-inspired interpretations of Maya mythology also provide little impetus for such discussion. Some ideas presented, admittedly, also have limited physical evidence, such as the notion that *Wayeb’* was likely known and even observed in Santiago Atitlán at some point in its early colonial history.

Additional evidence for a more complete study would include the *Rilaj Mam*’s relation to the *nawal* complex, known as *wahyob’* in Classic Maya times (Stuart & Houston 1989). While I do not consider the *Mam* to be the equivalent of an ancient *wahy*, it does exhibit the hybridity characteristic of many of these *wahyob’*, such as the monkey-deer figure (Fig. 2). These *wahyob’* are related to ancient gods, the underworld, mischief or disease-making, and they sometimes exhibit traits that link them to the previous creation age (Helmke & Nielsen 2009, citing Thompson 1970). Related beliefs are, arguably, still observable in Santiago Atitlán through relics kept in cofradía houses, where I am aware of two *nawal* archaeological pieces including a hybrid jaguar-dog (Nicolas Gonzalez Tziná, pers. comm., 2013). Reverberations of *wahyob’* beliefs also seem to persist in the village’s “folk” tradition today through mischief-making, animal-human transformations known as *q’isuam* (also known as *characoteles*).

One of the most satisfying aspects of viewing the *Rilaj Mam* as a multi-millennial tradition is that it allows us to make

connections in “cultural logics” between ancient Mesoamerican thought and the foundational origin beliefs of world religions, such as the Old Testament. Many visitors to the *cofradía* house, for example, are told by their guides that the *Mam* is related to sinful, inappropriate behavior, and this is true (Sexton & Bizzaro Ujpán 1999). Ceremonies in which the *Mam* receives prayers for taboo topics related to relationships, love, and money occur frequently here, and even more, in the presence of alcohol consumption. Shortly after learning this, visitors frequently leave the *cofradía* quite dismissively, and their guides (having nothing more to say) follow them right out. However, as suggested in this article, sin is a defining characteristic of the *Mam*'s mytho-historical and modern identity precisely because of the indelible bond it maintains with the previous creation age, those made from *tz'ite'* in the *Popol Vuh*. The *Popol Vuh* is clear in its portrayal of this antediluvian race as flawed and inappropriate in their conduct. Likewise, God L was probably depicted in taboo scenes with female goddesses in ancient art because his age of creation, also that of the *Rilaj Mam* - the “first,” mixed-up and hybrid one - was characterized by inappropriate behavior. Mesoamerican traditions seem to share a common tendency with many ancient world narratives - including the Judeo-Christian one - of rationalizing “the flood” by blaming it on the victims' defects and deficiencies and integrating it into a narrative that serves to define proper morality in the modern age.

The power of narratives is unmistakable - some are ancient and others are modern. Popular mainstream narratives that demonize the *Rilaj Mam*, likening the tradition with devil worship or dismissing it as merely a tourist attraction, exemplify how modern storytelling exerts its influence to fill a massive void in cultural understanding. Ancient narratives possess far greater power, having been carried through hundreds of generations. They represent longevity, identity, and an original truth. By thinking critically about the information presented in this article, one can appreciate that the *Rilaj Mam* is intimately related not only to familiar Old Testament narratives but also to the cross - a beautiful, syncretic “fusion” of Old World and New World traditions. This ability to unify sacred symbols that are often assumed to be oppositional - as seen each year in the hanging of *Maximón* during Holy Week in Santiago Atitlán - is part of the symbolic power of the *Rilaj Mam* and the *Cofradía* of the Santa Cruz as its guardian. Perhaps by “re-framing” the *Rilaj Mam* as an ancient ancestor of all of humanity - one adaptable within the narratives of many world religions - we can foster the tolerance and admiration that this tradition deserves.

ACKNOWLEDGMENTS

I would like to thank Karin Rossbach of the Universidad del Valle de Guatemala (UVG), Campus Central, for coordinating my Delvas talk on May 31, 2023; also, Claudia Estrada of the Campus Sur and Celso Saloj of the Campus Altiplano for putting faith in my abilities before, during, and after the Covid pandemic, which gave me the opportunity to teach 17 courses while simultaneously carrying four ranks within Santiago Atitlán's *cofradía* system, including Escribano (notary/scribe) of the

Santa Cruz. A special thanks to Allen Christenson, Barb MacLeod, Michael Grofe, and the Anthropology Department at the UVG for providing valuable comments on this paper. Additionally, I would like to thank important people in my life who have passed and who it was a joy and privilege to study the Maya with: Brian Stross (wise and versatile thesis advisor), John McGraw (gentle and generous companion for many Highland adventures), and Erik Boot (inspirational to my decision to study ancient myths through number-prefixed hieroglyphs in graduate school). Finally, I would like to thank the resilient traditionalist community of Santiago Atitlán, in particular the late ex-alcalde Juan Pakach Ramírez of the *Cofradía* of the Immaculate Conception as well as Jose Abraham Alvarado, alcalde of the *Cofradía* of San Juan Bautista, for inviting my participation and allowing and even encouraging me to educate others about the *Rilaj Mam*. I am blessed and appreciative to have had this unique and unimpeded experience with the village's oldest and most sacred traditions.

REFERENCES

- Bassie-Sweet, K. (2008). *Maya sacred geography and the creator deities*. University of Oklahoma Press, U.S.A.
- BBC New Mundo (2020). *Domingo Choc: La muerte brutal del sanador maya al que acusaron de brujería y quemaron vivo en Guatemala*. [<https://www.bbc.com/mundo/noticias-america-latina-52988801>]. Accessed: 30 June 2025.
- Bell, E. (2012). A Maya trickster: Rilaj Mam and resisting spanishness. *The Mayan Studies Journal* 3(9): 1-23.
- Bernatz, M. M. (2006). *The concept of divinity in Maya art: Defining God L*. PhD. dissertation, Department of Art and Art History, University of Texas, Austin, U.S.A.
- Boone, E. H. (2000). *Stories in red and black: Pictorial histories of the Aztecs and Mixtecs*. University of Texas Press, Austin, U.S.A.
- Boot, E. (2008). *At the court of Itzam Nah Yax Koko Mut. A preliminary iconographic and epigraphic analysis of a late classic vessel*. [<https://www.mayavase.com/God-D-Court-Vessel.pdf>]. Accessed: 30 June 2025.
- Bricker, V. (1981). *The Indian Christ, the Indian King: The historical substrate of Maya myth and ritual*. University of Texas Press, Austin, U.S.A.
- Brown, L. (2015). When pre-sunrise beings inhabit a post-sunrise world: Animate objects and contemporary Maya ritual practitioners. In: *The measure and meaning of time in Mesoamerica and the Andes*, Aveni A. F. (ed.), Dumbarton Oaks Research Library and Collection, Washington, DC, U.S.A.; pp. 53-77.
- Bunzel, R. L. (1952). *Chichicastenango. A Guatemalan village*. J. J. Augustin Press, Locust Valley, New York, U.S.A.
- Callaway, C. (2011). *A catalog of Maya era day inscriptions*. PhD. Dissertation, La Trobe University, Melbourne, Australia. [<https://doi.org/10.26181/21856053.v1>]
- Carlsen, R. (1997). *The war for the heart and soul of a Highland Maya town*. University of Texas Press. Austin, U.S.A.
- Carlsen, R. & Prechtel, M. (1991). The flowering of the dead: An interpretation of highland Maya culture. *Man* 26(1): 23-42.
- Carlson, J. B. (2003). *Merchants, scribes and curanderos: secrets of Maya flasks and miniature vessels*. Lecture to The Tribal Arts Society, Lowe Museum, University of Miami, Florida.

