



VOL. 35, N° 2, julio-diciembre 2025

# SCIENTIA

**REVISTA DE  
INVESTIGACIÓN DE LA  
UNIVERSIDAD DE PANAMÁ**

**Ciencias Naturales y Exactas, Ciencias de la Tierra,  
y Ciencias Computacionales**



**REVISTA DE INVESTIGACIÓN DE LA  
UNIVERSIDAD DE PANAMÁ**

**VOL.35, N° 2**

**JULIO-DICIEMBRE 2025**



## AUTORIDADES DE LA UNIVERSIDAD DE PANAMÁ

**Dr. Eduardo Flores Castro**  
Rector

**Dr. José Emilio Moreno**  
Vicerrector Académico

**Dr. Jaime Javier Gutiérrez**  
Vicerrector de Investigación y Postgrado

**Mgter. Arnold Muñoz**  
Vicerrector Administrativo

**Mgter. Mayanin Rodríguez**  
Vicerrectora de Asuntos Estudiantiles

**Mgter. Ricardo Him**  
Vicerrector de Extensión

**Mgter. Ricardo A. Parker**  
Secretario General

**Mgter. José Luis Solís**  
Director General de los Centros Regionales Universitarios



## COMITÉ EDITORIAL/EDITORIAL COMMITTEE

### EDITOR EN JEFE/EDITOR-IN-CHIEF

**Jaime A. Rivera Solís**

Universidad de Panamá, Geomorfólogo Ccimbio, COIBA. Centro de Capacitación, Investigación y Monitoreo de Biodiversidad., Centro Regional Universitario - Veraguas, Panamá.

[jaime.rivera@up.ac.pa](mailto:jaime.rivera@up.ac.pa)

<https://orcid.org/0000-0002-8265-7836>

### EDITORES EMÉRITOS/EMERITUS EDITORS

**Alfredo Lanuza-Garay**

Universidad de Panamá, Centro Regional Universitario - Colón, Facultad de Ciencias Naturales, Exactas y Tecnología, Departamento de Zoología, Panamá.

[alfredo.lanusa@up.ac.pa](mailto:alfredo.lanusa@up.ac.pa)

<https://orcid.org/0000-0003-0480-5490>

**Alfredo Figueroa Navarro**

Universidad de Panamá, Departamento de Sociología, Panamá.

<https://orcid.org/0000-0002-0982-1249>

**Héctor Barrios**

Universidad de Panamá, Programa Centroamericano de Maestría en Entomología, Panamá.

[hector.barriosv@up.ac.pa](mailto:hector.barriosv@up.ac.pa)

<https://orcid.org/0000-0002-0542-1731>

### EDITORES CIENTÍFICOS/SCIENTIFIC EDITORS

**Orlando O. Ortiz**

Universidad de Panamá, Facultad de Ciencias Naturales, Exactas y Tecnología, Panamá.

[orlando.ortiz@up.ac.pa](mailto:orlando.ortiz@up.ac.pa)

<https://orcid.org/0000-0002-7805-0046>

### EDITORES ASOCIADOS/ASSOCIATED EDITORS

**Alessio Papini**

Università degli Studi di Firenze (UNIFI), Italia.

[Alessio.papini@unifi.it](mailto:Alessio.papini@unifi.it)

<https://orcid.org/0000-0001-7904-0336>

**Arianna Michelle Hernández Sánchez**

Instituto Politécnico Nacional, Centro de Desarrollo de Productos Bióticos-IPN, México.

[ariannamhs@outlook.com](mailto:ariannamhs@outlook.com)



<https://orcid.org/0000-0001-9045-3537>

**Coral Jazvel Pacheco Figueiroa**

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, DACBiol, México.

coral.pacheco@ujat.mx

<https://orcid.org/0000-0001-5281-9251>

**Eloisa Adriana Guerra Hernández**

Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), Facultad de Estudios Superiores Zaragoza, México.

eloisaaguerrah@gmail.com, eagh@unam.mx

<https://orcid.org/0000-0003-3710-0884>

**Félix Rodríguez**

Instituto Smithsonian de Investigaciones Tropicales (STRI), Panamá.

rodriguezf@si.edu

<https://orcid.org/0000-0002-6015-7945>

**Jean Michel Maes**

Museo Entomológico de León, Nicaragua.

jmmaes@bio-nica.info

<https://orcid.org/0000-0002-5425-3439>

**Luc Legal**

Laboratoire Ecologie Fonctionnelle et Environnement, Université Paul Sabatier, Francia/México.

luc.legal@univ-tlse3.fr

<https://orcid.org/0000-0003-0424-2931>

**Nathalia Tejedor Flores**

Universidad Tecnológica de Panamá (UTP), Panamá.

nathalia.tejedor@utp.ac.pa

<https://orcid.org/0000-0002-0154-1955>

**Romina D'Almeida**

CONICET, Instituto Superior de Investigaciones Biológicas, Argentina.

rominadalmeida@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0001-5075-6381>

**Yehudi Rodríguez**

Universidad Marítima Internacional de Panamá (UMIP), Panamá.

nafisay@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0001-6947-9046>

**Yostin Aniño**

Universidad de Panamá, Museo de Invertebrados G. B. Fairchild, Panamá.

yostin0660@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0002-8870-8155>

**Yves Basset**

Instituto Smithsonian de Investigaciones Tropicales (STRI), Panamá.

bassety@si.edu



<https://orcid.org/0000-0002-1942-5717>

#### EDITORIA ASOCIADA/ ASSOCIATE EDITOR

##### **Damaris V. Tejedor De León**

Universidad de Panamá. Vicerrectoría de Investigación y Postgrado. Oficina de Publicaciones Académicas y Científicas. Panamá

[damaris.tejedor@up.ac.pa](mailto:damaris.tejedor@up.ac.pa)

<https://orcid.org/0000-0002-4350-196X>

#### SECRETARIA TÉCNICA/ TECHNICAL SECRETARY

##### **Nellys Muñoz Núñez**

Universidad de Panamá, Centro Regional Universitario de Veraguas, Facultad de Enfermería, Panamá

[nellys.munoz@up.ac.pa](mailto:nellys.munoz@up.ac.pa)

<https://orcid.org/0000-0002-2756-2068>

##### **Zaira Delgado**

Universidad de Panamá. Vicerrectoría de Investigación y Postgrado. Oficina de Publicaciones Académicas y Científicas. Panamá

[zaira.delgado@up.ac.pa](mailto:zaira.delgado@up.ac.pa)

<https://orcid.org/0000-0002-0634-714X>

#### SOPORTE TÉCNICO/TECHNICAL SUPPORT

##### **Edgar Pérez**

Universidad de Panamá. Vicerrectoría de Investigación y Postgrado. Oficina de Publicaciones Académicas y Científicas. Panamá

[edgar.perezr@up.ac.pa](mailto:edgar.perezr@up.ac.pa)

<https://orcid.org/0000-0002-0466-001X>



## INDICE

<b>EDITORIAL.....</b>	<b>8</b>
<b>Gastropod's and Bivalves from the rocky shore of la restingue, Montijo, Veraguas, Panama. ....</b>	<b>10</b>
<b>Lunar phase effects on spatial distribution, male size and claw waving in the Fiddler Crab <i>Uca Heteropleura</i> at El Agallito beach, Panama.....</b>	<b>28</b>
<b>Evaluación de la genotoxicidad del agua del río Siete en juveniles de tilapia <i>Oreochromis niloticus</i> mediante la prueba de micronúcleos y ensayo cometa .....</b>	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
<b>Composición y estructura de la flora arbórea en una parcela de bosque secundario maduro del Parque Nacional Soberanía, Panamá.....</b>	<b>79</b>
<b>Ánalisis de la eficiencia de redes sensoriales para el cultivo del girasol, caso de estudio: FACIAG UTB .....</b>	<b>100</b>
<b>Medición y análisis de los niveles de señal de la televisión digital terrestre en ciudad de Panamá utilizando un UAV.....</b>	<b>126</b>
<b>Percepción de docentes y estudiantes del impacto de la inteligencia artificial en la comunicación social y la sociedad del conocimiento .....</b>	<b>155</b>
<b>Potencial del polen en la industria: variabilidad y su impacto en la apicultura tropical.....</b>	<b>180</b>



## EDITORIAL

La revista **SCIENTIA** tiene por objeto publicar resultados de investigaciones originales e inéditas. Editada por la Vicerrectoría de Investigación y Postgrado de la Universidad de Panamá, busca acrecentar y contribuir con el avance del conocimiento científico y tecnológico a nivel nacional e internacional.

En esta segunda entrega 2025 ofrece a la comunidad científica (investigadores profesores, estudiantes y profesionales), siete (7), artículos científicos inéditos y un (1) ensayo, producto del trabajo investigativo y del compromiso académico de los investigadores. De primera mano se destaca el artículo que analizó las poblaciones de moluscos y su nivel trófico en tres estaciones, con diferentes grados de exposición al oleaje, sobre el litoral rocoso del pacífico veragüense; los resultados demuestran que, la distribución de los moluscos y los diferentes grupos tróficos, pueden estar controlados por adaptaciones morfológicas, así como el nivel de exposición al oleaje y composición del sustrato. Seguidamente, se presenta una importante investigación que estudió una población de *Uca heteropleura* para examinar el efecto de las fases lunares, tamaño de los machos y comportamiento reproductivo en la actividad de cortejo en playa El Agallito, Panamá; los resultados sugieren que dos clases de talla de machos están activas en distintos momentos del ciclo semilunar, influenciadas por la preferencia de las hembras: los machos grandes son favorecidos al inicio, mientras que los pequeños incrementan su cortejo cerca de la marea de sicigia. Además, esta entrega incluye una reveladora pesquisa que evaluó la genotoxicidad del agua del río Siete en juveniles de *Oreochromis niloticus* mediante el ensayo de micronúcleos y el ensayo Cometa; estos resultados subrayan la importancia del monitoreo ambiental continuo y el uso de *O. niloticus* como bioindicador de contaminación por metales pesados en ecosistemas acuáticos. También, contiene una investigación cuyo objetivo fue evaluar la composición florística y la estructura de la flora arbórea en una parcela de una hectárea del bosque secundario maduro del Parque Nacional Soberanía, Panamá; los resultados resaltan la relevancia ecológica del bosque como refugio de biodiversidad y fuente de regeneración natural.

Por otro lado, en este número resalta una investigación cuyo objetivo fue evaluar la eficiencia de las redes sensoriales para mejora el cultivo de girasol, utilizando sensores PIR HC-SR501, DHT11 y DHT22 para monitorear movimiento, temperatura y humedad; los resultados demuestran que la adopción de redes sensoriales en el cultivo de girasol puede incrementar la eficiencia, y mejorar las condiciones de cultivo. También incorpora una pesquisa que demuestra la viabilidad del uso de un Vehículo Aéreo No Tripulado (UAV) equipado con una tarjeta Raspberry Pi 3 como capturadora de señales de RF, mediante el uso de un receptor

definido por software (SDR), unidad GPS y una antena de recepción, para medir los niveles de señales de los canales de Televisión Digital Terrestre (TDT) en la Ciudad de Panamá. Se indica que entre el método desarrollado de medición se establece un ahorro de tiempo de aproximadamente 11.74 horas comparado con el método convencional. Finalmente, se destacan los resultados de la investigación que tuvo por objeto analizar el impacto de la IA en la comunicación social y su aporte al desarrollo de la sociedad del conocimiento; los resultados sugieren que la IA tiene un enorme potencial transformador, facilitando la innovación en sectores clave como medicina, educación, transporte y comunicación.

Además, atendiendo a los tipos de producciones científicas que contempla la revista, se presentan a la comunidad científica un (1) ensayo; estudio el cual, indica que el objetivo fundamental de la apicultura es proporcionar productos apícolas de alta calidad y servicios de polinización con la máxima eficiencia. Los resultados permiten concluir que, a nivel nacional el polen de abeja podría ser un producto viable para producir y comercializar cumpliendo con todos los estándares de calidad, diversificando así la oferta apícola en Panamá.

Agradecemos a cada uno de los autores por haber elegido la revista **SCIENTIA** para publicar el resultado de sus investigaciones, así como a la Oficina de Publicaciones Científica y Académicas, de la Vicerrectoría de Investigación y Postgrado de la Universidad de Panamá por el apoyo brindado, reafirmando el compromiso con la difusión de la ciencia en nuestro país.

**Dr. Jaime A. Rivera Solís**  
Director - Editor



pp. 10 – 27

## **Gastropod's and Bivalves from the rocky shore of la restingue, Montijo, Veraguas, Panama.**

### **Gasteropodos y Bivalvos del litoral rocoso de la restingue, Montijo, Veraguas, Panamá.**

**Darío Eliecer Córdoba González**

Universidad de Panamá, Facultad de Ciencias Naturales, Exactas y Tecnología,  
Panamá. Sistema Nacional de investigación SNI-SENACYT.

[dario.cordoba@up.ac.pa](mailto:dario.cordoba@up.ac.pa)

<https://orcid.org/0000-0002-0693-4176>

Recepción: 09/11/2024

Aprobación:07/04/2025

DOI:

#### **Abstract**

Mollusk populations and their trophic level were analyzed at three stations with different degrees of exposure to waves (exposed area and protected area) on the rocky coast of La Restingue, Cerro Hoya National Park, Gulf of Montijo, Veraguas province. Biological material was collected manually, and specimens were preserved in jars with 70% alcohol. They were determined, counted and recorded in the National Reference Collection of the Malacology Museum of the University of Panama (MUAMUP) in the laboratory. The total abundance of species and specific evidence were determined and through a bibliographic review each species was assigned its trophic category, classifying them as: herbivores, filter feeders, suspension feeders, carnivores, scavengers, herbivore-filter feeders, herbivore-detritivores, and carnivore-herbivores. A total of 290 individuals were obtained; represented by seventy-seven species corresponding to the classes Gastropoda (64) and Bivalvia (13); contained in thirty-eight families. Herbivores were the dominant group (36.36%), followed by carnivores (35.06%), filter feeders (16.88%), suspension feeders (2.60%), scavengers (2.60%), herbivore-filter feeders (2.60%), carnivore-herbivore (2.60%) and herbivore-detritivore (1.30%). Herbivorous species, filter feeders and herbivore-filter feeders (54.54%) dominated in the protected area, while in the exposed area, they were carnivores and herbivores. The constant species in two of the three stations during the study period was the herbivore *Littorina aspera* Philippi, 1846. It can be deduced that the distribution of mollusks and the different trophic groups may be controlled by morphological adaptations, as well as the level of exposure to waves and substrate composition.

Keywords: mollusks, rocky, herbivorous, filter-feeding, carnivorous.



## Resumen

Se analizó las poblaciones de moluscos y su nivel trófico en tres estaciones, con diferentes grados de exposición al oleaje (área expuesta y área protegida), en el litoral rocoso de La Restingue, Parque Nacional Cerro Hoya, golfo de Montijo, provincia de Veraguas. La recolección del material biológico se realizó de forma manual y los especímenes fueron preservados en frascos con alcohol al 70%. En el laboratorio fueron determinados, contados y registrados en la Colección Nacional de Referencia del Museo de malacología de la universidad de Panamá (MUAMUP). Se determinó la abundancia total de especies, constancia específica y por medio de una revisión bibliográfica se le asignó a cada especie su categoría trófica, clasificándolos en: herbívoros, filtradores, suspensivores, carnívoros, carroñeras, herbívoros-filtradores, herbívoros-detritívoros y carnívoras-herbívoras. Se obtuvo un total de 290 individuos; representado por 77 especies correspondientes a las clases Gastropoda (64) y Bivalvia (13); contenidas en 38 familias. Los herbívoros fueron el grupo dominante (36.36%), seguido por carnívoras (35.06 %), filtradoras (16.88%), suspensivora (2.60%), carroñeras (2.60%), herbívoras-filtradoras (2.60%), carnívoras-herbívoras (2.60%) y herbívora-detritívora (1.30%). Las especies herbívoras, las filtradoras y herbívoras-filtradoras (54.54%), dominaron en el área protegida, mientras que, en el área expuesta, fueron las carnívoras y herbívoras. La especie constante en dos de las tres estaciones durante el período de estudio fue la herbívora *Littorina aspera* Philippi, 1846. Pudiendo deducir que la distribución de los moluscos y los diferentes grupos tróficos, pueden estar controlados por adaptaciones morfológicas, así como el nivel de exposición al oleaje y composición del sustrato.

**Palabras claves:** moluscos, rocoso, herbívoros, filtradores, carnívoros.

## Introduction

On rocky shores, there is a wide variety of incidental factors, such as physicochemical factors (wave exposure, temperature, desiccation, salinity, oxygen, light, and surface fixation), biological factors (competition, predation, and recruitment), and tidal interactions. The spatial and temporal variation of these factors determines the characteristics, distribution, and behavior of existing populations (Doty, 1957; Denley and Underwood, 1979; Garrity and Levings, 1981).

Some factors influencing the distribution of organisms on intertidal rocky substrates appear to follow Connell's (1961) classic model, in which the upper limit is determined by physical variables (temperature and desiccation) and the lower limit by biological interactions such as competition and predation. Other authors, Stephenson and Stephenson (1949) and Lewis (1972), point out that different degrees of wave exposure, different temperature regimes, and different types of rocky substrates influence the trophic structure of these environments. In this regard, Olabarriá *et al.* (2001) indicate that the factors that control the distribution of trophic



groups determine community structure; at the same time, the distribution and abundance of functional groups are correlated with the physical factors of the environment.

According to Livore *et al.* (2021), in rocky ecosystems, biodiversity studies are considered key tools for identifying changes in communities that help inform decisions for the protection of this coastline, providing an appropriate response to address potential coastal threats.

For Tait (1970), rocks in the tidal zone provide residence for numerous species; A wide variety of forms usually exist among the rocky bottom population due to the irregularities of the rock surfaces. Supported especially by browsing and scraping specimens, the rocky coast's erosive shape allows for almost no detritus accumulation, although the surviving mollusks in this area are primarily sessile organisms, which are slow-moving herbivorous and carnivorous gastropods and filter-feeding bivalves. However, feeding is an important aspect of the activities of organisms living in this type of habitat (Fernández and Jiménez, 2006).

On rocky shores, their biodiversity is represented by populations of highly adapted organisms that sustain and survive on vertical surfaces, withstand prolonged periods of desiccation, endure sharp changes in salinity and temperature, and are resilient to strong waves (López-Victoria *et al.*, 2004; Fernández and Jiménez, 2006; Garay-Tinoco, 2010). These natural stress factors favor these ecosystems, contributing to the highly varied biocenosis, a consequence of these forced changes, due to certain spatial-scale demographic parameters such as species richness, abundance, and distribution, which vary depending on the availability of trophic resources and habitats (Tlig-Zouari *et al.*, 2010; Jaleel *et al.*, 2022).

Based on Mille *et al.* (1993); Williams (1994); Margalef (1995); In the rocky zone, the malacological fauna constitutes a very stable community due to the composition of the substrate. Colonization and the arrangement of mollusks in this



habitat are determined by morphological adaptations that allow them to withstand environmental conditions. For Odum (1984), knowledge of the functional groups of marine benthic associations gives us an idea of how and to what extent the dominant energy in the ecosystem is utilized by mollusks and provides indirect information on the physical characteristics of the environment.

According to Margalef (1986), the fauna of rocky coasts varies greatly from one location to another, even if they are close together. Food alternatives are limited: either they filter the water or capture small planktonic animals, or they attack other members of the same community.

There are some studies on the important role of predation on rocky shores and their trophic structure (Paine, 1974 and 1976; Menge *et al.*, 1985 and 1986; Ojeda and Dearborn, 1991; Williams, 1994).

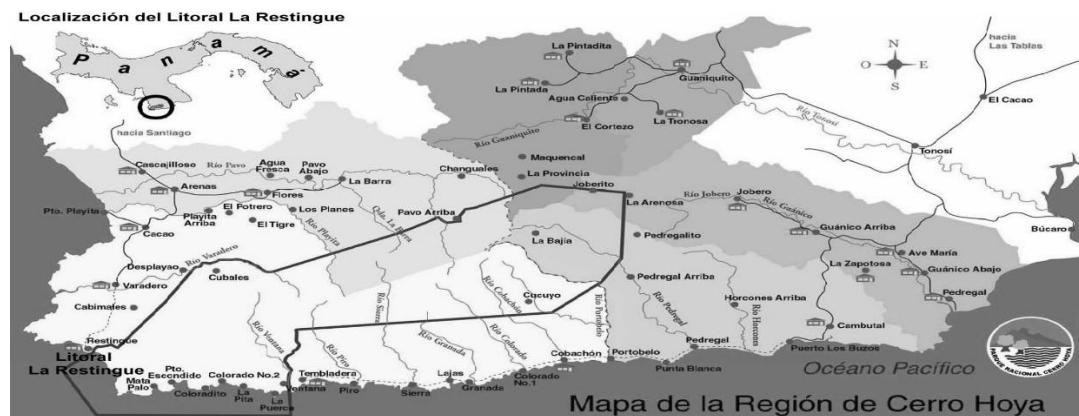
There is little information on the trophic levels of mollusk communities in our country, so the objective of this work was to learn about the structure of a mollusk community and its trophic level in an area exposed and another protected from the waves in La Restingue, in the Cerro Hoya National Park, Veraguas, Panama.

### **Materials and methods**

Sampling site: The study was conducted on the La Restringe coast, located within the Cerro Hoya National Park grounds; at the southwestern end of the Azuero peninsula, comprising the Hoya and Tres Cerros hills in the Montijo district, Veraguas province, and the Tonosí district, Los Santos province (Figure 1).

## Figure 1

*Location of the La Restingue coastline, Cerro Hoya National Park, between the provinces of Veraguas and Los Santos, in the district of Tonosi.*



Fuente: Photo courtesy of Mi Ambiente.

This is a rocky-sandy coastal ecosystem with some white sandy beaches of approximately 2 km. long, including a small mangrove swamp. The beach is characterized by a rocky-sandy and rocky sediment with areas of bare rocks that mark the transition between land and sea. In addition, there are the mouths of the Restinge and Ventana rivers, with reefs, keys and an island of 1/2 km. in diameter in front of the beach. The continental shelf reaches up to one hundred meters deep. This coastal ecosystem has shrub vegetation among which are native cotton, squash and some types of palms such as *Bactris major* (uvito), *Cocos nucifera* (coconut); as well as trees such as *Licania platypus* (sapote) and *Cavanillesia platanifolia* (cuipo).

The forest type is the very humid premontane forest (bmh-PM). The vegetation of the very humid tropical forest life zone (bmh-T) has a similar appearance to the previous ones. This confirms that, at least from the point of view of its structure, the forests of Azuero suffer more from the conditions of the relief and the altitudinal levels than from the ecological conditions of the life zone to which they belong. On the less rugged relief we find, in the dominant stratum, Miguelario, Espavé, Sigua, Aguacatillo, Ratón, Nispero, Berba, Corotu, Sandé, Quira, Chutra,



Zapote, Caoba, María; and in the dominated stratum, Alfajía, Alcarreto, Guabo, Ajo, Canaludo, Lechoso, Cortéz, Sahumerio.

The climate of the park and its surrounding area is within the humid tropical climate region, and is influenced by its geographical position, its proximity to the sea and its relief. Precipitation in the study area is of the convective and orographic type. Mountain barriers cause a rise in humid air, increasing cloudiness and precipitation. Precipitation is called orographic rain because it is caused by the collision of the dominant winds loaded with humidity with the mountains or the relief. The high temperatures of the sea also favor the warming and evaporation of water. As the air loaded with humidity, coming from the Pacific Ocean, moves inland, the air masses meet the mountains located in the upper part of the basins, causing orographic precipitation that reaches values of up to 4200 mm/a. The spatial variation of the temperature depends on the elevation. In the study area the average annual temperature ranges between 20°C and 28°C.

**Study method:** The collection was conducted over a six-month period from morning to afternoon when the tide began to go out until it rose again. Three perpendicular stations were established along the coastline, each 10 m long, following the methodology proposed by Jones (1980), cited by Contreras *et al.* (1991), taking as starting and ending points the position of organisms that indicate the environment. A total of three stations were established along the transect, locating station one in the supralittoral zone, station two in the mediolittoral zone, and station three in the sublittoral or completely submerged zone.

The samples were taken by scraping the entire surface of the rocks with a spatula and collecting the material present above and below manually. The collected organisms were then preserved in 70% and identified with the aid of specialized literature (Keen, 1971) to the lowest possible taxonomic rank.

According to the descriptions of Hughes (1986), Greenway (1995), Pontier & Lamy (1998) and Olabarria *et al.* (2001), each species was assigned a trophic



category, classifying them as herbivores, filter feeders, carnivores, scavengers, suspension feeders, herbivore-filter feeders, herbivore-detritivores and carnivore-herbivore.

## Results

Community structure: A total of 290 organisms were obtained in the three stations, represented by 77 species (28 herbivores, 27 carnivores, 13 filter feeders, two scavengers, two suspensivore, two herbivore-filter feeders, two carnivore-herbivore and one herbivore-detritivore), of which 64 belong to the Gastropoda class and 13 to Bivalvia, contained in 38 families (Table 1, 2 and 3). The most representative species were the herbivore *Nerita funiculata* Menke, 1850 and the carnivore *Plicopurpura columellaris* (Lamarck, 1816) followed by *Siphonaria gigas* G.B. Sowerby I, 1825 (Table 1) in terms of the total number of individuals.

The most abundant class was Gastropoda, with a total of 247 individuals, distributed in thirty-two families, forty-five genera, sixty-four species; in the Bivalvia class, forty-three individuals were collected, distributed in seven families, ten genera and thirteen species (Table 1 and 2).

**Trophic categories:** Regarding the composition of the trophic categories for the whole community, herbivores were the category with the highest frequency with twenty-eight followed by carnivores with twenty-seven species, respectively. In the others, thirteen filter feeders were collected, two species were placed in the herbivore-filter feeder category, two scavengers, two suspension feeders, two carnivore-herbivore and one herbivore-detritivore.

For the Gasteropoda class, the herbivorous species dominated: *Nerita funiculata*, *N. scabricosta* Lamarck, 1822, *Purpura pansa*, *Fissurella longifisa* Sowerby, 1862, *Tegula pellisserpentis* (W. Wood, 1828), *Opeatostoma pseudodon* (Burrow, 1815) and *Titanostrombus galeatus* (Swainson, 1823); While the species *Pinctada mazatlanica* (Hanley, 1856), *Ostrea conchaphila* P. P. Carpenter, 1857,

*Chama echinata* Broderip, 1835, *Donax assimilis* Hanley, 1845 and *Leukoma grata* (Say, 1831) were the most abundant filter feeders for the class Bivalvia.

**Table 1**

Families, species and trophic categories of rocky coast mollusks at station one (supralittoral floor)

<b>Families</b>	<b>species</b>	<b>Trophic category</b>	<b>Total</b>
Donacidae	<i>Donax assimilis</i>	Filter	3
Neritidae	<i>Nerita scabricosta</i>	Herbivore	10
	<i>N. funiculata</i>	Herbivore	22
	<i>Teodozus luteofaciatus</i>	Herbivore	7
Littorinidae	<i>Littorina aspera</i>	Herbivore	3
Cypraidae	<i>Cypraea cervinetta</i>	Herbivore	6
	<i>C. robertsi</i>	Herbivore	6
Cassididae	<i>Casis centiquadrata</i>	Carnivorous	1
Muricidae	<i>Plicopurpura columellaris</i>	Carnivorous	20
	<i>Thais biserialis</i>	Carnivorous	1
	<i>Acanthina brevidentata</i>	Carnivorous	1
	<i>Cymia tecta</i>	Carnivorous	1
Buccinidae	<i>Solenosteira mendozana</i>	Carnivorous	1
Olividae	<i>Olivella anazora</i>	Carnivorous	2
	<i>O. morrisoni</i>	Carnivorous	1
Mitridae	<i>Mitra lens</i>	Carnivorous	1
	<i>M. tristis</i>	Carnivorous	1
Terebridae	<i>Terebra panamensis</i>	Carnivorous	4
	<i>Hastula luctuosa</i>	Carnivorous	7
Bullidae	<i>Bulla rufolabris</i>	Carnivorous-Herbivorous	2
	<i>B. punctulata</i>	Carnivorous-Herbivorous	3
Siphonaridae	<i>Siphonaria gigas</i>	Herbivore	14

**Table 2**

Families, species and trophic categories of rocky coast mollusks at station two (mesolittoral floor).

<b>Families</b>	<b>species</b>	<b>Trophic category</b>	<b>Total</b>
Arcidae	<i>Anadara similis</i>	Filter	1
	<i>Barbatia gradata</i>	Filter	3

	<i>B. rostae</i>	Filter	1
	<i>B. reeveana</i>	Filter	2
Pteriidae	<i>Pinctada mazatlanica</i>	Filter	10
Ostreidae	<i>Ostrea conchaphila</i>	Filter	5
	<i>O. iridescent</i>	Filter	1
Crassatellidae	<i>Crassinella adamsi</i>	Filter	1
Chamidae	<i>Chama echinata</i>	Filter	6
Veneridae	<i>Megapitaria aurantioca</i>	Filter	2
	<i>Leukoma grata</i>	Filter	7
	<i>Tivela planulata</i>	Filter	1
Fissurellidae	<i>Fissurella longifisa</i>	Herbivore	10
Acmaeidae	<i>Scurria stipulata</i>	Herbivore	4
	<i>Collisella acetapex</i>	Herbivore	6
Trochidae	<i>Tegula pelisserpentis</i>	Herbivore	10
	<i>T. panamensis</i>	Herbivore	4
	<i>T. verrucosa</i>	Herbivore	2
Turbinidae	<i>Astrea bushii</i>	Herbivore	4
	<i>Turbo fluctuosos</i>	Herbivore	1
Architectonicidae	<i>Architectonica nobilis</i>	Carnivorous	1
Littorinidae	<i>Littorina aspera</i>	Herbivore	4
	<i>L. fasciata</i>	Herbivore	1
Vermidae	<i>Tripsyche tulipa</i>	Suspensivore	1
	<i>Macroprhagma petaloconchus</i>	Suspensivore	1
Cerithidae	<i>Cerithium adustum</i>	Herbivore	1
	<i>C. menkei</i>	Herbivore	5
	<i>C. uncinatum</i>	Herbivore	2
Potamididae	<i>Cerithidea valida</i>	Herbivore	1
Ranellidae	<i>Cymatium vestitum</i>	Herbivore	2
Hipponicidae	<i>Hipponix grayanis</i>	Herbivore	5
Columbellidae	<i>Columbella sonsonatensis</i>	Herbivore	4
	<i>C. labiosa</i>	Herbivore	1
Nassariidae	<i>Nassarius corpulentus</i>	Scavengers	5
	<i>N. angulicosta</i>	Scavengers	1
Fasciolaridae	<i>Fasciolaria princeps</i>	Carnivorous	4
	<i>Latirus centrifugus</i>	Carnivorous	3
	<i>L. tumens</i>	Carnivorous	2
	<i>Opeatostoma pseudodon</i>	Carnivorous	10
Muricidae	<i>Muricanthus princeps</i>	Carnivorous	2
	<i>Hexaplex erythrostomus</i>	Carnivorous	2
	<i>Murexiella keenae</i>	Carnivorous	1

**Table 3**

*Families, species and trophic categories of rocky coast mollusks at station three (sublittoral floor).*

Families	species	Trophic category	Total
Turritellidae	<i>Turritella banksi</i>	Herbivore	1
	<i>T. rubescens</i>	Herbivore	1
	<i>Vermetus fewkesi</i>	Herbivore	1
Strombidae	<i>Titanostrombus galeatus</i>	Herbivore-Detritivore	10
Calyptaidae	<i>Crucibulum umbrela</i>	Herbivore-filter feeder	1
	<i>Calyptraea mamillaris</i>	Herbivore-filter feeder	1
Melongenidae	<i>Melongena patula</i>	Carnivorous	2
Conidae	<i>Conus gladiator</i>	Carnivorous	5
	<i>C. fergusoni</i>	Carnivorous	2
	<i>C. patricius</i>	Carnivorous	3
	<i>C. purpurascens</i>	Carnivorous	4
	<i>C. nux</i>	Carnivorous	1
	<i>C. dalli</i>	Carnivorous	1

Regarding the degree of exposure to waves, in the protected locations a large quantity of algae and a greater number of herbivorous individuals were observed, represented mostly by the genera *Nerita*, *Fissurella*, *Tegula*, *Cerithium* and *Siphonaria*, while in the high energy areas (strong waves) the filter feeders of the genera *Pinctada*, *Ostrea*, *Chama*, *Donax* and *Protobrachia* were more abundant; and the carnivores *Conus* and *Opeatostoma*.

### Discussion

One of the richest ecosystems is rocky coastlines, because they are very practical natural laboratories to study ecological aspects, such as vertical distribution and biodiversity (Satyam and Thiruchitrambalam, 2018).

Gastropods had the most species, a result that agrees with what was described by Souza *et al.* (2020) for this type of ecosystem in tropical regions, which confirms the adaptability of the group for this type of coastline; this is well documented by Marval (1986), Jiménez *et al.* (2004) and Fernández-Malavé and



Jiménez-Prieto (2007), in works carried out on rocky coastlines of Venezuela. For their part, Mille-Pagaza *et al.* (1994) add that this class of mollusks dominate in this ecosystem, due to their physiological and ethological adaptations that are favored by strong waves, they also avoid desiccation and solar radiation, with heat shock proteins, modifications in mitochondrial respiration and cardiac function, also behavioral adaptations such as aggregation, retraction of the foot into the shell or orientation of the shell and habitat selection, among others (Somero, 2002; Chapperon and Seuront, 2011; Miller and Denny, 2011).

In the analysis of mollusc populations, it was observed that the majority of species and individuals were obtained in the locations most protected from the waves (supralittoral and mesolitoral), and the fewest in the locations most exposed to the waves (sublittoral); these observations indicate that the characteristics of the substrate, consisting of small rocks, boulders and gravel; the low swell influenced by the incident wind, and the reduced tidal range in these shallow, calm waters, make it possible for a large number of species and organisms that have adapted to these coastal environments to establish themselves; positively influencing these indices, unlike the exposed locations where strong waves and the substrate formed by large rough rocks, with cracks and steep slopes affect, will not allow a greater abundance of species, but only the presence of the species most resistant to these exposed locations; according to Connell's model (1961), this distribution of mollusk populations is influenced by some factors that cause the distribution of organisms in the intertidal rocky substrates, in which the organisms found at the upper limit are located there by physical variables such as temperature and desiccation, while those found at the bottom by competition and predation, which are biological interactions.

The variability in the number of species in the three study locations is related to exposure to waves, which according to Lewis (1972) is the most influential factor in the presence and distribution of species on rocky coasts; in addition, Sevillano-



Romero *et al.* (2022) indicate that in protected areas the number of species found is generally greater, because a limiting factor for some mollusks is the action of waves.

The study shows that the trophic structure of the mollusk community seems to be defined based on the physical and environmental characteristics of each location; in this case, herbivores such as *Nerita funiculata* and *N. scabricosta* dominated the areas exposed to waves and strong incident winds, which makes it possible for the turgor event to be more noticeable in this area and, consequently, there is an enrichment of the water masses, which allows a greater contribution of organic matter and greater abundance of phytoplankton (Fukuoka, 1966; Rueda, 2000); this condition is used directly by filter-feeding organisms and indirectly by other organisms such as carnivores, which was the second most abundant group in these areas, through trophic networks; although for Dayton (1975) and Jiménez *et al.* (2004), this distribution of mollusks in trophic levels is controlled by the level of exposure to waves, the composition of the substrate, morphological adaptations and the morphological adaptations of each organism.

On the contrary, herbivores dominated in protected areas, possibly due to the less severe environmental conditions and the large amount of algae present in these locations, which is in agreement with the results observed by Olabarria *et al.* (2001) who observed that in the rocky coast of the Eastern Tropical Pacific, herbivores and algae dominated in locations protected from waves, indicating that the structure of rocky substrate communities is determined by complex interactions between biotic and abiotic factors.

Dayton (1975) and Menge and Sutherland (1976) indicate that biotic effects can be complex, ranging from grazing effects, carnivore/prey interactions and competition for space. The distribution of mollusks and the different trophic groups can be controlled by morphological adaptations, as well as the level of exposure to waves and the composition of the substrate (Dayton, 1975, Jiménez *et al.*, 2004). Additionally, significant changes in the biomass and number of species of intertidal



macroalgae are closely related to variations in the richness and abundance of mollusks when climatic periods are considered (Ojeda, 2012); furthermore, Beukema (1992) indicates that these climatic factors are very important in the variation of the structure of the benthos.

The complexity is associated with the increase of trophic groups where carnivores, filter feeders, suspension feeders and scavengers play a significant role (Bianchi and Morri 1985, Gambi and Giangrande 1985). Olabarria *et al.* (2001) indicate that the trophic complexity and spatial heterogeneity of the associations depend on the life history of each species.

### Conclusion

The complexity of the trophic groups was greater in sites exposed to waves (mesolittoral and sublittoral), where herbivores, filter feeders and carnivores dominated, decreasing in the more protected sites (supralittoral), where carnivores and herbivores were more abundant. Regarding the trophic structure of the community, it's defined by the degrees of exposure to waves, however, the absence of similar studies makes it difficult to make more precise qualitative and quantitative comparisons.

### Acknowledgments

Many thanks to the MiAmbiente staff for their help in obtaining the collecting permit, and to the staff of the Malacology Museum of the University of Panama (MUMAUP) for granting us access to the National Reference Collection of Panama.

### Bibliographic References

- Beukema, J.J. (1992). Expected changes in the Wadden Sea benthos in a warmer world: lessons from periods with mild winters. *Netherlands Journal of Sea Research*, 30, pp. 73-79.
- Bianchi, C.N. and Morri, C. (1985). I policheti come descrittori della struttura trofica degli ecosistemi marini. *Oebalia*, 11, pp. 203-214.



- Chapperon, C. and Seuront, L. (2011). Behavioral thermoregulation in a tropical gastropod: links to climate change scenarios. *Global Change Biology*, 17, pp. 1740-1749.
- Connell, J.B. (1961). The influence of interspecific competition and other factors on the distribution of the barnacle *Chatamalus stellatus*. *Ecology*, 42, pp. 710-723.
- Contreras, R., Cruz, F. and Ibáñez, A. (1991). Ecological observations of the molluscs of the rocky intermedital zone at Chamele Bay, Jalisco, México. *Anales del Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México*, 64, pp. 17-32.
- Dayton, P.K. (1975). Experimental evaluation of ecological dominance in a rocky intertidal algal community. *Ecological Monographs*, 45, pp 137-159.
- Denley, E. and Underwood, A. (1979). Experiments on factors influencing the settlement survival and growth of two species of barnacles in New South Wales. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 13, pp. 111-158.
- Doty, S. (1957). Rocky intertidal surfaces. E.W. Hedgth (ed). *Treatise on Marine Ecology and Paleocology. Memoirs of the Geological Society of America*, 67, pp. 535-545.
- Fernández, J. and Jiménez, M. (2006). Estructura de la comunidad de moluscos y relaciones tróficas en el litoral rocoso del estado Sucre. Venezuela. *Revista de Biología Tropical*, 54, pp. 121-130.
- Fernández-Malavé, J. and Jiménez-Prieto, M. (2007). Fauna malacológica del litoral rocoso de la Costa Sur del Golfo de Cariaco y Costa Norte del Estado Sucre, Venezuela. *Boletín del Instituto Oceanográfico de Venezuela*, 46, pp. 3-11.
- Fukuoka, J. (1966). Coastal upwelling near Venezuela (II): Anual periodicities of hydrographical conditions. *Boletín del instituto oceanográfico de Venezuela Universidad de Oriente*, pp. 5, 84-95.
- Gambi, M.C. and Giangrande, A. (1985). Anallisi della struttura trófica del popolamento dei policheiti nei fondi mobili di due arre del mar tirreno. *Obelia*, pp. 11, 223-240.