- Carlson, J. B. (2011). Lord of the Maya creations on his jaguar throne: The eternal return of Elder Brother God L to preside over the 21 December 2012 transformation. "Oxford IX" International Symposium on Archaeoastronomy Proceedings IAU Symposium 278: 203-213. <https://doi.org/10.1017/S1743921311012634>
- Christenson, A. J. (1998). *Scaling the mountain of the ancients: The altarpiece of Santiago Atitlán, Guatemala*. PhD. Dissertation. The University of Texas at Austin, U.S.A.
- Christenson, A. J. (2001). *Art and society in a Highland Maya community. The altarpiece of Santiago Atitlán*. The University of Texas Press, Austin, U.S.A.
- Christenson, A. J. (2009). Ancestral presence at the navel of the world. In: *Landscapes of origin in the Americas: Creation narratives linking ancient places and present communities*, Christie, J. J. (ed.), The University of Alabama Press, Tuscaloosa, U.S.A.; pp. 98-122.
- Coe, M. D. (1973). *The Maya scribe and his world*. Grolier Club New York, U.S.A.
- Coe, M. D. (1978). *Lords of the underworld: Masterpieces of Maya ceramics*. Princeton University Press, Princeton, New Jersey, U.S.A.
- Early, J. D. (2006). *The Maya and catholicism: An encounter of worldviews*. University Press of Florida, Gainesville, FL, U.S.A.
- Edmonson, M. S. (1988). *The book of the year: Middle American calendrical systems*. University of Utah Press, Salt Lake City, U.S.A.
- Folan, W., Gunn, J. & Dominguez, M. (2001). Triadic temples, central plazas, and dynastic palaces: A diachronic analysis of the Royal Court Complex, Calakmul, Campeche, Mexico. In: *Royal courts of the Ancient Maya*, Inomata, T. (ed.), Routledge; pp. 223-265.
- Freidel, D., Schele, L. & Parker, J. (1993). *Maya Cosmos: 3000 years on the Shaman's path*. William Morrow and Co., New York, U.S.A.
- Galindo, C. & Popenoe, M. (2015). Nuevas evidencias arqueológicas de las interrelaciones en la cuenca del Lago de Atitlán. In: *XXVIII Simposio de Investigaciones Arqueológicas en Guatemala, 2014*: 329-340.
- Girard, R. (1995). *People of the Chan*. Continuum Foundation, Chino Valley, AZ, U.S.A.
- Gillespie, S. D. & Joyce, R. A. (1998). Deity relationships in Mesoamerica: The case of the Maya God L. *Ancient Mesoamerica* 9: 279-296. <https://doi.org/10.1017/S0956536100001991>
- Glittenberg, J. (1994). *To the mountain and back: the mysteries of Guatemalan highland family life*. Waveland Press, Long Grove, Illinois, U.S.A.
- Gossen, G. H. (1974). *Chamulas in the world of the sun: Time and space in a Maya oral tradition*. Harvard University Press, Cambridge, Mass., U.S.A.
- Grofe, M. (2009). The name of God L: B'olon Yokte' K'uh? *Wayeb Notes* 30: 1-19.
- Guernsey, J. (2006). *Ritual and power in stone. The performance of rulership in Mesoamerican Izapan style art*. University of Texas Press, Austin, U.S.A.
- Helmke, C. & Nielsen, J. (2009). Hidden identity and power in ancient Mesoamerica: Supernatural alter-egos as personified diseases. *Acta Americana* 17(2): 49-98.
- Houston, S. & Stuart, D. (1989). The Way glyph: Evidence for co-essences among the classic Maya. *Research Reports on Ancient Maya Writing* 30: 1-16.
- Houston, S., Stuart, D. & Taube, K. (2006). *The memory of bones: Body, being, and experience among the classic Maya*. University of Texas Press, Austin, U.S.A.
- Jansen, M. & Pérez Jiménez, G. A. (2007). *Encounter with the plumed serpent: Drama and power in the heart of Mesoamerica*. University Press of Colorado, Boulder, U.S.A.
- Joralemon, P. D. (1996). In search of the Olmec cosmos: Reconstructing the world view of Mexico's first civilization. In: *Olmec art of ancient Mexico*, Benson, E. & de la Fuente, B. (eds), National Gallery of Art, Washington, U.S.A.; pp. 51-59.
- Kerr, J. & Kerr, B. (2005). The way of God L: The Princeton vase revisited. *The Record of the Princeton Art Museum* 64: 71-79.
- Knowlton, T. (2010). *Maya creation myths: Words and worlds of the Chilam Balam*. University Press of Colorado, Boulder, U.S.A.
- Kubler, G. (1969). *Studies in classic Maya Iconography*. The Connecticut Academy of Arts and Sciences, New Haven, U.S.A.
- La Farge, O. & Byers, D. (1931). *The Year Bearer's People*. Tulane University, Middle American Research Series, publ. 3.
- Lopez de Cogolludo, D. (1688). *Historia de Yucathan*. Madrid, Spain.
- Lothrop, S. K. (1929). Further notes on Indian ceremonies in Guatemala. *Indian Notes* VI (1): 23.
- MacKenzie, J. (2021). Repasando a San Simón, el sincretismo y la autoridad antropológica. *Maya America* 3(3): 167-191.
- Martin, S. (2006). Cacao in ancient Maya religion. In: *Chocolate in Mesoamerica: A cultural history of cacao*, McNeil, C. L. (ed.), University Press of Florida, U.S.A.; pp. 154-183.
- Martin, S. & Grube, N. (2008). *Chronicle of the Maya kings and queens*. Thames & Hudson, New York, U.S.A.
- McAnany, P. & Brown, L. (2016). Perceptions of the past within Tz'utujil ontologies and Yucatec hybridities. *Antiquity* 90(350): 487-503. <https://doi.org/10.15184/aqy.2016.39>
- Medrano, S. & Rodriguez, G. (2012). Las vasijas de Samabaj In: *Simposio de Investigaciones Arqueológicas en Guatemala*: 1279-1296.
- Mendelson, E. M. (1957). *Religion and world-view in a Guatemalan village*. Microfilm Collection of Manuscripts on Middle American Cultural Anthropology, no. 52. University of Chicago Library.
- Mendelson, E. M. (1959). Maximón, an iconographical introduction. *Man* 59: 57-60.
- Miller, M. & Taube, K. (1993). *The gods and symbols of ancient Mexico and the Maya*. Thames and Hudson, London, U.K.
- Milbrath, S. (1999). *Star gods of the Maya: Astronomy in art, folklore, and calendars*. University of Texas Press, U.S.A.
- Montejo, V. (2005). *Maya intellectual renaissance*. University of Austin Press, Austin, U.S.A.
- Paxton, M. (2001). *The cosmos of the Yucatec Maya. Cycles and steps from the Madrid Codex*. University of New Mexico Press, Albuquerque, U.S.A.
- Pédrón-Colombani, S. (2008). El culto a Maximón en Guatemala. Entre procesos de reivindicación indígena y de apropiación mestiza. *Travaux et Recherches dans les Amériques du Centre* 54: 31-44.
- Pédrón-Colombani, S. (2014). El Culto a Maximón en Guatemala: Ritos de fertilidad, comida ritual, y metáfora sexual. *Nuevo Mundo Mundos Nuevos*. <http://journals.openedition.org/nuevomundo/66743>
- Pugh, T. (2001). Flood reptiles, serpent temples, and the quadripartite universe: The imago mundi of Late Postclassic Mayapan. *Ancient Mesoamerica* 12: 247-258.
- Recinos, A. (1947). *Popol Vuh*. Fondo de Cultura Económica. Biblioteca Americana, Mexico City, Mexico.

- Reilly III, F. K. I. (1994). *Visions to another world: Art, shamanism, and political power in middle formative Mesoamerica*. Ph.D. diss., University of Texas, Austin, U.S.A.
- Rice, P. M. (2007). *Maya calendar origins*. University of Texas Press, Austin, U.S.A.
- Roys, R. L. (1933). *The book of Chilam Balam of Chumayel*. Publication 438. Carnegie Institution of Washington, Washington, DC, U.S.A.
- Saler, B. (1964). Nagual, witch, and sorcerer in a Quiché village. *Ethnology* 3(3): 305-328. <https://doi.org/10.2307/3772886>
- Sachse, F. (2006). The martial dynasties - the postclassic in the Maya highlands. In: *Maya: Divine kings of the rainforest*. China: Tandem Verlag GmbH, Germany; pp. 356-371.
- Sachse, F. & Christenson, A. (2005). *Tulan and the other side of the sea: Unraveling a metaphorical concept from colonial Guatemalan highland sources*. Mesoweb Publications. [\[www.mesoweb.com/articles/tulan/Tulan.pdf\]](http://www.mesoweb.com/articles/tulan/Tulan.pdf). Accessed: 30 June 2025.
- Schaefer, D. (2011). *It was the doing of the 6-Sky Lord: An investigation of the origins and meaning of the three stones of creation in ancient Mesoamerica*. M.A. Thesis, Latin American Studies Department, The University of Texas at Austin, U.S.A.
- Schaefer, D. (2018). *¿Qué antigüedad tiene "El Abuelo," Rilaj Mam?* Presentation in Casa Herrera, The University of Texas at Austin, Antigua, Guatemala.
- Schele, L. & Mathews, P. (1998). *The code of kings: The language of seven sacred Maya temples and tombs*. Scribner, New York, U.S.A.
- Schele, L. & Miller, M. E. (1986). *The blood of kings: Dynasty and ritual in Maya art*. The Kimbell Art Museum, New York, U.S.A.
- Schelhas, P. (1904). *Representation of deities of the Maya manuscripts*. Peabody Museum Press, Cambridge, Massachusetts, U.S.A.
- Schwarz, N. (1983). Ambiguity and identity in Petén, Guatemala. In: *Neue Folge / New Series* 33(2): 152-173.
- Sexton, J. & Bizzaro Ujpán, I. (1999). *Heart of heaven, heart of earth and other Mayan folktales*. Smithsonian Institution Press, Washington, D.C., U.S.A.
- Stanzione, V. J. (2000). *Rituals of sacrifice: Walking the face of the earth on the sacred path of the sun*. University of New Mexico Press, U.S.A.
- Stuart, D. (2011) *The Maya world and the truth about 2012*. Harmony Books, New York, U.S.A.
- Stuart, D., Houston, S. & Robertson, J. (1999). *The proceedings of the Maya hieroglyphic workshop: Classic Mayan language and Classic Maya gods, March 13-14, 1999, University of Texas at Austin*. Transcribed and edited by Phil Wanyerka. Austin, Texas: Department of Art and Art History, University of Texas at Austin.
- Stross, B. (1989). Maya bloodletting and the number three. *Anthropological Linguistics* 3(4): 2
- Stross, B. (2008). Representation, memory, and power. In: *Pre-Columbian landscapes of creation and origin*, Staller, J. E. (ed.), Springer, New York, U.S.A.; pp. 357-378. https://doi.org/10.1007/978-0-387-76910-3_11
- Taube, K. A. (1988). *The ancient Maya New Year festival: The liminal period in Maya ritual and cosmology*. Ph.D. dissertation, Yale University, New Haven, C.T., University Microfilms International, Ann Arbor, U.S.A.
- Taube, K. A. (1989). *Itzam Cab Ain: Caimans, cosmology, and calendrics in postclassic Yucatan*. Research Reports on Ancient Maya Writing 26. Center for Maya Research, Washington, D.C., U.S.A.
- Taube, K. A. (1996). The Olmec maize god: The face of corn in formative Mesoamerica. *Res: Anthropology and Aesthetics* 29/30: 39-81. <https://doi.org/10.1086/RESvn1ms20166943>
- Taube, K. A. (1998). The jade hearth: Centrality, rulership, and the classic Maya temple. *Function and Meaning in Classic Maya Architecture*: 427-478.
- Tate, C. (2008). Landscape and a visual narrative of creation and origin at the Olmec ceremonial center of La Venta. In: *Pre-Columbian landscapes of creation and origin*, Staller, J. E. (ed.), Springer, New York, NY, U.S.A.; pp. 31-65.
- Tax, S. & Hinshaw, R. (1969). The Maya of the midwestern highlands. In: *Handbook of Middle American Indians, Volumes 7 and 8; Ethnology, Part 1*, Wauchope, R. & Evon, Z. (eds), University of Texas Press, U.S.A.; pp. 69-100.
- Tedlock, B. (1992). *Time and the highland Maya*. University of New Mexico Press, Albuquerque, U.S.A.
- Tedlock, D. (1985). *Popol Vuh*. Simon and Schuster, Inc., New York, U.S.A.
- Thompson, D. E. (1960). *Nativism and syncretism*. New Orleans: Tulane University New Orleans; Middle American Research Institute, Publication 19.
- Thompson, J. E. S. (1950). *Maya hieroglyphic writing*. Carnegie Institute, Washington, D.C., U.S.A.
- Thompson, J. E. S. (1963). *Maya archaeologist*. University of Oklahoma Press, Norman, U.S.A.
- Thompson, J. E. S. (1970). *Maya history and religion*. University of Oklahoma Press, Norman, U.S.A.
- Tokovinine, A. & Beliaev, D. (2013). People of the road: Traders and travelers in ancient Maya words and images. In: *Merchants, trade, and exchange in the Pre-Columbian world*, Hirth, K. G. & Pillsbury, J. (eds), Dumbarton Oaks, Washington, DC, U.S.A.; pp. 174-184.
- Tozzer, A. M. (1941). *Landa's relación de Las Cosas de Yucatán*. Papers of the Peabody Museum, Vol. 18. Cambridge, Harvard University, U.S.A.
- Valencia Rivera, R. (2006). Tezcatlipoca y K'awiil, algo más que un parecido. *Anales del Museo de América* 15: 45-59.
- Vallejo, A. R. (2005). *Por los caminos de los antiguos nawales*. Instituto Nacional de Antropología e Historia, México.
- Van Akkeren, R. (2012). *Xibalbá y el nacimiento del nuevo sol*. Editorial Piedra Santa, Guatemala.
- Wald, R. & Carrasco, M. (2004). *Rabbits, gods, and kings: The interplay of myth and history on the regal rabbit vase*. A paper presented at the Maya Meetings at the University of Texas at Austin, March 11-21, 2004.