- Garay-Tinoco, J. (2010). Informe del estado de los ambientes y recursos marinos y costeros en Colombia: Año 2009. Serie de Publicaciones Periódicas, *INVEMAR*, 8, pp. 133-159.
- Garrity, S. and Levings, H. (1981). A predator-prey interaction between two physically and biologically constrained tropical rocky shore gastropods: direct and community effects. *Ecological Monographs*, 51, pp. 267-286.
- Greenway, M. (1995). Trophic relationships of macrofauna within a Jamaica seagrass meadow and the role of the echinoid *Lytechinus variegatus* (Lamarck). *Bulletin of Marine Science*, 56, pp. 719-736.
- Hughes, R.N. (1986). *A Functional Biology of Marine Gastropods*. Johns Hopkins University. Press.
- Jaleel KA, UV Parameswaran, A Gopal, S Manokaran, S. and TV Joydas. (2022). Spatio-temporal variations of benthic communities along the coast. In: Godson, P.S.; Gnana, S.G. and Krishnakumar, S. (eds). *Ecology and biodiversity of benthos*, pp. 287-313. Elsevier, San Diego.
- Jiménez, M., Márquez, B. and Díaz, O. (2004). *Moluscos del litoral rocoso en cuatro localidades del Estado Sucre, Venezuela*. Saber, *Boletín del instituto oceanográfico de Venezuela Universidad de Oriente*, 16, pp. 8-17.
- Keen, A.M. (1971). *See shells of tropical west America*. Second Edition. Stanford University Press.
- Lewis, R.J. (1972). The ecology of rocky shores. A biological or physical entity. *Oikos*, 12, pp. 280-301.
- Livore, J.P.; Mendez, M.M.; Klein, E.; Arribas, L. and Bigatti, G. (2021). Application of a simple, low-cost, low-tech method to monitor intertidal rocky shore Assemblages on a Broad Geographic Scale. *Frontiers in Marine Science*, 8, pp. 1-10.
- López-Victoria, M.; Cantera, J.R.; Díaz, J.M.; Rozo, D.M.; Posada, B.O. and Osorno, A. (2004). Estado de los litorales rocosos en Colombia: acantilados y playas rocosas. En: INVEMAR (ed). *Informe del estado de los ambientes marinos y costeros en Colombia*, pp. 171-182. INVEMAR, Santa Marta.
- Margalef, R. (1986). *Ecología*. Editorial Planeta, Barcelona, España.



- Margalef, R. (1995). *Ecología*. Editorial Omega, Barcelona, España.
- Marval, J. (1986). Diversidad de moluscos en dos playas rocosas de la Isla de Margarita, Venezuela. Tesis de Pregrado, Universidad de Oriente, Cumaná.
- Menge, B.A. and Sutherland, J.P. (1976). Species diversity gradients: synthesis of the roles of predation, competition, and temporal heterogeneity. *The American Naturalist*, 110, pp. 351-369.
- Menge, B.A., Lubchenco, L. and Ashkenas, L.R. (1985). Diversity, heterogeneity, and consumer pressure in a tropical rocky intertidal community. *Oecologia*, pp. 65: 394-405.
- Menge, B.A., Lubchenco, J. Ashkenas, L.R. & F. Ramsey, F. (1986). Experimental separation of effects of consumers on sessile prey in the zone of a rocky shore in the Bay of Panama: direct and indirect consequences of food web complexity. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 100, pp. 225-269.
- Mille, S., Parra, M. Pérez, A. (1993). *Guía para la identificación de invertebrados*. Edit. Trillas, México, D.F.
- Mille-Pagaza, S.M.; Pérez, A. and Quiñones, O.H. (1994). Fauna malacológica bentónica del litoral de Isla Socorro, Revillagigedo, México. *Ciencias Marinas*, 20, pp. 467-486.
- Miller, L.P. and Denny, M.W. (2011). Importance of behavior and morphological traits for controlling body temperature in littorinid snails. *The Biological Bulletin*, 220, pp. 209-223.
- Ojeda, F.P. and Dearborn, J.H. (1991). Feeding ecology of benthic mobile predators: experimental analysis of their influence in rocky subtidal communities of the Gulf of Maine. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 149, pp. 13-44.
- Ojeda, J. (2012). Dinámica estacional de macroalgas y moluscos intermareales y su relación con el conocimiento tradicional ecológico yagán, en canales subantárticos del Cabo de Hornos: Una aproximación biocultural desde la filosofía ambiental de campo. Tesis de Magister en Ciencias, Universidad de Magallanes, Punta Arenas.



Olabarriá, C., Caraballo, J. and Vega, C. (2001). Cambios espaciotemporales en la estructura trófica de asociaciones de moluscos del intermareal rocoso en un sustrato tropical. *Ciencia y Mar* 27, pp. 235-254.

Odum, P. 1984. *Ecología*. 6ta ed. Edit. Continental, México, D.F.

Paine, R.T. (1974). Intertidal community structure: experimental studies on the relationship between a dominant competitor and its principal predator. *Oecologia*, 15, pp. 93-120.

Paine, R.T. (1976). Food web complexity and species diversity. *The American Naturalist*, 100, pp. 65-75.

Pointier, J. and Lamy, D. (1998). *Guía de moluscos y caracolas del mar Caribe*. M y G, Barcelona, España.

Rueda, D. (2000). Variabilidad temporal de la distribución vertical de la biomasa fitoplanctónica en la depresión oriental de la cuenca de Cariaco y sus relaciones con los aspectos hidrográficos al estrato superficial (1996-1998). Tesis de Maestría, Universidad de Oriente, Cumaná, Venezuela.

Satyam, K. and Thiruchitrambalam, G. (2018). Habitat ecology and diversity of rocky shore fauna. In: Sivaperuman, C.; Velmurugan, A.; Singh, A.K. and Jaisankar, I. (eds). *Biodiversity and climate change adaptation in tropical islands*, pp. 1-785. Academic Press, London.

Sevillano-Romero, Y; Nisperuza-Pérez, C.A. and Quirós-Rodríguez, J.A. (2022). Composición, distribución vertical y dinámica temporal del ensamblaje de moluscos en el litoral rocoso de Isla Fuerte, Colombia. *Revista de Biología Marina y Oceanografía*, 57(3), pp. 135-147.

Somero, G.N. (2002). Thermal physiology and vertical zonation of intertidal animals: optima, limits, and costs of living. *Integrative & Comparative Biology*, 42, pp. 780-789.

Souza, S.; Matthews-Cascon, H. and Couto, E.D. (2020). Taxonomic and functional diversity of mollusk assemblages in a tropical rocky intertidal zone. *Iheringia. Série Zoologia*, 110, pp. 1-10.

Sthephenson, T. and Sthephenson, A. (1949). The universal features of zonation between tide on rocky coast. *Ecology*, 37, pp. 289-305.



Sthephenson, T. and Sthephenson, A. (1972). Life intertidal snails of Panama City: an exceptionally diverse nearshore assemblage. *Annual report - Western Society of Malacologists*, 17, pp. 20.

Tait, R.V. (1970). *Elementos de ecología marina*. Editora Acribia, España.

Williams G. (1994). The relations lup between shade and molluscan grazing in structuring communities on a moderately-exposed tropical rocky shore. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 178, pp. 79-95.

Tlig-Zouari, S.; Rabaoui, L.; Fguiiri, H.; Diawara, M. and Hassine, O.K. (2010). Spatial diversity of rocky midlittoral macroinvertebrates associated with the endangered species *Patella ferruginea* (Mollusca: Gastropoda) of Tunisian coastline. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 87, pp. 275-283.



pp. 28 – 52

## Lunar phase effects on spatial distribution, male size and claw waving in the Fiddler Crab *Uca Heteropleura* at El Agallito beach, Panama

### Efecto de fase lunar en la distribución espacial, talla de los machos y movimiento de pinza en el cangrejo violinista *Uca Heteropleura* en playa El Agallito, Panamá

**Roberto C. Lombardo González**

Universidad de Panamá, Centro de Capacitación, Investigación y Monitoreo de la Biodiversidad en el Parque Nacional Coiba, Sistema Nacional de investigación SNI-SENACYT

[roberto.lombardo@up.ac.pa](mailto:roberto.lombardo@up.ac.pa)

<https://orcid.org/0000-0002-0279-8621>

Recepción: 31/01/2025

Aprobación: 27/05/2025

DOI:

**Abstract**

A population of *Uca heteropleura* was studied to examine the effects of lunar phases, male size, and reproductive behavior on courtship activity at El Agallito beach, Panama. Distribution patterns were analyzed with the Morisita and nearest neighbor indices, while surface activity was recorded by counting crabs three times during diurnal low tides. Courtship was measured by recording waves per minute from 386 focal males. In September 2024, the fiddler crab density was 5.71 crabs · m<sup>2</sup>, with a male-biased sex ratio. In October, *U. heteropleura* density was 14.30 crabs · m<sup>2</sup>, exhibiting a clumped distribution. Activity was higher during new moon compared to the quarter moon; although, crabs during the new moon were smaller. Waving frequency was higher during new moon, driven by the higher proportion of smaller males. Male size was not correlated with waving frequency. These results suggest that two male size classes are active at different times in the semilunar cycle. Influenced by female choice, larger males are favored earlier, while smaller males increase waving later, closer to the spring tide. Larger males may secure mates early through agonistic interactions and mate multiple times before females retreat for incubation. In contrast, smaller males may compensate for lower competitiveness in territory defense and mate guarding by increasing waving frequency to attract the last receptive females before egg incubation.

**Keywords:** Carapace, synchrony, tides, moon phase, mudflat.



## Resumen

Se estudió una población de *Uca heteropleura* para examinar el efecto de las fases lunares, tamaño de los machos y comportamiento reproductivo en la actividad de cortejo en playa El Agallito, Panamá. Se analizaron patrones de distribución con los índices de Morisita y vecino más cercano, mientras que la actividad superficial se midió contando cangrejos tres veces al día durante mareas bajas diurnas. El cortejo se evaluó registrando la cantidad de "saludos" por minuto en 386 machos focales. En septiembre 2024, la densidad general fue  $5.71 \text{ cangrejos} \cdot \text{m}^2$ , con proporción de sexos sesgada hacia los machos. En octubre, la densidad de *U. heteropleura* fue  $14.30 \text{ cangrejos} \cdot \text{m}^2$  con una distribución agregada. La actividad fue mayor durante luna nueva que en cuarto creciente; aunque los cangrejos fueron más pequeños en cuarto creciente. La frecuencia de movimientos de pinza también fue mayor en luna nueva, impulsada por una proporción mayor de machos pequeños; aunque, el tamaño no estuvo correlacionado con la frecuencia de "saludos". Los resultados sugieren que dos clases de talla de machos están activas en distintos momentos del ciclo semilunar, influenciadas por la preferencia de las hembras: los machos grandes son favorecidos al inicio, mientras que los pequeños incrementan su cortejo cerca de la marea de sicigia. Los machos grandes obtienen cópulas múltiples antes de la incubación, mientras que los pequeños compensan su menor competitividad aumentando la frecuencia de movimientos de pinza para atraer a las últimas hembras receptivas del ciclo.

**Palabras claves:** Caparazón, sincronía, mareas, fase lunar, planicie lodososa.

## Introduction

Fiddler crabs are key components of wetland, mudflat, and mangrove ecosystems worldwide (Crane, 1975). Although they are not part of economically significant fisheries, they play essential ecological roles as ecosystem engineers, contributing to bioturbation and nutrient cycling (Aschenbroich et al., 2016; Kristensen, 2008). Their burrowing activity enhances sediment oxygenation and influences soil composition, impacting plant recruitment and organic carbon distribution (Agusto et al., 2021; Booth et al., 2019). Additionally, they serve as primary consumers and are an important food source for migratory birds and other predators, making them integral to energy flow within coastal ecosystems (Backwell et al., 1998; Lombardo, 2023b).

Members of the family Ocypodidae, fiddler crabs exhibit pronounced sexual dimorphism, with males developing a single hypertrophied major claw used for signaling and reproductive competition, while females retain two similarly sized claws (Crane, 1975). Their behavior and ecology have been extensively studied, particularly in the context of communication, mating strategies, and spatial



organization (Christy, 1978, 2007; Christy & Salmon, 1984; Crane, 1966; Kim & Christy, 2015; Ribeiro et al., 2010). In Panama, the most recent inventory reports 39 species, with 32 occurring along the Pacific coast (Lombardo, 2025). Among them, the American Red Fiddler Crab, *Uca heteropleura* Smith (1870), is one of the most abundant species in intertidal mudflats. Despite its prevalence, studies on this species have primarily focused on visual mechanisms and signal evolution (How et al., 2014; Perez et al., 2012), leaving key aspects of its behavioral ecology unexplored.

Fiddler crabs employ two primary mating strategies: active mate searching and territory-based courtship displays. In the first mode, both males and females move across the mudflat in search of mates, with males often engaging in direct competition (Ribeiro et al., 2010). In the second, males remain near their burrows and attract females through claw waving and other visual signals (Backwell, 2019). The choice between these strategies is influenced by factors such as population density, habitat conditions, and the presence of competitors (Ribeiro et al., 2010). In El Agallito, *U. heteropleura* seems to exhibit the second mode where males wave their major claw above, raising the carapace while extending the first and/or fourth ambulatories (Crane, 1975); see Lombardo (2025) annex, figure 14.

However, mate searching involves trade-offs, requiring individuals to assess potential mates while balancing the costs of time, energy, and predation risk (Gruber et al., 2019; Heatwole et al., 2018; Koga et al., 1998; Koga et al., 2001; Lima & Dill, 1990; Takeshita & Nishiumi, 2022). Female reproductive timing, in particular, is constrained by environmental factors that optimize larval survival (Christy, 2011). Many fiddler crab species exhibit reproductive synchrony with lunar cycles, as females time incubation and larval release to coincide with favorable tidal and temperature conditions (Christy, 1978, 2011a; Kerr et al., 2014; Reaney & Backwell, 2007b).



Reproductive synchrony is a widespread and adaptive phenomenon among fiddler crabs, where males also time their courtship and mating behaviors to occur a few days before spring or neap tides (Christy, 1978; Kim et al., 2004). Given the selective advantages of this timing, it is plausible that *Uca heteropleura* exhibits similar reproductive synchronization as well. This implies *U. heteropleura* males should adjust their courtship activity accordingly, increasing display effort as female receptivity aligns with the lunar cycle (Christy, 1978, 2003, 2011). Furthermore, given that spatial distribution influences courtship displays in other species, *U. heteropleura* males may similarly modify their signaling based on conspecific density and environmental cues (Araujo et al., 2013). However, the specific timing and extent of these reproductive behaviors in *U. heteropleura* remain unknown. We hypothesize the signature of male *U. heteropleura* adjustment would manifest in potential shifts in spatial distribution, the number of individuals in the surface and their waving frequency. Therefore, the objective was to determine the spatial distribution pattern of *U. heteropleura* and evaluate the influence of lunar phases, male size, and reproductive behaviors.

## Materials and methods

El Agallito Beach ( $8^{\circ} 0' 8.12''$  N,  $80^{\circ} 24' 10.37''$  W) is a large, unvegetated, intertidal mudflat located in Chitré, Republic of Panama (Fig. 1A). Situated within the Parita Gulf, the mudflat experiences a tropical savanna climate (Aw) (Beck et al., 2018; Köppen, 1936) and distinct seasonal precipitation patterns. Annual rainfall ranges from 1,000 to 2,000 mm, with a pronounced dry season from December to April and a rainy season from May to November, characterized by heavy rainfall (1,500 to 2,500 mm), particularly in October (IMHPA, 2024a). Year-round, the mudflat is influenced by warm temperatures ranging from 24–30°C, with minimal seasonal variation (Lombardo, 2025). Salinity levels in the mudflat range between 18–35‰, while sediment contributions from the Parita River at El Agallito result in a



mixture of mud and sand deposits, creating varying degrees of stability across substrates (Backwell et al., 1998).

### Abundance, density and distribution pattern

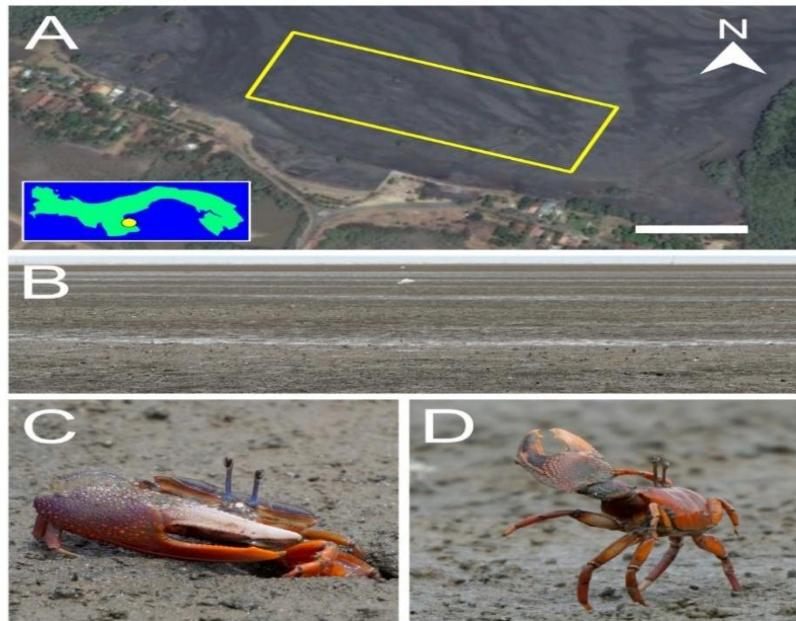
Our study was carried out over three sampling trips during September–October 2024 to the intertidal mudflat during diurnal low tides (Fig. 1B). In September, the overall abundance and density of fiddler crabs were assessed across 11 transects and six 1 m<sup>2</sup> quadrats, each. To analyze the data, the total abundance was calculated as the sum of all individuals and burrows recorded across quadrats. The density was determined by averaging the number of crabs/burrows · m<sup>2</sup>. The spatial distribution pattern was evaluated using the Morisita index ( $I_M$ ), a measure that quantifies whether the distribution is uniform, random, or clumped, using the formula:

$$I_M = \frac{n \sum x_i(x_i - 1)}{X (X - 1)}$$

where  $n$  is the total number of quadrats,  $x_i$  is the number of crabs/burrows in the  $i$ -th quadrat, and  $X$  is the total number of crabs/burrows across all quadrats (Morisita, 1962). To assess the uncertainty of the index, a bootstrap method was employed, generating 1,000 iterations with replacement from the original data to compute a 95% confidence interval (CI) in RStudio (Core Development Team, 2020). Species identification of observed specimens (Fig. 1C-D) was carried out using specialized identification keys (Crane, 1975; Lombardo, 2025).

**Figure 1**

Study site and representative *Uca heteropleura* at *El Agallito Beach, Panama*.



Note: **A.** Site location. Scale = 100 m. **B.** Panoramic view of the mudflat with active fiddler crabs. **C.** Male *Uca heteropleura* (large, 3.51 cm carapace width). **D.** Waving *Uca heteropleura* male during courtship, may 18<sup>th</sup>, 2024 (five days before full moon).

#### ***Uca heteropleura* spatial distribution & census**

Density and abundance of burrows were calculated using 1 m<sup>2</sup> PVC quadrats in October. Quadrats were laid over 11 transects, one meter wide and 30 meters in length. In each transect, two quadrats were placed at random positions within the 30 meters. The spatial distribution of *U. heteropleura* burrows was analyzed using the nearest neighbor index (NNI) to determine whether the observed burrow patterns deviated significantly from a random (NNI = 1), clustered (NNI < 1), or uniform distribution (NNI > 1). To complete our estimation first, the observed mean distance ( $d_o$ ) and expected mean distance ( $d_e$ ) to burrows were calculated as follows:

$$NNI = \frac{d_o}{d_e}$$



$$d_o = \frac{\sum_{i=1}^N d_i}{N}$$

$$d_e = 0.5 \times \sqrt{\frac{\text{Area}}{\text{Number of burrows}}}$$

where  $d_i$  represents the distance to the nearest neighbor for the  $i$ -th burrow, and  $N$  is the total number of burrows sampled in that quadrat (Clark & Evans, 1954). Burrows in the 22 quadrats were counted, and the distance to their nearest neighbor was recorded (mm) for 30 randomly selected burrows from the total counts.

To evaluate whether the NNIs deviated significantly from randomness (NNI = 1), the Wilcoxon signed-rank test was applied to the entire set of 22 NNI values. This non-parametric test assessed whether the median NNI differed significantly from 1, a value indicative of a random spatial distribution. The test was implemented through an RStudio (Core Development Team, 2020) routine, evaluating whether the NNIs deviated significantly from randomness. To assess the uncertainty of the NNI estimates, a bootstrapping procedure was performed, resampling the distances to nearest neighbors within each quadrat 1,000 times. For each bootstrap iteration, we recalculated the NNI, and derived 95% confidence intervals (CIs) based on the 2.5<sup>th</sup> and 97.5<sup>th</sup> percentiles of the bootstrap distribution. This approach was applied to each quadrat individually to obtain NNI estimates and their corresponding CIs in order to generate a plot for diagnosis.

In order to quantify the number of active crabs on the surface (Fig. 1C-D) based on the prevailing weather conditions, censuses were carried out three times a day (10:00:00, 12:00:00 and 14:00:00) during new moon (NE) and quarter moon (QM). These time points were selected to span the midday period, when fiddler crabs are typically most active under daylight low tide conditions (Crane, 1975). Sampling during this interval ensured standardized observation under consistent environmental light and temperature conditions, while avoiding early morning or late afternoon variability. Fiddler crabs were counted with binoculars (Bushnell 10 × 42



mm) in eleven 25 m<sup>2</sup> quadrats marked by stakes and string. To examine differences in crab activity between moon phases and census times, a two-way analysis of variance (ANOVA) was performed with interaction terms for moon phase and census time. Additionally, to investigate potential quadrant-specific effects, a repeated measures ANOVA was performed by including the quadrat as a random effect in the model, where applicable. Post hoc Tukey's (HSD) tests were conducted when significant differences were identified to further explore pairwise comparisons. This routine was run in RStudio, where additionally, a boxplot was created using the "ggplot2" package to visualize crab activity patterns across census times and moon phases.

### Biometry

After burrow counts, their diameter (BD) past the entrance was measured using a compass and a caliper; the diameter was recorded as the distance between the compass tips. Specimens were then hand-caught for morphological measurements in the field. Besides clear claw asymmetry, the sex of crabs was alternatively determined by the shape of the abdomen (Hendrickx, 1995), and the reproductive state of the females (ovigerous or not) was recorded. Crab size was analyzed in general terms by recording the carapace width (CW), carapace length (CL), chelae length (ChL) and chelae height (ChH) with a digital Vernier caliper (0.01 mm). Descriptive statistics were calculated in RStudio for each variable and the relationships between them were explored with regression. Normality and equality of variances were analyzed with the Anderson-Darling and Levene's test, correspondingly (Core Development Team, 2020; Sokal & Rohlf, 1987).

### Waving frequency

The intensity of courtship was measured by counting the number of times male crabs waved their large claw within a minute (waves · min<sup>-1</sup>). A total of 386 focal males were selected at random from outside census quadrats. Once waving



frequency (WF) was recorded, the males were captured by hand or digging the burrow with a small garden shovel. The width (CW) and length (CL) of the carapace and major claw (ChH and ChL) were measured using a Vernier digital caliper (0.1 mm). Normality of waving frequency data was analyzed with the Anderson-Darling test (Anderson & Darling, 1952). To compare waving frequency between new moon (NE) and quarter moon (QM), a Welch's t-test was conducted. This test was selected because it does not assume equal variances, addressing potential heteroscedasticity in the data ( $N = 386$ ,  $AD = 2.63$ ,  $P < 0.05$ ; skewness = 0.73, kurtosis = 0.98). Despite slight deviations from normality, the Welch's t-test was deemed appropriate due to its robustness to moderate non-normality, particularly given the large sample size (Welch, 1947).

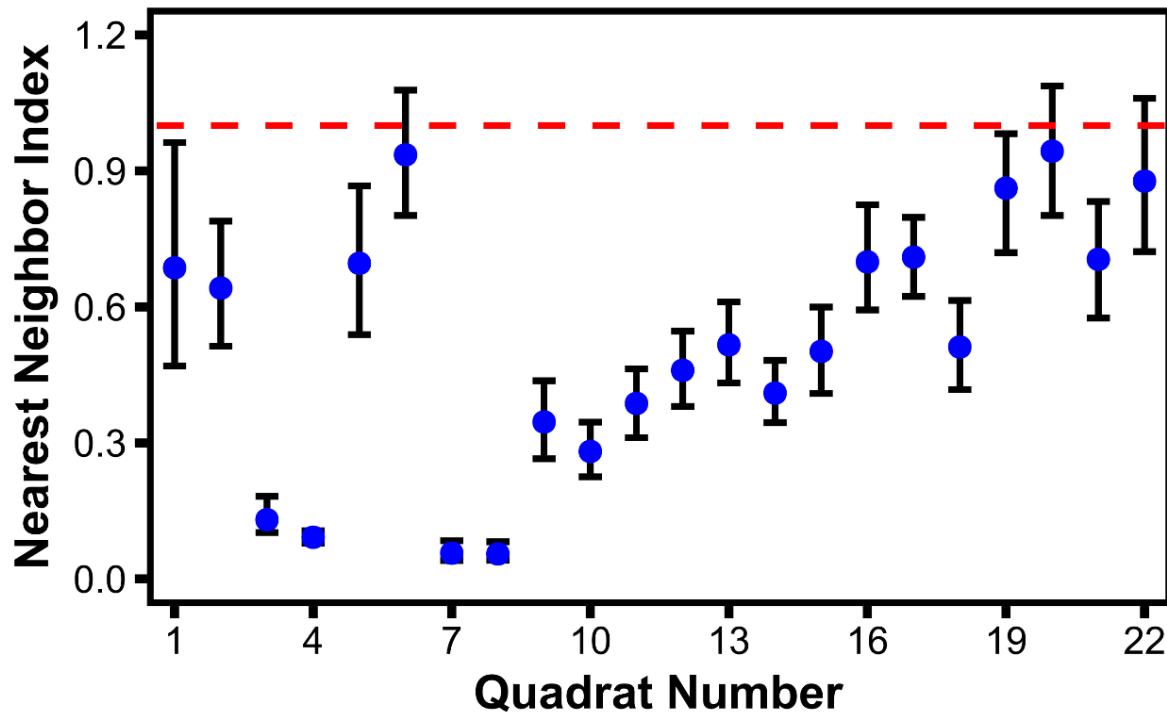
## Results

Besides *U. heteropleura*, the most common species identified were: *U. princeps*, *U. stylifera*, *U. ornata*, *Leptuca beebei* and *Leptuca stenodactylus* (see Lombardo, 2025). In September 2024, a total of 417 fiddler crabs were recorded at a density of 5.71 crabs · m<sup>2</sup>. Of these, 251 were males and 162 were females, resulting in a significantly skewed sex ratio favoring males at 1.5:1 (Chi-square;  $\chi^2 = 19.18$ , d.f. = 1,  $P < 0.001$ ). The Morisita index was 1.49 (95% CI = 1.32–1.67), indicating an overall clumped distribution of crabs. A total of 2,734 burrows were counted, yielding an overall density of 42.06 burrows · m<sup>2</sup>. The burrow distribution pattern was also clumped with a Morisita index of 1.20 (95% CI = 1.11–1.31).

In October, the average NNI for *U. heteropleura* was  $0.52 \pm 0.28$  (mean  $\pm$  SD). All 22 quadrat NNI values were below 1, a statistically significant difference (Wilcoxon signed-rank test;  $P < 0.001$ ), consistent with a clumped distribution pattern (Fig. 2). A total of 472 *U. heteropleura* individuals were recorded in October at a density of 14.30 crabs · m<sup>2</sup>. The mean number of individuals active on the surface was  $368.67 \pm 128.69$  during NE and  $288.61 \pm 170.82$  during the QM (Table 1).

**Figure 2**

*Nearest Neighbor Index (NNI) analysis of *Uca heteropleura* spatial distribution at El Agallito Beach, Panama.*



**Note:** Each point represents a quadrat ( $\pm 95\%$  CI); the red dashed line marks thresholds for clumped ( $NNI < 1$ ), random ( $=1$ ), and uniform ( $>1$ ) distributions

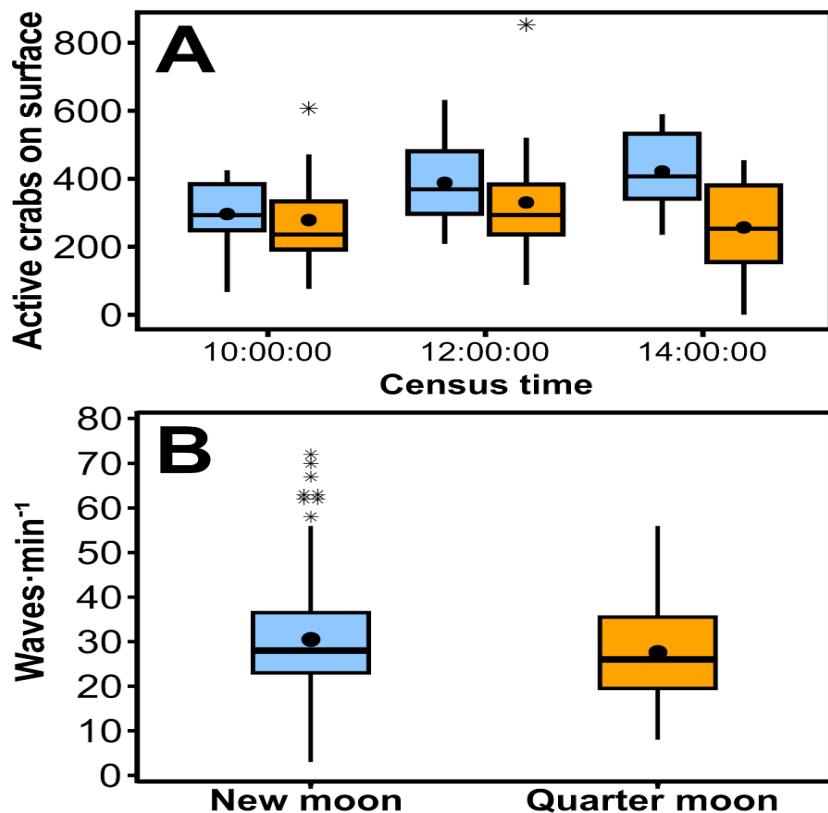
**Table 1**

*Uca heteropleura* surface activity (counts per  $5\text{ m}^2$  quadrat) at El Agallito Beach, Panama, during new moon (NE) and quarter moon (QM) phases. Data are from 11 quadrats and include SD, minimum, and maximum values across three time points.

Moon phase	Time	Mean	SD	Min	Max
NE	10:00:00	296	107	67	425
	12:00:00	388	132	208	632
	14:00:00	422	122	235	590
QM	10:00:00	279	153	76	607
	12:00:00	330	212	88	853
	14:00:00	257	149	0	455

**Figure 3**

*Uca heteropleura* activity and waving frequency at El Agallito Beach, Panama, across times of day and lunar phases



Note: **A.** Surface activity by time and moon phase (light blue = new moon, orange = quarter moon). **B.** Waving frequency (per minute) during each phase.

No significant differences were found among quadrat or census times in the number of *U. heteropleura* observed on the surface. The interaction between moon phase and census times was also not significant; however, the number of active crabs on the surface differed significantly between moon phases (Fig. 3A), where the NE had higher individual counts (Table 2).

**Table 2**

*Two-way ANOVA testing moon phase, census time, and their interaction on *Uca heteropleura* activity at El Agallito Beach, Panama.*

Terms	d.f.	Sum squares	Mean squares	F	P	Tukey HSD	Diff.	Adj. P
Moon phase	1	105760	105760	4.74	0.034	QM - NE	-80.06	0.033
Census time	2	60510	30255	1.36	0.266			
Moon:Census	2	63433	31716	1.42	0.250			
Residuals	60	1339749	22329					

Note: Table shows degrees of freedom (d.f.), pairwise differences (Diff.), and adjusted p-values (Adj. P) for new moon (NE) and quarter moon (QM) phases.

The waving frequency of 237 focal males was recorded during the NE phase, with an average of  $30.43 \pm 11.44$  waves · min<sup>-1</sup>. During the QM phase, the waving frequency of 149 crabs averaged  $27.58 \pm 10.81$  waves · min<sup>-1</sup>. Waving behavior differed significantly between the two lunar phases (Welch's t-test;  $t = 2.46$ , d.f. = 327,  $P = 0.014$ ), with higher frequencies during NE (Fig. 3B). Male size also varied by lunar phase: larger crabs were more active during QM, while crab ChH was slightly greater during NE (Table 3). No significant associations were found between CL, CW or ChL and waving frequency. However, ChH was negatively associated with waving frequency ( $F_{(1-379)} = 15.46$ ,  $P < 0.001$ ; Fig. 4A).

**Table 3**

Welch's *t*-test comparing male *Uca heteropleura* size and waving frequency (waves/min) between new moon (NE) and quarter moon (QM) at El Agallito Beach, Panama.

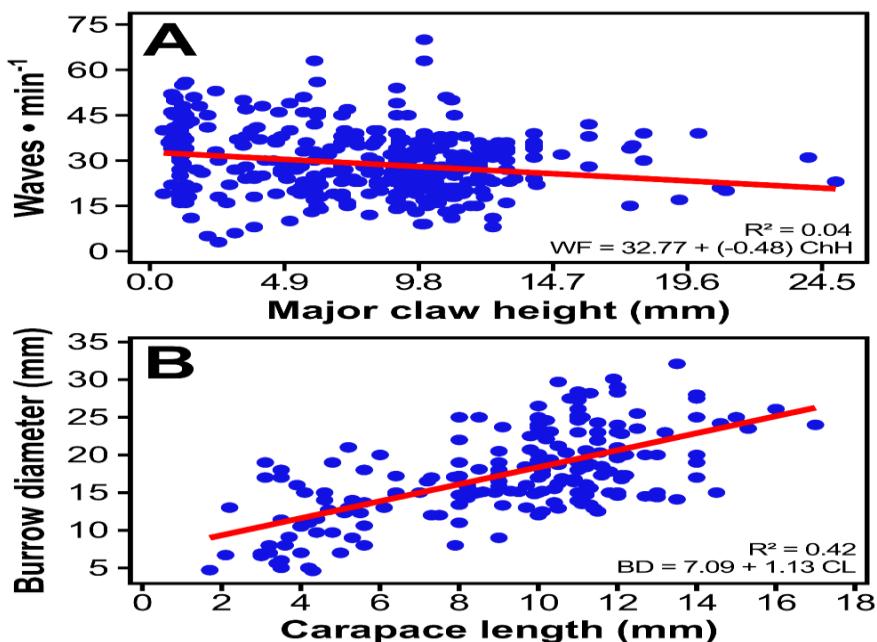
Biometry	Moon phase	Mean	SD	Diff. mean	t	d.f.	P
CL	NE	9.60	3.58	- 3.01	- 8.37	330	< 0.001
	QM	12.60	3.34				
CW	NE	14.09	4.92	- 3.24	- 7.85	383	< 0.001
	QM	17.33	3.17				
ChL	NE	17.48	8.08	- 2.80	- 3.16	297	0.002
	QM	20.28	8.69				
ChH	NE	8.41	3.67	1.01	2.08	241	0.039
	QM	7.40	5.16				

Note: Includes standard deviation (SD) and degrees of freedom (d.f.).

Burrow diameter was significantly associated only with carapace length ( $F_{(1-202)} = 137.56$ ,  $P < 0.001$ ; Fig. 4B).

**Figure 4**

The relationship between *Uca heteropleura* major claw height and waving frequency (A), and the association between burrow diameter and carapace length (B) at El Agallito Beach, Panama.





## Discussion

In general, the density of fiddler crabs observed at the beginning of our study ( $5.71 \text{ crabs} \cdot \text{m}^2$ ) can be considered low, consistent with densities of *Minuca pugnax* (6–15 burrows  $\cdot \text{m}^2$ ) in expanded ranges (Martínez-Soto et al., 2024). Similarly, the densities reported for species such as *M. rapax* ( $19.4 \pm 5.7 \text{ crabs} \cdot \text{m}^2$ ) and *M. vocator* ( $18.3 \pm 8.7 \text{ crabs} \cdot \text{m}^2$ ), as reported by Koch et al. (2005), can also be considered low relative to other species, such as *L. beebei* (50–200 crabs  $\cdot \text{m}^2$ ) in Panama (DeRivera et al., 2003) or *L. cumulanta* ( $56.3 \pm 22.1 \text{ crabs} \cdot \text{m}^2$ ) and *U. maracoani* ( $79.1 \pm 9.6 \text{ crabs} \cdot \text{m}^2$ ) in the Caeté mangrove estuary, Brazil (Koch et al., 2005). In contrast, the burrow density in our study (42.06 burrows  $\cdot \text{m}^2$ ) falls within the medium-density range, comparable to *M. osa* (20.45 burrows  $\cdot \text{m}^2$ ) in Ponuga, Panama (Lombardo, 2023a). This discrepancy may also indicate a population with high turnover of surface activity, where a portion of individuals remain underground at any given time, possibly as a predator-avoidance or thermoregulation strategy. Alternatively, it could reflect age or sex differences in surface emergence (Backwell et al., 1998; Gruber et al., 2019; Koga et al., 2001; Reaney & Backwell, 2007). Fiddler crabs are known to retreat into and plug their burrows during overcast or rainy conditions, which reduces their visibility during counts (DeRivera et al., 2003).

Interestingly the density of *U. heteropleura* was higher ( $14.30 \text{ crabs} \cdot \text{m}^2$ ) in October during favorable morning weather conditions. This aligns with the exceptionally heavy rainfall observed in Panama during the 2024 rainy season (IMHPA, 2024b; SINAPROC, 2024), which may have amplified this effect. Moreover, habitat variability plays a key role in burrow density, as seen in *M. pugnax* (Luk & Zajac, 2013), where densities varied from  $17.92 \text{ burrows} \cdot \text{m}^2$  in vegetated marshes to  $127.52 \text{ burrows} \cdot \text{m}^2$  in open marsh areas (Berntness & Miller, 1984). These factors highlight the need to interpret burrow counts cautiously, considering both behavioral and environmental influences.



The distribution patterns of the general population and *U. heteropleura* were consistently clumped, as confirmed by two different calculation methods. DeRivera et al. (2003) suggested that this pattern may be linked to drainage systems. A major factor influencing sediment heterogeneity and thus crab distribution is sediment grain size, which determines the availability of sediment-rich food patches for fiddler crabs (Mokhtari et al., 2015, 2016).

This heterogeneity likely contributes to the clumped spatial distribution of *U. heteropleura*, which aligns with optimal foraging theory (Pyke, 2019). A similar clumped pattern has been reported in *L. beebei*, which shares the same habitat, suggesting that comparable mechanisms may shape the behavioral and reproductive dynamics of *U. heteropleura*. For example, at high male densities, *Leptuca beebei* and *Austruca mjobergi* females tend to seek mates, likely because nearby burrow abundance provides shelter from predator attacks, thereby lowering the risks and costs of mate-searching (DeRivera et al., 2003; Reaney & Backwell, 2007a; Gruber et al., 2019; Peso et al., 2016). In response, males shift their strategy, reducing mate-searching, increasing burrow defense and waving displays, possibly due to increased female activity and heightened competition among signaling males (DeRivera et al., 2003; Milner et al., 2011; Heatwole et al., 2018).

This study also examined the relationship between lunar phases, male size, and reproductive behaviors in *U. heteropleura*. In fiddler crabs, such as *L. pugillator*, adults regulate the timing of larval release in alignment with biweekly or monthly tidal cycles by adjusting the timing of courtship, mating, ovulation, and the onset of female incubation (Christy, 1978, 2011b). After mating and incubation, females release their broods during higher amplitude tides (new and full moons) to maximize larvae survival by reducing predation risk, improving dispersal, and ensuring larvae reach suitable habitats (Christy, 2003, 2011; Reaney & Backwell, 2007b). Errors in synchrony could result in larvae mortality due to inefficient transport or exposure to suboptimal temperatures (Christy, 2011; Kerr, 2015; Kerr et al., 2014). Similarly, our



results show significant differences in both the activity of males and their morphological traits in line with lunar phase, particularly between the quarter moon and new moon. Larger *U. heteropleura* males were more active during the quarter moon, a pattern also observed in *L. pugilator* (Christy, 1978), suggesting their reproductive cycle is linked to neap tides. This pattern is also common in *A. mjobergi*, where the mating period lasts 6–8 days during neap tides in each semilunar cycle. Correspondingly, sexually receptive females move through the population in search of a mate. To attract these females, males perform a conspicuous waving display near their burrows (Reaney & Backwell, 2007b), a behavior that was also evident in *U. heteropleura* during our study. Synchrony with neap tides may also provide a stable window for courtship and mating without the disturbance of stronger spring tides, giving larger males more opportunity to defend burrows and attract females (Christy, 1978, 2003).

Larger males are typically more successful in agonistic interactions and territoriality (Jennions & Backwell, 1996), allowing them to secure mates before the peak reproductive window closes (Reaney & Backwell, 2007b). Consistent with previous studies, these larger males mate with multiple females, who then retreat to incubate eggs in preparation for larval release during the full or new moon (Christy, 1978, 1987, 2003; Reaney & Backwell, 2007b). Conversely, our study found that smaller *U. heteropleura* males, characterized by relatively shorter but taller major claws, were more active during the new moon. This increased activity was associated with a higher waving frequency. The increased waving frequency of these smaller males likely serves as a compensatory strategy to attract females that are still receptive before they retreat to begin egg incubation (Christy, 1978). This pattern is consistent with findings in *A. mjobergi*, where females that mated later in the cycle selectively chose smaller males (Reaney & Backwell, 2007b). Thus, the increase in small *U. heteropleura* male activity during new moon may reflect a strategy to maximize mating opportunities before females become unavailable. This



pattern suggests a conditional mating tactic in which smaller males strategically intensify their signaling investment later in the cycle. By doing so, they avoid the risk of engaging in competition (e.g., mate guarding or combat) with larger, more competitive males (Backwell & Passmore, 1996; Callander et al., 2012; Jennions & Backwell, 1996; Lima & Dill, 1990).