Antropoceno: sustentabilidad o extinción ¿Fin de la modernidad capitalista?

Sustainable development in the Anthropocene: Towards a new holistic and cosmopolitan paradigm

pDigital, San José Costa Rica. 2022. 475 pp.

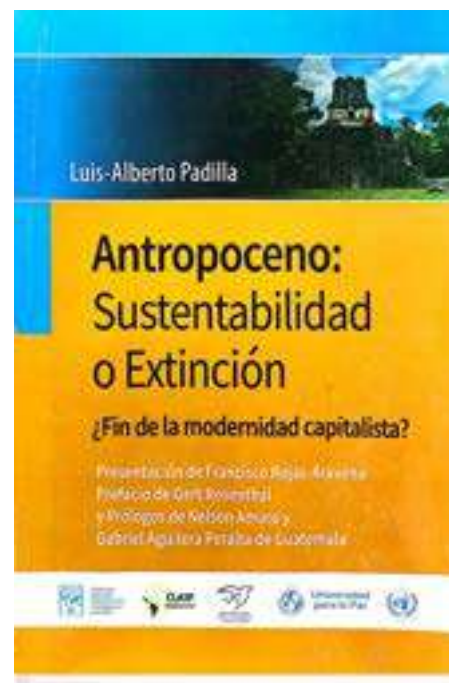
Reseña elaborada por:

Ernesto ARREDONDO LEIVA

Centro de investigaciones Arqueológicas y Antropológicas (CIAA)
 Universidad del Valle de Guatemala, Guatemala

Correspondencia: earredondo@uvg.edu.gt

Recibido: 02/VIII/2024; Aceptado: 04/IV/2025



El Antropoceno se ha situado desde inicios del presente siglo como un tema, tanto de debate científico, como de debate en esferas que van desde lo filosófico hasta lo político, pasando por ambientes ideológicos, artísticos, así como del más puro activismo. El Cambio Climático, así como las diferentes crisis ambientales, ha llamado la atención del público en general a través del planeta. Sin embargo, el Antropoceno es un tema amplio, que parte de la Geología que lo define en cuanto a la trazabilidad de la huella que dejaría un cambio drástico en el registro geológico, para saltar por medio de la propuesta conocida como “La Gran Aceleración” que es el aumento exponencial de comportamientos tanto sociales como en cuanto al uso de los recursos desde 1950, a otros ámbitos más específicos. Se convierte así en un problema que va más allá de la variación de las temperaturas en el orbe y contempla consecuencias dramáticas y mucho más abarcadoras. Así, Luis Alberto Padilla aborda el problema de una posible Sexta Extinción utilizando el prisma de la problemática creada por el “Proyecto Civilizador” nacido en la expansión colonizadora europea del Siglo XVI.

Diplomático de amplia carrera, catedrático universitario, Viceministro de Relaciones Exteriores de Guatemala,

Embajador por más de 20 años y autor de artículos con temas tan recientes como el origen del conflicto ruso-ucraniano, el Dr. Padilla ha desempeñado cargos que le permiten una visión como ninguna de la cuestión geopolítica que nos incumbe. Su obra, *Antropoceno: Sustentabilidad o extinción. ¿Fin de la modernidad capitalista?*, con una narrativa amplia, enfoca su objetivo en la explicación de la problemática actual, impulsadora según él, de los problemas descritos por la Gran Aceleración y el Antropoceno, y en donde toma a este último como un concepto no solo geológico, sino cultural y social.

Luego de una descripción de los dos anteriores conceptos y de la historia de su propuesta, y de antecedentes en el tiempo a aquellas, el Dr. Padilla desarrolla a través de varios capítulos no solo críticas certeras, sino también soluciones al problema. Resalta su personal enfoque de la geopolítica mundial, resultado de largos años de experiencia. Luego de una discusión sobre el Capitalismo y su fracaso en el ámbito del desarrollo humano frente a las propuestas de sostenibilidad, y la suya propia, la de Sustentabilidad, realiza una revisión de nuevas propuestas de “Buen vivir” y de “Buen Gobierno” basadas en conceptos ancestrales de sociedades no industriales. Su amplia trayectoria en el mundo diplomático,

lo harán zambullirse luego en un análisis bastante amplio, pero a su vez específico, cuando es requerido, en el contexto estratégico mundial. Aquí, el análisis de los cambios geopolíticos a partir del tratado de paz firmada en Westfalia (1648), de donde surgirían las bases de nuestro actual sistema capitalista y de consumo, nos reta a colocarnos en ángulo geoestratégico no analizado previamente por otros autores sobre tema central del libro. Dedicamos dos capítulos posteriores, a revisar las relaciones internacionales más recientes, incluyendo el conflicto de Ucrania y la situación con China, así como la situación latinoamericana frente a estos desafíos. Su propuesta sobre la *libre movilidad, el derecho al trabajo y la transnacionalidad*, es otro de los puntos relevantes, subrayado por el mismo autor en su capítulo final.

Esta es una aportación única, oportuna, y esperemos (aunque seguramente lo será), seminal en el ambiente guatemalteco. Un tema que en nuestro medio es aún muy desconocido, quizás cubierto por la relevancia que ha obtenido la alarma del Cambio Climático en los últimos años. Quien logre entender La Gran Aceleración, entenderá que el Cambio Climático es sólo una fracción de una problemática mucho más amplia. Y quien logre entender lo que implica El Antropoceno, eso sí, desde su definición geológica, podrá darse cuenta de que todas esas realidades descritas por el autor, son tan pasajeras, tan minúsculas, tan invisibles, frente a la realidad de un planeta del cual somos sólo una pequeña parte. Y, sin embargo, esas realidades nuestras son el motor que empuja con fuerza al mismo Sistema del Planeta, llevándolo a sus límites y amenazando la vida biológica y social como la ha conocido la Humanidad por siglos. La experiencia del Dr. Padilla en geopolítica, es notable. Pero resulta aún más relevante y ciertamente, esperanzador, que desde ese lugar, desde ese su *lugar-observatorio* nos lance una alerta tan importante, y además nos ofrezca soluciones. Serán éstas tildadas de idealistas, poco factibles, río y cuesta arriba, pero la evidencia mostrada por el autor es difícil de refutar. Y él mismo, ¡atención!, es el primero en exponer la complejidad del problema, dando con la entrega de esta obra varios pasos adelante desde ya.

¡Bienvenida sea esta obra!



Jimena SANTA CRUZ ESPINOZA

Ganadora del primer lugar en la Facultad de Ciencias Sociales

Subcategoría
de trabajo de graduación
XIV Feria Científica 2025
Universidad del Valle de Guatemala

Mi nombre es Jimena Santa Cruz Espinoza y me describo como una persona perseverante, creativa, responsable, organizada y tenaz. En noviembre de 2024 *cerré pensum* de la Licenciatura en Psicología General en la Universidad del Valle de Guatemala, y en junio de 2025 realicé la disertación de mi tesis.

Cumplí mi sueño de estudiar en la UVG, pues me gustaba el hecho que es una universidad científica. Mis estudios universitarios fueron financiados por dos becas, la primera otorgada por la Universidad del Valle de Guatemala, y la segunda otorgada por la Fundación Bolar en el año 2023, y gracias a esta oportunidad comienza el interés por mi tema de investigación.

Al ser becada de la fundación Bolar debía de cumplir diferentes requisitos, entre ellos realizar un proyecto social el cuál debía estar relacionado con mi carrera, además de causar un impacto en un grupo determinado de personas. Desde que inicié el proceso para ser becada de Bolar, tuve la idea de hacer un proyecto social dirigido a una población que en ocasiones se deja de lado, los sacerdotes. Es ahí cuando nace mi proyecto social: *Salud Mental de Sacerdotes*.

Para mi proyecto, entrevisté a varios sacerdotes con el fin de comprender sus necesidades en salud mental. En el transcurso de estas entrevistas, me di cuenta de la carga de trabajo y el desgaste emocional al que se podían enfrentar. Esta observación me llevó a cuestionar si las múltiples responsabilidades de su labor podrían ser un factor para desarrollar el Síndrome de *Burnout*, el cual se caracteriza por agotamiento mental, físico y emocional.

Así fue como todo comenzó, mi investigación de tesis fue desarrollándose y creciendo en la metodología teórica durante el año 2024. Siendo el título de la misma:

Síndrome de *Burnout* y calidad de vida de los sacerdotes y las religiosas de una vicaría de Guatemala

Jimena SANTA CRUZ ESPINOZA*

Departamento de Psicología, Facultad de Ciencias Sociales Universidad del Valle de Guatemala, Guatemala *Correspondencia: san20278@uvg.edu.gt

La necesidad de estudiar tanto el *burnout* como la calidad de vida surgió a partir del interés de saber si las diferentes actividades que realizan los sacerdotes y religiosas los pueden llevar a experimentar agotamiento mental, físico y emocional (*burnout*), el cual se ocasiona por el estrés al momento de ejercer su misión, la desmotivación y las expectativas idealistas que tienen de sí mismos. Para esta investigación, se utilizó un enfoque cuantitativo de tipo descriptivo correlacional, siendo la pregunta principal de investigación: ¿cómo afecta el síndrome de *burnout* en la calidad de vida en los sacerdotes y las religiosas de una vicaría de Guatemala? La muestra estuvo conformada por 90 religiosos y religiosas de una vicaría de Guatemala, con edades entre 23 y 69 años, siendo el promedio de edad 45 años. El 76% de la muestra nació en Guatemala, mientras que el porcentaje restante, nacieron en diferentes países: Costa Rica, El Salvador, España, Haití, Honduras y México. En la presente investigación se pudo destacar una diferencia significativa en la carga de trabajo, según la vida religiosa de los participantes (sacerdotes o religiosas); son los sacerdotes quienes reportan mayor carga de trabajo (Cuadro 1). En la investigación se identificó una diferencia estadísticamente significativa en la motivación intrínseca a favor de los participantes que reciben dirección espiritual, lo que indica que las personas que reciben dirección espiritual reportan niveles más altos de motivación intrínseca (Cuadro 2).

Cuadro 1. Diferencia de las subescalas de *Burnout* por sexo/grupo de religioso.**Table 1.** Differences in *Burnout* subscales by sex/religious group.

	U	p	Grupo	N	Media
Carga de Trabajo	628	0.002	Mujer / Religiosa	44	43.43
			Hombre / Sacerdote	46	55.85

Cuadro 2. Diferencia de las subescalas de calidad de vida por dirección espiritual.**Table 2.** Differences in quality of life subscales by spiritual direction.

	U	p	Grupo	N	Media
Motivación Intrínseca	712	0.05	No recibe Dirección Espiritual	33	78.3
			Sí recibe Dirección Espiritual	57	83.2

- U= Estadístico U de Mann-Whitney, el valor que resulta del cálculo al comparar las posiciones/rangos de los dos grupos.
- p= Es el valor de probabilidad (p-value), que indica si la diferencia entre los grupos es estadísticamente significativa

Revista UVG 47: 211-212

<https://doi.org/10.60885/RepoUVG/RevistaUVG.y2025.n47.m25020.p211-212>

Publicado 25 de octubre 2025



Sara María MONTERROSO-CIFUENTES

Ganadora del primer lugar en la Facultad de Ciencias y Humanidades

Subcategoría
de trabajo de graduación
XIV Feria Científica 2025
Universidad del Valle de Guatemala

Soy Sara Monterroso, licenciada en Biología de la Universidad del Valle de Guatemala. Desde que inicié la carrera en el año 2020, mi área favorita ha sido la botánica, con un interés particular en etnobotánica, biotecnología vegetal y educación ambiental. Al descubrir mi interés por la biotecnología vegetal, comencé a buscar laboratorios en Guatemala que tuvieran este enfoque para hacer mis prácticas profesionales. Así llegué al laboratorio de Biotecnología Vegetal del Instituto de Investigación en Ciencias Naturales y Tecnología de la Universidad Rafael Landívar (Iarna-URL), donde permanecí un año y dos meses. Durante este tiempo, participé en actividades enfocadas en el cultivo *in vitro* de orquídeas como parte de mis prácticas y, además, desarrollé mi trabajo de tesis. En conjunto con el equipo del laboratorio, identificamos la necesidad de estudiar el enraizamiento *in vitro* de las orquídeas, ya que cuentan con viales que llevan varios años dentro del laboratorio sin poder establecerse en condiciones *ex vitro* porque no tienen raíces lo suficientemente largas y resistentes. A partir de esta problemática, surgió el tema de mi tesis, enfocada en dos especies nativas que presentaban un crecimiento radicular limitado. El proceso para establecer las concentraciones de ANA y AIB que se utilizaron en este estudio implicó intentos, fallos y aciertos. Por ello, cuando observé la formación de raíces por primera vez fue algo muy satisfactorio y emocionante, ya que esto evidenciaba que los tratamientos aplicados estaban generando un efecto positivo y que mi trabajo comenzaba a convertirse en un aporte real para el laboratorio. Esta experiencia marcó mis intereses profesionales. A futuro, me gustaría estudiar una maestría en Biotecnología Vegetal en el extranjero para regresar después a Guatemala y contribuir al desarrollo de esta área, especialmente en la conservación y el cultivo de especies vegetales.