In most fiddler crab species, females time larval release to coincide with the following nocturnal spring tide and must therefore leave sufficient time for embryonic development after mating (Christy, 2011; Kerr, 2015). As a result, they face time constraints when selecting mates. Backwell & Passmore (1996) demonstrated that these temporal constraints influence female choosiness by limiting search time. They report that, at the beginning of the sampling period (when time constraints are minimal), females selectively sample the larger males in the population. Near the end of the sampling period (when the temporal constraints increase the costs of sampling), females are less choosy. Both larger and smaller *U. heteroplecta* males seem to adopt different reproductive strategies in response to the lunar cycle and female choice. While larger males were more active on the surface during the quarter moon, smaller males took advantage of the new moon by ramping up surface activity, particularly through increased waving frequency.

This may allow both size classes of males to maximize their chances of mating in relation to context-dependent female choice. This dual strategy highlights the plasticity of reproductive behaviors and suggests that mating success in this species is highly context-dependent, influenced by both environmental cycles and intraspecific competition (Christy & Salmon, 1984; Callander et al., 2012).

Given that fiddler crabs experience multiple reproductive cycles, they are expected to show behavioral plasticity in their mating strategy whenever the payoffs of using different mating modes differ between reproductive events (Ribeiro et al., 2010). The observed patterns in activity and morphology support the hypothesis that lunar synchrony plays a crucial role in fiddler crab reproductive strategies (Christy,



1978, 2003, 2011b), including *U. heteroplecta*. Our findings suggest that alternative reproductive strategies might be employed by different male size classes to secure matings. Larger *U. heteroplecta* males dominate early in the reproductive cycle, probably due to superior waving quality or female choice, while smaller males appear to compensate by increasing waving intensity during the peak reproductive window around the new moon.

These findings highlight the importance of lunar timing in regulating fiddler crab reproductive behavior. The synchronization of courtship and egg incubation with lunar phases underscores its evolutionary significance for fitness and offspring survival (Christy, 2003). While our study provides valuable insights into the relationship between lunar phases and *U. heteroplecta* behavior, further research is needed to better understand how individual crabs adjust their reproductive strategies over time, particularly as they grow and potentially transition between mating tactics.

## Conclusion

This study supports the hypothesis that *U. heteroplecta* adjusts courtship activity in synchrony with the lunar cycle, as observed in other fiddler crab species (Christy, 1978; Kim et al., 2004). Our results demonstrate that smaller males increased surface activity and waving during the new moon, when females are presumably more receptive, while larger males were more active during the quarter moon, indicating a size-based partitioning of reproductive effort (Christy & Salmon, 1984; Callander et al., 2012; Christy, 2003, 2011).

These findings fulfill the objective of identifying spatial distribution patterns and the influence of lunar phase and male size on reproductive behavior. The evidence that courtship activity shifts with both lunar phase and male size contributes to the growing understanding of how reproductive synchrony and alternative mating tactics evolve in relation to ecological cues and intraspecific competition (Backwell & Passmore, 1996; Araujo et al., 2013).



## Acknowledgements

We thank José Chang and the 2024 Field Biology course students at the Centro Regional Universitario de Veraguas (CRUV) for their partial support during field work.

## Bibliographic references

- Agusto, L. E., Fratini, S., Jimenez, P. J., Quadros, A., & Cannicci, S. (2021). Structural characteristics of crab burrows in Hong Kong mangrove forests and their role in ecosystem engineering. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 248. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2020.106973>
- Anderson, T. W., & Darling, D. A. (1952). Asymptotic theory of certain “goodness of fit” criteria based on stochastic processes. *Annals of Mathematical Statistics*, 23(2), 193–212. <https://doi.org/10.1214/AOMS/1177729437>
- Araujo, S. B. L., Rorato, A. C., Perez, D. M., & Pie, M. R. (2013). A spatially explicit model of synchronization in fiddler crab waving displays. *PLOS ONE*, 8(3), e57362. <https://doi.org/10.1371/JOURNAL.PONE.0057362>
- Aschenbroich, A., Michaud, E., Stieglitz, T., Fromard, F., Gardel, A., Tavares, M., & Thouzeau, G. (2016). Brachyuran crab community structure and associated sediment reworking activities in pioneer and young mangroves of French Guiana, South America. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 182, 60–71. <https://doi.org/10.1016/J.ECSS.2016.09.003>
- Backwell, P. R. Y. (2019). Synchronous waving in fiddler crabs: a review. *Current Zoology*, 65(1), 83–88. <https://doi.org/10.1093/CZ/ZOY053>
- Backwell, P. R. Y., O’Hara, P. D., & Christy, J. H. (1998). Prey availability and selective foraging in shorebirds. *Animal Behaviour*, 55(6), 1659–1667. <https://doi.org/10.1006/anbe.1997.0713>
- Backwell, P. R. Y., & Passmore, N. I. (1996). Time constraints and multiple choice criteria in the sampling behaviour and mate choice of the fiddler crab, *Uca annulipes*. *Behav Ecol Sociobiol*, 38, 407–416.
- Beck, H. E., Zimmermann, N. E., McVicar, T. R., Vergopolan, N., Berg, A., & Wood, E. F. (2018). Present and future köppen-geiger climate classification maps at 1-km resolution. *Scientific Data*, 5. <https://doi.org/10.1038/sdata.2018.214>



Bertness, M. D., & Miller, T. (1984). The distribution and dynamics of *Uca pugnax* (Smith) burrows in a New England salt marsh. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 83(3), 211–237. [https://doi.org/10.1016/S0022-0981\(84\)80002-7](https://doi.org/10.1016/S0022-0981(84)80002-7)

Booth, J. M., Fusi, M., Marasco, R., Mbobo, T., & Daffonchio, D. (2019). Fiddler crab bioturbation determines consistent changes in bacterial communities across contrasting environmental conditions. *Scientific Reports* 2019 9:1, 9(1), 1–12. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-40315-0>

Callander, S., Jennions, M. D., & Backwell, P. R. Y. (2012). The effect of claw size and wave rate on female choice in a fiddler crab. *Journal of Ethology*, 30(1), 151–155. <https://doi.org/10.1007/S10164-011-0309-6/METRICS>

Christy, J. H. (1978). Adaptive significance of reproductive cycles in the fiddler crab *Uca pugilator*: A hypothesis. *Science*, 199(4327), 453–455. <https://doi.org/10.1126/SCIENCE.199.4327.453>

Christy, J. H. (1987). Female choice and the breeding behavior of the fiddler crab *Uca beebei*. *Journal of Crustacean Biology*, 7(4), 624–635.

Christy, J. H. (2003). Reproductive timing and larval dispersal of intertidal crabs: the predator avoidance hypothesis. *Revista Chilena de Historia Natural*, 76(2), 177–185. <https://doi.org/10.4067/S0716-078X2003000200005>.

Christy, J. H. (2007). Predation and the reproductive behavior of fiddler crabs (Genus *Uca*). In E. J. Duffy & M. Thiel (Eds.), *Evolutionary ecology of social and sexual systems: Crustaceans as model organisms* (pp. 211–231). Oxford University Press.

Christy, J. H. (2011). Timing of hatching and release of larvae by Brachyuran crabs: Patterns, adaptive significance and control. *Integrative and Comparative Biology*, 51(1), 62–72. <https://doi.org/10.1093/ICB/ICR013>

Christy, J. H., & Salmon, M. (1984). Ecology and evolution of mating systems of fiddler crabs (Genus *Uca*). *Biological Reviews*, 59(4), 483–509. <https://doi.org/10.1111/J.1469-185X.1984.TB00412.X>

Clark, P. J., & Evans, F. C. (1954). Distance to nearest neighbor as a measure of spatial relationships in populations. *Ecology*, 35(4), 445–453. <https://doi.org/10.2307/1931034>



Core Development Team, R. (2020). A Language and Environment for Statistical Computing. In *R Foundation for Statistical Computing* (4.0.5). R Foundation for Statistical Computing. <https://www.r-project.org>

Crane, J. (1966). Combat, display and ritualization in Fiddler Crabs (Ocypodidae, genus Uca). *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological Sciences*, 251(772), 459–472. <https://doi.org/10.1098/rstb.1966.0035>

Crane, J. (1975). Fiddler crabs of the world: Ocypodidae: Genus Uca. In *Fiddler Crabs of the World: Ocypodidae: Genus Uca* (1st ed.). Princeton University Press. <https://doi.org/https://doi.org/10.1515/9781400867936>

DeRivera, C. E., Backwell, P. R. Y., Christy, J. H., & Vehrencamp, S. L. (2003). Density affects female and male mate searching in the fiddler crab, *Uca beebei*. *Behavioral Ecology and Sociobiology*, 53(2), 72–83. <https://doi.org/10.1007/S00265-002-0555-2/METRICS>

Gruber, J., Kahn, A., & Backwell, P. R. Y. (2019). Risks and rewards: balancing costs and benefits of predator avoidance in a fiddler crab. *Animal Behaviour*, 158, 9–13. <https://doi.org/10.1016/j.anbehav.2019.09.014>

Heatwole, S. J., Christy, J. H., & Backwell, P. R. Y. (2018). Taking a risk: how far will male fiddler crabs go? *Behavioral Ecology and Sociobiology*, 72(82). <https://doi.org/10.1007/s00265-018-2500-z>

Hendrickx, M. E. (1995). Cangrejos. In *Guía FAO para la identificación de especies para los fines de la pesca: Pacífico Centro-Oriental*. (1st ed., Vol. 1, pp. 581–636). FAO. 646.

How, M. J., Christy, J., Roberts, N. W., & Marshall, N. J. (2014). Null point of discrimination in crustacean polarisation vision. *Journal of Experimental Biology*, 217(14), 2462–2467. <https://doi.org/10.1242/JEB.103457/257983/AM/NUL-POINT-OF-DISCRIMINATION-IN-CRUSTACEAN>

IMHPA. (2024a, July 31). *Clasificación Climática*. IMHPA. <https://www.imhpa.gob.pa/es/clasificacion-climatica>

IMHPA. (2024b, August). *Pronóstico Mensual de Lluvia - IMHPA*. Boletín de Pronóstico Climático. <https://www.imhpa.gob.pa/es/documentos/pronostico-mensual-lluvia>

Jennions, M. D., & Backwell, P. R. Y. (1996). Residency and size affect fight duration



and outcome in the fiddler crab *Uca annulipes*. *Biological Journal of the Linnean Society*, 57(4), 293–306. <https://doi.org/10.1111/J.1095-8312.1996.TB01851.X>

Kerr, K. A. (2015). Decreased temperature results in daytime larval release by the fiddler crab *Uca deichmanni* Rathbun, 1935. *Journal of Crustacean Biology*, 35(2), 185–190. <https://doi.org/10.1163/1937240X-00002334>

Kerr, K. A., Christy, J. H., Joly-Lopez, Z., Luque, J., Collin, R., & Guichard, F. (2014). Reproducing on time when temperature varies: Shifts in the timing of courtship by fiddler crabs. *PLOS ONE*, 9(5), e97593. <https://doi.org/10.1371/JOURNAL.PONE.0097593>

Kim, T. W., & Christy, J. H. (2015). A mechanism for visual orientation may facilitate courtship in a fiddler crab. *Animal Behaviour*, 101, 61–66. <https://doi.org/10.1016/J.ANBEHAV.2014.12.007>

Kim, T. W., Kim, K. W., Srygley, R. B., & Choe, J. C. (2004). Semilunar courtship rhythm of the fiddler crab *Uca lactea* in a habitat with great tidal variation. *Journal of Ethology*, 22(1), 63–68. <https://doi.org/10.1007/S10164-003-0100-4/METRICS>

Koch, V., Wolff, M., & Diele, K. (2005). Comparative population dynamics of four fiddler crabs (Ocypodidae, genus *Uca*) from a North Brazilian mangrove ecosystem. *Marine Ecology Progress Series*, 291, 177–188.

Koga, T., Backwell, P. R. Y., Christy, J. H., Murai, M., & Kasuya, E. (2001). Male-biased predation of a fiddler crab. *Animal Behaviour*, 62(2), 201–207. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0003347201917403>

Koga, T., Backwell, P. R. Y., Jennions, M. D., & Christy, J. H. (1998). Elevated predation risk changes mating behaviour and courtship in a fiddler crab. *Proceedings of the Royal Society B*, 265, 1385–1390.

Köppen, W. (1936). Das geographische System der Klimate. In W. Köppen & R. Geiger (Eds.), *Handbuch der Klimatologie* (1st ed., pp. 1–44). Verlag von Gebrüder Borntraeger.

Kristensen, E. (2008). Mangrove crabs as ecosystem engineers; with emphasis on sediment processes. *Journal of Sea Research*, 59(1–2), 30–43. <https://doi.org/10.1016/j.seares.2007.05.004>



Lima, S. L., & Dill, L. M. (1990). Behavioral decisions made under the risk of predation: a review and prospectus. *Canadian Journal of Zoology*, 68(4), 619–640. [www.nrcresearchpress.com](http://www.nrcresearchpress.com)

Lombardo, R. C. (2023a). Behavior and activity pattern of *Minuca osa* (Brachyura: Ocypodidae) from Ponuga, Veraguas, Panama. *Biología, Ciencia y Tecnología*, 16, 1194–1210. <https://doi.org/10.22201/fesi.20072082e.2023.16.85678>

Lombardo, R. C. (2023b). Predation of the fiddler crab, *Minuca osa* (Brachyura: Ocypodidae), by *Eudocimus albus* (Pelecaniformes: Threskiornithidae) from Ponuga, Veraguas, Panama. *Journal of Marine and Coastal Sciences*, 15(2), 2–17. <https://doi.org/10.15359/REVMAR.15-2.1>

Lombardo, R. C. (2025). Inventario de los cangrejos violinista (Brachyura: Ocypodidae) en el Golfo de Parita, Panamá. *Scientia*, 35(1), 9–54. <https://doi.org/10.48204/J.SCIENTIA.V35N1.A6621>

Luk, Y. C., & Zajac, R. N. (2013). Spatial ecology of fiddler crabs, *Uca pugnax*, in southern New England salt marsh landscapes: Potential habitat expansion in relation to salt marsh change. <https://doi.org/10.1656/045.020.0213>, 20(2), 255–274. <https://doi.org/10.1656/045.020.0213>

Martínez-Soto, K. S., Johnson, D. S., Johnson, S., & Marshall, K. E. (2024). A fiddler crab reduces plant growth in its expanded range. *Ecology*, 105(2), e4203. <https://doi.org/10.1002/ECY.4203>

Milner, R. N. C., Jennions, M. D., & Backwell, P. R. Y. (2011). Keeping up appearances: male fiddler crabs wave faster in a crowd. *Biology Letters*, 8(2), 176. <https://doi.org/10.1098/RSBL.2011.0926>

Mokhtari, M., Ghaffar, M. A., Usup, G., & Cob, Z. C. (2015). Determination of key environmental factors responsible for distribution patterns of fiddler crabs in a tropical mangrove ecosystem. *PLoS ONE*, 10(1), 17. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0117467>

Mokhtari, M., Ghaffar, M. A., Usup, G., & Cob, Z. C. (2016). Effects of fiddler crab burrows on sediment properties in the mangrove mudflats of Sungai Sepang, Malaysia. *Biology (Basel)*, 5(1), 7. <https://doi.org/10.3390/BIOLOGY5010007>

Morisita, M. (1962).  $I\sigma$ -Index, a measure of dispersion of individuals. *Researches on Population Ecology*, 4(1), 1–7. [https://doi.org/10.1007/BF02533903/METRICS](https://doi.org/10.1007/BF02533903)



Perez, D. M., Rosenberg, M. S., & Pie, M. R. (2012). The evolution of waving displays in fiddler crabs (*Uca* spp., Crustacea: Ocypodidae). *Biological Journal of the Linnean Society*, 106(2), 307–315. <https://doi.org/10.1111/J.1095-8312.2012.01860.X>

Peso, M., Curran, E., & Backwell, P. R. Y. (2016). Not what it looks like: mate-searching behaviour, mate preferences and clutch production in wandering and territory-holding female fiddler crabs. *Royal Society Open Science*, 3, 160339. <https://doi.org/10.1098/rsos.160339>

Pyke, G. H. (2019). Optimal Foraging Theory: An Introduction. In J. C. Choe (Ed.), *Encyclopedia of Animal Behavior, Second Edition: Volume 1-5* (2nd ed., Vol. 2, pp. 111–117). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-809633-8.01156-0>

Reaney, L. T., & Backwell, P. R. Y. (2007a). Risk-taking behavior predicts aggression and mating success in a fiddler crab. *Behavioral Ecology*, 18(3), 521–525. <https://doi.org/10.1093/beheco/arm014>

Reaney, L. T., & Backwell, P. R. Y. (2007b). Temporal constraints and female preference for burrow width in the fiddler crab, *Uca mjoebergi*. *Behavioral Ecology and Sociobiology*, 61(10), 1515–1521. <https://doi.org/10.1007/S00265-007-0383-5/METRICS>

Ribeiro, P. D., Daleo, P., & Iribarne, O. O. (2010). Density affects mating mode and large male mating advantage in a fiddler crab. *Oecologia*, 164(4), 931–941. <https://doi.org/10.1007/S00442-010-1801-3/METRICS>

SINAPROC. (2024, November). *Fuertes lluvias dejan viviendas afectadas por inundaciones, caída de árboles y deslizamiento de tierra.* - Sinaproc. <https://www.sinaproc.gob.pa/fuertes-lluvias-dejan-viviendas-afectadas-por-inundaciones-caida-de-arboles-y-deslizamiento-de-tierra/>

Sokal, R. R., & Rohlf, F. J. (1987). *Biostatistics* (2nd ed.). Francise & Co. Takeshita, F., & Nishiumi, N. (2022). Social behaviors elevate predation risk in fiddler crabs: quantitative evidence from field observations. *Behavioral Ecology and Sociobiology*, 76(12). <https://doi.org/10.1007/s00265-022-03268-5>

Welch, B. L. (1947). The generalization of “Student’s” problem when several different population variances are involved. *Biometrika*, 34(1–2), 28–35. <https://doi.org/10.1093/BIOMET/34.1-2.28>

## Evaluación de la genotoxicidad del agua del Río Siete en juveniles de *Oreochromis niloticus* mediante la prueba de micronúcleos

### Evaluation of the genotoxicity of the water of the Siete River in juveniles of *Oreochromis niloticus* using the micronucleus test

Juan Antonio Gómez H.

Universidad de Panamá, Panamá

[juanay05@hotmail.com](mailto:juanay05@hotmail.com)

<https://orcid.org/0000-0002-8548-3018>

Brython Josue Jaramillo Herrera

Universidad Técnica de Machala, Ecuador

[bjaramill6@utmachala.edu.ec](mailto:bjaramill6@utmachala.edu.ec)

<https://orcid.org/0009-0003-5484-6087>

Roberto Eduardo Román Mora

Universidad Técnica de Machala, Ecuador.

[rroman3@utmachala.edu.ec](mailto:rroman3@utmachala.edu.ec)

<https://orcid.org/0009-0002-3732-5987>

Janzel Villalaz

Universidad de Panamá, Panamá

[janzel.villalaz@yahoo.com](mailto:janzel.villalaz@yahoo.com)

<https://orcid.org/0000-0001-8914-3216>

Carlos Ramos

Universidad de Panamá, Panamá

[laito52@yahoo.com](mailto:laito52@yahoo.com)

<https://orcid.org/0000-0003-2344-9241>

Italo Goti

Universidad de Panamá, Panamá

[italo.goti@up.ac.pa](mailto:italo.goti@up.ac.pa)

<https://orcid.org/0000-0001-5702-5389>

Víctor Hugo González

Universidad Técnica de Machala, Ecuador

[vgonzalez@utmachala.edu.ec](mailto:vgonzalez@utmachala.edu.ec)

<https://orcid.org/0000-0002-9127-0342>



Sergio Valverde Durán  
Universidad Técnica de Machala, Ecuador  
[svalverde@utmachala.edu.ec](mailto:svalverde@utmachala.edu.ec)  
<https://orcid.org/0000-0003-0423-3883>

Mauro Nirchio  
Universidad Técnica de Machala, Ecuador  
[mauro.nirchio@gmail.com](mailto:mauro.nirchio@gmail.com)  
<https://orcid.org/0000-0001-7171-2433>

Recepción: 21/03/2025      Aceptado: 16/06/2025

DOI

## Resumen

La contaminación por metales pesados es una de las principales amenazas para los ecosistemas acuáticos, generando efectos adversos sobre la biota. En este estudio, se evaluó la genotoxicidad del agua del río Siete en juveniles de *Oreochromis niloticus* mediante el ensayo de micronúcleos y el ensayo Cometa. Se establecieron cinco tratamientos con diferentes concentraciones de agua contaminada (0%, 10%, 25%, 50% y 100%), evaluando la supervivencia y los efectos genotóxicos en eritrocitos tras 19 días de exposición. El análisis del agua y sedimentos reveló que las concentraciones de arsénico en el agua y plomo en los sedimentos superan los límites normativos, lo que sugiere un alto riesgo ambiental. Los biomarcadores genotóxicos mostraron una relación dosis-dependiente con la contaminación, evidenciada por un aumento significativo en la frecuencia de micronúcleos y en la fragmentación del ADN en los tratamientos con mayores concentraciones de agua contaminada ( $p < 0.05$ ). El ensayo Cometa reflejó niveles progresivos de daño en el ADN, con células mostrando una fragmentación extensa en las exposiciones más altas. Además, se observó una disminución en la actividad locomotora en los peces expuestos a metales pesados, mientras que en el grupo control se registró un aumento en la agresión intraespecífica y el canibalismo. Estos resultados subrayan la importancia del monitoreo ambiental continuo y el uso de *O. niloticus* como bioindicador de contaminación por metales pesados en ecosistemas acuáticos.

**Palabras clave:** Genotoxicidad, *Oreochromis niloticus*, micronúcleos, metales pesados, río Siete, contaminación ambiental, supervivencia.

## Abstract

Heavy metal pollution is one of the main threats to aquatic ecosystems, causing adverse effects on biota. This study assessed the genotoxicity of water from the Siete River in juvenile *Oreochromis niloticus* using the micronucleus test and the Comet assay. Five treatments with different concentrations of contaminated water (0%, 10%, 25%, 50%, and 100%) were established, evaluating survival and genotoxic effects in erythrocytes after 19 days of exposure. Water and sediment analysis revealed that arsenic and lead concentrations exceeded regulatory limits, suggesting a high environmental risk. Genotoxic biomarkers showed a dose-dependent relationship with contamination,



as evidenced by a significant increase in micronucleus frequency and DNA fragmentation in the highest exposure treatments ( $p < 0.05$ ). The Comet assay indicated progressive levels of DNA damage, with cells exhibiting extensive fragmentation under the highest exposures. Additionally reduced locomotor activity was observed in fish exposed to heavy metals, while increased intraspecific aggression and cannibalism were recorded in the control group. These findings highlight the need for continuous environmental monitoring and support the use of *O. niloticus* as a bioindicator of heavy metal contamination in aquatic ecosystems.

**Keywords:** Genotoxicity, *Oreochromis niloticus*, micronuclei, heavy metals, Rio Siete, environmental pollution, survival.

## Introducción

La contaminación por metales pesados representa una de las principales amenazas para los ecosistemas acuáticos a nivel global debido a su persistencia, toxicidad y capacidad de bioacumulación en los organismos expuestos (Briffa et al., 2020; Rama Jyothi, 2021). Estos elementos, derivados principalmente de actividades antropogénicas como la industrialización, la minería y el uso excesivo de agroquímicos, se dispersan en el ambiente y se acumulan en suelos y sedimentos, lo que afecta la calidad del agua en ríos y pozos ubicados en zonas mineras (Sun et al., 2025). Su naturaleza no biodegradable favorece su acumulación a largo plazo en los ecosistemas, lo que aumenta los riesgos tanto para la biodiversidad acuática como para la salud humana (Ogola et al., 2025; Riani et al., 2025; Shetty et al., 2025).

En los organismos expuestos, los metales pesados pueden provocar diversos efectos tóxicos, incluyendo alteraciones neurológicas, disfunciones hepáticas y renales e incluso enfermedades crónicas como el cáncer (Alsherif et al., 2022; Arce Uribe & Olivares-Rubio, 2022; Gallo et al., 2025). En los ecosistemas acuáticos, estos contaminantes ingresan a los organismos por diferentes vías, como la absorción branquial y cutánea o la ingestión de presas contaminadas, lo que potencia los procesos de bioacumulación y biomagnificación en la cadena trófica (Kumar et al., 2024; Saidon et al., 2024).



Uno de los principales focos de contaminación por metales pesados es la minería, una actividad que, además de ser una de las principales fuentes de estos elementos en los ecosistemas acuáticos, tiene una gran relevancia económica en Ecuador. En 2015, las exportaciones de oro alcanzaron los 681 millones de dólares, consolidándolo como el cuarto producto de exportación después del banano, camarón y cacao (Matute Sánchez & Medina Peña, 2025). Asimismo, se estima que las reservas mineras confirmadas en el 10 % del territorio explorado del país representan aproximadamente el 114 % del PIB de 2015 (Herdoíza et al., 2017). No obstante, la minería conlleva impactos ambientales severos, especialmente cuando la extracción de minerales se realiza sin una adecuada gestión de residuos.

Un caso emblemático de esta problemática es el cantón Camilo Ponce Enríquez, en la provincia de El Oro, donde la minería aurífera ha generado un impacto ambiental significativo. La descarga de aguas residuales con altos niveles de metales pesados ha contaminado gravemente el río Siete, receptor de los relaves y lixiviados de las plantas de procesamiento de oro. Estudios previos han reportado concentraciones elevadas de arsénico (As), cobre (Cu) y zinc (Zn) en el agua y sedimentos del río, con niveles que superan en órdenes de magnitud de 10 a  $>1000$  los umbrales de toxicidad para la vida acuática (Appleton et al., 2001). Sin embargo, la ausencia de estudios científicos que evalúen directamente el impacto de esta contaminación sobre la biodiversidad limita la implementación de estrategias de mitigación efectivas.

Los metales pesados pueden inducir daño genético en los organismos acuáticos, lo que compromete la estabilidad genómica y afecta la viabilidad de las poblaciones, además de producir alteraciones celulares y disruptores en la reproducción. Para evaluar estos efectos, el uso de organismos centinela se ha consolidado como una estrategia clave en ecotoxicología (Rubio-Vargas et al.,



2024). En este contexto, los peces han sido ampliamente utilizados como modelos experimentales debido a su sensibilidad a los contaminantes y su capacidad para reflejar riesgos ambientales y sanitarios (Bancel et al., 2024).

Entre los biomarcadores más empleados para evaluar el daño genético en peces destaca el ensayo de micronúcleos, que permite detectar aberraciones cromosómicas y fragmentos de ADN no incorporados al núcleo principal, proporcionando una medida del efecto mutagénico de los metales pesados (Faita et al., 2013; Nirchio et al., 2019; Rubio-Vargas et al., 2024). Sin embargo, este ensayo no permite cuantificar con precisión la magnitud del daño en el ADN a nivel molecular, por lo que es necesario complementarlo con pruebas que evalúen la fragmentación del material genético en células individuales.

El ensayo Cometa, también conocido como electroforesis en gel de células individuales, ha sido ampliamente utilizado como biomarcador de genotoxicidad en peces expuestos a agentes ambientales nocivos (Chatha et al., 2023; Simoniello et al., 2009; Tasneem & Yasmeen, 2018). Este ensayo permite detectar rupturas de ADN de cadena simple y doble, proporcionando información detallada sobre la extensión y gravedad del daño en la estructura del material genético (Langie et al., 2015; McKelvey-Martin et al., 1993; Nandhakumar et al., 2011). Su alta sensibilidad y capacidad para evaluar respuestas dosis-dependientes lo convierten en una herramienta fundamental para el monitoreo de contaminantes genotóxicos en ambientes acuáticos (Ali et al., 2009; Jiang et al., 2023). Por lo tanto, la combinación de estos métodos proporciona una evaluación integral del daño genético, permitiendo identificar tanto efecto clastogénico como alteraciones en la integridad del ADN.

Entre los peces utilizados en evaluaciones ecotoxicológicas, diversas especies de tilapia, en particular *Oreochromis niloticus*, han sido empleadas como



bioindicadores debido a su sensibilidad a la contaminación, su amplia distribución en ecosistemas acuáticos y su capacidad para acumular metales pesados en sus tejidos (Abass, 2024; Chinedu et al., 2024; Lemos et al., 2005). Estas características las convierten en organismos ideales para el monitoreo ambiental, ya que permiten evaluar la presencia y los efectos de contaminantes en cuerpos de agua afectados por actividades humanas, como la minería (Silva et al., 2024; Zannat et al., 2024).

Con el objetivo de analizar el impacto de los metales pesados en la biota acuática del Río Siete y contribuir al desarrollo de estrategias de conservación y mitigación de la contaminación ambiental, este estudio evaluó la presencia de daño genotóxico en *O. niloticus* mediante el ensayo de micronúcleos y el ensayo Cometa.

## **Materiales y Métodos**

### Análisis y caracterización del agua y sedimentos del Río Siete

El agua utilizada en el experimento fue recolectada del río Siete, en el cantón Camilo Ponce Enríquez, Ecuador, empleando recipientes de 20 litros hasta completar un tanque de 1 tonelada. Se observó un aspecto turbio y una aparente ausencia de organismos vivos, lo que sugiere afectación ambiental.

Se analizaron muestras de agua y sedimentos para determinar la presencia de arsénico, cadmio, plomo, mercurio y cianuros, utilizando técnicas certificadas. Los análisis fueron realizados por ANAVANLAB CIA. LTDA., laboratorio acreditado bajo SAE LEN 13-006 y conforme a la norma internacional NTE INEN ISO/IEC 17025:2018, garantizando la confiabilidad de los resultados.

Los metales en agua fueron determinados mediante los métodos SM 3114 C, SM 3111 B y EPA 3015, mientras que en sedimentos se emplearon EPA 7061 A, EPA 7471 B y EPA 3051. La cuantificación de cianuros se realizó con el método SM



4500-CN E. Los resultados fueron comparados con los límites establecidos en la norma NTE INEN 1108:2020 para agua de consumo humano y en los criterios de calidad AM097A, Anexo 1 y Anexo 2, que regulan la calidad de fuentes de agua y suelos.

#### Aclimatación de los organismos

Se seleccionaron 90 juveniles de *Oreochromis niloticus*, provenientes de una granja acuícola en Posorja, Ecuador, con un peso promedio de 11 g. Los peces fueron transportados en bolsas plásticas con oxígeno y aclimatados en un tanque de 1 tonelada.

#### Diseño experimental

Se empleó un diseño completamente al azar con cinco tratamientos y tres repeticiones por tratamiento. Los tratamientos consistieron en: T0 (control) con 0% de agua contaminada, T1 con 100%, T2 con 50%, T3 con 25% y T4 con 10%. Cada unidad experimental estuvo conformada por un recipiente de plástico de 72.8 litros, en el que se alojaron seis peces por tanque. Para garantizar una oxigenación óptima, se implementó un sistema de aireación continua mediante mangueras conectadas a piedras difusoras.

#### Extracción de sangre y preparación de extendidos sanguíneos.

Se extrajeron muestras de sangre de dos individuos por unidad experimental, minimizando el estrés mediante anestesia con benzocaína (Schroeder, 2021). La recolección se realizó por punción en la vena caudal con jeringas de 1 ml heparinizadas y agujas de ½ pulgada.

Las muestras se extendieron sobre portaobjetos limpios y se dejaron secar al aire. Posteriormente, se fijaron con metanol absoluto durante 5 minutos y se tiñeron



con Giemsa al 10% por 15 minutos. Para la tinción, se utilizó un buffer fosfato de pH 6.88. Luego del enjuague con agua destilada y secado en posición vertical, los extendidos fueron protegidos con barniz transparente y cubreobjetos, almacenándose en un organizador para su análisis microscópico.

#### Análisis microscópico y recuento de células con micronúcleos

Las muestras fueron analizadas mediante microscopía de campo claro utilizando un fotomicroscopio Olympus CX31 equipado con un objetivo de inmersión de 100x y un aumento total de 1000x. Para cada portaobjetos, se capturaron entre 15 y 25 imágenes seleccionadas aleatoriamente, dependiendo de la densidad de eritrocitos observada, con el fin de registrar un mínimo de 2000 células por individuo.

Las imágenes obtenidas fueron organizadas en carpetas clasificadas por tratamiento y repetición, siguiendo un sistema de etiquetado estructurado para garantizar la trazabilidad de la información. El conteo de eritrocitos y micronúcleos se realizó sobre las imágenes digitales mediante la herramienta de conteo del software Adobe Photoshop, siendo evaluadas por un único observador. Las frecuencias de células micronucleadas se expresaron por cada 2000 células contadas.

#### Ensayo Cometa:

El ensayo Cometa se realizó siguiendo protocolos estándar (Lu et al., 2017; Singh et al., 1988). Se utilizaron muestras de sangre diluida (1:10 en buffer fosfato salino), mezcladas con agarosa de bajo punto de fusión a 37°C y depositadas sobre portaobjetos recubiertos con agarosa normal. Tras la solidificación, se llevó a cabo la lisis celular y la electroforesis en condiciones alcalinas. Luego, los portaobjetos fueron neutralizados con tampón Tris 0.4 M (pH 7.5), fijados con metanol absoluto y teñidos con DAPI para su análisis en un microscopio de epifluorescencia Olympus



BX53, equipado con una cámara digital y el software CellSens Dimension. Se analizaron al menos 50 cometas por individuo.

Para cuantificar el daño genético, se evaluaron la longitud de la cola (*Tail Length*), el porcentaje de ADN en la cola (*TailDNApercent*) y el *Extent Tail Moment* (ETM), según Kumaravel et al. (2009). El análisis de imágenes se realizó con *ImageJ* y el complemento *OpenComet* (Gyori et al., 2014), proporcionando mediciones precisas para la evaluación del daño en el ADN. *TailDNApercent* se utilizó como parámetro clave debido a su robustez y baja variabilidad en la estimación del daño genético.

#### Análisis estadístico

Para evaluar la homogeneidad y normalidad de los datos, se aplicaron las pruebas de Levene y Kolmogorov-Smirnov, respectivamente. Una vez verificados estos supuestos, se realizó un ANOVA inicial para determinar si era posible combinar las repeticiones dentro de cada tratamiento, lo que permitió aumentar la potencia estadística y mejorar la precisión en la detección de diferencias entre grupos, minimizando sesgos por variaciones aleatorias. Posteriormente, se llevó a cabo un ANOVA de una vía para evaluar el efecto de las diferentes concentraciones de agua contaminada sobre la frecuencia de micronúcleos y los parámetros del ensayo Cometa. Para el análisis post hoc, se empleó el test de Fisher LSD (*Least Significant Difference*) en la comparación de la frecuencia de micronúcleos ( $p < 0.05$ ), ya que este método es más sensible en estudios con un número reducido de grupos y cuando existen hipótesis a priori sobre la existencia de diferencias significativas (Sheskin, 2007; Sokal & Rohlf, 2011).

Por otro lado, para los parámetros del ensayo Cometa, como el *Tail DNA percent* y el *Extent Tail Moment* (ETM), se utilizó la prueba de Tukey, más conservadora y adecuada para comparaciones múltiples sin hipótesis previas,



reduciendo la probabilidad de error tipo I. La mayor variabilidad observada en estos parámetros justificó el uso de este test, ya que permite un control más efectivo de la tasa de error en análisis de comparaciones múltiples (Sheskin, 2007).

Todos los análisis estadísticos fueron realizados con el software *Statgraphics Centurion*, lo que permitió identificar diferencias significativas entre tratamientos y evaluar el impacto diferencial de la contaminación en los biomarcadores de genotoxicidad.

## Resultados

### *Análisis de metales pesados en agua y sedimento del Río Siete*

El análisis de la calidad del agua y sedimentos del río Siete permitió cuantificar la presencia de metales pesados con potencial impacto en el ecosistema (Tabla 1). Los resultados revelaron que la concentración de arsénico en el agua (0,038 mg/L) supera el límite permitido de 0,01 mg/L, mientras que otros elementos, como cianuros, cadmio, mercurio y plomo, se encuentran dentro de los valores normativos establecidos.

En los sedimentos, las concentraciones de cadmio (2,1 mg/kg) y plomo (24,8 mg/kg) excedieron los límites permitidos de 0,5 mg/kg y 19 mg/kg, respectivamente, lo que evidencia una acumulación significativa de estos metales en el lecho del río. En contraste, los valores de arsénico, cianuro libre y mercurio en los sedimentos cumplen con la normativa vigente, lo que sugiere que, por el momento, su presencia no representa una amenaza inmediata.

### *Supervivencia:*

Los datos mostraron una disminución progresiva en la supervivencia de los peces con el aumento de la contaminación (Figura 1). En el grupo control (T0), la

supervivencia se mantuvo cercana al 100 % durante las dos primeras semanas, reduciéndose al 23 % en la tercera. En el tratamiento con agua 100 % contaminada (T1), la supervivencia descendió del 90 % en la primera semana a menos del 60 % en la segunda, alcanzando aproximadamente un 30 % en la tercera.

En el tratamiento con 50 % de agua contaminada (T2), la supervivencia pasó del 95% en la primera semana al 70% en la segunda y al 40 % en la tercera. De manera similar, en T3 (25 %), los valores iniciales fueron del 95 %, disminuyendo a menos del 80 % en la segunda semana y al 60% en la tercera. En el tratamiento con la menor concentración de agua contaminada (T4, 10 %), la supervivencia fue comparable al grupo control durante la primera semana (~100 %), descendiendo a más del 80 % en la segunda y al 70 % en la tercera. Estos resultados evidencian un efecto dosis-dependiente de la contaminación sobre la mortalidad de los organismos expuestos.

### Tabla 1

*Concentraciones de metales pesados y cianuros en muestras de agua y sedimentos del río Siete en comparación con los límites normativos*

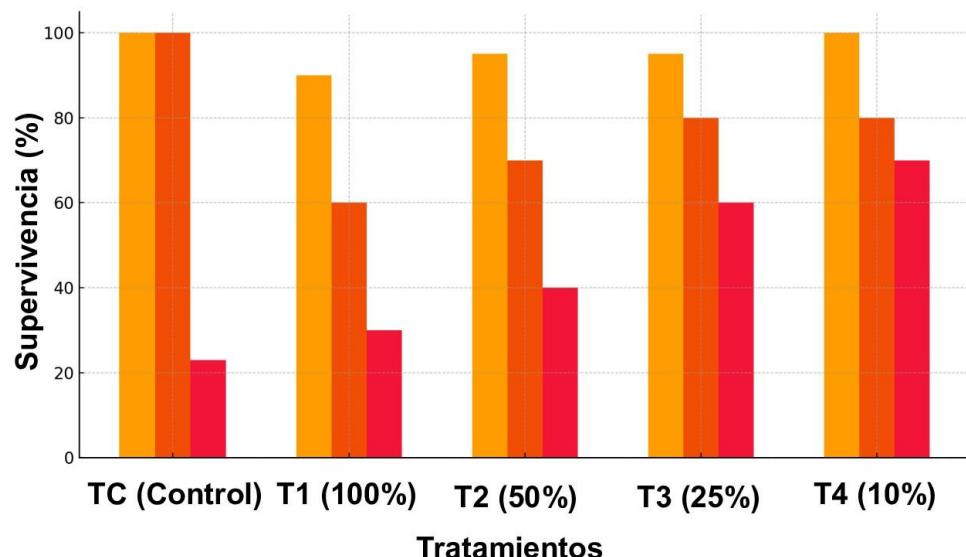
Tipo de Muestra	Parámetro	Método Analítico	Unidad	Valor		Cumplimiento
				Resultado	Norma	
Agua	Arsénico	3015	mg/L	<b>0,038</b>	0,01	No Cumple
Agua	Cianuros	SM 4500 – CN E	mg/L	< 0,010	0,1	Cumple
Agua	Cadmio	3015	mg/L	< 0,001	0,003	Cumple
Agua	Mercurio	3015	mg/L	< 0,0010	0,006	Cumple
Agua	Plomo	3015	mg/L	< 0,001	0,01	Cumple
Sedimentos	Arsénico	EPA 7061 A, 3051	mg/k	0,1	12	Cumple
Sedimentos	Cianuro Libre	SM 4500-CN E	mg/k	< 0,1	0,9	Cumple

Sedimentos	Cadmio	EPA 3051, 7061 A	mg/k g	2,1	0,5	No Cumple
Sedimentos	Mercurio	EPA 7061 A, 3051	mg/k g	< 0,1	0,1	Cumple
Sedimentos	Plomo	EPA 3051, 7061 A	mg/k g	24,8	19	No Cumple

Un aspecto importante observado en este estudio es la mayor actividad y la incidencia de canibalismo en el grupo control, en contraste con los peces expuestos al agua contaminada en los que se observó un comportamiento letárgico.

**Figura 1.**

Índice de supervivencia de los organismos expuestos a diferentes concentraciones de agua contaminada del río Siete durante tres semanas.



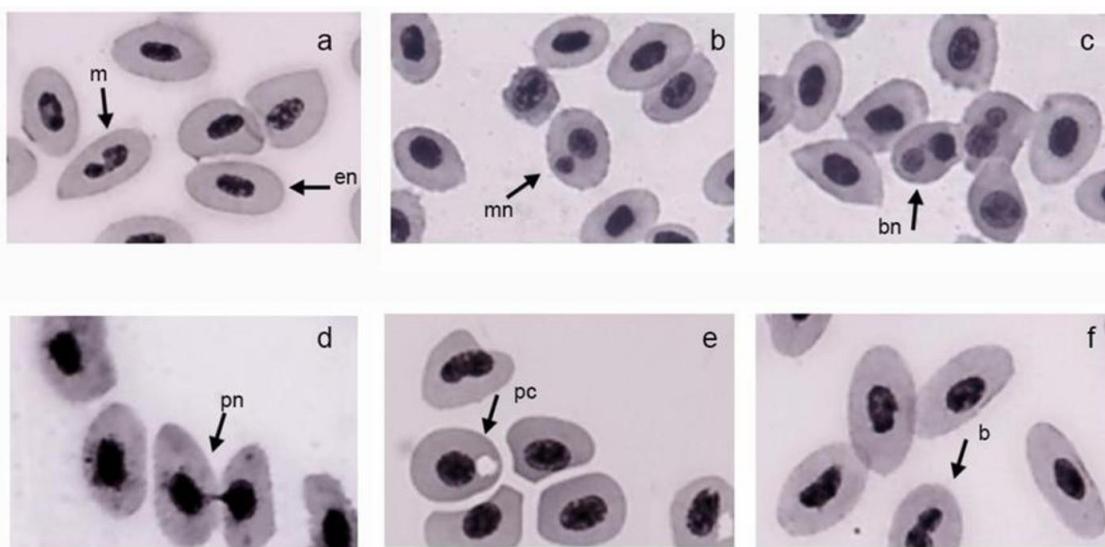
Nota: Los tratamientos incluyen un control (Tc) y cuatro concentraciones de agua contaminada: T1 (100%), T2 (50%), T3 (25%) y T4 (10%). La supervivencia se expresa en porcentaje y se presenta para cada semana de evaluación. Las barras en amarillo representan la Semana 1, en naranja la Semana 2, y en rojo la Semana 3.

## Anomalías nucleares en eritrocitos

La Figura 2 muestra las anomalías nucleares detectadas en eritrocitos de *Oreochromis niloticus*, identificadas mediante tinción y análisis microscópico. Entre las alteraciones observadas se incluyen micronúcleos (mn), muescas (m), binucleación (bn), puentes nucleoplásmicos (pn), pérdida de citoplasma (pc) y *buds* (b).

### Figura 2

Anomalías nucleares observadas en eritrocitos de *Oreochromis niloticus* expuestos a agua contaminada del río Siete



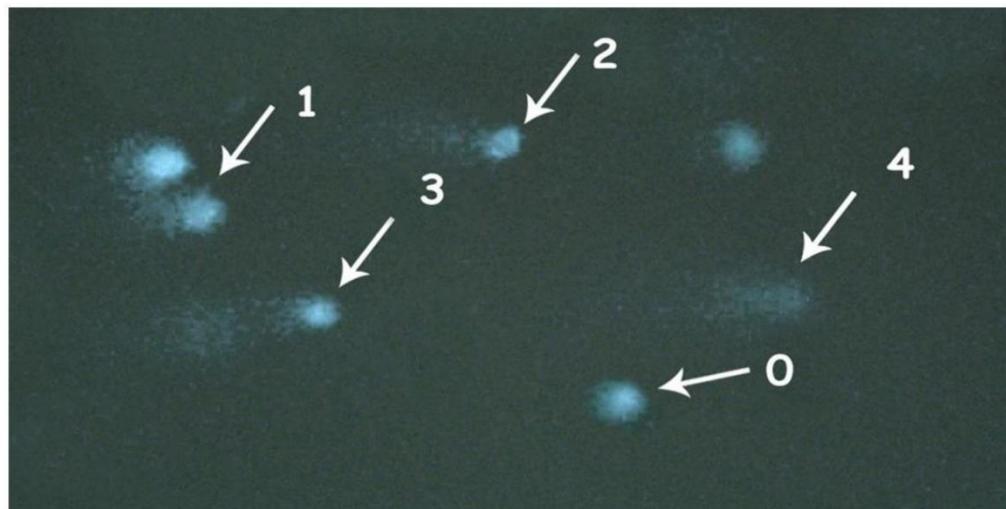
**Nota:** Las flechas señalan diferentes tipos de alteraciones celulares: (m) muesca, fragmentación o anormalidad estructural del núcleo; (mn) micronúcleos, estructuras nucleares independientes cercanas al núcleo principal; (bn) binucleación, presencia de dos núcleos en un mismo eritrocito; (pn) puentes nucleoplásmicos, conexiones entre núcleos o fragmentos nucleares; (pc) pérdida de citoplasma, reducción del volumen citoplasmático; y (b) buds, protrusiones o extensiones nucleares.

### Ensayo Cometa:

El ensayo Cometa evidenció distintos niveles de daño en el ADN, reflejados en la variabilidad de la longitud e intensidad de las "colas de cometa" observadas en las células evaluadas. Se identificaron eritrocitos con cinco niveles de daño genético, clasificados del 0 al 4, según la extensión de la fragmentación del ADN. En el nivel 0, las células mostraron ADN intacto sin signos de fragmentación, manteniendo una estructura compacta y uniforme. El nivel 1 presentó daño leve, caracterizado por una cola corta con baja cantidad de fragmentos migrados. En el nivel 2, el daño fue moderado, con una cola visible y mayor cantidad de ADN fragmentado. El nivel 3 reflejó daño severo, con una cola extensa y difusa con una cantidad considerable de fragmentos de ADN. Finalmente, el nivel 4 representó el daño más severo, con una cola prominente y altamente extendida, indicando una fragmentación significativa del ADN (Figura 3).

### Figura 3

Imagen de microscopía de fluorescencia, mostrando eritrocitos con cinco niveles distintos de daño genético, clasificados del 0 al 4.





Se observó diferencias significativas en el porcentaje de ADN en la cola del cometa (Tabla 2). La prueba *post-hoc* de Tukey identificó diferencias significativas entre las concentraciones de manera consistente para todas las variables. Por ejemplo, el porcentaje de ADN en la cola (TailDNApercent) fue significativamente mayor en las concentraciones más altas (50% y 100%) en comparación con el control (0%), lo que reflejó un incremento evidente del daño genotóxico.

## Tabla 2

*Resultados del ANOVA para daños genotóxicos determinados por Ensayo Cometa*

Variable	F-Statistic	p-Value
Tail DNA percent	38,40	p<0,001
ETM	24,95	p<0,001

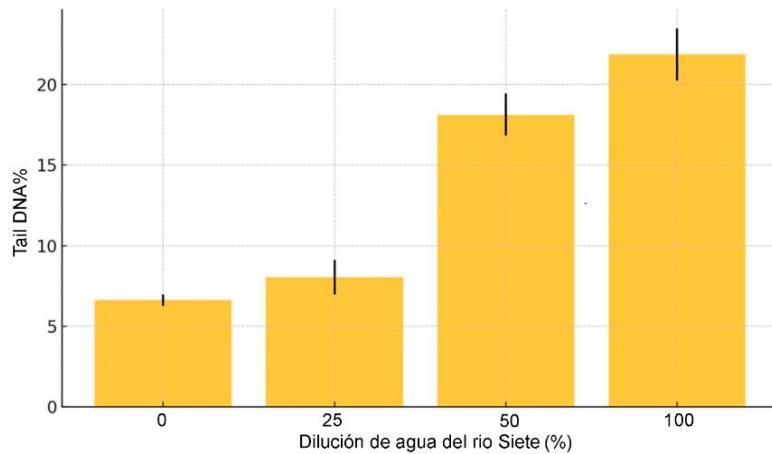
El análisis del ensayo cometa reveló una relación dosis-dependiente entre la concentración del agua del Río Siete y el daño en el ADN, medido como *Tail DNA percent* (Figura 4). A una concentración de 0 %, el *Tail DNA percent* presentó valores bajos, indicando un daño mínimo en el ADN basal. Con el aumento de la concentración a 0,25 %, se observó un incremento leve en el porcentaje de ADN en la cola del cometa, lo que sugiere una ligera inducción de daño genético.

A concentraciones de 50 % y 100 %, el *Tail DNA percent* mostró un aumento significativo, evidenciando una mayor fragmentación del ADN y, por lo tanto, un daño genotóxico más pronunciado. Estos resultados fueron consistentes con una tendencia dosis-dependiente, donde la mayor concentración del tratamiento se asoció con un incremento en la cantidad de ADN migrado hacia la cola del cometa. Las barras de error reflejan la variabilidad en la respuesta celular, aunque la

tendencia general sugiere que el tratamiento evaluado induce daño en el ADN de manera proporcional a la dosis administrada.

#### Figura 4

*Porcentaje de DNA en la cola del cometa en función de la concentración. Las barras de error representan la desviación estándar.*

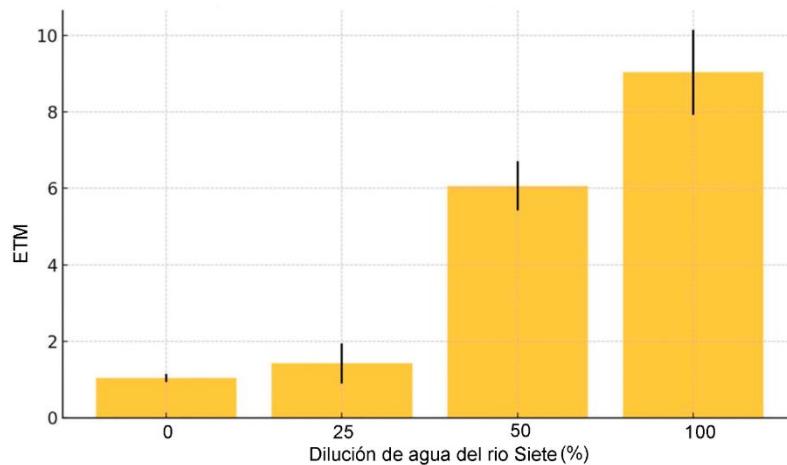


El análisis empleando la métrica de Momento de Extensión de la Cola (ETM), evidenció una relación dosis-dependiente entre la concentración del tratamiento y la magnitud del daño en el ADN (Figura 5). A una concentración de 0.0%, los valores de ETM fueron bajos, indicando niveles mínimos de fragmentación del ADN. Al aumentar la concentración a 0.25%, se observó un leve incremento en la ETM, lo que sugiere una ligera afectación en la integridad del ADN.

A concentraciones de 50 % y 100 %, los valores de ETM se incrementaron de manera significativa, con un aumento abrupto en la migración del ADN, lo que indica una mayor extensión del daño genotóxico. Esta tendencia sugiere que el tratamiento induce una fragmentación extensa del ADN, facilitando su migración en el ensayo cometa. Las barras de error reflejan la variabilidad en los datos, pero la tendencia general confirma una respuesta proporcional a la dosis administrada.

**Figura 5**

*Expresión de ETM en función de la dilución del agua del río Siete. Las barras de error representan la desviación estándar.*

**Análisis estadísticos**

La prueba de Kolmogorov-Smirnov confirmó la normalidad de los datos ( $p = 0.1212$ ), mientras que la prueba de Levene verificó la homogeneidad de varianza ( $p = 0.0617$ ), lo que permite el uso de análisis paramétricos.

El ANOVA no mostró diferencias significativas entre las repeticiones dentro de cada tratamiento ( $F = 0,08$ ;  $p = 0,9273$ ) (Tabla 3), lo que permitió la combinación de los datos para un análisis más robusto. En contraste, el ANOVA de una vía detectó diferencias significativas entre tratamientos ( $F = 2,97$ ;  $p = 0,0289$ ) (Tabla 4), que indica un efecto de la exposición a distintas concentraciones de agua contaminada.

**Tabla 3**

*Cuadro de ANOVA para MN/2 000 por repetición*

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>F</i>	<i>p valor</i>
Entre Acuarios	1,09882	2	0,549412	0,08	0,9273
Intra Acuarios	355,882	49	7,2629		
Total	356,981	51			

**Tabla 4**

*Cuadro de ANOVA para MN/2 000 por Dilución*

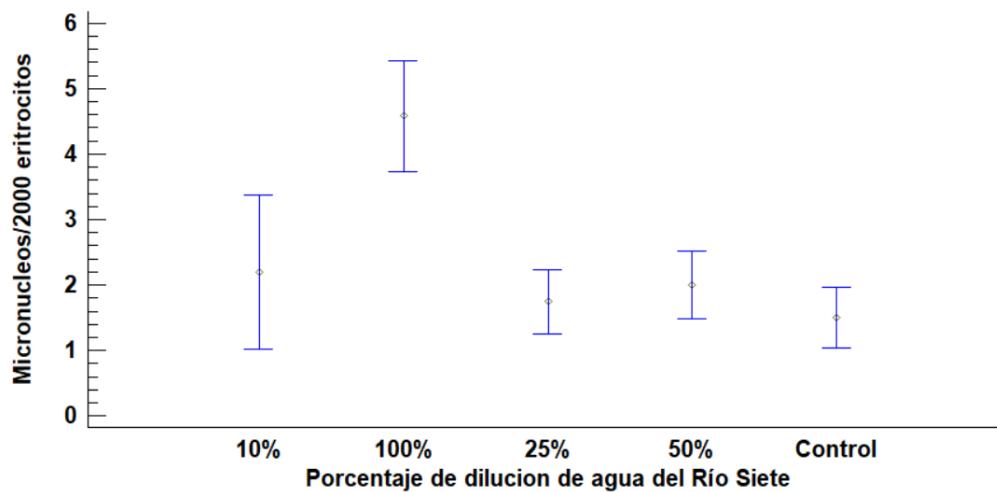
<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>F</i>	<i>p valor</i>
Entre Diluciones	71,9641	4	17,991	2,97	0,0289
Intra Diluciones	285,017	47	6,06418		
Total	356,981	51			

Los resultados de la prueba post hoc de Fisher LSD (Tabla 5) indicaron que las diluciones de 0 %, 10 %, 25 % y 50 % no difieren significativamente entre sí. Sin embargo, la exposición al 100 % de agua contaminada incrementó significativamente la frecuencia de micronúcleos (etiqueta B), lo que sugiere un umbral crítico de concentración que afecta la integridad genética de los eritrocitos.

**Tabla 5**

*Pruebas de Múltiple Rangos para Micronúcleos por Tratamiento*

<i>Tratamiento</i>	<i>Casos</i>	<i>Media</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
Control	12	1,50	A
25 %	8	1,75	A
50 %	10	2,00	A
10 %	10	2,20	A
100 %	12	4,58	B

**Figura 6**Promedio de micronúcleos/2000 eritrocitos  $\pm$  error estándar

## Discusión

Este estudio evaluó el impacto genotóxico del agua contaminada del río Siete en *Oreochromis niloticus*, utilizando la frecuencia de micronúcleos y el ensayo Cometa como biomarcadores de daño genético. Además, se analizaron las concentraciones de metales pesados en agua y sedimentos para correlacionarlas con los efectos biológicos observados en los peces expuestos. El diseño experimental contempló una exposición prolongada para estimar la concentración letal media (LC50) del agua contaminada, evitando la alimentación de los peces durante el experimento para minimizar interferencias metabólicas en la bioacumulación de metales pesados (Rubio-Vargas et al., 2024). Sin embargo, tras 19 días, no se registró una mortalidad significativa atribuida directamente a la toxicidad del agua, lo que llevó a priorizar el análisis de biomarcadores genotóxicos.

El análisis de sedimentos reveló concentraciones elevadas de arsénico y plomo, superando los límites normativos y coincidiendo con estudios previos que



identifican los sedimentos como reservorios a largo plazo de metales pesados (Iordache et al., 2022; Yunus et al., 2020). En el agua, solo el arsénico excedió los valores permitidos, mientras que el plomo y el mercurio se encontraron dentro de los estándares.

Los biomarcadores genotóxicos evidenciaron una relación dosis-dependiente entre la exposición a metales pesados y el daño genético en *O. niloticus*. La frecuencia de micronúcleos y el porcentaje de ADN fragmentado en el ensayo Cometa aumentaron significativamente con la concentración de agua contaminada, en concordancia con estudios previos en *O. mossambicus* expuesto a arsénico (Ali et al., 2009). La evaluación del ensayo Cometa reveló cinco niveles de daño en el ADN, desde células intactas (nivel 0) hasta daño severo con fragmentación extensa (nivel 4), reflejando alteraciones estructurales en la estabilidad genómica de los peces expuestos.

El análisis estadístico confirmó un incremento significativo en los valores de *Tail DNA percent* y *Extent Tail Moment* (ETM) en los tratamientos con concentraciones del 75 % y 100 % de agua contaminada ( $p < 0,001$ ). Este hallazgo indica una fragmentación extensa del ADN, lo que sugiere una alta vulnerabilidad genotóxica en los organismos expuestos.

El arsénico y el plomo, conocidos por inducir aberraciones cromosómicas y disfunción celular, promovieron un aumento en la frecuencia de micronúcleos y alteraciones nucleares (Faita et al., 2013; Garnica Acuña et al., 2020). Además, la exposición al arsénico en peces ha sido vinculada con efectos embriotóxicos y teratogénicos, así como anomalías estructurales en *Danio rerio* (Sánchez-Olivares et al., 2021). De manera similar, la bioacumulación de plomo afecta la estabilidad



genética, alterando la reproducción y viabilidad poblacional de peces en ambientes contaminados (Anetor et al., 2022).

Aunque en los tratamientos con 10 %, 25 % y 50 % de agua contaminada no se observaron diferencias significativas en la frecuencia de micronúcleos respecto al grupo control, en la exposición al 100 % se evidenció un incremento notable ( $p < 0,05$ ). Este umbral crítico de concentración ha sido documentado en *D. rerio* y *Cyprinus carpio*, donde los metales pesados aumentaron la frecuencia de micronúcleos y otras alteraciones nucleares (Dey et al., 2024; Kakade et al., 2020).

El comportamiento de los peces también influyó en la supervivencia. A partir del séptimo día de ayuno, se observó un aumento en la agresión intraespecífica y el canibalismo, especialmente en el grupo control, lo que pudo haber afectado la mortalidad. En contraste, los peces expuestos a agua contaminada mostraron menor actividad natatoria y una reducción en la respuesta a estímulos, posiblemente debido a alteraciones en la neurotransmisión y efectos depresores de los metales pesados sobre el sistema nervioso central (Loro et al., 2012).

Es importante destacar que los resultados obtenidos en este estudio reflejan únicamente la respuesta genotóxica en juveniles de *Oreochromis niloticus* bajo condiciones controladas de laboratorio. Por tanto, estos hallazgos no deben extrapolarse directamente a otras especies acuáticas, ni al ecosistema en su conjunto, ya que la sensibilidad del daño genético puede variar considerablemente entre taxones, etapas de desarrollo y condiciones ecológicas. Para una evaluación integral del impacto ambiental del río Siete, se requiere incluir múltiples niveles biológicos y especies representativas de diferentes nichos ecológicos.

## Conclusiones



Estos hallazgos resaltan la necesidad de evaluar múltiples factores en los estudios de impacto ambiental. Aunque la contaminación del río Siete mostró un efecto genotóxico claro en *O. niloticus*, la supervivencia estuvo influenciada por el ayuno y el comportamiento intraespecífico. Se enfatiza la importancia de un monitoreo ambiental sistemático con bioindicadores como *O. niloticus* para evaluar la contaminación por metales pesados en ecosistemas acuáticos. Aunque los peces pueden desarrollar mecanismos de detoxificación, la exposición crónica a estos contaminantes puede alterar su fisiología y comprometer la estabilidad de las comunidades acuáticas. En este contexto, el ensayo de micronúcleos se consolida como una herramienta clave para la evaluación del riesgo ambiental y el desarrollo de estrategias de conservación (Rubio-Vargas et al., 2024).

## Agradecimientos

Los autores expresan su sincero agradecimiento al Departamento de Acuicultura de la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Técnica de Machala por el apoyo logístico y la disposición de los laboratorios, lo que hizo posible la realización de esta investigación. Su colaboración fue fundamental para el desarrollo exitoso del estudio.

## Referencias

- Ahmed, M.K., Habibullah-Al-Mamun, M., Hossain, M.A., Arif, M., Parvin, E., Akter, M.S., Khan, M.S., Islam, M.M. (2011). Assessing the genotoxic potentials of arsenic in tilapia (*Oreochromis mossambicus*) using alkaline comet assay and micronucleus test. *Chemosphere.*  
<https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2011.02.025>



Alsherif, E. A., Al-Shaikh, T. M., & AbdElgawad, H. (2022). Heavy metal effects on biodiversity and stress responses of plants inhabiting contaminated soil in khulais, Saudi Arabia. *Biology*, 11(2), 164. <https://doi.org/10.3390/biology11020164>

Anetor, G. O., Nwobi, N. L., Igharo, G. O., Sonuga, O. O., & Anetor, J. I. (2022). Environmental pollutants and oxidative stress in terrestrial and aquatic organisms: Examination of the total picture and implications for human health. *Frontiers in Physiology*, 13, 931386. <https://doi.org/10.3389/fphys.2022.931386>

Appleton, J. D., Williams, T. M., Orbea, H., & Carrasco, M. (2001). *Water, air, and soil pollution*, 131(1/4), 19-39. <https://doi.org/10.1023/a:1011965430757>

Arce Uribe, E., & Olivares-Rubio, H. F. (2022). Contaminantes y su efecto en el comportamiento de los peces cíclidos. *Inventio*, 17(43), 1-6. <https://doi.org/10.30973/inventio/2021.17.43/3>

Bancel, S., Cachot, J., Bon, C., Rochard, É., & Geffard, O. (2024). A critical review of pollution active biomonitoring using sentinel fish: Challenges and opportunities. *Environmental Pollution* (Barking, Essex: 1987), 360(124661), 124661. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2024.124661>

Bolognesi, C., & Hayashi, M. (2011). Micronucleus assay in aquatic animals. *Mutagenesis*, 26(1), 205-213. <https://doi.org/10.1093/mutage/geq073>

Briffa, J., Sinagra, E., & Blundell, R. (2020). Heavy metal pollution in the environment and their toxicological effects on humans. *Helijon*, 6(9), e04691. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e04691>

Chatha, A. M. M., Naz, S., Iqbal, S. S., Kiran, A., Lateef, M., Zahra, U., Yasmin, F., Amjad, N., & Javaid, A. (2023). Detection of DNA Damage in Fish using Comet Assay. *Current Trends in OMICS*, 4(1), 01-16. <https://doi.org/10.32350/cto.41.01>

Dey, K. K., Kamila, S., Das, T., & Chattopadhyay, A. (2024). Lead induced genotoxicity and hepatotoxicity in zebrafish (*Danio rerio*) at environmentally relevant concentration: Nrf2-Keap1 regulated stress response and expression of biomarker genes. *Environmental Toxicology and Pharmacology*, 107(104396), 104396. <https://doi.org/10.1016/j.etap.2024.104396>

Faita, F., Cori, L., Bianchi, F., & Andreassi, M. G. (2013). Arsenic-induced



genotoxicity and genetic susceptibility to arsenic-related pathologies. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 10(4), 1527-1546. <https://doi.org/10.3390/ijerph10041527>

Gallo, S., Leonetti, F. L., Reineri, F. R., Micarelli, P., Passarelli, L., Giglio, G., Milazzo, C., Imbrogno, S., Barca, D., Bottaro, M., & Sperone, E. (2025). Bioaccumulation patterns in different tissues of twelve species of elasmobranchs from the Tyrrhenian and Ionian sea (Calabria, southern Italy). *Environments*, 12(1), 12. <https://doi.org/10.3390/environments12010012>

Garnica Acuña, S. J., López Herrera, M., Romero Bautista, L., & Meza Sánchez, M. (2020). Efecto genotóxico y citotóxico del plomo en meristemos radiculares de dos variedades de Vicia faba L. y su relación con la domesticación. *Revista Biológico Agropecuaria Tuxpan*, 8(2), 73-82. <https://doi.org/10.47808/revistabioagro.v8i2.181>

Gyori, B. M., Venkatachalam, G., Thiagarajan, P. S., Hsu, D., & Clement, M.-V. (2014). OpenComet: an automated tool for comet assay image analysis. *Redox Biology*, 2, 457-465. <https://doi.org/10.1016/j.redox.2013.12.020>

Herdoíza, D. L., Fierro-Renoy, V., & Fierro-Renoy, C. (2017). Minería a Gran Escala, Una Nueva Industria para Ecuador. *Polémika*, 5(12). <https://revistas.usfq.edu.ec/index.php/polemika/article/view/956>

Iordache, A. M., Nechita, C., Zgavaroge, R., Voica, C., Varlam, M., & Ionete, R. E. (2022). Accumulation and ecotoxicological risk assessment of heavy metals in surface sediments of the Olt River, Romania. *Scientific Reports*, 12(1), 880. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-04865-0>

Jiang, N., Naz, S., Ma, Y., Ullah, Q., Khan, M. Z., Wang, J., Lu, X., Luosang, D.-Z., Tabassum, S., Chatha, A. M. M., & Basang, W.-D. (2023). An overview of comet assay application for detecting DNA damage in aquatic animals. *Agriculture*, 13(3), 623. <https://doi.org/10.3390/agriculture13030623>

Kakade, A., Salama, E.-S., Pengya, F., Liu, P., & Li, X. (2020). Long-term exposure of high concentration heavy metals induced toxicity, fatality, and gut microbial dysbiosis in common carp, *Cyprinus carpio*. *Environmental Pollution (Barking, Essex: 1987)*, 266(Pt 3), 115293. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.115293>

Kumaravel, T. S., Vilhar, B., Faux, S. P., & Jha, A. N. (2009). Comet Assay measurements: a perspective. *Cell Biology and Toxicology*, 25(1), 53-64. <https://doi.org/10.1007/s10565-007-9043-9>



Kumar, M., Singh, S., Jain, A., Yadav, S., Dubey, A., & Trivedi, S. P. (2024). A review on heavy metal-induced toxicity in fishes: Bioaccumulation, antioxidant defense system, histopathological manifestations, and transcriptional profiling of genes. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*, 83, 127377. <https://doi.org/10.1016/j.jtemb.2023.127377>

Langie, S. A. S., Azqueta, A., & Collins, A. R. (2015). The comet assay: past, present, and future. *Frontiers in Genetics*, 6, 266. <https://doi.org/10.3389/fgene.2015.00266>

Loro, V. L., Jorge, M. B., Silva, K. R. D., & Wood, C. M. (2012). Oxidative stress parameters and antioxidant response to sublethal waterborne zinc in a euryhaline teleost *Fundulus heteroclitus*: Protective effects of salinity. *Aquatic Toxicology*, 110–111, 187–193. <https://doi.org/10.1016/j.aquatox.2012.01.012>

Lu, Y., Liu, Y., & Yang, C. (2017). Evaluating in vitro DNA damage using comet assay. *Journal of Visualized Experiments: JoVE*, 128. <https://doi.org/10.3791/56450>

Matute Sánchez, E. N., & Medina Peña, R. (2025). La actividad minera y sus consecuencias en el Ecuador. *METANOIA: REVISTA DE CIENCIA, TECNOLOGÍA E INNOVACIÓN*, 11(1), 139-154. <https://doi.org/10.61154/metanoia.v11i1.3847>

McKelvey-Martin, V. J., Green, M. H., Schmezer, P., Pool-Zobel, B. L., De Méo, M. P., & Collins, A. (1993). The single cell gel electrophoresis assay (comet assay): a European review. *Mutation Research*, 288(1), 47-63. [https://doi.org/10.1016/0027-5107\(93\)90207-v](https://doi.org/10.1016/0027-5107(93)90207-v)

Nandhakumar, S., Parasuraman, S., Shanmugam, M. M., Rao, K. R., Chand, P., & Bhat, B. V. (2011). Evaluation of DNA damage using single-cell gel electrophoresis (Comet Assay). *Journal of Pharmacology & Pharmacotherapeutics*, 2(2), 107-111. <https://doi.org/10.4103/0976-500X.81903>

Nirchio, M., Ventimilla, O. J. C., Cordero, P. F. Q., Hernández, J. G., & Oliveira, C. (2019). Genotoxic effects of mercury chloride on the Neotropical fish Andinoacara rivulatus (Cichlidae: Cichlasomatini). *Revista de Biología Tropical*, 67(4), 745-754. <https://doi.org/10.15517/rbt.v67i4.34133>

Ogola, H. J. O., Debipersadh, S., & Semenza, K. (2025). Heavy metals bioaccumulation and critical risk analysis in the endemic crustacean Callianassa



kraussi stebbing and edible fish Pomadasys commersonii from Durban Harbour, South Africa. *Journal of Food Composition and Analysis: An Official Publication of the United Nations University, International Network of Food Data Systems*, 139, 107103. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2024.107103>

Rama Jyothi, N. (2021). Heavy metal sources and their effects on human health. En *Heavy Metals - Their Environmental Impacts and Mitigation*. IntechOpen. <https://doi.org/10.5772/intechopen.95370>

Riani, E., Butet, N. A., Asori, M., Setiyadi, B., & Cordova, M. R. (2025). *Impact of heavy metal waste from bottom ash residue of used battery recycling in Cinangka Village: Environmental Effects, Bioaccumulation in Sulcospira testudinaria and Health Risk Assessment*. <https://doi.org/10.2139/ssrn.5071760>

Rubio-Vargas, D. A., Morais, T. P. de Randi, M. A. F., Filipak Neto, F., Martins, C. de C., Oliveira, A. P., Nazário, M. G., Ferreira, F. C. A. da S., Opuskevitch, I., Penner, D., Esquivel-Muelbert, J., Prodocimo, M. M., Choueri, R. B., & Oliveira Ribeiro, C. A. de. (2024). Pollutant bioaccumulation in sentinel fish chronically exposed in Iguaçu river reservoirs (Southern Brazil) and human health risk of fish consumption. *Chemosphere*, 349(140812), 140812. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2023.140812>

Saidon, N. B., Szabó, R., Budai, P., & Lehel, J. (2024). Trophic transfer and biomagnification potential of environmental contaminants (heavy metals) in aquatic ecosystems. *Environmental Pollution (Barking, Essex: 1987)*, 340(Pt 1), 122815. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2023.122815>

Sánchez-Olivares, M. A., Gaytán-Oyarzun, J. C., Prieto-García, F., & Cabrera-Cruz, R. B. E. (2021). Evaluación Rápida de Potencial de Riesgo Genotóxico (ERPRG) asociada a metales pesados en agua potable: Caso de estudio Zimapán, Hidalgo, México. *Pádi Boletín Científico de Ciencias Básicas e Ingenierías del ICBI*, 9(17), 114-120. <https://doi.org/10.29057/icbi.v9i17.7140>

Sarasamma, S., Audira, G., Juniardi, S., Sampurna, B., Liang, S. T., Hao, E., Lai, Y. H., & Hsiao, C. D. (2018). Zinc chloride exposure inhibits brain acetylcholine levels, produces neurotoxic signatures, and diminishes memory and motor activities in adult zebrafish. *International Journal of Molecular Sciences*, 19(10), 3195. <https://doi.org/10.3390/ijms19103195>

Sheskin, D. J. (2007). *Handbook of parametric and nonparametric statistical procedures* (4.<sup>a</sup> ed.). Chapman & Hall/CRC.



Shetty, B. R., Jagadeesha, P. B., & Salmataj, S. A. (2025). Heavy metal contamination and its impact on the food chain: exposure, bioaccumulation, and risk assessment. *CyTA - Journal of Food*, 23(1). <https://doi.org/10.1080/19476337.2024.2438726>

Schroeder, P., Lloyd, R., McKimm, R., Metselaar, M., Navarro, J., O'Farrell, M., ... & Mocho, J. P. (2021). Anaesthesia of laboratory, aquaculture and ornamental fish: Proceedings of the first LASA-FVS Symposium. *Laboratory Animals*, 55(4), 317-328. <https://doi.org/10.1177/0023677221998403>

Simoniello, M. F., Gigena, F., Poletta, G., Loteste, A., Kleinsorge, E., Campana, M., Scagnetti, J., & Parma, M. J. (2009). Alkaline comet assay for genotoxic effect detection in neotropical fish Prochilodus lineatus (Pisces, Curimatidae). *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 83(2), 155-158. <https://doi.org/10.1007/s00128-009-9771-z>

Singh, N. P., McCoy, M. T., Tice, R. R., & Schneider, E. L. (1988). A simple technique for quantitation of low levels of DNA damage in individual cells. *Experimental Cell Research*, 175(1), 184-191. [https://doi.org/10.1016/0014-4827\(88\)90265-0](https://doi.org/10.1016/0014-4827(88)90265-0)

Sokal, R. R., & Rohlf, F. J. (2011). *Biometry: The Principles and Practice of Statistics in Biological Research*. W.H. Freeman and Company. <https://play.google.com/store/books/details?id=1wb1nQEACAAJ>

Sun, Y., Zhang, X., Peng, H., Zhou, W., Jiang, A., Zhou, F., Wang, H., & Zhang, W. (2025). Development of a coupled model to simulate and assess arsenic contamination and impact factors in the Jinsha River Basin, China. *Journal of Environmental Sciences (China)*, 147, 50-61. <https://doi.org/10.1016/j.jes.2023.09.038>

Tasneem, S., & Yasmeen, R. (2018). Evaluation of genotoxicity by comet assay (single-cell gel electrophoresis) in tissues of the fish Cyprinus carpio during sub-lethal exposure to Karanjin. *Journal of Basic & Applied Zoology*, 79(1). <https://doi.org/10.1186/s41936-018-0033-7>

Yunus, K., Zuraidah, M. A., & John, A. (2020). A review on the accumulation of heavy metals in coastal sediment of Peninsular Malaysia. *Ecofeminism and Climate Change*, 1(1), 21-35. <https://doi.org/10.1108/efcc-03-2020-0003>



pp. 79 – 98

## Composición y estructura de la flora arbórea en una parcela de bosque secundario maduro del Parque Nacional Soberanía, Panamá

### Composition and structure of the tree flora in a plot of mature secondary forest in Soberanía National Park, Panama

**José Antonio Aguilar Llerena**

Academia Bilingüe Panamá para el Futuro, Ministerio de Educación, Panamá.

[Jose.aguilar1@meduca.edu.pa](mailto:Jose.aguilar1@meduca.edu.pa)

<https://orcid.org/0009-0003-1492-2348>

Recepción: 18/03/2024

Aprobación: 10/06/2025

DOI:

#### Resumen

Los bosques tropicales secundarios maduros desempeñan un papel fundamental en la conservación de la biodiversidad y en la recuperación ecológica de paisajes perturbados. Este estudio tuvo como objetivo evaluar la composición florística y la estructura de la flora arbórea en una parcela de una hectárea del bosque secundario maduro del Parque Nacional Soberanía, Panamá. Se registraron 431 árboles con DAP  $\geq$  10 cm, pertenecientes a 101 especies, 77 géneros y 32 familias, lo que indica una alta diversidad florística. El índice de Shannon ( $H' = 4.27$ ) sugiere una comunidad altamente diversa. La distribución diamétrica mostró una curva en "J" invertida, característica de bosques tropicales en equilibrio, con la mayoría de los individuos en las clases de 10-20 cm de diámetro. La estructura vertical revela una alta complejidad, con una relación de mezcla de 1:4. Las especies *Ficus insipida*, *Attalea butyracea*, *Terminalia amazonia*, *Zuelania guidonia* y *Oenocarpus mapora* presentaron los mayores valores de importancia ecológica, lo que indica su papel significativo en la estructura y funcionamiento del ecosistema. Estos resultados resaltan la relevancia ecológica del bosque como refugio de biodiversidad y fuente de regeneración natural, y justifican la necesidad de estrategias de manejo y monitoreo orientadas a la protección de estos bosques en procesos avanzados de sucesión.

**Palabras clave:** composición arbórea, índice de valor de importancia, Parque Nacional Soberanía, diversidad, ecosistemas tropicales.

#### Abstract



Mature secondary tropical forests play a fundamental role in biodiversity conservation and the ecological recovery of disturbed landscapes. This study aimed to assess the floristic composition and structure of the arboreal flora in a one-hectare plot of mature secondary forest within Soberanía National Park, Panama. A total of 431 trees with a diameter at breast height (DBH)  $\geq 10$  cm were recorded, belonging to 101 species, 77 genera, and 32 families, indicating high floristic diversity. The Shannon diversity index ( $H' = 4.27$ ) suggests a highly diverse plant community. The diameter distribution showed a reverse "J" shape, characteristic of tropical forests in equilibrium, with most individuals found in the 10–20 cm DBH classes. The vertical structure revealed high complexity, with a mixing ratio of 1:4. *Ficus insipida*, *Attalea butyracea*, *Terminalia amazonia*, *Zuelania guidonia*, and *Oenocarpus mapora* exhibited the highest ecological importance values, highlighting their significant role in the structure and functioning of the ecosystem. These results underscore the ecological relevance of the forest as a biodiversity refuge and a source of natural regeneration, supporting the need for management and monitoring strategies aimed at protecting these forests in advanced stages of succession.

**Keywords:** tree composition, importance value index, Soberanía National Park, diversity, tropical ecosystems.

## Introducción

El conocimiento de la estructura y composición de los bosques tropicales es fundamental para comprender su funcionamiento ecológico, su dinámica de regeneración y su papel en la conservación de la biodiversidad (Sánchez et al., 2024; Sánchez y Pérez, 2018; Giraldo-Cañas, 1995). En particular, estudios en ecosistemas como el Parque Nacional Soberanía, en Panamá, son esenciales para caracterizar la flora local, identificar especies clave y evaluar su estado de conservación en un contexto de creciente presión antropogénica.

Sin embargo, aunque se cuentan con investigaciones previas que describen la diversidad florística en áreas del parque (Castillo y Madrid, 2001; Ministerio de Ambiente, 2024), existe un vacío en el conocimiento respecto a la estructura vertical y horizontal de los bosques secundarios maduros en diferentes sectores del parque, así como su estabilidad ecológica y tendencias de regeneración a largo plazo. La comprensión de estos aspectos permite no solo valorar la biodiversidad, sino también implementar estrategias de conservación más efectivas, especialmente en áreas sometidas a actividades humanas como la extracción y el manejo forestal.

Este estudio busca aportar información actualizada sobre la composición, estructura y diversidad florística en una parcela de bosque secundario maduro en el



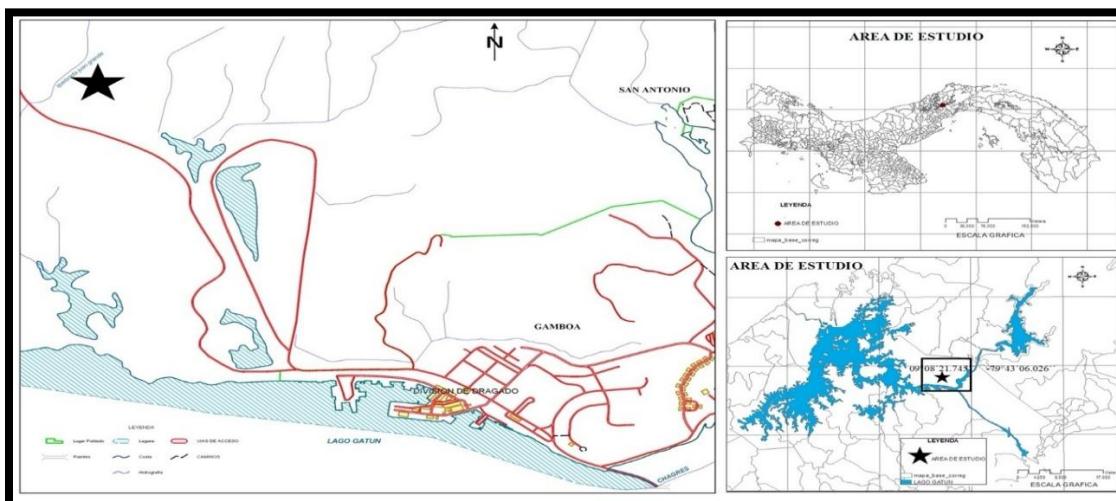
sector conocido como Camino del Oleoducto, en el Parque Nacional Soberanía. La diferencia principal respecto a investigaciones previas radica en que se realiza un análisis integral que combina análisis de diversidad, clasificación fisonómica y evaluación de la estructura diamétrica y estratificación, permitiendo entender mejor el estado ecológico y potencial de regeneración de estas comunidades vegetales.