Efecto de diferentes concentraciones de ácido naftalenacético (ANA) y ácido indolbutírico (AIB) sobre el enraizamiento *in vitro* de plántula de *Lycaste cochleata* y *Sobralia macrantha*

Sara María MONTERROSO-CIFUENTES*

Departamento de Biología, Facultad de Ciencias y Humanidades, Universidad del Valle de Guatemala

*Correspondencia: mon201123@uvg.edu.gt

Resumen de la investigación: Efecto de diferentes concentraciones de ácido naftalenacético (ANA) y ácido indolbutírico (AIB) sobre el enraizamiento *in vitro* de plántula de *Lycaste cochleata* y *Sobralia macrantha*.

Orchidaceae es una de las familias de plantas más amenazadas a nivel mundial y la más amenazada en Guatemala. Frente a esta situación, el cultivo y la propagación *in vitro* han resultado ser alternativas viables y beneficiosas para su conservación. Sin embargo, estas técnicas implican muchos retos económicos y técnicos, especialmente en las fases de enraizamiento y aclimatación, ya que las respuestas hacia los tratamientos varían entre especies. A partir de esto, se planteó esta investigación con el principal objetivo de evaluar el efecto de distintas concentraciones de ácido naftalenacético (ANA) y ácido indolbutírico (AIB) en el enraizamiento *in vitro* de plántulas de *Lycaste cochleata* y *Sobralia macrantha*. Se realizaron ensayos utilizando medio Murashige y Skoog (MS) a la mitad de su concentración, modificado con auxinas sintéticas (ANA y AIB), cada una en tres concentraciones diferentes: 0.2, 0.4 y 0.6 mg/L. Durante cuatro meses se realizó una medición mensual de la cantidad y longitud de raíces por plántula en cada tratamiento. Los datos se analizaron a través de modelos aditivos generalizados mixtos (GAMM) en R Studio para determinar las tendencias de crecimiento de las raíces con cada tratamiento y se evaluaron diferencias entre los porcentajes de enraizamiento final con una prueba Chi-cuadrado y una comparación por pares de proporciones. Se comprobó que la respuesta a los tratamientos hormonales difiere significativamente entre ambas especies. *Lycaste cochleata* respondió de manera positiva a varios tratamientos, siendo el tratamiento 3 (ANA a 0.4 mg/L) el más efectivo, ya que presentó un mayor porcentaje de enraizamiento en un menor tiempo. *Sobralia macrantha* no presentó un crecimiento significativo en sus raíces en ninguno de los tratamientos evaluados (Figura 1). Este estudio aporta evidencia importante sobre el enraizamiento *in vitro* de dos orquídeas nativas de Guatemala y contribuye al desarrollo de estrategias diferenciadas de investigación y conservación de este grupo. De manera especial, establece bases para optimizar un protocolo de enraizamiento *in vitro* de *Lycaste cochleata*.

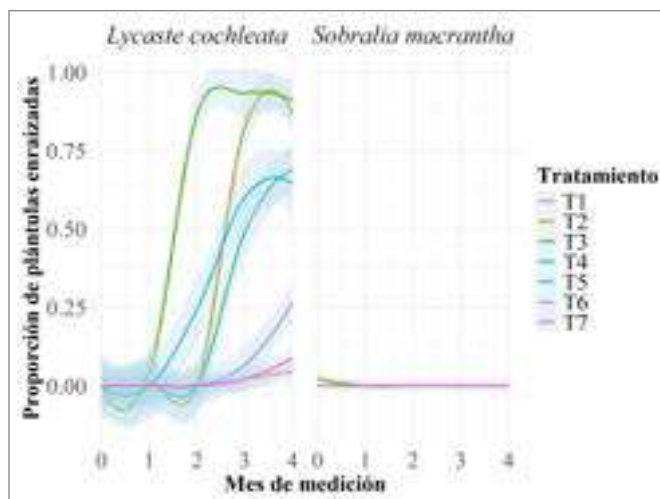


Figura 1. Proporción de plántulas enraizadas de las dos especies de orquídeas durante los meses de estudio.

Figure 1. Proportion of rooted seedlings of the two orchid species during the study months.

Revista de la Universidad del Valle de Guatemala



Información general

La Revista de la Universidad del Valle de Guatemala (UVG) es una revista de acceso libre que publica periódicamente los resultados del quehacer científico-académico de la institución. Se presentan contribuciones novedosas en español e inglés que no han sido publicadas en otras revistas.

La Revista de la UVG considera las siguientes categorías de manuscritos:

1. Artículos originales con los resultados de proyectos de investigación que se hayan llevado a cabo en la Universidad del Valle de Guatemala o en asociación con esta.
2. Artículos por invitación, solicitados directamente al autor(es), por el Editor.
3. Artículos de revisión que analicen e interpreten el avance del conocimiento en un tema.
4. Ensayos y trabajos de crítica, y creaciones literarias.
5. Resúmenes y acotaciones sobre conferencias, seminarios, talleres, foros y coloquios desarrollados en la Universidad del Valle de Guatemala.
6. Comentarios sobre libros recibidos en la biblioteca de la Universidad del Valle de Guatemala o libros con autores/editores de la institución.
7. Números especiales de la Revista de la UVG, patrocinados por un proyecto.

La Revista de la UVG da prioridad a artículos de investigación, artículos por invitación y artículos de revisión. Otras categorías de manuscritos se publican ocasionalmente y solo si el espacio disponible lo permite.

Procedimiento editorial

1. El Editor invita a la comunidad universitaria a enviar manuscritos con resultados no publicados previamente e indica la fecha límite para su recepción.
2. Los autores deben enviar el manuscrito, acompañado de una breve carta de presentación, en la que se debe incluir la sugerencia de dos posibles revisores externos a la UVG (nombre, afiliación y correo electrónico de los revisores).
3. El Consejo Editorial evaluará los manuscritos recibidos en función de su contenido y relevancia. Posteriormente, el editor enviará los manuscritos preseleccionados a revisión por pares, tanto internos como externos. Según las evaluaciones de los revisores, se podrá invitar a los autores a preparar una versión modificada de su manuscrito, acompañada de un documento separado que detalle cómo abordaron cada uno de los comentarios recibidos.
4. Una vez que el editor revise los manuscritos modificados, tomará la decisión final sobre su publicación en la Revista de la UVG y notificará a los autores. Luego, comenzará el proceso de diagramación, y los autores recibirán una prueba de imprenta en formato PDF para su revisión antes de la publicación definitiva.