En definitiva, la importancia del presente trabajo reside en ofrecer datos de referencia específicos para esta zona, contribuyendo al conocimiento de la dinámica de bosques secundarios maduros en Panamá y fortaleciendo las bases para su manejo sostenible y conservación, en un contexto de políticas ambientales en construcción. La integración de estos aspectos facilitará una visión más completa y funcional del ecosistema, orientando futuras investigaciones y acciones de protección.

## **Materiales y Métodos**

### **Área de Estudio**

La parcela estudiada se ubica dentro de los límites del Parque Nacional Soberanía, en el Camino del Oleoducto con posición geográfica de 09°08'21.745" latitud norte y de -79°43'06.026" longitud oeste, Figura 1. La topografía del área presenta poco terreno accidentado, con elevaciones que van entre los 100 y 300 m de altura.

**Figura 1***Localización del área de estudio*

Fuente: Instituto Geográfico Nacional Tommy Guardia

El Parque Nacional Soberanía, ubicado en la región tropical de Panamá, se caracteriza por un clima influenciado por la Zona de Convergencia Intertropical, con temperaturas promedio entre 23 y 30 °C y una humedad relativa anual cercana al 82%. El régimen de precipitaciones es marcadamente estacional, con un período lluvioso de abril a diciembre y una estación seca de enero a marzo. La precipitación anual promedio varía desde 2,000 mm en el sector Pacífico hasta 4,000 mm en el Caribe, y en la zona de Gamboa, donde se localiza la parcela de estudio, se registró un promedio anual de 2,139 mm durante el periodo 1996–2005. El sistema hídrico del parque está conformado por ríos de drenaje dendrítico, entre los que destacan el Chagres, Frijoles, Frijolito, Macho, Agua Salud y la Quebrada Juan Gallego.

La cobertura vegetal, mayoritariamente de bosque, regula los caudales de estos cuerpos de agua, aunque solo algunos ríos y quebradas tienen su cuenca íntegramente dentro del parque. En cuanto a los suelos, en las zonas elevadas y bien drenadas predominan los ultisoles, de color rojo oscuro, textura franco-arcillosa, poca profundidad y baja fertilidad, resultado de la intensa pluviosidad



tropical. En los valles fluviales, los suelos son de origen aluvial, más profundos, planos y con fertilidad de mediana a buena, aunque pueden estar sujetos a inundaciones eventuales tras lluvias intensas. La topografía es relativamente suave, dominada por cerros bajos y valles fluviales, producto de procesos volcánicos y sedimentarios, con elevaciones que en algunos casos superan los 200 m.

La zona de vida predominante corresponde al Bosque Húmedo Tropical, con una transición hacia Bosque Muy Húmedo Tropical en la parte norte del parque, asociada al incremento de la precipitación hacia el Caribe. En cuanto a la vegetación, la mayor parte del parque está cubierta por asociaciones arbóreas que corresponden principalmente a bosques secundarios de diferentes edades y grados de desarrollo. Debido a la histórica extracción de madera, los bosques primarios son actualmente difíciles de localizar, predominando los bosques secundarios tardíos con más de 60 años de regeneración.

En áreas de intervención humana más reciente se encuentran bosques secundarios tempranos, así como parches de vegetación herbácea y rastrojo de extensión limitada. Según estudios previos, es posible diferenciar bosques secundarios mayores de 20 años y menores de 5 años dentro del parque (ANAM, 1999).

La ubicación de la parcela de muestreo se determinó de forma aleatoria dentro de un área de uso científico previamente establecida por el Ministerio de Ambiente, lo que garantiza la representatividad y relevancia ecológica del sitio para estudios de vegetación. El muestreo de la flora arbórea, así como las observaciones sobre fisionomía y estructura, se llevaron a cabo durante un periodo de 11 meses, desde octubre de 2009 hasta agosto de 2010, mediante visitas mensuales a la parcela.

Este protocolo temporal permitió cubrir tanto la estación seca como la lluviosa, lo cual fue crucial por razones fenológicas, ya que en el área existen especies arbóreas caducifolias que pierden sus hojas en determinadas temporadas,



dificultando su identificación. Por ello, fue necesario extender el muestreo a lo largo del ciclo fenológico anual, asegurando así la correcta detección y determinación de todas las especies presentes.

Se delimitó una parcela rectangular de una hectárea utilizando cinta métrica, la cual se subdividió en 10 subparcelas de  $20 \times 50$  metros, enumeradas en orden creciente siguiendo una orientación de  $120^\circ$  suroeste (Camacho, 2000). En cada subparcela se censaron todos los árboles con un diámetro a la altura del pecho (DAP) igual o superior a 10 cm (DAP medido a 1.3 m de altura). Cada individuo fue identificado y marcado con un número en una cinta plástica alrededor del tallo.

La determinación de las especies se realizó *in situ* cuando fue posible, o mediante la recolección de muestras botánicas para su posterior identificación en el laboratorio de Sistemática Vegetal del Departamento de Botánica de la Universidad de Panamá. Para este proceso se utilizaron la *Flora de Panamá* (Woodson y Schery, 1943–1980), la clave de Carrasquilla (2008) y comparaciones con ejemplares del Herbario de la Universidad de Panamá. La nomenclatura fue verificada con base en el *Catálogo de Plantas Vasculares de Panamá* (Correa, Galdames y Staff, 2004), GBIF, iNaturalist, *Botanical Journal of the Linnean Society* y W3 Tropicos del Missouri Botanical Garden.

### Análisis de datos

El análisis estructural de la comunidad vegetal incluyó tanto la estructura horizontal como la vertical. Para la estructura horizontal, se calculó el Índice de Valor de Importancia (IVI) de cada especie, sumando los valores de abundancia relativa (AR, %; número de individuos de una especie respecto al total), dominancia relativa (DR, %; área basal de una especie respecto al área basal total) y frecuencia relativa (FR, %; proporción de subparcelas en las que está presente la especie respecto al total de subparcelas), siguiendo la metodología de López, Pérez y Mariscal (2015) y Alvis (2009). El área basal se calculó mediante la fórmula propuesta por Martín (1989): Área basal =  $\pi \times (DAP/2)^2$ . Para analizar la estructura diamétrica de la



población arbórea, se establecieron clases de diámetro a la altura del pecho (DAP) en intervalos de 10 cm, iniciando en la clase de 10-20 cm y continuando sucesivamente hasta la clase  $\geq 110$  cm.

En cuanto a la estructura vertical, los individuos se agruparon en clases de altura conforme a las categorías establecidas por la IUFRO (Leibundgut, 1958). Asimismo, se utilizó el cociente de mezcla para evaluar el grado de homogeneidad o heterogeneidad del bosque, relacionando el número de especies con el número total de individuos. Los valores del cociente de mezcla dependen del diámetro mínimo de medición y del tamaño de la muestra, por lo cual, sólo se debe comparar ecosistemas con muestreos de igual intensidad (Alvis, 2009). Se calculó el índice de diversidad de Shannon para toda la parcela, considerando como tamaño mínimo de muestra un individuo por especie, aunque se reconoce que la presencia de especies poco abundantes puede influir en la estimación de la diversidad. Para el análisis estadístico de las diferencias estructurales entre subparcelas, se utilizó el programa PAST versión 4.15. Se aplicó un ANOVA para la comparación de medias, la prueba de Levene para verificar la homogeneidad de varianzas, el test de Welch en caso de varianzas desiguales, y la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis para la comparación de medianas.

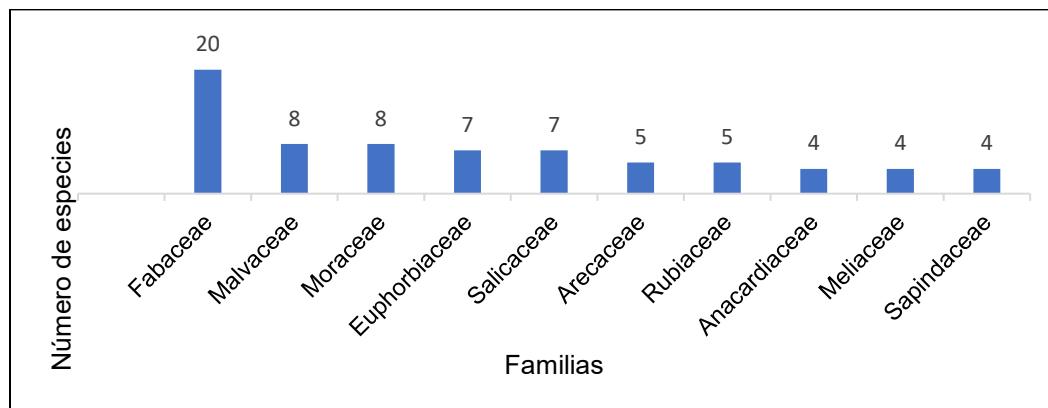
## Resultados

### Composición de las especies arbóreas

Se registraron 431 individuos con DAP  $\geq 10$  cm, distribuidos en 32 familias, 77 géneros y 101 especies. Del total de individuos registrados (437) 52% se ubican en seis familias: Arecaceae (19%), Salicaceae (8%), Moraceae (6%), Fabaceae (6%), Malvaceae (5%) y Anacardiaceae (5%). Las familias con mayor riqueza de especies se muestran en la Figuras 2, siendo las más representadas, Fabaceae, Malvaceae, Moraceae, Euphorbiaceae y Salicaceae.

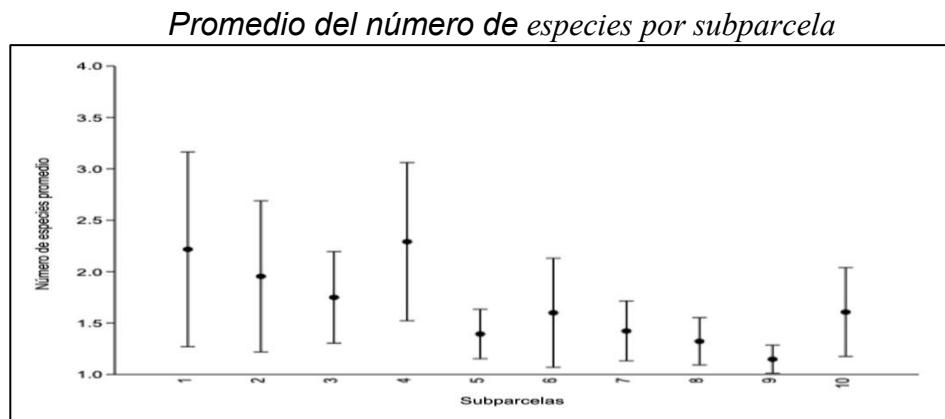
### Figura 2.

### *Familias con mayor riqueza de especies*



El análisis del número promedio de especies por subparcela mostró una clara tendencia decreciente desde la subparcela 1 hasta la subparcela 10 (Figura 3). Las primeras subparcelas 1 a 4 presentaron valores promedio más altos de riqueza de especies, mientras que las subparcelas 5 a 10 mostraron promedios inferiores. Las barras de error indican que existe una considerable variabilidad interna en algunas subparcelas, especialmente en las primeras, lo que sugiere una mayor heterogeneidad en la composición de especies en esas áreas.

**Figura 3**



Nota. Promedio del número de especies por subparcela, con barras de error que representan la desviación estándar. Se observa una tendencia decreciente en el número de especies desde la subparcela 1 hasta la 10.

### **Cociente de mezcla**



Los 431 árboles contabilizados en la parcela en estudio pertenecen a 101 especies. El valor obtenido de cociente de mezcla para la parcela estudiada es de 1:4 indicando un alto nivel de complejidad en la estructura del bosque, donde por cada cuatro individuos muestreados, es posible encontrar una especie diferente.

### Estructura Horizontal

#### Índice de valor de importancia

Las especies con mayor importancia ecológica o mayor valor de importancia en el estudio realizado fueron: *Ficus insipida* (41%), *Attalea butyracea* (20%), *Terminalia amazonia* (16%), *Zuelania guidonia* (10%) y *Oenocarpus mapora* (9%). Otras especies importantes fueron *Anacardium excelsum*, *Elaeis oleifera*, *Luehea seemannii*, *Gustavia superba* y *Astrocaryum standleyanum*, Tabla 1. Las diez especies mas importantes de acuerdo al IVI constituyen 136% de toda la parcela y el resto de las especies están representadas con el 164%.

#### Tabla 1

*Índice de valor de importancia (IVI) para las diez especies de mayor importancia.*

Especie	Familia	A%	F%	D%	IVI
<i>Ficus insipida</i> Willd.	Moraceae	0.93	1.14	39.37	41.44
<i>Attalea butyracea</i> (Mutis ex L. f.)Wess. Boer.	Arecaceae	8.82	3.80	7.72	20.34
<i>Terminalia amazonia</i> (J.F. Gmel.) Exell	Combretaceae	3.94	2.28	10.10	16.32
<i>Zuelania guidonia</i> (Sw.) Britton y Millsp.	Salicaceae	4.18	3.04	2.99	10.21
<i>Oenocarpus mapora</i> H. Karst.	Arecaceae	5.57	3.42	0.48	9.47
<i>Anacardium excelsum</i> (Kunth) Skeels	Anacardiaceae	2.32	1.90	5.17	9.39
<i>Elaeis oleifera</i> (Kunth) Cortés	Arecaceae	1.62	0.76	6.63	9.02
<i>Gustavia superba</i> (Kunth) O. Berg	Lecythidaceae	3.94	1.90	0.90	6.74
<i>Luehea seemannii</i> Triana y Planch.	Malvaceae	2.55	2.28	1.80	6.63
<i>Astrocaryum standleyanum</i> L.H. Bailey	Arecaceae	3.48	2.66	0.44	6.58

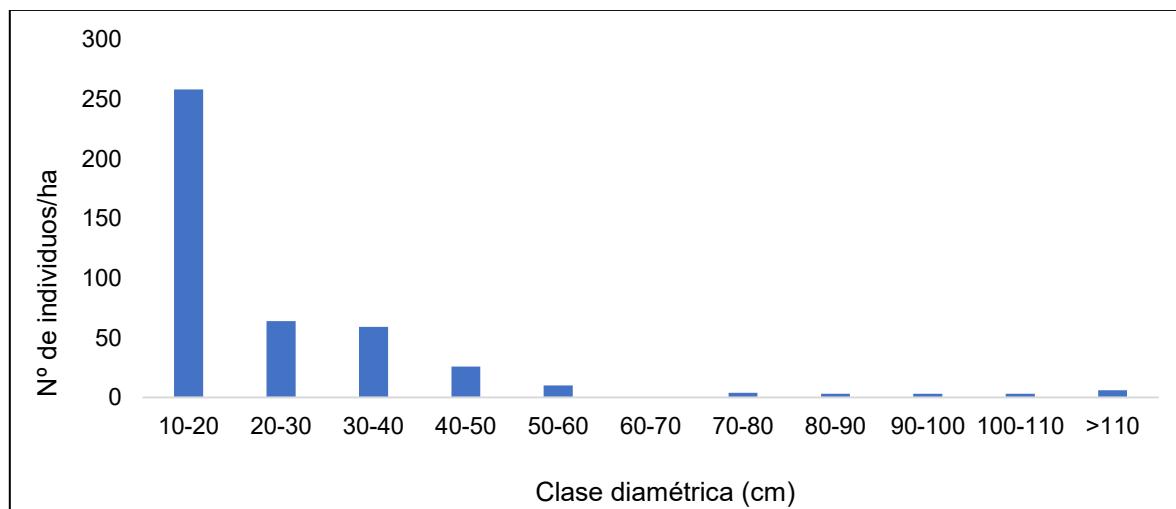
Nota: A% = Abundancia relativa, F% = Frecuencia relativa, D% = Dominancia relativa, IVI = Índice de Valor de Importancia.

### Distribución Diamétrica

De los 431 individuos muestreados en nuestra parcela, la clase diamétrica 10-20 cm presentó la mayor cantidad de árboles (258 individuos) representando el 59% del total de árboles en la parcela (Figura 4). A medida que va aumentando el diámetro hay una disminución gradual de individuos de mayor diámetro, donde se puede observar que las clases diamétricas superiores de 100 – 110 y >110 están representadas solo por el 0.69% y 1.37%, respectivamente, de las cuales se pueden mencionar especies como *Ficus insipida*, *Terminalia amazonia*, *Terminalia oblonga* y *Spondias radlkoferi*.

**Figura 4.**

*Distribución diamétrica.*



### Estructura Vertical

En la parcela en estudio fisionómicamente se presentan tres estratos arbóreos. Un primer estrato, el emergente o superior conformado por árboles



mayores con alturas a 24 metros y la altura máxima registrada fue de 36 metros. El segundo estrato, el dominante (dosel) la altura de los árboles está entre 18 a 24 metros y el tercer estrato el dominado o inferior con árboles de altura menor a 18 metros. El sotobosque es de cobertura rala a media, lo que permite caminar por el piso del bosque sin mucha dificultad.

**Tabla 2.**

*Número de individuos por estratos.*

Estrato	Nº de individuos	Porcentaje
Emergente o superior	15	3,48
Dominante o dosel	96	22,27
Dominado o inferior	320	74,24
$\Sigma$ Total	431	100

El **estrato emergente o superior**. Está constituido por 15 individuos lo que representa el 3% del total de individuos en la parcela, representados por 5 especies entre las que destacan *Ficus insipida* (Moraceae), *Sapium glandulosum* (Euphorbiaceae), *Tachigali versicolor* (Fabaceae), *Terminalia amazonia* (Combretaceae) y *Zuelania guidonia* (Salicaceae).

El **estrato dominante (dosel)**. Es donde se aprecia la mayoría de las copas de los árboles que se juntan unas con otras y donde se encuentran los árboles más altos. En este estrato se registró un total de 96 individuos distribuidos en 42 especies, equivalente al 22% del total de árboles en la parcela. Entre las especies observadas se encuentran *Anacardium excelsum* (Anacardiaceae), *Annona spraguei* (Annonaceae), *Attalea butyracea* (Arecaceae), *Trichospermum galeottii* (Malvaceae), *Vochysia ferruginea* (Vochysiaceae) entre otras.

El **estrato dominado o inferior**. Poco denso y muy abierto, con un gran número de especies de palmas con muchos individuos tales como *Astrocaryum standleyanum*, *Attalea butyracea*, *Cryosophila warscewiczii*, *Elaeis oleifera* y



*Oenocarpus mapora*. En este estrato se registró un total de 320 individuos, 74% del total de individuos presentes en la parcela, representados por 96 especies, de las cuales las mas abundantes son *Cupania rufescens* (Sapindaceae), *Faramea occidentalis* (Rubiaceae), *Gustavia superba* (Lecythidaceae), *Hasseltia floribunda* (Salicaceae), *Luehea seemannii* (Malvaceae), *Miconia argentea* (Melastomataceae), *Piper reticulatum* (Piperaceae), *Poulsenia armata* (Moraceae), *Protium panamense* (Burseraceae), *Virola sebifera* (Myristicaceae), *Zanthoxylum panamense* (Rutaceae), entre otras (Tabla 2).

## Discusión

En Panamá, los estudios estructurales comunitarios de bosques son escasos. Sin embargo, la riqueza de especies encontrada en la parcela estudiada coincide con los valores registrados por Pérez (2008) en áreas cercanas al Canal de Panamá, donde se reportaron 91 especies y 424 individuos por hectárea. De la Barrera y De la Barrera (2009) también documentaron una riqueza de 103 especies por hectárea en el Parque Nacional Omar Torrijos Herrera, lo que respalda la alta diversidad observada.

En cuanto al coeficiente de mezcla, se registró un valor de 1:4 en el área de estudio, similar al de bosques húmedos tropicales. Este valor sugiere una considerable heterogeneidad florística, comparable con lo reportado por Lamprecht (1990) para la Amazonía (1:3 a 1:4) y con estudios en Costa Rica y Colombia (Quirós, 2003). En contraste, bosques secos como los de Azuero presentan coeficientes bajos (1:12.5 o CM = 0.08), asociados a menor diversidad debido al estrés hídrico (Mendieta y Mitre, 2010). Estos datos refuerzan la influencia de la pluviosidad en la diversidad estructural, donde los bosques húmedos sostienen composiciones más complejas (Kees y Michela, 2020). El índice de diversidad de Shannon ( $H' = 4.27$ ) indica una comunidad florística diversa. Este valor se encuentra



dentro del rango considerado alto para bosques tropicales (3.83–5.85), según Knight (1975) y Rabelo et al. (2002), citados en Díaz (2007).

El análisis de varianza (ANOVA) evidenció diferencias significativas entre subparcelas ( $F = 2.209$ ,  $p = 0.02199$ ). Dado que la prueba de Levene indicó varianzas desiguales ( $p < 0.05$ ), se aplicó el test de Welch, que también detectó diferencias significativas ( $F = 2.7$ ,  $p = 0.0075$ ). No obstante, la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis no mostró diferencias significativas ( $p = 0.27$ ), lo cual podría atribuirse a la naturaleza los datos o a la presencia de valores extremos. En conjunto, estos resultados sugieren cierta heterogeneidad en la estructura o composición arbórea entre las subparcelas.

Entre las especies con mayor Índice de Valor de Importancia (IVI) destaca *Ficus insipida*, con baja abundancia absoluta (0.91%) pero alta dominancia relativa (39.37%), lo que refleja su gran área basal y el espacio que ocupa. Este patrón se relaciona con el volumen de copa y raíces, importantes en la competencia por luz y nutrientes. Por otro lado, *Attalea butyracea* presentó la mayor abundancia relativa (8.69%) y frecuencia relativa (3.80%), evidenciando su alta representatividad en la parcela. Las palmas, como esta especie, son comunes y dominantes en bosques tropicales de tierras bajas (Henderson, 2002; Vormisto et al., 2004, citados por Cabrera y Wallace, 2007). Este patrón también ha sido observado en otras regiones de Colombia (Dueñas et al., 2007).

Otras especies destacadas por su abundancia y frecuencia son *Terminalia amazonia*, *Zuelania guidonia*, *Oenocarpus mapora*, *Anacardium excelsum*, *Elaeis oleifera*, *Luehea seemannii*, *Gustavia superba* y *Astrocaryum standleyanum*. En el Sendero El Charco del Parque Nacional Soberanía, *Gustavia superba* fue la especie más abundante (IVI = 100.81%) según Castillo y Madrid (2001). Aunque en nuestro estudio no lidera en abundancia, se encuentra entre las diez más importantes (3.94%), evidenciando su relevancia ecológica.



La estructura horizontal presenta una distribución diamétrica tipo "J" invertida, típica de bosques con regeneración activa. Esto indica una mayor cantidad de individuos en clases de diámetro menor, con especies como *Zuelania guidonia*, *Terminalia amazonia* y *Anacardium excelsum* representadas tanto por árboles jóvenes como adultos, lo que sugiere equilibrio entre reclutamiento y mortalidad (Quirós, 2003). Louman (2001) destaca que este patrón es característico de bosques secundarios maduros, con estructuras más heterogéneas.

El 15% de las especies (67 individuos) se encuentra en el estrato emergente y también en los estratos dominante y dominado, evidenciando continuidad vertical. En total, 21 especies (191 individuos, 43%) están en los estratos superior e inferior, mientras que el restante 39% (173 individuos) se localiza solo en el estrato inferior. Esta distribución sugiere un bosque en equilibrio estructural y dinámico.

La presencia de claros, ocasionados por la caída de árboles o ramas, influye en la composición vegetal. Según Oldeman (1990), en ambientes favorables predominan claros pequeños, mientras que en condiciones adversas surgen claros grandes. Estos influyen en la regeneración de especies según sus requerimientos de luz. Claros recientes están dominados por herbáceas y enredaderas, mientras que claros antiguos presentan especies secundarias como *Cecropia insignis*, *Cordia alliodora* y *Guazuma ulmifolia*. Estudios con tecnología LiDAR en la Amazonía brasileña muestran que la dinámica de los claros varía según condiciones locales, afectando la regeneración forestal (Hunter et al., 2015; Asher, 2020).

La estructura vertical muestra diferencias parciales entre estratos, con especies del estrato dominado también presentes en el dosel. Este patrón indica capacidad de reemplazo natural, clave para la estabilidad del bosque. Según URS Holdings Inc. (2007), la fisonomía observada concuerda con bosques secundarios maduros del área del Canal de Panamá, caracterizados por doseles de 26–28 m y emergentes de hasta 35 m, con una mezcla de especies pioneras y tardías.



Finegan (1992), citado por Plana (2000), define el bosque secundario como vegetación leñosa que crece tras la alteración del bosque primario. Sucesos como el aumento del área basal y volumen de madera ocurren rápidamente, evidenciando una regeneración activa (Finegan, 1992; Wijdeven, 1994). La sucesión es un proceso inherente a la dinámica forestal, con etapas desde especies pioneras hasta comunidades más estables (Grime, 1979; Kenkel et al., 1997; Chokkalingam y De Jong, 2001).

Budowski (1965) propuso una clasificación sucesional que incluye especies pioneras, secundarias tempranas, secundarias tardías y climáticas. Las secundarias tardías suelen tener alturas de 20–30 m, esperanza de vida de 40 a 100 años, y composición florística mixta, con dominancia de familias como Meliaceae y Malvaceae. Estudios recientes confirman que los bosques secundarios avanzados pueden asemejarse estructuralmente a los primarios con el tiempo y manejo adecuado (Chazdon, 2003; Lugo y Helmer, 2004; Norden et al., 2015).

Considerando la estructura, diversidad y composición florística observada, la parcela estudiada en el Camino del Oleoducto dentro del Parque Nacional Soberanía presenta características propias de un bosque secundario maduro, con una estructura compleja, regeneración activa y mezcla de especies pioneras y tardías. Estos elementos sugieren que se encuentra en una fase avanzada de sucesión ecológica, con un alto valor ecológico y potencial para alcanzar condiciones similares a las de un bosque primario en el futuro.

## Conclusiones

La investigación realizada en la parcela del Parque Nacional Soberanía evidenció una comunidad arbórea con alta biodiversidad, conformada por 101 especies repartidas en 32 familias y 77 géneros, y un índice de diversidad de Shannon de 4.27, lo cual indica una estructura florística compleja y estable. La distribución diamétrica en forma de "J" invertida, junto a la presencia de diferentes



estratos vegetales, confirma que el bosque se encuentra en un estado de equilibrio ecológico, en fase avanzada de regeneración natural, característica de bosques secundarios maduros. Además, la estructura vertical del bosque, con especies representativas en todos los niveles, refleja un sistema con funciones ecológicas preservadas y procesos de regeneración activos, que aseguran su sostenibilidad a largo plazo. La presencia de especies clave en distintos estratos, y la diversidad de las mismas, refuerza la importancia de mantener esas condiciones para preservar la biodiversidad y la estabilidad ecológica del ecosistema.

Estos hallazgos fortalecen la importancia de implementar acciones de conservación y manejo sostenible en esta área, tales como programas de monitoreo periódico que permitan detectar cambios en la estructura y composición del bosque. Asimismo, se recomienda promover estrategias que favorezcan la protección de especies prioritarias y fomenten la regeneración natural, asegurando la continuidad de estos sistemas ecológicos. En conclusión, este estudio aporta conocimientos relevantes para el manejo y la conservación de los bosques secundarios maduros en el Parque Nacional Soberanía, resaltando su papel fundamental en la biodiversidad del área y la necesidad de fortalecer las políticas de protección que garanticen su preservación para generaciones futuras.

### **Agradecimientos**

A los profesores Jorge Mendieta, Luis Carrasquilla y Carmen Vergara, por sus correcciones y directrices que hicieron posible la realización y conclusión de esta investigación.

A Mi Ambiente, especialmente a los encargados del Parque Nacional Soberanía, por permitirnos llevar a cabo el estudio en el parque, y a todos los colaboradores que nos apoyaron en la recolección de datos.

### **Referencias bibliográficas**



Alvis, J. (2009). Análisis estructural de un bosque natural localizado en zona rural del municipio de Popayán. *Boletín Científico Centro de Museos Museo de Historia Natural*, 7(1), 115-122. <http://www.scielo.org.co/pdf/bsaa/v7n1/v7n1a13.pdf>

Autoridad Nacional del Ambiente. (1999). *Plan de manejo del Parque Nacional Soberanía* (p. 193).

Asher, C. (2020, 12 de diciembre). *Estudio: menos de la mitad de los bosques húmedos del mundo cuenta con una integridad ecológica alta*. Mongabay. <https://es.mongabay.com/2020/12/estudio-menos-de-la-mitad-de-los-bosques-humedos-del-mundo-cuenta-con-una-integridad-ecologica-alta/>

Budowski, G. (1965). Distribution of tropical American rain forest species in the light of successional process. *Turrialba*, 15, 40–42.

Cabrera, W. H., y Wallace, R. (2007). Densidad y distribución espacial de palmeras arborescentes en un bosque preandino-amazónico de Bolivia. *Ecología en Bolivia*, 42(2), 121-135. [http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci\\_arttext&id=S1605-25282007000800004](http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&id=S1605-25282007000800004)

Camacho, M. (2000). Parcelas permanentes de muestreo en bosque natural tropical: Guía para el establecimiento y medición. CATIE (Serie Técnica, Manual Técnico No. 42). Turrialba, Costa Rica. <https://repositorio.catie.ac.cr/handle/11554/3290?locale-attribute=es>

Carrasquilla, L. (2008). *Árboles y arbustos de Panamá* (2<sup>a</sup> ed.). Editora Novo Art, S. A.

Castillo, E., y Madrid, I. (2001). *Estudio de la estructura y dinámica de una parcela de 1000 m<sup>2</sup> de bosque tropical húmedo* (Tesis de licenciatura). Universidad de Panamá.

Chazdon, R. L. (2003). Tropical forest recovery: Legacies of human impact and natural disturbances. *Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics*, 6(1-2), 51–71. <https://doi.org/10.1078/1433-8319-00042>

Chokkalingam, U., y De Jong, W. (2001). Secondary forest: A working definition and typology. *International Forestry Review*, 3(1), 19–26. <https://www.cifor-icraf.org/knowledge/publication/836>



De la Barrera, A., y De la Barrera, A. (2009). *Estructura y composición de especies arbóreas en una parcela de bosque húmedo tropical, Parque Nacional General de División Omar Torrijos Herrera, Provincia de Coclé* (Tesis de licenciatura). Universidad de Panamá.

Díaz, W. (2007). Composición florística y estructuras de bosques en los asentamientos campesinos Las Delicias, El Guamo y Lechozal, Estado Bolívar, Venezuela. *ERNSTIA*, 17(1), 1-24. [https://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci\\_arttext&id=S0252-82742007000100001](https://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&id=S0252-82742007000100001)

Dueñas, A., Betancur, J., y Galindo, R. (2007). Estructura y composición florística de un bosque húmedo tropical del Parque Nacional Natural Catatumbo Barí, Colombia. *Revista Colombia Forestal*, 10(20), 26-39. <https://doi.org/10.14483/udistrital.jour.colomb.for.2007.1.a02>

Finegan, B. (1992). El potencial de manejo de los bosques húmedos secundarios neotropicales de las tierras bajas. *Colección Silvicultura y Manejo de Bosques Naturales*, 5. CATIE. <https://repositorio.catie.ac.cr/handle/11554/1589>

Galdames, C., de Staff, M. S., y Correa, M. D. (2004). *Catálogo de las plantas vasculares de Panamá*. Editor Autor Genérico.

Grime, J. P. (1979). *Plant strategies and vegetation processes*. Wiley. <https://doi.org/10.2307/2259438>

Giraldo-Cañas, D. (1995). Estructura y composición de un bosque secundario fragmentado en la Cordillera Central, Colombia. In S. P. Churchill, H. Balslev, E. Forero, y J. L. Luteyn (Eds.), *Biodiversity and conservation of neotropical montane forest* (pp. 159-167). The New York Botanical Garden.

Henderson, A. (2002) *Evolution and Ecology of Palms*. The New York Botanical Garden Press, New York.

Hunter, M. O., Keller, M., Morton, D., Cook, B., Lefsky, M., Ducey, M., y de Oliveira, R. C., Jr. (2015). Structural Dynamics of Tropical Moist Forest Gaps. *PLoS ONE*, 10(7), e0132144. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0132144>

Kenkel, N. C., Walker, D. J., Watson, P. R., Caners, R. T., y Lastra, R. A. (1997). Vegetation dynamics in boreal forest ecosystems. *Coenoses*, 12(2-3), 97-108. <https://home.cc.umanitoba.ca/~kenkel/pubs/1997a.pdf>



Kees, S. M., y Michela, J. F. (2020). Estructura y composición florística de tres tipos de bosque de la provincia del Chaco. *Avances*, 22(1), 21-33. <https://www.redalyc.org/journal/6378/637869115002/637869115002.pdf>

Knight, D. H. (1975). A Phytosociological Analysis of Species Rich Tropical Forest on Barro Colorado Islands, Panama. *Ecological Monographs*, 45, 259-284. <https://doi.org/10.2307/1942424>

Lamprecht, H. (1962). Ensayo sobre unos métodos para el análisis estructural de los bosques tropicales. *Acta Científica Venezolana*, 13(2), 23 pp.

Lamprecht, H. (1990). *Silvicultura en los trópicos: Los ecosistemas forestales en los bosques tropicales y sus especies arbóreas, posibilidades y métodos para un aprovechamiento sostenido* (A. Carrillo, Trad.). Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) GmbH. <https://bibliotecadigital.infor.cl/handle/20.500.12220/1232>

Leibundgut, H. (1958). Empfehlungen für die Baumklassenbildung und Methodik bei Versuchen über die Wirkung von Waldpflegemaßnahme. *Proceedings of the 12th Congress IUFRO, Oxford*.

López, O. R., Pérez, R., y Mariscal, E. (2015). Diversidad de árboles y arbustos en fragmentos de bosque seco tropical en Río Hato, Panamá. *Colombia Forestal*, 18(1), 105–115. <https://doi.org/10.14483/udistrital.jour.colomb.for.2015.1.a08>

Louman, B., Quirós, D., y Nilsson, M. (Eds.). (2001). *Silvicultura de bosques latifoliados húmedos con énfasis en América Central* (Serie técnica, Manual técnico No. 46). CATIE. <https://repositorio.catie.ac.cr/handle/11554/3971>

Lugo, A. E., y Helmer, E. H. (2004). Emerging forests on abandoned land: Puerto Rico's new forests. *Forest Ecology and Management*, 190(2-3), 145–161. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2003.09.012>

Martin, J. (1989). *What is basal area?* (*Forestry Facts*, No. 43, pp. 1-2). Department of Forest Ecology and Management, School of Natural Resources, University of Wisconsin, United States Department of Agriculture, and Wisconsin Counties Cooperating. UW-Extension. <https://forestandwildlifeecology.wisc.edu/wp-content/uploads/sites/111/2017/07/43.pdf>



Mendieta, J. y Mitre, D. (2010). Estructura horizontal de bosque caducifolio, observada en una parcela al sur de la península de Azuero. *Tecnociencia*, 12(2), 21-28.  
<https://revistas.up.ac.pa/index.php/tecnociencia/article/download/902/768/1502>

Ministerio de Ambiente. (20 de agosto de 2024). *Panamá pierde 352 mil hectáreas de bosques: Un llamado urgente para frenar la deforestación.*  
<https://miambiente.gob.pa/panama-pierde-352-mil-hectareas-de-bosques-un-llamado-urgente-para-frenar-la-deforestacion/>

Norden, N., Angarita, H. A., Bongers, F., Martínez-Ramos, M., Granzow De La Cerda, I., Van Breugel, M., Lebrija-Trejos, E., Meave, J. A., Vandermeer, J., Williamson, G. B., Finegan, B., Mesquita, R., y Chazdon, R. L. (2015). Successional dynamics in Neotropical forests are as uncertain as they are predictable. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 112(26), 8013–8018.  
<https://doi.org/10.1073/pnas.1500403112>

Oldeman, P.D. (1990). *Forests: Elements of Silvology*. Springer Berlin Heidelberg.

Pérez, R. (2008). *Árboles de los bosques del Canal de Panamá* (1<sup>a</sup> ed., p. 466). Smithsonian Tropical Research Institute.

Quirós, K., y Quesada, R. (2003). *Composición florística y estructural de un bosque primario* (p. 15). Instituto Tecnológico de Costa Rica, Escuela de Ingeniería Forestal.  
<https://repositoriotec.tec.ac.cr/bitstream/handle/2238/6315/composici%F3n-flor%EDstica-bosque-primario.pdf?sequence=1>

Plana, E. (2000). *Introducción a la ecología y dinámica del bosque tropical*. Bloque II: Gestión forestal y agroforestería en los trópicos. Curso sobre Gestión y Conservación de Bosques Tropicales. Centro Tecnológico Forestal de Catalunya.  
<https://keneamazon.net/Documents/Publications/Virtual-Library/Ecosistemas/183.pdf>

Rabelo, F., Zarin, D., Oliveira, F. de A., y Jardim, F. C. da S. (2002). Diversidade, composição florística e distribuição diamétrica do povoamento com DAP >5 cm em região de estuário no Amapá, Brasil. *Revista de Ciências Agrárias*, 37, 91–112. <https://repositorio.ufra.edu.br/jspui/handle/123456789/1529>



Sánchez, L., y Pérez, R. (2018). Estructura y composición de la vegetación en ecosistemas tropicales: Implicaciones para la conservación. *Revista de Ecología*, 22(4), 345-360. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2018.01.023>

Sánchez, M. E., Llambí, L. D., Gámez, L. E., Rodríguez, G., Pelayo, R., Ataroff, M., y Vilanova, E. (2024). Diversidad, estructura y dinámica de los bosques montanos tropicales: Perspectivas del monitoreo de parcelas permanentes en los Andes venezolanos. *Ecología Austral*, 34(2), 286–304. <https://doi.org/10.25260/EA.24.34.2.0.2349>

URS Holding, Inc. (2007). Flora and vegetation of the region: A comprehensive overview. Recuperado de <https://www.example.com/flora-vegetation-report>

Vormisto, J., Svenning, P., Hall, P., y Balslev, H. (2004). Diversity and dominance in palm (Arecaceae) communities in terra firme forests in the western Amazon basin. *Journal of Ecology*, 92(3), 577–588. <https://doi.org/10.1111/j.0022-0477.2004.00904.x>

Woodson, R. E. Jr., y Schery, R. W. (1943–1980). *Flora of Panama. Annals of the Missouri Botanical Garden*.

## **Análisis de la eficiencia de redes sensoriales para el cultivo del girasol, caso de estudio: FACIAG UTB**

### **Analysis of the efficiency of sensory networks for sunflower cultivation, case study: FACIAG UTB**

**Fabián Eduardo Alcoser Cantuña**

Universidad Técnica de Babahoyo, Facultad de Administración Finanzas e Informática

Autor de correspondencia: [falcoserc@utb.edu.ec](mailto:falcoserc@utb.edu.ec).

<https://orcid.org/0000-0002-3422-2096>

**Sonia Xiomara Ramos Yáñez**

Investigador independiente, Babahoyo, Ecuador.

[sramos@fafi.utb.edu.ec](mailto:sramos@fafi.utb.edu.ec)

<https://orcid.org/0009-0007-3076-2726>

**Alberto Eduardo Colcha Seilema**

Universidad Técnica de Babahoyo, Facultad de Administración Finanzas e Informática [acolcha@utb.edu.ec](mailto:acolcha@utb.edu.ec)

<https://orcid.org/0000-0001-6611-2652>

Recepción: 13/02/2025

Aprobación:10/05/2025

DOI:

#### **Resumen**

El objetivo de la investigación fue evaluar la eficiencia de las redes sensoriales para mejorar el cultivo de girasol en la FACIAG, utilizando sensores PIR HC-SR501, DHT11 y DHT22 para monitorear movimiento, temperatura y humedad. En la parte metodológica se utilizó las entrevistas a 3 docentes expertos y encuestas a 67 estudiantes de Agronomía. Aplicando métodos de análisis comparativo, encuestas y técnicas cualitativas; los resultados mostraron que el 73.1% de los encuestados considera beneficioso implementar redes sensoriales y el 91% no ve obstáculos por costos; la mayoría (62.7%) opina que la tecnología agrícola optimiza la producción, detecta problemas precoces y mejora decisiones; la conclusión es que la adopción de redes sensoriales en el cultivo de girasol en FACIAG puede incrementar la eficiencia, reducir recursos y mejorar las condiciones de cultivo a largo plazo; beneficios potenciales incluyen mayor precisión en la gestión agrícola,



identificación temprana de plagas y optimización en la utilización de recursos. Lo que brinda significativos beneficios a la Universidad y a sus estudiantes.