GUÍA DE INSTRUCCIONES PARA LOS AUTORES

Artículo de investigación

El cuadro siguiente resume las características generales de los elementos que conforman un artículo de investigación.

Secciones	- Título (español e inglés) - Autores (indicando el "corresponding author") - Resumen (español e inglés) - Palabras claves / keywords - Introducción - Materiales y métodos - Resultados - Discusión (incluyendo conclusiones) - Agradecimientos - Referencias - Material complementario (opcional) y aprobación ética (si aplica)
Cantidad de páginas y especificaciones de formato	< 20 páginas de una sola columna (incluyendo cuadros, figuras y referencias); fuente Times New Roman tamaño 12; espaciado entre líneas 1.5; enviar documento como archivo en Word.
Cuadros	- Usar herramientas del programa Word. - Incluir leyendas en español e inglés.
Figuras	- Alta resolución (mínimo de 600 DPI), incluyen fotografías y diagramas. - Incluir leyendas en español e inglés.
Agradecimientos	Debe indicar también los permisos pertinentes.
Referencias	Debe incluir todas las referencias utilizadas en el texto, incluyendo las citadas en cuadros y leyendas.
Aprobación comité de ética	Si aplica, incluirla.
Material complementario (opcional)	Ver detalles abajo.

A continuación se encuentra una descripción más específica de cada elemento del manuscrito:

Título: Preferiblemente en dos líneas como máximo; debe, por un lado, describir adecuadamente el contenido del manuscrito, y por el otro, ser llamativo.

Resumen: Un solo párrafo de hasta un máximo de 250 palabras. Debe indicar el propósito de la investigación, ofrecer una descripción breve de la metodología y destacar los principales resultados y conclusiones. No debe incluir abreviaturas ni referencias.

Introducción: Debe presentar de manera clara y concisa el problema abordado, destacando el vacío de conocimiento que la investigación pretende llenar. Incluye una revisión de la literatura relevante con las citas correspondientes, ya que es fundamental para comprender la justificación del estudio. Generalmente, el último párrafo expone el objetivo general del estudio.

Materiales y Métodos: Esta sección debe detallar de manera detallada la metodología experimental empleada, incluyendo los materiales, el equipo y los métodos analíticos utilizados. La descripción debe ser lo suficientemente precisa y detallada para que un futuro lector pueda replicar el estudio con la información proporcionada.

Resultados: Debe presentar los datos analizados de manera clara y estructurada, apoyándose en cuadros y figuras. Los resultados deben organizarse en secciones que sigan una lógica coherente de principio a fin, facilitando su comprensión.

Discusión: En esta sección se presentan las interpretaciones y conclusiones de los resultados obtenidos, respaldándolos con referencias de publicaciones relevantes. Además, se pueden incluir sugerencias para futuros estudios en la temática, basadas en los hallazgos de la investigación.

Agradecimientos: En esta sección se pueden indicar las fuentes de financiamiento, así como el apoyo brindado por personas e instituciones durante la realización del estudio. Si aplica, también se deben mencionar aquí o en Materiales & Métodos los permisos obtenidos para llevar a cabo la investigación.

Referencias: Esta sección debe incluir todas las referencias citadas en el texto, incluidas aquellas en leyendas, figuras y cuadros. Las referencias deben presentarse en orden alfabético. A continuación, se proporcionan ejemplos de diferentes formatos según el tipo más frecuente de la referencia:

- **Referencia de artículos en revistas:** autor(es), año de publicación, título del artículo, nombre completo de la revista, volumen, número, y número de páginas. Para facilitar la búsqueda, incluir también el DOI (si está disponible).

Grace, K., Husak, G. J., Harrison, L., Pedreros, D. & Michaelsen, J. (2012). Using high resolution satellite imagery to estimate cropped area in Guatemala and Haiti. *Applied Geography* 32(2): 433-440.
<https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2011.05.014>

Flores-Anderson, A. I., Griffin, R., Dix, M., Romero-Oliva, C.S., Ochaeta, G., Skinner-Alvarado, J.... & Barreno, F. (2020). Hyperspectral satellite remote sensing of water quality in Lake Atitlán, Guatemala. *Frontiers in Environmental Science* 8: 7. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2020.00007>

- **Referencia de un libro:** autor(es), año de publicación, título del libro en itálico y en minúsculo, editorial con ciudad y país, si está disponible; DOI (si está disponible).

Falla, R. (2021). *Massacres in the jungle: Ixcán, Guatemala, 1975-1982*. Routledge, New York, EE.UU. Mejía-Ortiz, L. M., Sprouse, P., Tejeda-Mazariegos, J. C., Valladarez, J., Frausto-Martínez, O., Collantes-Chavez-Costa, A. L., Ruíz-Cancino & Yáñez, G. (2021). *Tropical subterranean ecosystems in Mexico, Guatemala and Belize: a review of aquatic biodiversity and their ecological aspects*. IntechOpen. doi: 10.5772/intechopen.77889

- **Referencia de un capítulo de un libro:** autor(es) del capítulo, año de publicación, título del capítulo en minúsculo, título del libro en itálico, nombre de los editores, editorial con ciudad y país (si está disponible), número de páginas, DOI (si está disponible).

Wehrtmann, I. S., Ramírez, A. & Pérez-Reyes, O. (2016). Freshwater decapod diversity and conservation in Central America and the Caribbean. In: *A global overview of the conservation of freshwater decapod crustaceans*, Kawai, T. & Cumberlidge, N. (eds), Springer International Publishing AG, Cham, Switzerland; pp. 267-301. DOI 10.1007/978-3-319-42527-6_9

- **Referencia del Internet:** autor(es), año de publicación, título, enlace completo (URL), fecha de último acceso.

R Core Team. 2016. R: a language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing. [<http://www.R-project.org>]. Accesado: 15 de marzo 2025.

- **Referencia de una tesis:** autor(es), año de publicación, título de la tesis en itálico, grado académico, universidad, instituto, ciudad, país.

Súchite Martínez, J.E. (2021). *Análisis del rendimiento académico de los estudiantes de licenciatura y profesorado de la Universidad del Valle de Guatemala, en el cambio a la virtualidad causada por Covid-19*. Licenciatura, Facultad de Ingeniería, Universidad del Valle de Guatemala, Guatemala.

Aguilar Mendoza, S.F. (2001). *Estimación de biomasa aérea y carbono almacenado en el área de aprovechamiento anual 2001, Uaxactún, Flores, Petén*. Licenciatura, Ingeniería Forestal, Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala.

• **Citas de bibliografía en el texto:**

- Ejemplo 1: de acuerdo a Salazar *et al.* (2004).
- Ejemplo 2: con varios estudios analizando esta temática (Cumberlidge *et al.* 2014; Magalhães *et al.* 2016; Álvarez *et al.* 2020). [Las citas deben ordenarse cronológicamente según el año de publicación, comenzando por la más antigua.]