**Palabras Clave:** Redes sensoriales, producción de cultivos, girasol, monitoreo, implementación.

### Abstract

The objective of this research was to evaluate the efficiency of sensory networks for improving sunflower cultivation at FACIAG. The study used HC-SR501, DHT11, and DHT22 PIR sensors to monitor movement, temperature, and humidity. The methodological approach involved interviews with three expert professors and surveys with 67 agronomy students. Using comparative analysis methods, surveys, and qualitative techniques, the results showed that 73.1% of respondents considered implementing sensory networks beneficial, and 91% saw no cost obstacles. The majority (62.7%) believed that agricultural technology optimizes production, detects problems early, and improves decision-making. The conclusion is that the adoption of sensory networks in sunflower cultivation at FACIAG can increase efficiency, reduce resources, and improve long-term growing conditions. Potential benefits include greater precision in agricultural management, early pest identification, and optimized resource utilization. This provides significant benefits to the University and its students.

**Keywords:** Sensory networks, crop production, sunflower, monitoring, implementation.

## Introducción

La innovación tecnológica ha transformado los métodos de producción agrícola, impulsando eficiencia y sostenibilidad (Zhang et al., 2021). En particular, el sector agrario ha experimentado avances significativos gracias a tecnologías como las redes de sensores, que permiten monitoreo en tiempo real de variables críticas (Li et al., 2020; García-Sánchez et al., 2019). Estas herramientas optimizan la calidad y cantidad de la producción, reduciendo el uso de recursos naturales (FAO, 2022). En Ecuador, su adopción es incipiente pero prometedora, especialmente en cultivos estratégicos como el girasol (MAGAP, 2023).

En la Facultad de Ciencias Agropecuarias (FACIAG), alumnos y profesores llevan a cabo actividades y proyectos de investigación sobre los cultivos de girasoles. No obstante, estos procedimientos se llevan a cabo manualmente y con una periodicidad reducida, lo que eleva el peligro de perder información crucial para la toma de decisiones acertadas. Por esta causa, se plantea un proyecto para estudiar el uso de redes sensoriales para supervisar el cultivo del girasol en la FACIAG. (Alreshidi, 2019).



El propósito de este proyecto es establecer un sistema que facilite el control en tiempo real de varios elementos del cultivo de girasoles, tales como la producción, las condiciones climáticas y otros factores importantes. Esta herramienta se fundamentará en la tecnología de Arduino y brindará acceso a los datos obtenidos mediante una página web.

La metodología de esta investigación es una técnica cualitativa, con el fin de recolectar información precisa sobre un tema en particular, la aplicación de sensores en el cultivo de girasoles para valorar sus ventajas y desventajas. Llegando a concluir que es necesario realizar una inversión inicial, pero que con el tiempo los beneficios que se obtendrán serán muy significativos. Como el ahorro en riego, detección temprana de plagas que optimizará el cultivo de girasoles para de esta manera obtener una cosecha con la menor pérdida posible de los girasoles.

En resumen, este análisis se centra en examinar el uso de redes de sensores para supervisar el cultivo de girasoles en la FACIAG. Se anticipa que los resultados lograrán optimizar la producción y los procesos de decisiones fundamentadas dentro de la comunidad académica.

Las redes de sensores inalámbricos (WSN) han revolucionado la agricultura de precisión al permitir la recolección automatizada de datos ambientales (Kamble et al., 2021). Estudios recientes demuestran su eficacia en cultivos como el girasol, donde reducen hasta un 30% el consumo de agua mediante riego optimizado (Pérez-Ruiz et al., 2022). Además, su integración con plataformas IoT mejora la detección temprana de plagas (Ojha et al., 2020), un desafío crítico en la FACIAG.

En una investigación llevada a cabo por (González-Briones, 2018, pág. 12), se estableció un sistema de sensores para observar los cultivos de girasoles en Castilla y León, España. Los hallazgos indicaron que el sistema de sensores permitió una administración más eficaz de los cultivos, resultando en una mejora tanto en la calidad y la cantidad de la cosecha. En una investigación adicional llevada a cabo por (Beltrán, 2019, págs. 25, 34 - 39) se estableció un sistema de



sensores en un campo de girasoles en Argentina. Este sistema fue creado para monitorear la humedad del suelo y la temperatura ambiental en tiempo real. Los hallazgos indicaron que el sistema de sensores permitió una gestión de riego más eficaz, lo cual resultó en un menor uso de agua y un incremento en la producción.

De la misma manera, en una investigación llevada a cabo por (Wang, 2019, págs. 157, 315 - 329), se desarrolló una red de dispositivos de medición para observar el desarrollo y el bienestar de los girasoles en China. Los dispositivos fueron colocados en diversas secciones de la planta y se registraron aspectos como la estatura, el ancho de la hoja y la clorofila. Los hallazgos indicaron que la red de dispositivos permitió un control más exacto de los cultivos, resultando en un aumento en la calidad y volumen de la producción.

El enfoque para implementar redes de sensores en la agricultura incluye elegir variables, colocar sensores, la recopilación y el análisis de datos. Proporcionando retroalimentación constante para optimizar el sistema, la administración de las cosechas, lo que conlleva un aumento en la calidad y volumen de la producción. La recolección de datos mediante la automatización en la agricultura aspira a estar presente en cada fase del crecimiento de los cultivos, ya sea en el exterior o en invernaderos. (al, 2023).

### **Girasol**

Es una hierba de la familia de las asteráceas, cuyo nombre científico es *helianthus annuus*. Se distingue por sus flores de color amarillo, sus frutos que se pueden comer, sus tallos firmes y derechos. (Garg et al, 2021). El girasol proviene de América del Norte y se cultiva en numerosos países a nivel mundial, entre ellos Ecuador. En nuestro país, el cultivo de girasol se encuentra principalmente en las provincias de Cotopaxi, Tungurahua, Chimborazo, Loja y Pichincha.

El girasol tiene múltiples aplicaciones, desde la elaboración de aceite para consumo humano, la alimentación de animales y fabricación de biocombustibles. En el Ecuador, en la industria alimentaria tiene su mayor aplicabilidad pues se obtiene



aceite comestible. El girasol es una planta de un solo año pertenece a la familia de las Compositae, específicamente conocida como *helianthus annuus*. Su flor tiene una particularidad, puesto que se dirige hacia el sol.

### Características del girasol

El girasol es una hierba que puede crecer hasta 3 metros de altura. Sus flores, que tienen un diseño estrellado, tienen un máximo de 20 pétalos que son amarillos, naranjas o anaranjados, es valioso por sus semillas oleaginosas llenas de nutrientes como grasas saludables, proteínas, calcio, hierro y ácidos grasos esenciales. Asimismo, las hojas del girasol son amplias y en forma de mano, con bordes serrados y raíces profundas, alcanzando hasta 3 metros bajo tierra. A pesar de ser especies de ciclo anual, ciertas variedades de girasoles pueden perdurar entre dos y tres años.

### Ciclo de vida del girasol

El desarrollo se compone de siete fases diferentes. Inicia con la germinación de las semillas, las cuales generan una raíz principal y una hoja cotiledonaria. Posteriormente, el tallo junto a las hojas verdaderas comenzará a surgir del suelo. En las primeras semanas, el girasol seguirá su crecimiento, entre las 6 y 8 semanas, empezará a florecer. La etapa de maduración del girasol se presenta entre las 9 y 12 semanas y está listo para ser cosechado. Después, los girasoles se cuelgan para secarse y se guardan para la próxima temporada de siembra. Este ciclo completo abarca cerca de 12 a 15 semanas, dependiendo de la variedad de girasol.

En los sembrados de girasoles hay insectos y enfermedades que, mediante redes de sensores, buscamos que este inconveniente para las cosechas se reduzca de la forma más significativa posible.

### Principales plagas y enfermedades en los cultivos del girasol

Gusano de alambre (Coleoptera: Elateridae): Las larvas de gusano de alambre pertenecen al orden Coleoptera, familia Elateridae, conocidos en su etapa



adulta como "salta pericos". (Macarena, 2017, págs. 5 - 6). Los síntomas más comunes incluyen un ralentizamiento en el crecimiento, un amarillamiento en las hojas y la deshidratación de las plantas. (Sánchez, 2019, págs. 234 - 243).

**Gusanos Blancos (Coleoptera: Scarabeidae):** Las larvas blancas son insectos en su fase de desarrollo que pertenecen al grupo Coleoptera, específicamente a la familia Scarabeidae, afectan las cosechas de girasol durante el tiempo que transcurre desde la germinación hasta aproximadamente 15-20 días después. Existe un debilitamiento, deshidratación del girasol y retraso en el crecimiento. (Macarena, 2017, págs. 5 - 6).

**Podredumbre húmeda (Sclerotinia Sclerotium):** Esta patología prospera en ambientes húmedos, causando descomposición en la parte inferior del tallo lo que resulta incluso en la muerte de la planta. Los nutrientes no logran alcanzar las partes superiores del girasol, ocasionando su marchitez. La podredumbre húmeda puede presentarse en cualquier fase fenológica del cultivo. (Agromatica, 2016, pág. 9).

**Esclerotinia (cabeza), putrefacción/marchitamiento (Sclerotinia sclerotiorum) y moho blanco:** Estos hongos son considerados los agentes patógenos más ubicuos y destructivos que afectan al girasol. El signo más habitual es la aparición de manchas (blandas, adhesivas y de color marrón) en la parte trasera de la cabeza. La infestación puede presentarse en cualquier etapa, pero resulta especialmente dañina durante la fase de floración.

**Roya:** Los signos de esta patología se manifiestan en las hojas, donde surgen manchas necróticas de tonalidades rojizas o negras. Sus condiciones óptimas para desarrollarse se dan entre 18°C y 25°C en climas cálidos. Presencia de hongos en la parte aérea de la planta, incluyendo hojas, tallo, frutos y flores. La proliferación de estos hongos es el resultado de un exceso de agua, humedad y/o calor. (Agro, 2022, pág. 5).

Sensores



Un sensor constituye un equipo electrónico, mecánico o electromecánico que identifica y cuantifica una propiedad física, reaccionando a una salida. Este dispositivo transforma un fenómeno físico en un voltaje que puede medirse de manera analógica para su posterior análisis o procesamiento. Los sensores están siendo aplicados en diversas actividades cotidianas. (Smith, 2020, pág. 3).

**Tabla 1**
*Tipos de Sensores*

TIPOS DE SENSORES	PRECIOS POR UNIDAD
Sensor de temperatura	Desde \$2 a \$20
Sensor de humedad	Desde \$5 a \$25
Sensor de luz	Desde \$5 a \$20
Sensor de movimiento	Desde \$5 a \$50
Sensor de presión	Desde \$10 a \$50
Sensor de nivel	Desde \$10 a \$100
Sensor de gas	Desde \$20 a \$200
Sensor de sonido	Desde \$20 a \$100
Sensor de imagen	Desde \$50 a \$500

**Tabla 2**
*Ventajas y Desventajas de los sensores en la agricultura*

VENTAJAS	DESVENTAJAS
<b>Eficiencia en el uso de recursos:</b> Los sensores permiten medir y controlar con precisión las necesidades de agua y nutrientes, lo que ayuda a reducir el uso excesivo de recursos.	<b>Costos iniciales:</b> La implementación de tecnología de sensores puede ser costosa, especialmente para los agricultores más pequeños, lo que puede limitar su adopción.
<b>Detección temprana de problemas:</b> Los sensores pueden detectar problemas en los cultivos antes de que sean visibles a simple vista, lo que permite tomar medidas preventivas o correctivas de manera oportuna.	<b>Requiere conocimientos técnicos:</b> La implementación y el mantenimiento de sensores requiere un conocimiento técnico específico, se debe capacitar a los agricultores.

<b>Aumento del rendimiento y la calidad:</b> El uso de sensores puede ayudar a optimizar el crecimiento y desarrollo de los cultivos, lo que puede resultar en un mayor rendimiento y calidad de los cultivos.	<b>Limitaciones de datos:</b> Los datos recopilados por los sensores pueden ser limitados debido a la ubicación y el tipo de sensor, lo que puede limitar su utilidad en la toma de decisiones
<b>Ahorro de tiempo y costos:</b> La implementación de sensores automatizados puede reducir el tiempo y los costos asociados con la toma manual de lecturas y detección.	<b>Dependencia de la tecnología:</b> Puede limitar su capacidad para tomar decisiones basadas en la experiencia y el conocimiento práctico.

**Tabla 3**
*Tipos de sensores de humedad y temperatura para arduino*

Sensor	Rango de temperatura	Rango de humedad	Precisión de temperatura	Precisión de humedad	Tiempo de respuesta	Voltaje de operación	Precio aproximado
DHT11	0°C a 50°C	20% a 80% HR	±2°C	±5 % HR	2s	3-5 V CC	\$2 - \$5
DHT22	-40°C a 125°C	0% a 100% HR	±0,5 °C	±2-5% HR	2s	3-5 V CC	\$5 - \$10
AM2302	-40°C a 80°C	0% a 99,9% HR	±0,5 °C	±2% HR	2s	3-5 V CC	\$8 - \$15
SHT10	-40°C a 123.8°C	0% a 100% HR	±0,5 °C	±3,5 % HR	2s	2,4-5,5 V CC	\$20 - \$30
SHT20	-40°C a 123.8°C	0% a 100% HR	±0.3°C	±2% HR	2s	2,4-5,5 V CC	\$10 - \$20

**Tabla 4**
*Sensores elegidos en este análisis*

Sensor detección de movimiento	Sensor de medición temperatura/humedad	Sensor de medición temperatura/humedad
<b>PIR HC-SR501</b>	<b>DHT11</b>	<b>DHT22</b>
Voltaje de alimentación: de 5 a 12 VDC	Barato	Barato
Rango de distancia de 3 a 7 metros ajustable	Funciona con 3,3 y 5V de alimentación	Funciona con 3,3 y %V de alimentación
Salida de alarma de movimiento con ajuste de	Rango de temperatura: de 0° a 50° con 5% de	Rango de temperatura: de -40° a 125° ±0.5°C



tiempo entre 3 segundos a 5 minutos	precisión (pero solo mide por grados, no fracciones)	
Temperatura de operación: -15° a +70° C	Rango de humedad: de 20% al 80% con 5% de precisión	Rango de humedad: de 0% al 100% con 5% de precisión
Tiempo de salida inactiva	Bajo consumo	Lee 2 veces por segundo

Considerando las características y el costo de cada sensor, es posible calcular un estimado del gasto de implementación acorde a los requisitos. Es fundamental recordar que el gasto de implementación no se basa únicamente en los sensores seleccionados, sino también en otros elementos indispensables como la placa Arduino, los cables, las resistencias, entre otros.

### **Arduino 1**

Arduino es un sistema de desarrollo de electrónica de código abierto, que se fundamenta en hardware y software libre. Esta plataforma permite diversas clases de microcontroladores y se puede asignar variadas aplicaciones. (Fernandez, 2022, pág. 7). El microcontrolador de Arduino tiene una conexión de entrada conocida, donde se pueden integrar diversos periféricos en la placa. Los datos de estos dispositivos serán enviados al microcontrolador, que se encargará de analizar estos datos. (Fernandez, 2022, pág. 8).

### **Historia**

Arduino comenzó como una iniciativa de alumnos de la escuela IVREA en Italia. El colombiano Hernando Barragán participó en este proyecto y sugirió como su trabajo de graduación la plataforma de programación wiring, utilizada para programar el microcontrolador (Halley, 2014, pág. 2).

### **Componentes de Arduino1**

Los componentes de la placa de Arduino1 son: Pines digitales, pines analógicos, pines alimentación sensores, microcontrolador de comunicaciones,



microcontrolador de programación, botón reset, puerto USB y conector de alimentación.

#### Tipos de plagas con su Tipo de sensor

Para monitorear y detectar las plagas de los gusanos de alambre y los gusanos blancos, vamos a utilizar el sensor PIR HC-SR501.

#### PIR HC-SR501

Los sensores pasivos de infrarrojos, conocidos como PIR, son herramientas utilizadas para identificar movimiento. El modelo HC-SR501 de este tipo de módulo es asequible, compacto, consume poca energía y es sencillo de manejar. Los sensores HC-SR501 se fundamentan en la detección de radiación infrarroja. Todos los objetos, emiten una cantidad de energía infrarroja que aumenta con la temperatura. Los dispositivos HC-SR501 cuentan con un sensor piroeléctrico que puede captar dicha radiación y transformar esta señal en electricidad. (Llamas, 2015, pág. 2).

Sus definiciones técnicas más relevantes son:

Usa el PIR LHI778 y el controlador BISS0001

Voltaje de alimentación: de 5 a 12 VDC

Consumo promedio: 1 miliamperio

Rango de distancia de 3 a 7 metros ajustable

Angulo de detección: cono de 110°

Ajustes: 2 potenciómetros para ajuste de detección y tiempo de alarma activa

Jumper para configurar la alarma en modo mono-disparo o disparo repetitivo

Salida de alarma de movimiento con ajuste entre 3 segundos a 5 minutos

Salida de alarma activa V<sub>o</sub> con nivel alto de 3.3 volts y 5 mA, lista para conexión de un led, o un transistor, etc.

Tiempo de inicialización: después de alimentar el módulo HC-SR05, debe transcurrir 1 minuto antes de que inicie su operación normal.



Tiempo de salida inactiva: cada vez que la salida pase de activa a inactiva, permanecerá en ese estado los siguientes 3 segundos.

Temperatura de operación: -15° a +70° C

Dimensiones: 3.2 x 2.4 x 1.8 cm. (Roldán, 2019, pág. 4).

Para las enfermedades del girasol como son la podredumbre húmeda, la esclerotinia, y la roya utilizaremos los sensores de temperatura y humedad.

### **Sensores de temperatura y humedad DHT11 y DHT22**

En numerosas ocasiones, pues la humedad relativa también representa un aspecto esencial que considerar. Por esta razón, se crearon los sensores de la serie DHT. Estos dispositivos nos ofrecen de manera digital tanto la temperatura como la humedad, con variados niveles de precisión dependiendo del modelo.

Básicamente hay dos variantes DHT11 y DHT22

#### **Las características del DHT11 son:**

Barato

Funciona con 3,3 y 5V de alimentación

Rango de temperatura: de 0° a 50° con 5% de precisión

Rango de humedad: de 20% al 80% con 5% de precisión

1 muestra por segundo (No es el más rápido del oeste)

Bajo consumo

Devuelve la medida en grados centígrados (°C).

#### **En cuanto al DHT22:**

Barato

Funciona con 3,3 y %V de alimentación

Rango de temperatura: de -40° a 125° ±0.5°C

Rango de humedad: de 0% al 100% con 5% de precisión

Lee 2 veces por segundo

Bajo consumo

Devuelve en grados centígrados (°C).



En lo que respecta a cómo unir y configurar ambos sensores, la metodología es idéntica. Es importante mencionar que el circuito integrado incluye componentes electrónicos que realizan la conversión de temperatura y humedad de manera interna, proporcionándonos una lectura digital. (Onmiblu, 2024, pág. 11)

### **Servidor web Arduino**

Arduino es un sistema de hardware y software de acceso libre que se utiliza para desarrollar proyectos interactivos. Facilita la creación de una página web donde es posible supervisar en tiempo real los datos obtenidos. Los sensores transmitirán datos al router, el cual a su vez enviará la información al servidor. El mismo mostrará los datos en una página web que previamente tendrá una dirección IP asignada. Además, utilizando CSS, podemos embellecer el diseño de nuestro sitio web para que sea más atractivo y fácil de usar.

### **Costo estimativo de la implementación del proyecto**

#### **Costo de los sensores:**

- Sensor de detección de movimiento PIR HC-SR501: alrededor de \$5 por unidad.
- Sensor de medición de temperatura/humedad DHT11: alrededor de \$3 por unidad.
- Sensor de medición de temperatura/humedad DHT22: alrededor de \$10 por unidad.

#### **Costo de otros componentes electrónicos y de hardware:**

- Placas Arduino para conectar los sensores y procesar los datos: aproximadamente \$20 por unidad.
- Cables, resistencias, y otros componentes electrónicos necesarios: aproximadamente \$20.
- Baterías o fuentes de alimentación para los dispositivos de monitoreo: alrededor de \$50.



- Dispositivos de comunicación inalámbrica (por ejemplo, módulos Wi-Fi o LoRa) para transmitir datos desde los sensores al servidor: aproximadamente \$10 por unidad.

#### **Costo del servidor y software:**

- Servidor web o plataforma en la nube para almacenar y analizar los datos recopilados: pago estimado entre \$10 y \$50 al mes.
- Desarrollo y configuración del software necesario para procesar, analizar y visualizar los datos: esto podría variar según la complejidad del software y si se utiliza software de código abierto o personalizado. Podría oscilar entre \$500 y \$700.

#### **Costo de instalación y mantenimiento:**

- Mano de obra para la instalación y configuración de los dispositivos de monitoreo y sistemas de comunicación: aproximadamente \$500 - \$600.
- Costos de mantenimiento y reemplazo de componentes dañados o desgastados: pagos entre \$100 y \$200 al año.

Algunos gastos son periódicos (como el hosting web o el almacenamiento en la nube) y otros constituyen gastos iniciales (como la adquisición de sensores y diversos componentes electrónicos). En conjunto, se tendría un gasto inicial entre \$1,600 y \$2,200, con gastos anuales que rondan de \$100 a \$200.

#### **Análisis costo-beneficio**

Se presentará un análisis de costo-beneficio simplificado para la implementación de redes sensoriales en los cultivos de girasoles de la FACIAG:

#### **Costos:**

- Costo inicial de implementación: \$1,600 - \$2200 (como se estimó en el análisis anterior)



- Costos recurrentes anuales: \$100 - \$200 (como se estimó en el análisis anterior)

#### Beneficios:

- **Reducción del uso excesivo de recursos:** La implementación de sensores permite un monitoreo de factores: la temperatura, humedad y el movimiento. Se tendría un uso más eficiente de recursos como agua, fertilizantes y pesticidas, lo que a su vez podría reducir los costos de producción.
- **Detección temprana de problemas en los cultivos:** Los sensores detectan problemas en los cultivos antes de que sean visibles a simple vista. Esto permite una intervención temprana y podría reducir las pérdidas de producción.
- **Optimización del crecimiento y desarrollo de los cultivos:** El monitoreo en tiempo real de las condiciones del cultivo puede ayudar a los agricultores a tomar decisiones informadas sobre el manejo del cultivo.
- **Mejora de la toma de decisiones y planificación:** El acceso a datos precisos y en tiempo real facilita la toma de decisiones informadas y permite una mejor planificación a corto y largo plazo en la producción de cultivos.

#### Desglose de beneficios

La extensión de las siembras de girasoles en la FACIAG es de 70 m<sup>2</sup>, se requieren 35 metros cúbicos de agua cada semana (con un promedio que oscila entre 26 y 40 metros cúbicos). El precio promedio del agua es de 0. 67 dólares por m<sup>3</sup>, lo que conlleva un gasto semanal de 23. 45 dólares (35 por 0. 67) para el riego. Si la introducción de sensores provoca una disminución del 20% en el consumo de agua, esto significaría un ahorro de 4. 69 dólares semanalmente (23. 45 por 0. 2). En el transcurso de un año (52 semanas), esto generaría un ahorro total de 243. 88 dólares en gastos de agua.

Si asumimos que se pierde un girasol en promedio por metro cuadrado. Para un espacio de 70 metros cuadrados, esto se traduce en 70 girasoles perdidos en total. Si consideramos que cada girasol tiene un costo de 0. 80 dólares, esto conlleva a una pérdida de 56 dólares por cada cosecha. La introducción de redes



de sensores podría disminuir las pérdidas en un 10%, lo que significaría un ahorro de 5. 60 dólares por cosecha. Así, el ahorro total anual por pérdidas en la producción sería de 22. 40 dólares (5. 60 multiplicado por 4).

En los primeros 40 días, se utilizan insecticidas y pesticidas cada semana, lo que se traduce en un total de 6 aplicaciones (40 días dividido por 7 días es igual a 5. 71, que se redondea a 6). El precio de los insecticidas y pesticidas es de \$1. 50 por metro cuadrado, y el área cultivada abarca 70 metros cuadrados. Así, el costo por cada aplicación asciende a \$105 (1. 50 multiplicado por 70). En total, durante los primeros 40 días, el gasto por insecticidas y pesticidas suma \$630 (6 aplicaciones por \$105 cada una). Tras los 40 días, se aplican insecticidas y pesticidas entre una y dos veces al mes si surge una plaga. Consideremos un promedio de 1. 5 aplicaciones mensuales. Con la duración del ciclo de cultivo de 4 meses, esto da un total de 6 aplicaciones adicionales (1. 5 multiplicado por 4). El costo de estas aplicaciones adicionales sería de \$630 (6 aplicaciones por \$105 cada una).

El gasto total en pesticidas e insecticidas durante un ciclo agrícola es de \$1,260 (\$630 más \$630). Asumiendo que se realizan 4 cosechas anualmente, el gasto anual en insecticidas y pesticidas asciende a \$5,040 (\$1,260 multiplicado por 4). Si la utilización de redes de sensores permite disminuir el consumo de insecticidas y pesticidas en un 20%, esto implicaría un ahorro anual de \$1,008 (\$5,040 multiplicado por 0. 2). El ahorro total anual calculado es de \$243. 88 (agua) más \$22. 40 (producción) más \$1,008 (insecticidas y pesticidas), que equivale a \$1,274. 28.

Con estas cifras, el costo proyectado para llevar a cabo el proyecto oscilaría entre \$1,600 y \$2,200, y los gastos anuales recurrentes variarían entre \$100 y \$200. Si se considera un ahorro anual total estimado de \$1,274. 28, el proyecto podría ofrecer suficientes ventajas para recuperar los gastos iniciales en un período de



alrededor de 1. 3 a 1. 7 años, según los números proyectados. Ahora se detallará en una tabla los valores obtenidos con el beneficio anual.

**Tabla 5.**

*Aproximación de Costo – Beneficio del Proyecto*

CONCEPTO	COSTO/BENEFICIO (\$)
<b>COSTOS</b>	
Costo de implementación del proyecto	1,600 - 2,200
Costos recurrentes anuales	100 – 200
<b>AHORROS</b>	
Ahorro en costos de agua (anual)	243.88
Ahorro en pérdidas de producción (anual)	22.40
Ahorro en costos de insecticidas y pesticidas (anual)	1,008
Ahorro total anual estimado	1,274.28
<b>BENEFICIO</b>	
Beneficio neto anual estimado	1,074.28 - 1,174.28

Suficientes ganancias para amortizar los gastos iniciales de puesta en marcha, que oscilan entre \$1,600 y \$2,200, en un tiempo aproximado de 1. 3 a 1. 7 años, dependiendo del análisis de datos. Este breve tiempo de retorno sobre la inversión indica que el plan es económicamente sostenible. Además de las ventajas financieras, el plan también podría proporcionar beneficios ecológicos y operativos al disminuir el uso de agua y reducir la aplicación de pesticidas e insecticidas en los cultivos de girasoles.

#### **Materiales y Métodos:**

El presente estudio se fundamenta en métodos de nivel teórico, empírico, síntesis y análisis comparativo. Se realiza un análisis comparativo con otros estudios similares y cuáles fueron los resultados alcanzados. Finalmente, se realizó un estudio empírico evaluando la opinión de los docentes y los estudiantes de la FACIAG, sobre la aplicación de las redes sensoriales para analizar su problemática,

sus mejoras con la aplicación de tecnología y como mejoraría en el proceso enseñanza aprendizaje. (Spachos, 2020)

Para los docentes se realizó una entrevista a 3 docentes especialista en el cultivo del girasol y para la encuesta se aplicó a 67 estudiantes de quinto y sexto semestre de la carrera de Agronomía de la facultad FACIAG, de la Universidad Técnica de Babahoyo.

### Determinación de la población y muestra

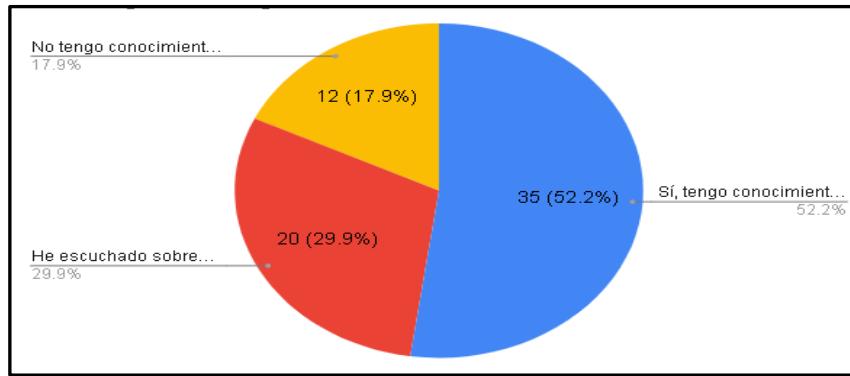
Para garantizar los resultados y como la población es relativamente pequeña se optó por encuestar a toda la población garantizar la fidelidad de la información. De la misma manera, se procedió a entrevistar a los 3 docentes a fines en la materia.

## Resultados

Como se observa en la figura 1, la mayoría de los encuestados (52.2%) tienen conocimientos sobre la implementación de tecnología en la agricultura, mientras que (29.9%) han escuchado sobre el tema y el (17.9%) no tienen conocimiento al respecto. Esto indica que hay un nivel general de conciencia sobre el aprendizaje de nuevas tecnologías en la agricultura entre los estudiantes.

**Figura 1.**

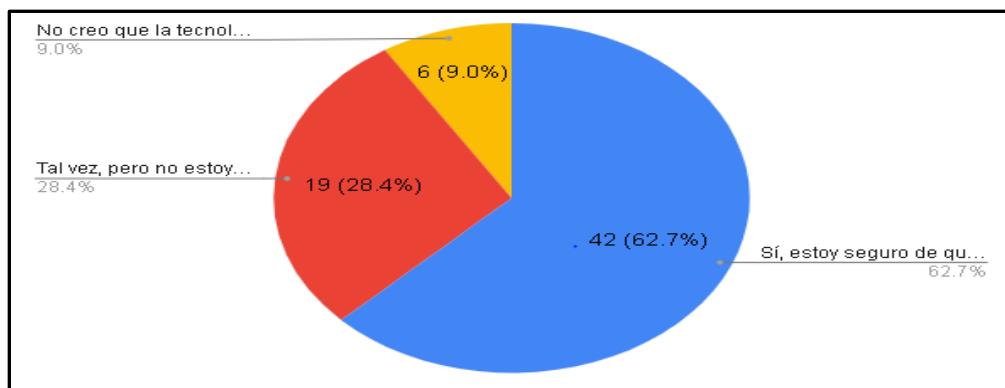
*Implementación de tecnología en la agricultura*



Observamos en la figura 2 estadístico, que la mayoría de los encuestados (62.7%) piensan que la tecnología en la agricultura mejoraría los procesos de producción, mientras que (28.4%) no están seguros de cómo podría ayudar y solo (9%) piensan que la tecnología no puede mejorar los procesos de producción. Esto sugiere que los estudiantes tienen una actitud positiva hacia la aplicación de la tecnología en la agricultura.

**Figura 2.**

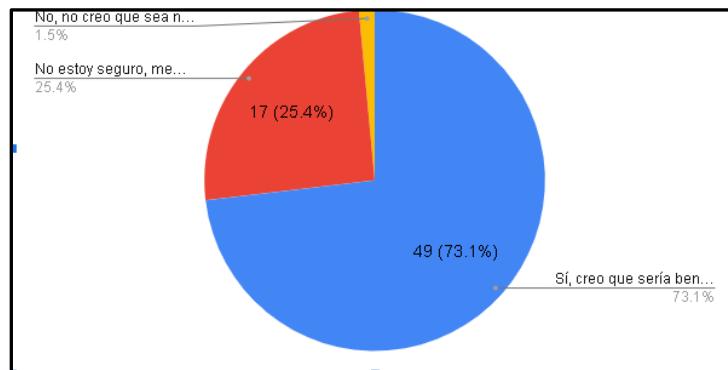
*La tecnología en la agricultura mejoraría los procesos de producción*



Podemos observar en la figura 3, que la gran mayoría de encuestados (73.1%) afirma que sería beneficioso implementar redes sensoriales en la producción de cultivos en la FACIAG, (25.4%) no están seguros y solo (1.5%) no cree que sea necesario. Esta información nos indica un significativo interés en la implementación de redes sensoriales en la producción de cultivos.

**Figura 3**

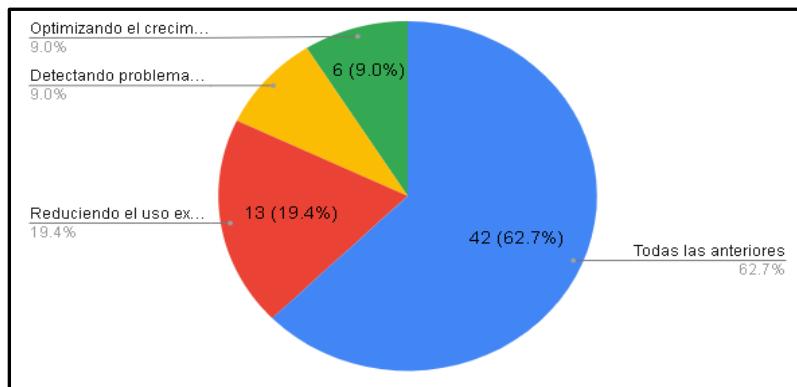
*Redes sensoriales en la producción de cultivos en la FACIAG*



En la Figura 4, la mayoría de los encuestados (62.7%) afirman que la implementación de redes sensoriales mejoraría la producción de cultivos en todos los aspectos mencionados: Un porcentaje menos significativo de estudiantes eligieron solo las otras 2 opciones. Por lo tanto, los estudiantes señalan que las redes sensoriales pueden mejorar múltiples aspectos de la producción de cultivos.

**Figura 4.**

*La implementación de redes sensoriales mejoraría la producción de cultivos*

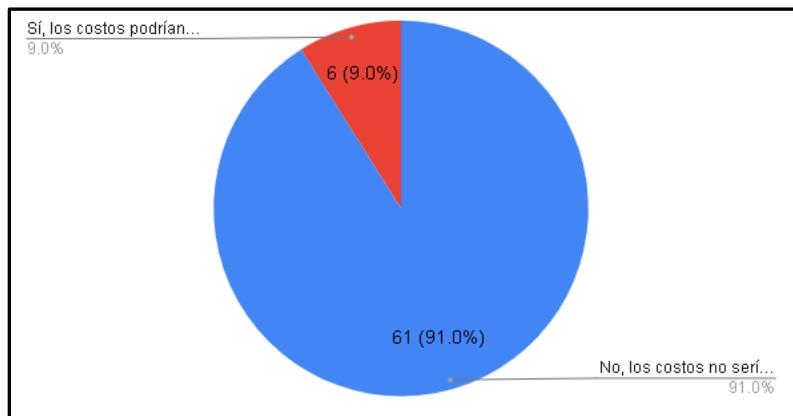


En la siguiente figura 5, podemos verificar que el (91%) afirma que los costos no serán un problema para la adopción de los sensores, mientras que solo el (9%) consideran que los costos podrían ser una barrera. Esto confirma que los

estudiantes consideran que los costos no serán una limitante para implementar la tecnología de sensores en la agricultura.

**Figura 5.**

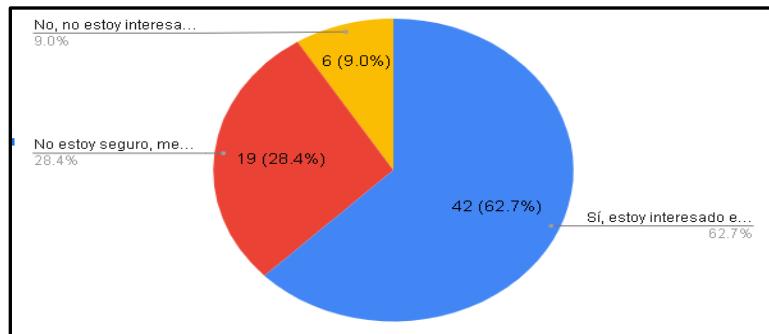
*Los costos de la tecnología de sensores podrían limitar su adopción*



Según la figura 6, podemos indicar que el (62.7%) están interesados en aprender más sobre la implementación de tecnología de sensores, mientras que (28.4%) no están seguros y solo (9%) no están interesados en aprender más sobre esto. Esto indica que hay un interés general en adquirir más conocimientos sobre la tecnología de sensores en la agricultura entre los estudiantes.

**Figura 6.**

*Aprendizaje sobre la tecnología de sensores en la agricultura*



## ENTREVISTA DIRIGIDA A LOS DOCENTES DE LA FACIAG

### ¿Qué tan eficiente es el proceso de desarrollo de los girasoles en la FACIAG?

El proceso de desarrollo de los girasoles en la FACIAG no es tan eficiente, existen muchas áreas por mejorar como el monitoreo, control de plagas, riego y la toma de decisiones basada en un análisis de datos.

### ¿Conoce usted acerca de la implementación de la tecnología en la agricultura?

Sí, estoy al tanto de varias tecnologías que se están implementando en la agricultura, como el uso de drones, sistemas de riego automatizados y por supuesto, redes sensoriales.

### ¿Cree usted que la tecnología en la agricultura favorecería mucho en todos los aspectos sobre los cultivos?

La tecnología en la agricultura tendría un impacto significativo en muchos aspectos, la eficiencia del uso de recursos, la detección temprana de problemas, la mejora del riego, la optimización del crecimiento y desarrollo de los cultivos.

### ¿Con que frecuencia realizan el monitoreo de estos cultivos?

El monitoreo de los cultivos de girasoles se realiza 3 veces, de lunes a viernes, pero sería ideal contar con un monitoreo continuo y en tiempo real, lo que permitiría tomar decisiones más rápidas y eficientes.

### ¿Le gustaría que se automatice todo el proceso de monitoreo con la utilización de redes sensoriales en los cultivos de girasoles?

Sí, la automatización del proceso de monitoreo a través de redes sensoriales podría mejorar significativamente la eficiencia y precisión del monitoreo, lo que a su vez podría tener un impacto positivo en la producción y la calidad de los girasoles.

### ¿Usted cree que se mejoraría la toma de decisiones en cuanto a la producción y climatización de los cultivos de girasoles gracias a las redes sensoriales?



Sí, las redes sensoriales pueden proporcionar datos precisos y en tiempo real sobre las condiciones de los cultivos, lo que podría mejorar la toma de decisiones en cuanto a la producción y el manejo de los cultivos de girasoles.

**¿Considera que la implementación de estas redes en otros cultivos de la FACIAG podría ser beneficiosa? ¿Por qué?**

Sí, creo que la implementación de redes sensoriales en otros cultivos de la FACIAG también podría ser beneficiosa. Al igual que con los cultivos de girasoles, pueden mejorar la eficiencia en el uso de recursos, la detección de problemas, la optimización del crecimiento y desarrollo de los cultivos.

### **Discusión:**

La gran parte de los involucrados posee una comprensión elemental acerca de la aplicación de tecnología en el sector agrícola, opinan que el método de producción de girasoles en la FACIAG es efectivo, aunque tiene un margen de perfeccionamiento.

Los involucrados opinan que la tecnología agrícola, en particular las redes de sensores, tendría un efecto beneficioso en las cosechas y podría optimizar los métodos de producción. Adicionalmente, comprenden el significado del seguimiento de las cosechas y aprecian el beneficio de hacer este procedimiento automático a través de la adopción de redes de sensores.

El 73% de los encuestados muestra interés en la adopción de redes de sensores para la agricultura en la FACIAG, piensan que esta acción podría optimizar la forma en que se toman decisiones sobre el cultivo y el control climático de los girasoles.

Se considera que las redes de sensores pueden aumentar la producción agrícola al disminuir el gasto innecesario de recursos, identificar precozmente las dificultades en las plantas, maximizar el crecimiento y progreso de los cultivos. Casi la totalidad de los encuestados, un 91%, no ve los gastos como una barrera



significativa para la adopción de tecnología de sensores, pues la inversión inicial realizada superaría luego por la producción que se obtendría.

Existe un interés amplio en conocer más sobre el uso de tecnología de sensores en la agricultura, su capacidad para optimizar la producción, el seguimiento de los cultivos para evitar los errores, plagas que afectan el cultivo y siembra del girasol.

En resumen, las charlas y los sondeos manifiestan un clima propicio para la adopción de redes de sensores en el cultivo agrícola en la FACIAG. Los hallazgos indican que la mayoría de los profesores y alumnos piensan que estas redes pueden optimizar los métodos de producción y el seguimiento de los cultivos, mostrando interés en profundizar sobre esta tecnología y su capacidad en el sector agrícola.

### Conclusiones

- La aplicación de sistemas de sensores en el campo agrícola puede incrementar notablemente la efectividad en la producción y vigilancia de los cultivos, lo que resulta en un aumento tanto en la cantidad como en la calidad de los girasoles en la FACIAG.
- La gran parte de los educadores y alumnos de la carrera de Agronomía en la FACIAG son conscientes de las oportunidades que brinda la tecnología en el ámbito agrícola y desean profundizar en el uso de redes de sensores para mejorar la producción agrícola.
- Las entrevistas y encuestas llevadas a cabo con los profesores y alumnos de la FACIAG indican que existe un entorno propicio para el uso de redes sensoriales en el cultivo agrícola. Además, evidencian que muchas de las personas encuestadas no piensan que los gastos sean una barrera significativa para su incorporación.
- La automatización de sistemas de sensores para el seguimiento agrícola puede optimizar la gestión de la producción y el control climático de los



cultivos de girasoles, lo que lleva a un aprovechamiento más eficiente de los recursos y a una identificación rápida de inconvenientes en los cultivos.

- Mediante el análisis costo-beneficio, se determina que la evaluación para la adopción de redes sensoriales en los cultivos de girasoles en la FACIAG es factible. Estas ventajas abarcan una mejora en la utilización de recursos como agua y pesticidas, así como la disminución de pérdidas en la cosecha de girasoles. La implementación total aproximada es de \$2,600. Se proyecta que el ahorro será de alrededor de \$3,000 anuales en gastos de agua y pesticidas, además de un avance en la producción de girasoles. El beneficio neto, que se calcula se estima en aproximadamente \$400 durante el primer año.

- La adopción de redes de sensores en los sembrados de girasoles en la FACIAG podría ser un modelo eficaz para el uso de esta tecnología en otros tipos de cultivos y situaciones agrícolas en el futuro.

En síntesis, el estudio sobre la aplicación de redes sensoriales en el cultivo de girasoles en la FACIAG representa una opción factible y provechosa desde una perspectiva técnica y económica. Su integración podría elevar notablemente la eficacia en el cultivo y la supervisión, generando ventajas sostenibles a futuro para la institución y sus alumnos.

### Referencias Bibliográficas:

- Agro, T. (16 de 02 de 2022). *Todo Agro*. Obtenido de <https://www.todoagro.com.ar/plagas-y-enfermedades-del-girasol-cuales-son-y-como-prevenirlas/>
- Agrocalidad. (2017). Cultivo de girasol.
- Agromatica. (2016). Enfermedades del cultivo de girasol. En Agromatica, *Cultivo de girasol* (pág. 9).
- Alreshidi, E. (2019). Smart sustainable agriculture (SSA) solution underpinned by Internet of Things (IoT) and Artificial Intelligence (AI). *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, 10(6), 1-8. DOI: 10.14569/IJACSA.2019.0100601



Bassine, F. Z., Epule, T. E., Kechchour, A., & Chehbouni, A. (2023).

Recent applications of machine learning, remote sensing, and IoT approaches in yield prediction: A critical review. *Computers and Electronics in Agriculture*, 204, 107462. DOI: 10.1016/j.compag.2023.107462

Beltrán, J. E. (2019). Desarrollo de un sistema de monitoreo de humedad en suelo agrícola utilizando sensores IoT. *Revista Iberoamericana de Tecnología en Educación y Educación en Tecnología*, 25, 34-39.  
doi:<https://doi.org/10.3390/s19163556>.

Bolaños, P. (s.f. de s.f. de s.f.). *SENsoRES DE TEMPERATURA DHT11*.  
Obtenido de  
<https://www.bolanosdj.com.ar/MOVIL/ARDUINO2/sensorTemyHumeda.pdf>

FAO. (2022). The State of Food and Agriculture: Leveraging automation for resilient agrifood systems. <http://www.fao.org/3/cb9479en/cb9479en.pdf>

Fernandez, Y. (23 de Septiembre de 2022). Qué es Arduino, cómo funciona y qué puedes hacer con uno.

Garg, S., Pundir, P., Jindal, H., Saini, H., & Garg, S. (2021). Towards a multimodal system for precision agriculture using IoT and machine learning. *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, 12(7), 1-7. DOI: 10.14569/IJACSA.2021.0120701

García-Sánchez, F., Martínez-Santos, J., & González-Briones, A. (2019). IoT-based smart irrigation systems: A review. *Agricultural Water Management*, 215, 64-78. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2019.01.017>

González-Briones, A. M.-S.-G.-S. (2018). Revisión de redes inalámbricas de sensores para la agricultura. *Sensores. MDPI*, 18(12), 4175.  
doi:<https://doi.org/10.3390/s18124175>

Halley, G. (2014). *Introducción a Arduino*. Grupo Astronomico.

Llamas, L. (24 de 07 de 2015). *Detector de movimiento con Arduino y sensor PIR*.  
Obtenido de <https://www.luisllamas.es/detector-de-movimiento-con-arduino-y-sensor-pir/>

Li, T., Xia, E., & Chen, L. (2020). Wireless sensor networks in agriculture: A systematic review. *Sensors*, 20(15), 4310. <https://doi.org/10.3390/s20154310>



MAGAP. (2023). Plan Nacional de Tecnificación del Riego en Ecuador. Quito: Ministerio de Agricultura.

Macarena, C. (2017). Guía práctica para la identificación de plagas del cultivo de girasol.

Onmiblu. (24 de 07 de 2024). <https://www.omniblue.com/sensor-temperatura-humedad-DHT11-DHT22.html>. Obtenido de <https://www.omniblue.com/sensor-temperatura-humedad-DHT11-DHT22.html>

Roldán, M. (06 de 2019). Obtenido de [https://tauja.ujaen.es/bitstream/10953.1/9702/1/memoria\\_TFG\\_imr00022.pdf](https://tauja.ujaen.es/bitstream/10953.1/9702/1/memoria_TFG_imr00022.pdf)

Sadowski, S., & Spachos, P. (2020). Wireless technologies for agricultural monitoring use Internet of Things devices with energy harvesting capabilities. *IEEE Access*, 8, 118838–118848. DOI: 10.1109/ACCESS.2020.3009074

Sánchez. (2019). Control de Plagas y Enfermedades. *Tierra Infinita*, 234 -243.

Significados. (15 de Febrero de 2023). *Significados*. Obtenido de <https://www.significados.com/girasol/>

Smith, G. M. (09 de 03 de 2020). *Dewesoft*. Obtenido de <https://dewesoft.com/es/daq/que-es-un-sensor#:~:text=Un%20sensor%20es%20un%20dispositivo,para%20lectura%20o%20procesamiento%20adicional.>

Wang, Y. G. (2019). Aplicación de redes de sensores inalámbricos para monitorear parámetros ambientales en un sistema de producción de hortalizas en invernadero: una revisión. . *Computadoras y Electrónica en Agricultura*, 315-329, 157. doi:10.1016/j.compag.2018.12.014

Zhang, Y., Li, X., & Liu, J. (2021). Smart agriculture: A review of IoT-based technologies. *Computers and Electronics in Agriculture*, 185, 106156. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2021.106156>

## Medición y análisis de los niveles de señal de la televisión digital terrestre en ciudad de Panamá utilizando un UAV

### Measurement and analysis of digital terrestrial television signal levels in Panama City using an unmanned aerial vehicle UAV

Fermín A. Póvaz J.

Universidad de Panamá, Facultad de Informática, Electrónica y Comunicación

Departamento de Electrónica y Comunicación.

Laboratorio de Electrónica y Comunicación 205

[fermin.povaz@up.ac.pa](mailto:fermin.povaz@up.ac.pa)

<https://orcid.org/0000-0001-7657-9408>

Jenny I. Ríos Z.

Universidad de Panamá, Facultad de Informática, Electrónica y Comunicación

Departamento de Informática.

[jenny.rios@up.ac.pa](mailto:jenny.rios@up.ac.pa)

<https://orcid.org/0000-0002-1134-7945>

Recepción: 06/04/2025

Aprobación: 06/06/2025

DOI:

#### Resumen

Este estudio presenta la viabilidad del uso de un Vehículo Aéreo No Tripulado (UAV) equipado con una tarjeta Raspberry Pi 3 como capturadora de señales de RF, mediante el uso de un receptor definido por software (SDR), unidad GPS y una antena de recepción, para medir los niveles de señales de los canales de Televisión Digital Terrestre (TDT) en la Ciudad de Panamá. Se implementa un plan de vuelo programado automáticamente para el drone, y se realizan mediciones en 10 ubicaciones distintas utilizando el método de cuatro puntos fijos. La evaluación compara este enfoque con el procedimiento convencional recomendado por la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT) que emplea una unidad capturadora y antena sintonizada a la frecuencia de los canales TDT. Se enfoca en la eficacia relativa, evaluada en función del tiempo de medición. Este estudio aporta conocimientos sobre la utilidad del uso de drones para la medición de señales TDT en entornos urbanos como el de la Ciudad de Panamá. Se destaca que entre el método desarrollado de medición se establece un ahorro de tiempo de aproximadamente 11.74 horas comparado con el método convencional.

**Palabras claves:** DVB-T, SDR, MPEG, QPSK, COFDM, Densidad de potencia, intensidad de campo



eléctrico, propagación, multirayecto.

### Abstract

This study explores the feasibility of using an Unmanned Aerial Vehicle (UAV) equipped with a Raspberry Pi 3 board as an RF signal capture platform. The setup integrates a software-defined radio (SDR), a GPS unit, and a receiving antenna to measure signal levels of Digital Terrestrial Television (DTT) channels in Panama City. An automatically programmed flight plan is implemented for the drone, and measurements are conducted at 10 distinct locations using the four-fixed-points method. The evaluation compares this approach to the conventional procedure recommended by the International Telecommunication Union (ITU), which utilizes a capture unit and an antenna tuned to the frequencies of DTT channels. The focus is on relative efficiency, assessed in terms of measurement time. This study provides insights into the utility of UAVs for measuring DTT signals in urban environments such as Panama City. Notably, the developed measurement method achieves time savings of approximately 11.74 hours compared to the conventional method.

**Keywords:** DVB-T, SDR, MPEG, QPSK, COFDM, Power density, Electric field strength, Propagation, Multipath.

### Introducción

El presente estudio tiene como objetivo evaluar la cobertura de señales de televisión digital terrestre (TDT) en la banda UHF, utilizando un vehículo aéreo no tripulado (UAV), el cual está equipado con una Raspberry Pi 3, un receptor SDR-RTL, y una antena omnidireccional de dipolo cruzado. Este proyecto aborda una técnica moderna de medición sin las pérdidas típicas que producen los cables largos, al elevar el UAV a 10 metros del suelo. El enfoque propuesto es innovador, ya que integra tecnologías avanzadas y proporciona mediciones de campo eléctrico en tiempo real para señales de DVB-T2 (Tonchev, Mihovska, y Poulkov, 2022).

Diversos estudios recientes han demostrado el potencial del uso de UAVs como plataformas móviles para medición de cobertura (Li et al., 2019; Wei et al., 2022). Su aplicabilidad en entornos urbanos complejos también ha sido destacada por otros trabajos (Nasir et al., 2019; Mozaffari et al., 2016).

La Recomendación ITU-R SM.1875 establece los umbrales mínimos de intensidad de campo necesarios para garantizar una recepción adecuada en los sistemas DVB-T2. En áreas urbanas, la intensidad de campo debe situarse entre 56 y 75 dB $\mu$ V/m, mientras que, en áreas rurales, un mínimo de 48 dB $\mu$ V/m es suficiente para garantizar una buena recepción (ITU, 2020). Estos niveles aseguran que la



señal recibida tenga la potencia suficiente para evitar interrupciones en la calidad del servicio, especialmente en condiciones de propagación adversa.

El uso de SDR (Fanan et al., 2015) ha demostrado ser una herramienta clave en la recepción y análisis de señales de televisión digital, ya que permite capturar y procesar datos en tiempo real en un amplio rango de frecuencias. A diferencia de los receptores convencionales, los SDR pueden sintonizar diferentes canales y ajustar dinámicamente sus parámetros para adaptarse a las condiciones de señal del entorno. En este estudio, el SDR-RTL se utilizó para recibir señales DVB-T2, que posteriormente fueron procesadas por la Raspberry Pi 3, proporcionando una plataforma de procesamiento ligera y eficiente. Además, la antena de dipolo cruzado configurada como omnidireccional permitió captar la señal de manera uniforme desde todas las direcciones, optimizando la precisión de las mediciones" (Moses et al., 2020).

La cobertura en los sistemas de televisión digital, como DVB-T2, es fundamental para garantizar una calidad de servicio adecuada y la recepción estable de señales. Según un estudio sobre la correlación de señales de radiofrecuencia en sistemas DVB-T2, los datos recopilados muestran que la calidad de la recepción no depende solo de la potencia de la señal recibida, sino también de parámetros como la tasa de error de modulación (MER), que afectan directamente la estabilidad de la señal y su resistencia a las fluctuaciones ambientales. Estas mediciones destacan la importancia de una planificación precisa de la cobertura para minimizar interferencias y asegurar una transmisión continua en diferentes tipos de terreno y condiciones de propagación (Kamo, Agastra, y Cakaj, 2020).

Los estudios de campo son fundamentales para evaluar la cobertura real en sistemas de televisión digital y permiten realizar ajustes en las ubicaciones de antenas transmisoras y en las potencias de emisión para maximizar la cobertura, minimizando áreas con señales débiles o nulas. Estos estudios suelen incluir mediciones de la intensidad de campo en diversos puntos geográficos y a diferentes

alturas, lo que proporciona una representación precisa de la cobertura efectiva del sistema. Además, los análisis de la propagación de la señal, teniendo en cuenta el terreno y las condiciones atmosféricas, son esenciales para optimizar la red y mejorar la calidad del servicio (OTA DTV, 2023).

## Materiales y Métodos

El estudio se llevó a cabo en la Ciudad de Panamá, específicamente en parte de los corregimientos de Bethania, dentro del cuadrante delimitado por las siguientes coordenadas geográficas: 9° 2' 29.25" N, 79° 32' 51.25" O; 9° 2' 33.11" N, 79° 31' 3.18" O; 9° 0' 45.85" N, 79° 30' 57.79" O; y 9° 0' 47.68" N, 79° 32' 13.68" O. (Figura 1).

**Figura 1**

Área de Estudio para la realización de las mediciones de intensidad de campo



El área total de la zona de estudio es de 9.17 km<sup>2</sup>, con un perímetro de aproximadamente 12.3 km. Esta región corresponde a una parte del área urbana de la Ciudad de Panamá. El terreno es en su mayoría uniforme, con altitudes que



varían entre los 42 y 54 metros sobre el nivel del mar, y alcanzando una altura máxima de 83 metros en el sector de Villa de las Fuentes. En algunas áreas del sitio de estudio se observa una densa vegetación, especialmente en zonas con mayor concentración de árboles.

### Obtención de los Datos

Para la medición de la intensidad de campo eléctrico de las señales de televisión digital en formato DVB-T/T2, se emplearon dos métodos. El primero, siguiendo la recomendación UIT-R SM.1875-4 (ITU, 2020), en donde se utilizó la técnica convencional con una antena omnidireccional conectada a un sistema de medición mediante un cable coaxial y soporte. El segundo método involucró el uso de un dron equipado con instrumentos de medición, permitiendo una mayor movilidad y alcance en áreas de difícil acceso.

El proceso de captura de las mediciones en el campo se iniciará con el procedimiento convencional en la cual se utilizará una raspberry pi 3 con el código de inicialización de captura de mediciones, un receptor SDR-RTL, un GPS, una unidad de abastecimiento de energía, 11 metros de cable coaxial RG-6, una antena quadrifilar tipo omnidireccional para operar en UHF, un mástil de 10m, una brújula y cinta métrica. Una vez elegido el punto de recepción, se establecía el cuadrante en el suelo y en cada punto de medición se ejecutaba la herramienta de medición para realizar la captura de datos correspondientes a las intensidades de campo eléctrico, en un tiempo establecido por 3 min. La herramienta establece el promedio de estas intensidades de campo eléctrico y se completa el cuadro con el siguiente canal de televisión digital.

Se realiza la técnica de medición mediante el uso de un drone tipo DJI phamton 4 equipado con una antena omnidireccional, una raspberry pi 3, un sensor GPS, un receptor SDR-RTL. En la raspberry pi 3 se encuentra cargado un código en Python que establece el posicionamiento del GPS, tanto en el cuadrante de



medición por 4 puntos cuya referencia sería con orientación a norte, sur, este y oeste separados a 5 longitudes de onda, de acuerdo con el valor de la frecuencia del canal de televisión digital en formato DVB-T/T2. Se han elegido 10 puntos de recepción de acuerdo al cuadro de los lugares de los sitios de recepción, el drone se posiciona, establece por geolocalización los cuatro puntos de referencia de acuerdo con el cuadrante y establece una serie de mediciones a una altura específica de 10 metros sobre el nivel del suelo, se procede a capturar las intensidades de campo por 3 minutos, el número de muestras estará limitada por la estabilidad del drone, ya que dependerá tanto de las presiones del viento. Los datos capturados se almacenarán en una memoria SD en el DRONE, cuando finalice la medición, el código establece el cambio al siguiente canal de televisión digital y completando el ciclo, el código llevará el registro de almacenaje de energía y una vez cumplida la descarga se procede a reemplazar la batería del drone.

### Unidades de medidas

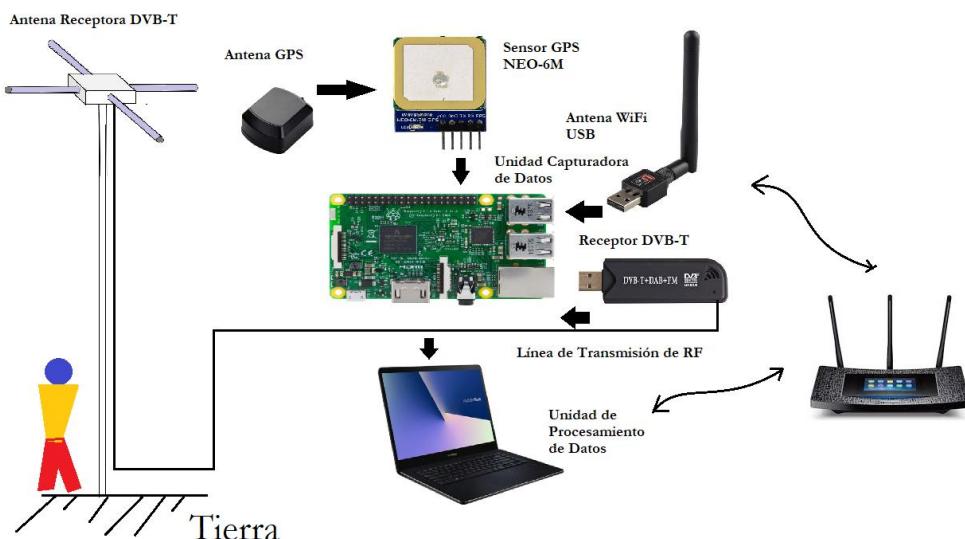
En radiocomunicaciones, particularmente en radiofrecuencia, la intensidad de la señal (también conocida como intensidad de campo) se refiere a la salida de potencia del transmisor recibida por una antena de referencia a una distancia de la antena transmisora. Las transmisiones de alta potencia, como las que se utilizan en la transmisión, se expresan en dBmilivoltios por metro (dBmV/m). Para sistemas de muy baja potencia, como los teléfonos móviles y en televisión la intensidad de la señal generalmente se expresa en dBmicrovoltios por metro (dB $\mu$ V/m) o en decibelios por encima de un nivel de referencia de un milivatio (dBm). En terminología de transmisión, 1 mV/m es 1000  $\mu$ V/m o 60 dB $\mu$  (a menudo escrito dBu).

## Equipos Utilizados

Para la realización de las mediciones de intensidad de campo se utilizó como la unidad de recepción un radio basado en SDR( por sus siglas en inglés Software Defined Radio, radio definida por software (Ježek et al., 2019)) para captura la señal de la banda correspondiente a DVB-T, una unidad capturadora de datos basada en una tarjeta Raspberry Pi 3, una antena cuadrifilar tipo omnidireccional de 3.14dBi de directividad operando en la banda de UHF, una antena de GPS, una unidad sensor de GPS NEO 6M-001 para capturar las coordenadas de los puntos de captura de la medición. (Figura2).

**Figura 2**

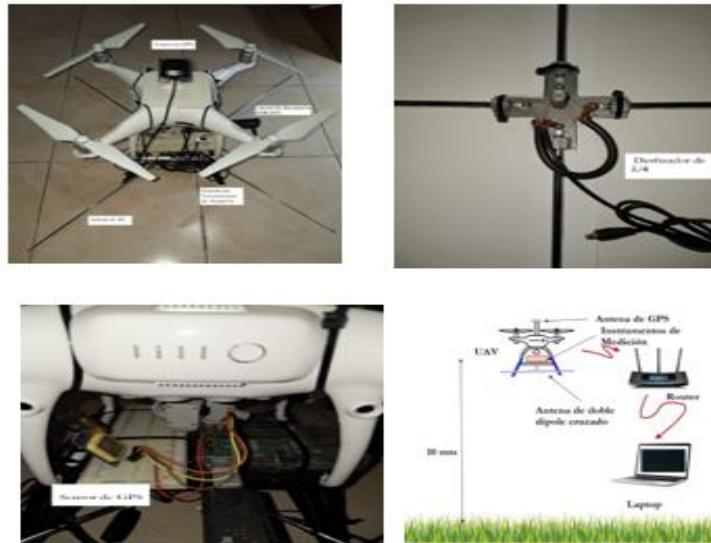
*Distribución de equipos para la medición convencional.*



Se le incorpora al drone DJI Phantom 4 con la misma instrumentación para la medición, con el respectivo código de medición de señales y un código de traslado o desplazamiento de acuerdo a las coordenadas de los sitios de medición (Figura 3), eligiendo 4 puntos separados  $5\lambda$  y a una altura de 10m (ITU, 2005) sobre el suelo.

**Figura 3**

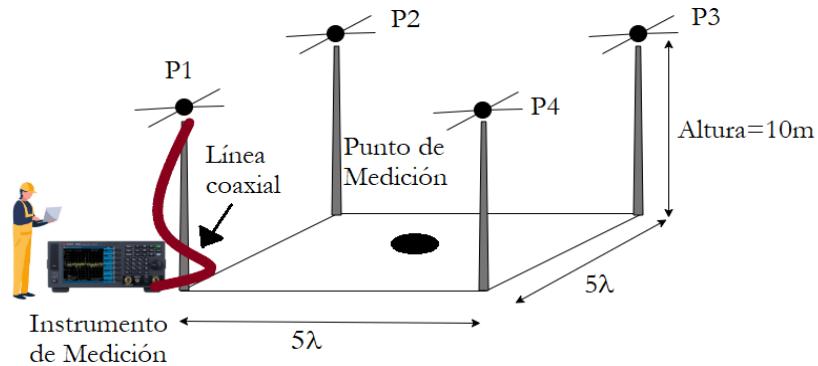
*Ubicación de los equipos en el drone DJI Phanthom 4.*

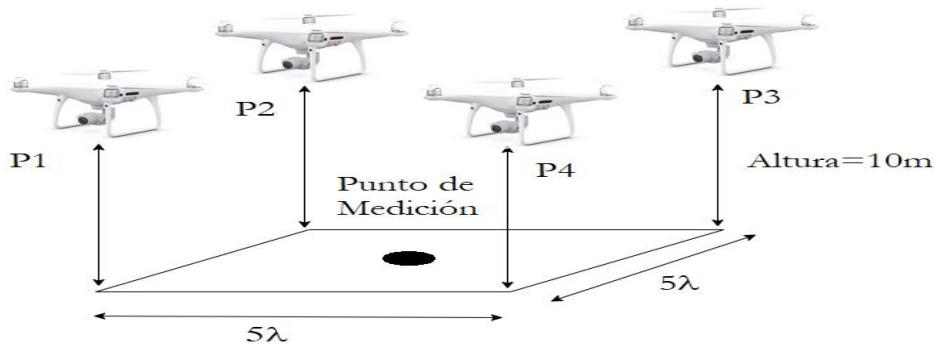


Las mediciones se realizaron utilizando la técnica de los 4 puntos fijos y se obtiene el promedio de las 4 mediciones por un período de 3 minutos en cada punto. La figura 4 muestra el procedimiento de medición convencional y la figura 5 la que se efectúo con el drone.

**Figura 4**

*Procedimiento de medición convencional.*



**Figura 5**
*Procedimiento de medición utilizando el drone*


La Tabla 1 se representa los parámetros de los sitios de transmisión de las señales de televisión en formato digital DVB-T (ASEP, 2023). La figura 6 es una representación en Google Earth de la ubicación de los puntos de transmisión de las diferentes estaciones de televisión en formato DVB-T.

**Tabla 1**
*Sitios de Transmisión DVB-T*

Estación de Transmisión	Coordenadas		Altura(m)
	Latitud (Norte)	Longitud (Oeste)	
La Nueva Exitosa	9° 9' 25.27"	79° 24' 14.85"	594.3
Televisión Istmeña	9° 9' 21.9"	79° 24' 15.1"	592.9
TV Móvil Panamá	9° 1' 31.95"	79° 29' 27.22"	30.7
Empresa Televisora Panameña	9° 2' 57.93"	79° 31' 7.11"	174.2
Asamblea Nacional	9° 2' 58.85"	79° 31' 7.318"	186.1
SERTV	9° 2' 58.85"	79° 31' 7.318"	97.3
Corporación MEDCOM	9° 5' 17"	79° 33' 10"	404
Televisora Nacional S.A.	9° 9' 46.169"	79° 25' 2.148"	670
Fundación FETV	9° 9' 40"	79° 25' 17"	655.7
Concesionaria Digital Tel Com	9° 9' 50.45"	79° 25' 1.07"	682.9
Autoridad del Canal de Panamá (ACP)	8° 57' 25"	79° 32' 58"	162
Empresa Televisora Panameña	9° 3' 1"	79° 31' 5"	186.7
TV Panamá	9° 10' 3.99"	79° 24' 31"	673.2
Visión Río Pisón S.A.	9° 9' 35"	79° 24' 56"	628

Fuente: Autoridad de los Servicios Públicos (ASEP) (2023).

**Figura 6**

*Ubicación de los sitios de transmisión en formato DVB-T.*



La Tabla 2 presenta las coordenadas de los puntos de medición obtenidas mediante dos métodos: el uso de un dron y el procedimiento convencional con instrumentos topográficos. En cada uno de estos puntos se realizaron mediciones de las señales de televisión bajo el estándar DVB-T.

**Tabla 2**

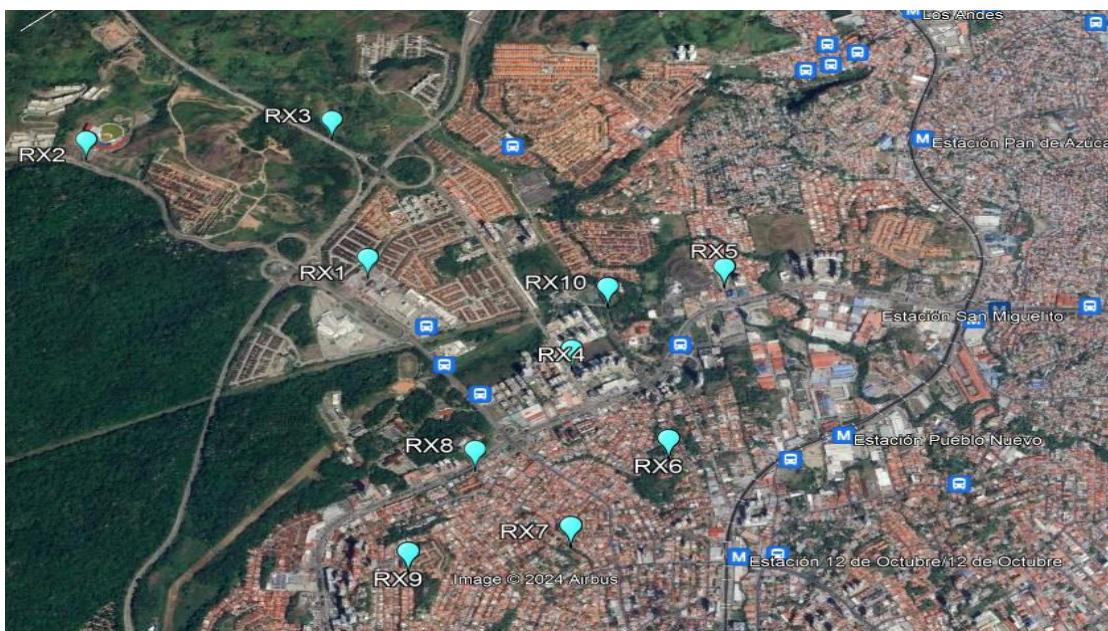
*Coordenadas de los Sitios de Recepción para la realización de las mediciones.*

Sitios de Recepción		Coordenadas		Altura(m)
Denominación	Lugar	Latitud(N)	Longitud(O)	
RX1	Parque Centennial	9° 1' 57.53"	79° 31' 59.85"	59
RX2	Entrada Est. Rod Carew	9° 2' 23.57"	79° 32' 46.58"	67
RX3	Caja de Peaje de Colón	9° 2' 27.94"	79° 32' 6.15"	49
RX4	Entrada Condado del Rey	9° 1' 37.82"	79° 31' 26.87"	51
RX5	Entrada de Linda Vista	9° 1' 55.27"	79° 31' 2.02"	33
RX6	Iglesia de San Antonio de Padua	9° 1' 18.98"	79° 31' 11.65"	50
RX7	Escuela Inst. América	9° 1' 1.20"	79° 31' 27.30"	50
RX8	Parada de Buses de Sta. María	9° 1' 16.85"	79° 31' 42.36"	57
RX9	Villa de la Fuentes 2	9° 0' 56.09"	79° 31' 52.78"	59
RX10	Sector Detrás de la USMA	9° 1' 51.13"	79° 31' 20.96"	50

Por su parte, la figura 7 ilustra la distribución geográfica de los 10 puntos de medición sobre una representación en Google Earth, facilitando una visualización precisa de su ubicación espacial y su relación con el entorno. Esta representación permite comprender mejor la disposición de los puntos y su relevancia en el análisis de la cobertura de las señales de televisión en el área estudiada.

**Figura 7**

*Ubicación de los sitios de recepción para la realización de las mediciones.*



La Tabla 3 presenta información detallada sobre las estaciones de televisión que operan bajo el formato DVB-T. Los datos incluyen parámetros técnicos relevantes como la potencia de transmisión en watts, la ganancia de las antenas, la frecuencia de operación, el proveedor del servicio de televisión abierta, la altura de las antenas y su ubicación sobre el nivel del suelo (SNS). Además, se especifican la pérdida de la línea de transmisión y la orientación o azimut de los sistemas radiantes.

**Tabla 3**
*Parámetros de las Estaciones de Transmisión DVB-T*

Estación	Canal	Frecuencia (MHz)	Potencia de Tx(W, rms)	Azimut	Ganancia de Antena (dBd)	Pérdida de Línea (dB)	Altura de Antena (m, SNS)
ACP	26	537.25	1000	45°	14.13	1.82	30
La Nueva Exitosa	28	557	2400	219°	19.88	1	50
Televisión Istmeña	30	569	1200	245°	22.14	1.44	70
TV Móvil Panamá	31	575	6000	215°	15.56	1.6	80
Empresa Televisora Panameña	34	597.25	10000	190°	17.37	1.9	30
	36	605	2400	110°	16.37	1.63	65
Asamblea Nacional	40	629	4000	180°	15.6	1.9	87.5
SERTV	41	635	4000	190°	20.38	1.9	80
Corporación MEDCOM	42	641	6000	127°	16.85	1.10	37
	43	647	6000	140°	16.85	1.10	37
	44	653	6000	122°	16.85	1.10	37
Televisora Nacional S.A.	45	659	6100	220°	20.38	1.8	101
Visión Río Pisón	47	671	2000	200°	18.02	1.925	41
FETV	48	677	1700	220	16.33	1.925	30
Concesionaria Digital de Televisión y Comunicación	49	683	6000	210°	20.38	2.6	65
	50	689	6000	210°	20.38	2.6	65
TV Panamá	51	695	250	211°	18.81	2.5	80

**Fuente:** Autoridad de los Servicios Públicos (ASEP) (2023).

Toda esta información ha sido recopilada de la base de datos proporcionada por la Autoridad de los Servicios Públicos (ASEP), lo que garantiza la confiabilidad y precisión de los datos utilizados para este estudio.

**Mediciones de Intensidad de Campo Eléctrico y Simulaciones**

El siguiente análisis presenta los valores promedios de intensidad de campo eléctrico correspondientes a diferentes canales de televisión digital terrestre (DVB-

T) en la banda UHF, obtenidos mediante tres metodologías: medición directa con vehículo aéreo no tripulado (UAV), medición convencional desde el suelo, y simulación computacional a través del software Radio Mobile.

Cada canal fue evaluado en diez sitios de recepción distribuidos estratégicamente en la Ciudad de Panamá, con el objetivo de caracterizar la cobertura y calidad de la señal recibida bajo condiciones reales y modeladas. Las mediciones con UAV se realizaron a una altura constante de 10 metros, empleando un receptor SDR-RTL acoplado a una Raspberry Pi y una antena omnidireccional. Las mediciones convencionales siguieron el mismo protocolo instrumental, con la antena instalada sobre un mástil de 2.5 metros. En paralelo, se ejecutaron simulaciones utilizando parámetros locales de propagación y topografía, integrados en el modelo predictivo de Radio Mobile.

La Tabla 4 representa los valores promedio de intensidad de campo eléctrico, expresados en decibelios microvoltio por metro (dB $\mu$ V/m), correspondientes a los canales DVB-T considerados en este estudio. Este conjunto de datos permite observar las tendencias generales en la propagación de la señal, evaluar la consistencia de los métodos de medición, y determinar el grado de concordancia o discrepancia con los valores estimados mediante simulación.

#### Tabla 4

##### *Mediciones Resultantes del UAV, Método Convencional y por Simulación*

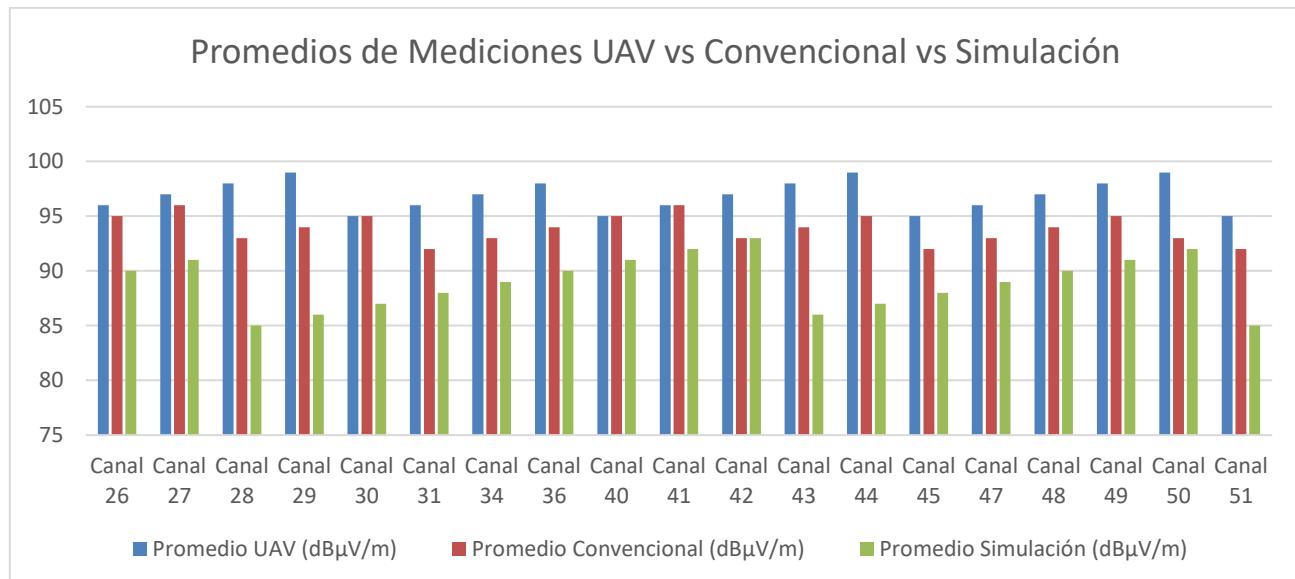
Canal DVB-T	Promedio UAV (dB $\mu$ V/m)	Promedio Convencional (dB $\mu$ V/m)	Promedio Simulación (dB $\mu$ V/m)
Canal 26	96	95	90
Canal 27	97	96	91
Canal 28	98	93	85
Canal 29	99	94	86
Canal 30	95	95	87
Canal 31	96	92	88
Canal 34	97	93	89
Canal 36	98	94	90
Canal 40	95	95	91

Canal 41	96	96	92
Canal 42	97	93	93
Canal 43	98	94	86
Canal 44	99	95	87
Canal 45	95	92	88
Canal 47	96	93	89
Canal 48	97	94	90
Canal 49	98	95	91
Canal 50	99	93	92
Canal 51	95	92	85

Por otro lado, la figura 8 ilustra una comparación gráfica entre las mediciones efectuadas mediante la técnica convencional, las realizadas con el dron y los niveles simulados a través de *RadioMobile*. Estas comparaciones permiten evaluar la precisión de las mediciones y la concordancia entre los métodos empleados, proporcionando una visualización clara de las diferencias o similitudes entre los resultados.

**Figura 8**

*Comparaciones de las Mediciones Efectuadas y la Simulación*



## Tiempos Promedios de las Mediciones Realizadas por el Drone

La Tabla 5, presenta los tiempos promedio de las mediciones realizadas por el dron en los 10 sitios de medición para los 17 canales de televisión digital transmitidos en formato DVB-T. El proceso de medición implica que el dron se posicione en 4 puntos fijos separados por 5 longitudes de onda ( $\lambda$ ), realizando mediciones en intervalos de 3 minutos por cada sitio.

Durante cada intervalo de 3 minutos, se realizan mediciones cada 5 segundos. Este proceso se repite en cada punto de medición antes de que el dron se desplace al siguiente punto fijo. Es importante destacar que las condiciones ambientales, tales como la presión del viento, pueden influir en el posicionamiento del UAV, afectando así la estabilidad de las mediciones.

Una vez que el dron se estabiliza a una altura superior a 10 metros sobre el nivel del suelo, se procede a efectuar la medición. El tiempo requerido para estabilizarse antes de comenzar la medición, junto con otros factores como el tiempo de desplazamiento entre puntos, contribuyen al tiempo total de medición registrado en cada sitio.

### Tabla 5

*Tiempos promedios efectuados por el UAV en cada sitio de medición.*

Tiempo Promedio de Medición en cada punto Procedimiento con DRONE, (Minutos)											
CANAL	RX1	RX2	RX3	RX4	RX5	RX6	RX7	RX8	RX9	RX10	Tiempo Promedio
26	12.52	12.03	12.51	12.17	12.22	12.20	12.23	12.03	12.24	12.39	12.26
28	12.42	12.44	12.30	12.17	12.07	12.14	12.16	12.33	12.03	12.06	12.21
30	12.43	12.25	12.56	12.52	12.06	12.21	12.09	12.38	12.13	12.25	12.29
31	12.51	12.40	12.24	12.27	12.35	12.15	12.04	12.02	12.51	12.26	12.28
34	12.10	12.52	12.40	12.12	12.29	12.03	12.40	12.06	12.42	12.39	12.27
36	12.28	12.45	12.55	12.30	12.28	12.34	12.56	12.22	12.28	12.19	12.34
40	12.41	12.07	12.20	12.24	12.07	12.10	12.23	12.14	12.45	12.12	12.20
41	12.03	12.53	12.02	12.16	12.16	12.52	12.01	12.26	12.32	12.29	12.23
42	12.04	12.23	12.24	12.27	12.05	12.55	12.45	12.13	12.01	12.39	12.24
43	12.35	12.27	12.22	12.50	12.04	12.16	12.05	12.06	12.47	12.15	12.23
44	12.21	12.38	12.58	12.27	12.24	12.28	12.36	12.20	12.56	12.24	12.33
45	12.43	12.49	12.11	12.42	12.20	12.23	12.58	12.12	12.13	12.09	12.28

47	12.10	12.53	12.37	12.56	12.59	12.44	12.07	12.47	12.13	12.29	12.36
48	12.58	12.40	12.52	12.04	12.36	12.37	12.26	12.08	12.16	12.29	12.31
49	12.46	12.51	12.57	12.19	12.14	12.52	12.19	12.56	12.02	12.58	12.37
50	12.08	12.58	12.58	12.40	12.52	12.25	12.32	12.43	12.51	12.50	12.42
51	12.35	12.09	12.52	12.10	12.53	12.49	12.16	12.39	12.22	12.37	12.32
Tiempo promedio Total=											12.29

### Tiempos Promedios de las Mediciones Utilizando la Técnica Convencional

Los tiempos promedio de las mediciones realizadas mediante la técnica convencional están presentados en la Tabla 6. Esta técnica utiliza un soporte de 10 metros de altura, un sistema de antena omnidireccional, una extensión de línea coaxial de aproximadamente 10 metros, y los mismos instrumentos empleados en las mediciones realizadas con el dron (UAV).