Figuras: Todas las figuras deben mencionarse en el texto y numerarse correlativamente según el orden en que aparecen en el texto, por ejemplo, Figura 1 (nota: en mayúscula al referirse a ellas en el texto). Si una figura se subdivide, se debe emplear la nomenclatura Figura 1A, Figura 2B etc. Las figuras deben entregarse por separado en formato JPG con una resolución mínima de 600 dpi. En el manuscrito, se debe indicar el lugar sugerido para su inclusión. Las leyendas de las figuras deben colocarse debajo de estas y ser autoexplicativas, de modo que el lector pueda comprender todos los detalles (incluyendo el significado de símbolos utilizados) sin la necesidad de consultar el texto del manuscrito. Además, deben presentarse en español e inglés.

Cuadros: Para la elaboración de los cuadros se recomienda utilizar las herramientas del programa Word. Todos los cuadros deben mencionarse en el texto y numerarse correlativamente según el orden en que aparecen en el texto, por ejemplo, Cuadro 1 (nota: en mayúscula al referirse a ellos en el texto). Cada cuadro debe llevar una leyenda (español e inglés) concisa y clara, ubicada en la parte superior del cuadro. El formato de los cuadros debe mantenerse coherente en todo el manuscrito, evitando el uso de líneas verticales. Se debe minimizar el número de cuadros y figuras en el texto. Se recomienda encarecidamente a los autores incluir cuadros y figuras extensos como material complementario (anexo).

Artículo de revisión

La presentación del manuscrito es de libre formato según la especialidad. Para una mejor organización, se recomienda dividir el contenido en secciones con subtítulos acordes a la narrativa. El número de referencias debe ser preferiblemente menor a 100. Aunque no hay un límite en la cantidad de figuras y cuadros, se sugiere evaluar críticamente su inclusión para garantizar su relevancia. Al igual que en los artículos de investigación, el manuscrito debe incluir el título, leyendas de figuras y cuadros, resumen y palabras clave en español e inglés.

Artículos por invitación

El editor puede invitar a uno o más autores para presentar un manuscrito sobre una temática especial. Las indicaciones para el formato son principalmente las mismas que para los artículos de revisión.

Ensayos etc.

La estructura de este tipo de manuscrito es de libre formato, dependiendo de la especialidad. Para una mejor organización, se recomienda dividir el contenido en secciones con subtítulos alineados con la narrativa. Al igual que en los artículos de investigación, el manuscrito debe incluir el título, leyendas de figuras y cuadros, resumen y palabras clave en español e inglés.

Material complementario

Este material incluye figuras, cuadros y/o otro tipo de anexos que estarán disponibles exclusivamente en línea para los lectores de la Revista de la UVG. Es esencial que se haga referencia a este material dentro del manuscrito. Los autores deben asegurarse de que los archivos sean claros y concisos, con sus leyendas respectivas en español e inglés. El estilo debe mantenerse coherente con el resto del manuscrito y garantizar que se visualicen correctamente en cualquier navegador web. Se recomienda que los archivos no superen los 2 MB, aunque el editor de la Revista de la UVG podrá hacer excepciones a su criterio.

Principios éticos para la publicación de artículos científicos Revista UVG:

- **Aprobación ética y regulaciones:** Cuando aplique, los manuscritos que hayan involucrado la investigación con sujetos humanos o con animales (vertebrados) y sean sometidos para su publicación en la Revista UVG, deberán acompañarse (1) por las cartas de autorización / excepción de los comités de ética correspondientes y (2) los permisos pertinentes para su publicación. Estas autorizaciones y permisos no podrán ser retroactivos a la investigación.
- **Regulaciones y conflicto de interés:** Cuando aplique, las investigaciones que requieran autorizaciones o permisos por parte de ministerios, consejos nacionales, y demás indicados en la regulación nacional, deberán indicar en Agradecimientos o Material / Métodos los números de los permisos (preferiblemente una copia del oficio) para llevar a cabo estas investigaciones. Los autores deben declarar cualquier conflicto de interés relevante para la investigación y mencionar en su manuscrito cualquier relación financiera o similar que pueda influir en su publicación.
- **Declaración de uso de Inteligencia Artificial (IA):** Los autores deben declarar explícitamente si fue usada cualquier herramienta de IA durante la ejecución y realización de su investigación o propuesta para la publicación. Deberán cumplir con las guías y políticas institucionales para el uso de la IA (<http://ia.uvg.edu.gt/guia-ia/>), indicando las partes del trabajo incluyeron aportaciones de IA.
- **Consentimiento y sugerencia:** Todos los autores deben estar de acuerdo con la versión del manuscrito enviada a la Revista UVG. La carta de presentación debe estar firmada por todos los autores e incluir una descripción breve pero clara de la contribución de cada uno. La lista de autores debe ser completa e incluir a todas las personas que hayan realizado una contribución significativa al artículo.
- **Originalidad del trabajo:** El manuscrito enviado a revisión es original, no ha sido publicado previamente y no se ha enviado simultáneamente para su evaluación en otra revista.
- **Consentimiento para reproducir un trabajo:** El manuscrito no incluye material original copiado de otros autores/as sin su consentimiento. En caso el manuscrito contenga material de otros autores/as, se debe indicar claramente el consentimiento de éstos para su reproducción impresa y electrónica. Toda la información incluida en el manuscrito sometido a revisión, que procede de estudios anteriores debe ser citada. En caso el manuscrito sometido sea un análisis de una propuesta anteriormente publicada, también debe citarse.
- **Archivos de la Revista:** El manuscrito aceptado para su publicación en la Revista UVG será guardado en los archivos físicos y digitales (p.ej., repositorios y páginas web de la UVG) para su consulta pública.
- **Revisores:** Los revisores de los manuscritos deberán indicar si existe conflicto de interés con los autores o las investigaciones realizadas para excusarse de la revisión.

CAMPUS SUR
Universidad del Valle de Guatemala
www.campusur.uvg.edu.gt



Experiencia que trasciende
DEL VALLE
UNIVERSIDAD

Km. 92.5 Finca Comantulul Carretera
a Mazatenango, Santa Lucía
Cotzumalguapa, Escuintla.
Teléfono: 7955-2800
www.campusur.uvg.edu.gt

ALTIPLANO
Universidad del Valle de Guatemala
www.altiplano.uvg.edu.gt



Experiencia que trasciende
DEL VALLE
UNIVERSIDAD

Km. 137 Cantón El Xolbé,
Aldea El Tobión, Solalá.
Teléfonos: 7931-0814
www.altiplano.uvg.edu.gt



Universidad del Valle de Guatemala
18 Avenida 11-95, Zona 15, Vista Hermosa III, Zona 15.
01015 Guatemala, Guatemala, C.A.



<https://www.uvg.edu.gt/servicios/revista-uvg/>