Para la realización de las mediciones, se debió ubicar manualmente el equipo en 4 puntos fijos, utilizando un GPS y una brújula para determinar la orientación de los 4 puntos cardinales y establecer el cuadrante, con una separación de 5 longitudes de onda entre cada punto. Un aspecto particular de este procedimiento es que el soporte de 10 metros debe estar aislado del suelo para garantizar la seguridad de los operadores, evitando que entre en contacto con la tierra.

Una vez establecidos los 4 puntos fijos, el soporte y la antena se posicionan y se realiza la medición, asegurando la mayor perpendicularidad posible con el suelo. Despues de cada medición, todo el equipo se traslada al siguiente punto de medición. Este procedimiento se repite hasta completar todos los puntos fijos y canales establecidos en el estudio.

**Tabla 6**

*Tiempos promedios entre mediciones método convencional en cada punto por canal.*

Tiempo Promedio de Medición en cada punto Procedimiento Convencional, (Minutos)											
CANAL	RX1	RX2	RX3	RX4	RX5	RX6	RX7	RX8	RX9	RX10	Tiempo Promedio
26	17.05	17.89	17.13	17.37	16.71	17.89	15.19	15.75	17.52	15.58	16.81
28	17.82	16.54	15.34	16.57	16.89	15.41	16.29	15.80	15.31	17.05	16.30
30	15.77	15.26	17.01	15.02	15.57	17.33	15.48	15.37	16.73	16.95	16.05
31	16.99	15.82	15.62	17.77	15.04	15.62	17.47	16.17	16.87	17.19	16.45
34	17.11	15.84	15.88	17.50	16.52	15.25	17.04	16.37	16.60	15.62	16.37
36	15.52	17.61	16.65	16.90	17.77	17.99	17.78	15.62	15.56	17.07	16.85
40	16.68	15.96	17.54	15.52	15.50	15.69	15.46	16.46	16.71	17.89	16.34
41	15.05	15.04	15.22	15.26	15.50	16.01	17.14	17.42	17.19	15.07	15.89
42	17.97	16.39	17.04	17.81	15.90	15.41	16.31	17.89	17.65	15.20	16.76
43	16.66	15.60	17.76	15.07	16.71	15.64	17.87	15.09	17.34	17.75	16.55
44	16.64	16.53	15.39	15.44	16.86	16.32	17.08	16.01	17.76	15.18	16.32
45	17.52	17.03	15.38	16.46	15.03	17.50	17.02	16.03	17.59	16.70	16.62
47	17.14	15.17	15.53	16.71	15.37	17.61	17.74	15.47	16.95	15.03	16.27
48	17.74	15.43	16.90	17.91	17.15	15.54	16.05	16.04	16.55	17.97	16.73
49	16.95	15.36	15.12	16.08	16.00	16.31	16.74	16.73	16.49	16.92	16.27
50	17.13	15.69	18.02	15.47	15.24	15.06	16.89	16.50	17.34	17.11	16.44
51	16.19	17.16	15.02	17.65	15.26	15.29	17.57	16.50	16.41	16.31	16.34
Tiempo promedio Total=											16.44

**Diferencias entre los Tiempos de Mediciones: Método Convencional vs. UAV**

La Tabla 7 presenta un análisis detallado de las diferencias en los tiempos de medición obtenidos mediante la técnica convencional en comparación con la técnica empleada utilizando el dron (UAV). En este cuadro se destacan las variaciones de tiempo que surgieron en cada uno de los sitios de medición, en función de los métodos empleados.

**Tabla 7**

*Valores de tiempos medidos entre el método convencional comparado con el UAV.*

Diferencias de Tiempo entre procedimientos de medición (Con Drone y Convencional), minutos										
CANAL	RX1	RX2	RX3	RX4	RX5	RX6	RX7	RX8	RX9	Tiempo Acumulado
26	4.53	5.86	4.62	5.20	4.49	5.69	2.96	3.72	5.28	3.19
28	5.40	4.10	3.04	4.40	4.82	3.27	4.13	3.47	3.28	4.99
30	3.34	3.01	4.45	2.50	3.51	5.12	3.39	2.99	4.60	4.70
31	4.48	3.42	3.38	5.50	2.69	3.47	5.43	4.15	4.36	4.93
34	5.01	3.32	3.48	5.38	4.23	3.22	4.64	4.31	4.18	3.23
36	3.24	5.16	4.10	4.60	5.49	5.65	5.22	3.40	3.28	4.88
40	4.27	3.89	5.34	3.28	3.43	3.59	3.23	4.32	4.26	5.77
41	3.02	2.51	3.20	3.10	3.34	3.49	5.13	5.16	4.87	2.78
42	5.93	4.16	4.80	5.54	3.85	2.86	3.86	5.76	5.64	2.81
43	4.31	3.33	5.54	2.57	4.67	3.48	5.82	3.03	4.87	5.60
44	4.43	4.15	2.81	3.17	4.62	4.04	4.72	3.81	5.20	2.94
45	5.09	4.54	3.27	4.04	2.83	5.27	4.44	3.91	5.46	4.61
47	5.04	2.64	3.16	4.15	2.78	5.17	5.67	3.00	4.82	2.74
48	5.16	3.03	4.38	5.87	4.79	3.17	3.79	3.96	4.39	5.68
49	4.49	2.85	2.55	3.89	3.86	3.79	4.55	4.17	4.47	4.34
50	5.05	3.11	5.44	3.07	2.72	2.81	4.57	4.07	4.83	4.61
51	3.84	5.07	2.50	5.55	2.73	2.80	5.41	4.11	4.19	3.94
										Total de Tiempo=
										704.41

### Perfil del Trayecto de la Estación La Nueva Exitosa - Canal 28

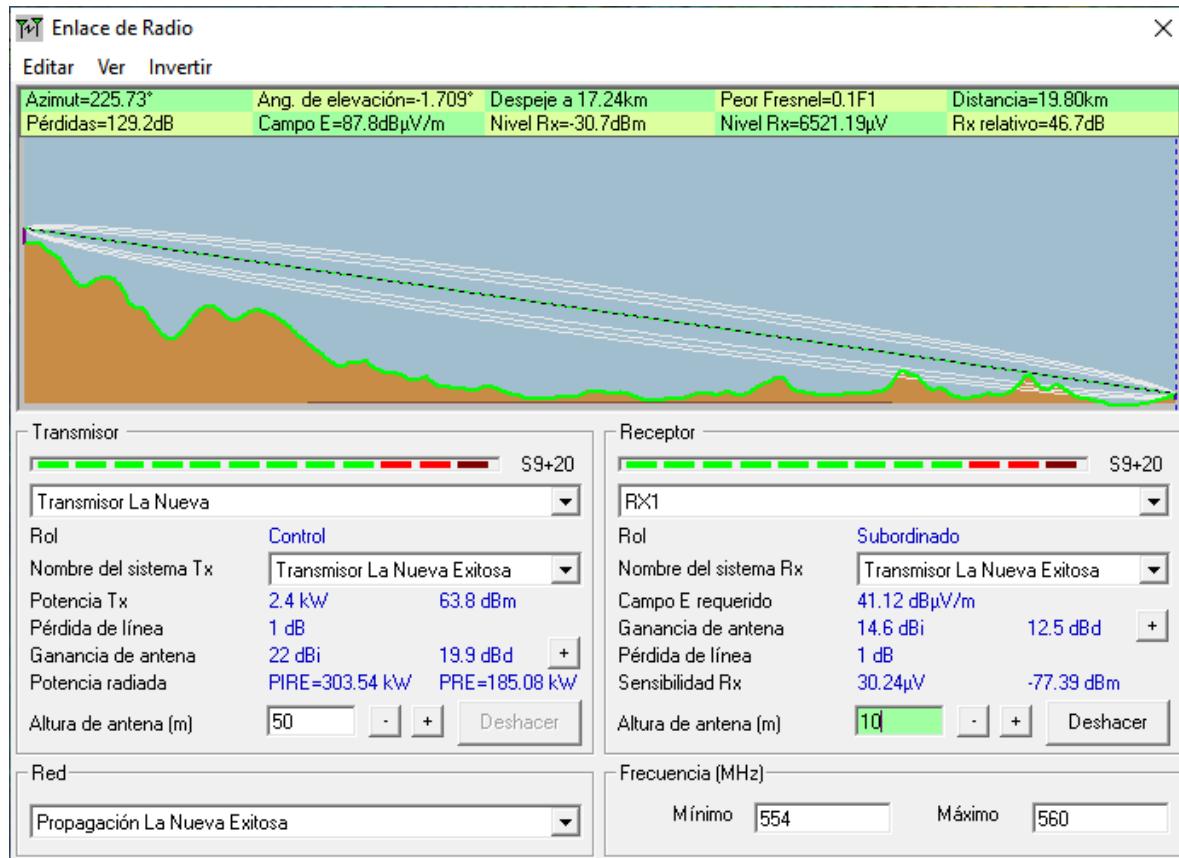
La figura 9 muestra el perfil del trayecto de la estación La Nueva Exitosa, correspondiente al canal 28, incluyendo todos los parámetros de transmisión relevantes. Esta simulación fue realizada utilizando la herramienta de simulación RadioMobile, la cual permite modelar y analizar la propagación de señales de radiofrecuencia en diferentes entornos (Al-Hourani et al., 2014; Yaliniz et al., 2016).

El análisis se llevó a cabo entre el sitio de transmisión del canal 28, ubicado en Cerro Azul, y el sitio de recepción RX1, en el Parque Centennial. La simulación permitió obtener una representación detallada del trayecto de la señal, considerando factores como la altitud, la distancia, y las características del terreno en la ruta de transmisión. Este perfil es fundamental para entender cómo se

comporta la señal a lo largo del trayecto y para evaluar la calidad de la recepción en el sitio destino.

**Figura 9**

*Estudio de la Cobertura del Transmisor La Nueva Exitosa (Canal 28)  
Utilizando el Software de Simulación RadioMobile en el Sitio RX1.*



### Perfil del Trayecto entre la Estación Istmeña y RX1 - Canal 30

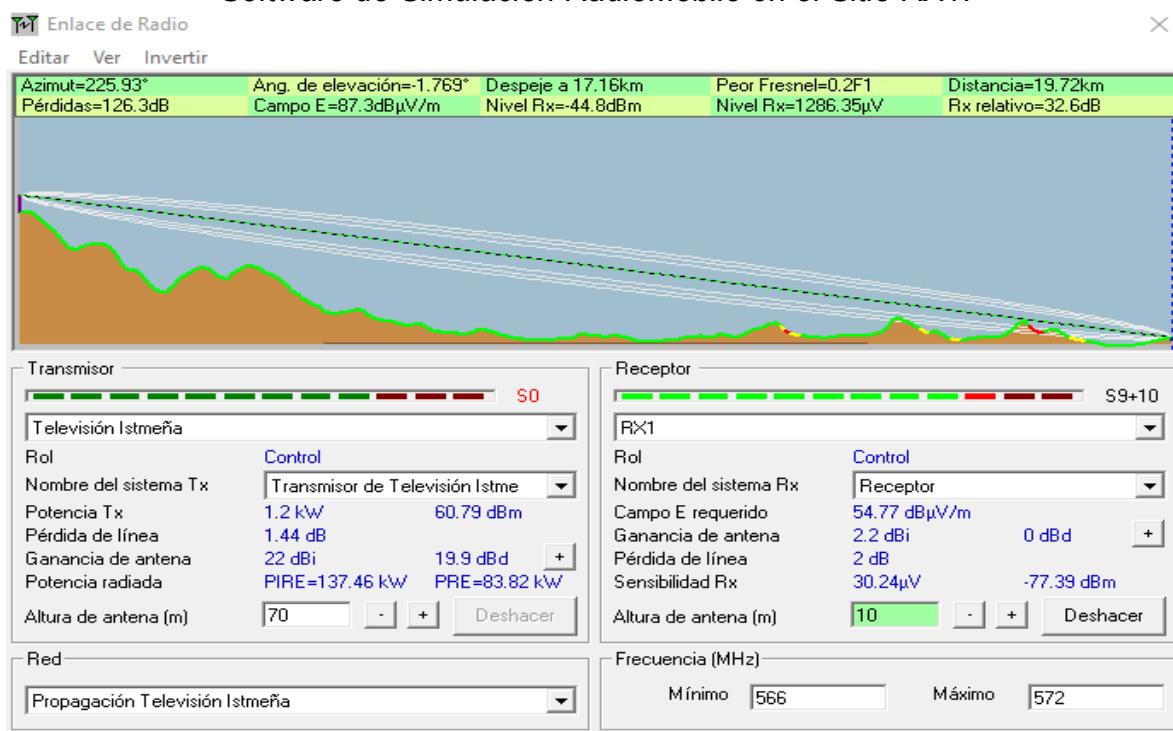
La figura 10 presenta el perfil del trayecto entre el sitio de la Estación Istmeña, ubicada en Cerro Azul, y el sitio de recepción RX1 en el Parque Centennial, para el canal 30. Este perfil fue generado utilizando la herramienta de simulación RadioMobile, que permite modelar la propagación de señales de radiofrecuencia a lo largo del trayecto.

El análisis realizado muestra cómo se comporta la señal de transmisión en

función de las características geográficas y la topografía del terreno entre ambos puntos. Este perfil es crucial para entender las variaciones en la señal y cómo factores como la distancia y las altitudes de ambos sitios impactan la calidad de la recepción en el sitio de destino.

## Figura 10

*Estudio de la Cobertura del Transmisor Televisora Istmeña (Canal 30) Utilizando el Software de Simulación RadioMobile en el Sitio RX1.*



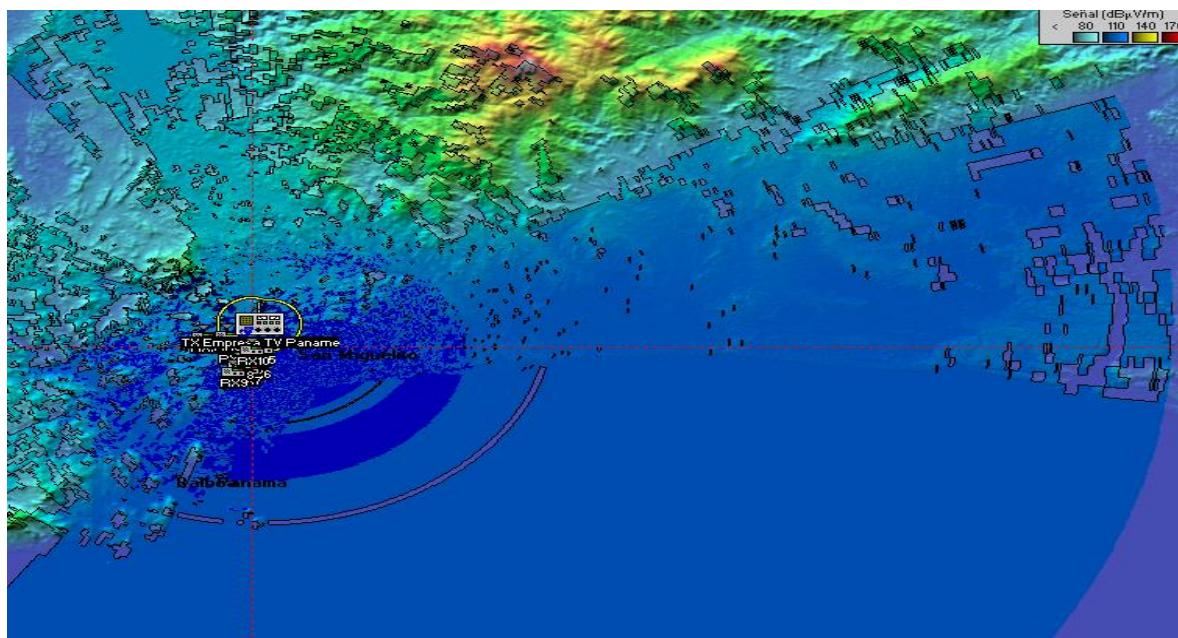
## Patrón de Cobertura de la Estación de Transmisión Istmeña - Canal 30

La figura 11 ilustra el patrón de cobertura de la Estación de Transmisión Istmeña para el canal 30, mostrando una cobertura aproximada que se extiende hasta la Ciudad de Panamá. El área de cobertura abarca un radio de aproximadamente 20 km, con contornos de intensidad de campo eléctrico de aproximadamente 110 dB $\mu$ V/m. Este patrón de cobertura es fundamental para comprender el alcance de la señal y la calidad de la recepción en la zona

circundante, proporcionando información clave sobre la distribución de la señal en función de la distancia y la intensidad de esta.

**Figura 11**

*Análisis de Cobertura de La Televisora Istmeña mediante el Software RadioMobile.*

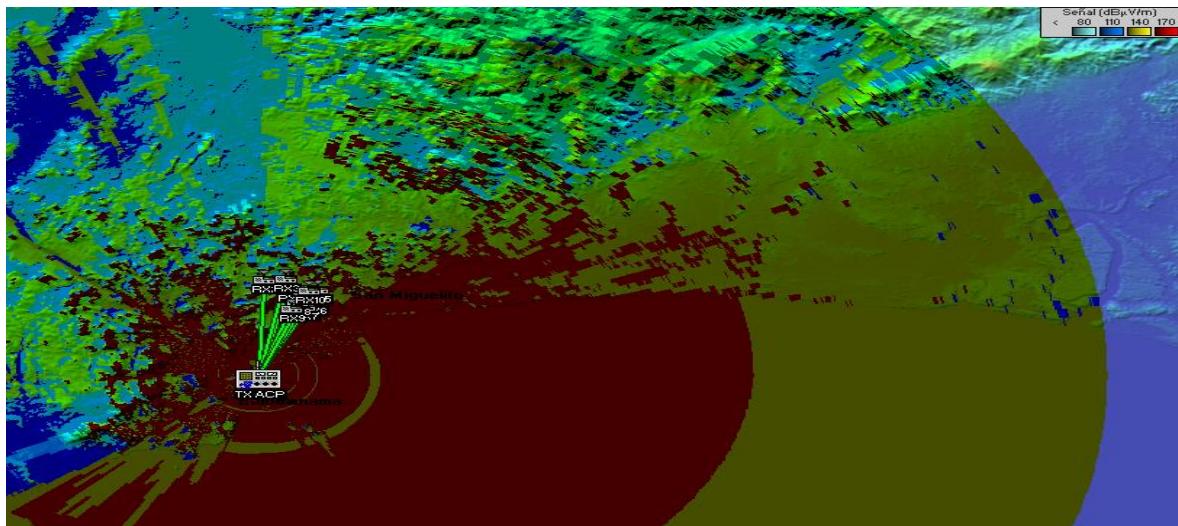


#### **Análisis de Cobertura de la Estación de Transmisión ACP - Canal 26**

La figura 12 presenta el análisis de cobertura para la Estación de Transmisión de la Autoridad del Canal de Panamá (ACP), ubicada en Cerro Ancón, para el canal 26. Este análisis considera un contorno de intensidad de campo eléctrico de aproximadamente 170 dB $\mu$ V/m, con un rango de cobertura de hasta 20 km. La representación de la cobertura permite evaluar la propagación de la señal a lo largo de esta distancia, proporcionando información clave sobre el alcance y la calidad de la señal en función de la intensidad medida en diferentes puntos dentro del área de cobertura.

**Figura 12**

## *Estudio de la Cobertura de la Estación Transmisora ACP.*



## Resultados

La Autoridad de Servicios Públicos de Panamá (ASEP, 2009) recomienda el uso de receptores DVB-T con un umbral de recepción de -93.6 dBm, operando en un rango de frecuencias de 512 MHz a 806 MHz. Este umbral permite un nivel de recepción que varía entre 37.79 dB $\mu$ V/m y 41.66 dB $\mu$ V/m. Para realizar las estimaciones de cobertura en el rango de frecuencias de operación de las estaciones de transmisión DVB-T, se utilizará la recomendación UIT REC-BT.2036-4, que establece el valor de referencia para una disponibilidad de cobertura del 95% en la Banda IV y Banda V. Este rango abarca frecuencias desde 470 MHz hasta 862 MHz, donde el nivel mínimo requerido para un ancho de banda de 6 MHz es de 29.7 dB $\mu$ V. Para las estimaciones de los niveles de cobertura entre los puntos de transmisión y los sitios de recepción, se tomará como referencia un valor de 47 dB $\mu$ V/m.

## Análisis del Porcentaje de Cobertura según los Métodos de Medición

La Tabla 8 resume el porcentaje de cobertura obtenido mediante los tres métodos de medición analizados: UAV (Vehículo Aéreo No Tripulado), método convencional y simulación con Radio Mobile, basándose en los resultados



detallados en los Cuadros 4 al 20 correspondientes a los canales 26, 28, 30, 31, 34, 36, 40, 41, 42, 43, 44, 45, 47, 48, 49, 50 y 51 en formato DVB-T. Según estos resultados, tanto el método UAV como el convencional muestran una cobertura del 100% en todos los canales evaluados, lo que confirma su consistencia y fiabilidad en la medición de la intensidad de señal. En contraste, el método de simulación presenta coberturas menores en varios canales, como los canales 28, 30, 43, 44, 47, 48, 49 y 50 con un 90%, y el canal 51, donde la cobertura desciende al 80%.

Durante la campaña de evaluación de señales DVB-T, se registraron diferencias notables en los tiempos de ejecución entre el método convencional y el método basado en vehículo aéreo no tripulado (UAV). Ambos métodos hicieron uso del mismo conjunto instrumental: receptor SDR-RTL, computadora Raspberry Pi 3 para captura y control, y antena instalada a una altura fija de 10 metros sobre el plano de medición.

Los datos obtenidos muestran que la implementación del UAV permitió un ahorro total de 704.41 minutos, equivalente a aproximadamente 11 horas y 44 minutos de operación. Este ahorro se traduce en una mejora significativa de la eficiencia del proceso, sin comprometer la calidad ni la consistencia de los datos recolectados.

En términos individuales por canal, el tiempo promedio ahorrado varió entre 36.60 minutos y 45.54 minutos, dependiendo de la ubicación y de la logística requerida en cada punto de medición. Esta diferencia temporal refleja no solo la agilidad operativa del UAV, sino también su capacidad para minimizar tareas repetitivas, desplazamientos físicos y configuraciones manuales, que suelen consumir una porción considerable del tiempo en métodos convencionales.

Los resultados confirman que el empleo de UAV representa una estrategia eficiente para la ejecución de campañas de medición en campo, optimizando recursos y permitiendo la cobertura de múltiples puntos geográficos en menor tiempo. Esta característica lo posiciona como una solución ventajosa para estudios

técnicos que requieren simultaneidad, precisión y rapidez en entornos urbanos o de difícil acceso.

**Tabla 8**

*Porcentaje de Cobertura de acuerdo al Método Utilizado en el estudio*

Canal de Transmisión en formato DVB-T	Porcentaje de Cobertura Según Método de Medición con UAV (%)	Porcentaje de Cobertura Según Método de Medición Convencional (%)	Porcentaje de Cobertura Según Valores de la Simulación con Radio Mobile (%)
26	100	100	100
28	100	100	90
30	100	100	90
31	100	100	100
34	100	100	100
36	100	100	100
40	100	100	100
41	100	100	100
42	100	100	100
43	100	100	90
44	100	100	90
45	100	100	100
47	100	100	90
48	100	100	90
49	100	100	90
50	100	100	90
51	100	100	80

## Discusión

El método de simulación, aunque útil como herramienta teórica inicial, refleja una mayor sensibilidad a las condiciones específicas del terreno y la topografía, factores que no parecen haber sido modelados adecuadamente. Por ejemplo, los resultados del canal 51 muestran una discrepancia considerable en comparación con los métodos UAV y convencional. Este comportamiento sugiere que la herramienta Radio Mobile requiere ajustes en su configuración para incorporar mejor las características ambientales y de propagación locales. Por el contrario, los



métodos UAV y convencional destacan por su estabilidad y confiabilidad en la medición de señal, superando consistentemente el umbral de recepción de 45.5 dB $\mu$ V/m en todos los puntos y canales evaluados.

En términos de consistencia, el UAV sobresale al minimizar la interferencia humana y automatizar el posicionamiento y la captura de datos, lo que reduce los tiempos requeridos en comparación con el método convencional. Este resultado es particularmente relevante en estudios de campo con múltiples puntos de medición, donde la velocidad y precisión son factores cruciales.

### **Métodos Estadísticos para Validación de Niveles de Cobertura**

Para validar la calidad de la cobertura y los niveles de intensidad del campo eléctrico, se empleó un Análisis de Varianza (ANOVA) (Gravetter, 2020). Este método permite determinar si existen diferencias estadísticamente significativas en los niveles de cobertura entre las distintas ubicaciones estudiadas.

### **Análisis Estadístico mediante ANOVA**

La prueba ANOVA se aplicó a los tres métodos de medición: UAV, Convencional y Simulación. Los resultados arrojaron un F-Statistic de 9.32 y un p-valor de 0.0018, lo que permite rechazar la hipótesis nula y confirmar que existen diferencias significativas entre los métodos. El UAV mostró los promedios más altos (96.54 dB $\mu$ V/m) y una dispersión mínima (0.69 dB $\mu$ V/m), consolidándose como el más preciso. La Simulación tuvo la mayor variabilidad (12.82 dB $\mu$ V/m), evidenciando la necesidad de ajustes. El método Convencional mostró un desempeño consistente, con promedios cercanos al UAV (94.51 dB $\mu$ V/m) y desviación estándar de 0.67 dB $\mu$ V/m.

### **Análisis de Sitios con Valores Promedio Más Alto y Más Bajo**

Se identificaron diferencias significativas entre los puntos de medición. RX5 (Entrada del Sector de Linda Vista) presentó el valor más alto (97.39 dB $\mu$ V/m), indicando condiciones ideales para la recepción. En cambio, RX9 (Sector de Villa de Las Fuentes No. 2) mostró el valor más bajo (93.11 dB $\mu$ V/m), posiblemente



debido a interferencias o factores topográficos. Estas observaciones fueron consistentes en las mediciones y simulaciones, resaltando la capacidad del método UAV para identificar con precisión la variabilidad espacial de la señal.

### Conclusiones

En primer lugar, el método UAV demostró ser el más eficiente en términos de tiempo de operación, logrando un ahorro acumulado de 704.41 minutos, equivalente a aproximadamente 11 horas y 44 minutos, en comparación con el método convencional. Este ahorro se atribuye a la automatización y rapidez del UAV para realizar mediciones en puntos previamente definidos, eliminando interferencias humanas y reduciendo el tiempo requerido para ajustes manuales. Esta ventaja hace del UAV una herramienta ideal para estudios de campo que requieren optimización del tiempo sin comprometer la calidad de las mediciones.

En cuanto a la cobertura de señal, el método UAV y el convencional garantizaron un porcentaje del 100% en todos los canales evaluados, mientras que la simulación presentó variaciones significativas. En algunos canales, como el 51, la cobertura simulada disminuyó al 80%, evidenciando inconsistencias en las predicciones de la herramienta Radio Mobile. Este resultado subraya la superioridad de los métodos prácticos, especialmente del UAV, que no solo alcanzó la cobertura total, sino que también demostró mayor precisión y adaptabilidad a condiciones del terreno.

El análisis estadístico mediante ANOVA confirmó que existen diferencias significativas entre los tres métodos de medición ( $p=0.0018$ ). El UAV se posicionó como el método más efectivo, al presentar los promedios más altos de intensidad de señal (96.54 dB $\mu$ V/m) y la menor dispersión (0.69 dB $\mu$ V/m). Por el contrario, la simulación mostró la mayor variabilidad (12.82 dB $\mu$ V/m), lo que indica la necesidad de ajustes en esta herramienta para mejorar su precisión. Este análisis estadístico resalta la importancia de emplear métodos prácticos como el UAV, que ofrecen



resultados más consistentes y confiables.

Finalmente, en el análisis de los puntos de recepción, el sitio RX5 presentó el promedio más alto de intensidad de señal (97.39 dB $\mu$ V/m), lo que sugiere condiciones óptimas de recepción en este punto. Por el contrario, el sitio RX9 mostró el promedio más bajo (93.11 dB $\mu$ V/m), evidenciando problemas de propagación en esta ubicación, probablemente debido a interferencias locales o características topográficas desfavorables. Estas observaciones refuerzan la utilidad del UAV para identificar con precisión las variaciones locales y generar un mapeo detallado de la cobertura de señal.

Además, se concluye que el uso de UAVs en este tipo de estudios es plenamente viable desde una perspectiva operativa y técnica. Esta tecnología no solo reduce los tiempos de medición, sino que también disminuye los riesgos operacionales y permite un acceso más flexible a zonas con limitaciones geográficas, todo esto sin comprometer la calidad del dato medido. Los resultados de este estudio destacan la eficacia del método UAV en términos de ahorro de tiempo, precisión en las mediciones y cobertura de señal. Este enfoque no solo supera a los métodos convencionales y de simulación, sino que también proporciona un análisis más robusto y adaptable a diversas condiciones del terreno. La implementación de esta tecnología es, sin duda, un avance significativo en la evaluación y mejora de la calidad de señal en formatos DVB-T.

### **Agradecimientos**

Este proyecto de investigación contó con el invaluable apoyo de la Vicerrectoría de Investigación y Postgrado de la Universidad de Panamá, cuya colaboración y compromiso fueron fundamentales para su realización. Agradecemos especialmente a la Dirección de Investigación por su respaldo continuo y por proporcionar las herramientas necesarias para el desarrollo de este estudio.



Expresamos nuestra gratitud al Departamento de Compras y a todo el personal involucrado en estas unidades, quienes, con su dedicación y esfuerzo, hicieron posible la ejecución de este proyecto. Su apoyo en cada etapa del proceso fue esencial para superar los desafíos y garantizar el éxito de esta investigación. Este trabajo es un reflejo del esfuerzo conjunto y la dedicación al avance del conocimiento en el ámbito académico y tecnológico.

## Referencias Bibliográficas

- Al-Hourani, A., Kandeepan, S., y Lardner, S. (2014). Optimal LAP altitude for maximum coverage. *IEEE Wireless Communications Letters*, 3(6), 569–572. <http://dx.doi.org/10.1109/LWC.2014.2342736>
- Autoridad Nacional de los Servicios Públicos (ASEP). (2009). Recomendaciones técnicas para la recepción de señales de televisión digital terrestre (DVB-T) en Panamá. ASEP. <https://www.asep.gob.pa/>
- Autoridad de los Servicios Públicos (ASEP). (2023). Base de datos de frecuencias operativas de transmisión de señales de televisión digital DVB-T. ASEP. <https://asep.gob.pa/direcciones/telecomunicaciones/radio-y-television-digital/>
- Fanan, A., Riley, N., Mehdawi, M., Ammar, M., y Zolfaghari, M. (2016, January 8). Comparison of spectrum occupancy measurements using software defined radio RTL-SDR with a conventional spectrum analyzer approach. 2015 23rd Telecommunications Forum Telfor (TELFOR), 200–203. <https://doi.org/10.1109/TELFOR.2015.7377447>
- Gravetter, F. J., y Wallnau, L. B. (2020). Statistics for the Behavioral Sciences (10th ed.). Cengage Learning.
- International Telecommunication Union. (2005). Recommendation ITU-R SM.1708-1: Field-strength measurements along a route with geographical coordinate registrations. ITU-R. <https://www.itu.int/rec/R-REC-SM.1708-1>
- International Telecommunication Union. (2020). SM.1875: DVB-T/T2 coverage measurements and verification of planning criteria. [https://www.itu.int/dms\\_pubrec/itu-r/rec/sm/R-REC-SM.1875-4-202209-1!!PDF-E.pdf](https://www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/sm/R-REC-SM.1875-4-202209-1!!PDF-E.pdf)



- Ježek, J., Říha, O., y Voňka, J. (2019). DVB-T-based passive radar for simultaneous counter-drone operations and civil air traffic surveillance. *IET Radar, Sonar y Navigation*, 13(1), 75–84. <https://doi.org/10.1049/iet-rsn.2019.0309>
- Kamo, B., Agastra, E., y Cakaj, S. (2020). DVB-T2 radio frequency signal observation and parameter correlation. *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, 11(6). <https://doi.org/10.14569/IJACSA.2020.0110617>.
- Li, B., Fei, Z., y Zhang, Y. (2019). UAV communications for 5G and beyond: Recent advances and future trends. *IEEE Internet of Things Journal*, 6(2), 2241–2263. <https://doi.org/10.1109/JIOT.2018.2887086>
- Moses, O., Daramola, O., y Ayoola, O. (2020). Enhancing DVB-T2 signal reception with SDR technology. *Journal of Communications Engineering*, 45(3), 345–356. <https://doi.org/10.1109/JCE.2020.123456>.
- Mozaffari, M., Saad, W., Bennis, M., y Debbah, M. (2016). Efficient deployment of multiple unmanned aerial vehicles for optimal wireless coverage. *IEEE Communications Letters*, 20(8), 1647–1650. <https://doi.org/10.1109/LCOMM.2016.2578310>
- Nasir, A. A., Tuan, H. D., Duong, Q., y Poor, H. V. (2019). UAV-Enabled Communication Using NOMA. *IEEE Transactions on Communications*. Advance online publication. <https://doi.org/10.1109/TCOMM.2019.2906622>
- OTA DTV. (2023). TV Broadcast Tower Locator. Recuperado de <https://otadtv.com/tvtower/index.html>
- Tonchev, K., Mihovska, A., y Poulkov, V. (2022). UAV-based volumetric measurements toward radio environment map construction and analysis. *Sensors*, 22(24), 9705. <https://doi.org/10.3390/s22249705>.
- Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT). (2023). Consideraciones de planificación para la introducción de servicios de televisión digital terrestre en bandas de frecuencia concernientes (Recomendación UIT-R BT.2036-5). [https://www.itu.int/dms\\_pubrec/itu-r/rec/bt/R-REC-BT.2036-5-202305-I!!PDF-S.pdf](https://www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/bt/R-REC-BT.2036-5-202305-I!!PDF-S.pdf)
- Wei, Z., Zhu, M., Zhang, N., y Wang, L. et al. (2022). UAV assisted data collection for Internet of Things: A survey. *IEEE Internet of Things Journal*, 9(17), 1–20. <https://doi.org/10.1109/JIOT.2022.3176903>
- Yaliniz, I. R., El-Keyi, A., y Yanikomeroglu, H. (2016). Efficient 3-D placement of an aerial base station in next generation cellular networks. In *IEEE Internatio*



pp. 155 – 179

## Percepción de docentes y estudiantes del impacto de la inteligencia artificial en la comunicación social y la sociedad del conocimiento

### Perception of teachers and students of the impact of artificial intelligence on social communication and knowledge society

Hermelinda I. Vigil

Universidad de Panamá, Centro Regional Universitario de Azuero, Panamá

[hermelinda.vigil@up.ac.pa](mailto:hermelinda.vigil@up.ac.pa)

<https://orcid.org/0000-0001-6019-0844>

Octavio Castillo Álvarez

Universidad de Panamá, Facultad de Comunicación Social, Panamá

[octavio.castilloa@up.ac.pa](mailto:octavio.castilloa@up.ac.pa)

<https://orcid.org/0009-0009-7265-5050>

Leopoldo Bermúdez-Buitrago

Universidad de Panamá, Facultad de Comunicación Social, Panamá

[Leobermudez21@hotmail.com](mailto:Leobermudez21@hotmail.com)

<https://orcid.org/0000-0002-9347-0348>

Recepción: 07/03/2024

Aprobación: 07/04/2025

DOI:

#### Resumen

En las últimas décadas, los avances tecnológicos impulsados por la creatividad humana han convertido a la tecnología en el recurso económico más valioso de las naciones, destacando la Inteligencia (IA) como un elemento clave. En este contexto, la información ha evolucionado hacia un proceso complejo que exige un manejo adecuado de las Tecnologías de la Información y Comunicación (TIC). Este estudio busca analizar el impacto de la IA en la comunicación social y su aporte al desarrollo de la sociedad del conocimiento. Con un diseño observacional y no experimental, la muestra estuvo compuesta por 130 personas seleccionadas mediante un muestreo probabilístico, y la información se recolectó mediante encuestas estructuradas con preguntas cerradas y de selección múltiple. Se aplicó una encuesta a docentes y estudiantes de la Facultad de Comunicación Social de la Universidad de Panamá para evaluar su percepción sobre la influencia de la IA en el



campo de la comunicación. Los resultados sugieren que la IA tiene un enorme potencial transformador, facilitando la innovación en sectores clave como medicina, educación, transporte y comunicación. Además, contribuye al acceso y desarrollo de nuevos conocimientos, posicionando a la sociedad a la vanguardia del saber.

**Palabras claves:** Inteligencia artificial, lenguaje de la comunicación, sociedad del conocimiento, periodismo

## Summary

In recent decades, technological advances driven by human creativity have made technology the most valuable economic resource for nations, with intelligence (AI) standing out as a key element. In this context, information has evolved into a complex process that requires proper management of Information and Communication Technologies (ICTs). This study seeks to analyze the impact of AI on social communication and its support for the development of the knowledge society. Using an observational, non-experimental design, the sample consisted of 130 people selected through probability sampling, and information was collected through structured surveys with closed-ended and multiple-choice questions. A survey was administered to faculty and students at the Faculty of Social Communication at the University of Panama to assess their perception of the influence of AI in the field of communication. The results suggest that AI has enormous transformative potential, facilitating innovation in key sectors such as medicine, education, transportation, and communication. Furthermore, it contributes to the access and development of new knowledge, positioning society at the forefront of learning.

**Keywords:** Artificial intelligence, language communication, knowledge society, journalism

## Introducción

En los últimos años del siglo XXI, la tecnología ha avanzado significativamente gracias a la creatividad humana, Ramirez (2024) señala que en los últimos 70 años, la humanidad ha vivido una acelerada transformación tecnológica, desde el transistor de 1947 hasta los avances actuales en inteligencia artificial, impactando profundamente todos los ámbitos de la vida. convirtiéndose en el activo económico más importante de las naciones. Soto Corzo et al. (2024) manifiestan que: "en la sociedad moderna, los avances tecnológicos se asimilan constantemente, lo que ha llevado al surgimiento de nuevos paradigmas en la difusión, creación y compartir el conocimiento". (p.2) En este contexto, la Inteligencia Artificial (IA) ha llegado a transformar diversos aspectos de la sociedad.

La información, como actividad central, demanda conocimiento y dominio de



las tecnologías de la información y la comunicación (TIC); definidas por Heinze et al.(2017) como herramientas esenciales para almacenar, procesar, recuperar y transmitir datos, permitiendo un acceso más rápido y preciso a la información.

Desde la década de 1970, cuando se empezó a hablar de la “sociedad de la información”, se reconoció el valor estratégico de los datos, lo que dio impulso a las TIC y provocó transformaciones en los ámbitos económico, social, político, educativo y cultural. El desarrollo de la IA ha sido acelerado por incentivos tecnológicos, financieros y humanos Ocampo (2018b). Las tecnologías han redefinido factores clave de la sociedad, incluyendo la política, la educación, la comunicación, el entretenimiento y el comportamiento humano. Como afirma Bartolomé (2011), las *TIC* han introducido nuevos lenguajes y formas de representación del conocimiento. Así, surge la sociedad del conocimiento, como resultado de tres campos interrelacionados: tecnología de la información, telecomunicaciones y medios de comunicación. Frente a esto Forero (2009) señala que, en el contexto de la construcción de las sociedades del conocimiento, uno de los desafíos más comunes que enfrentan los países en desarrollo es la limitación para apropiarse y manejar adecuadamente la tecnología.

En el marco de la sociedad del conocimiento, la IA ha facilitado nuevas formas de gestionar y aplicar el saber en múltiples ámbitos. Aldana (2000) manifiesta que en el corazón de esta sociedad del nuevo milenio se encuentra la revolución de las tecnologías de la información, cuyo rasgo fundamental no es simplemente la acumulación de datos y conocimientos, sino su aplicación en la creación de sistemas para la generación y el procesamiento de la información. La sociedad del conocimiento no constituye una realidad plenamente consolidada en la actualidad, sino como una fase evolutiva en la cual se encamina la humanidad, superando progresivamente la etapa de la era de la información Cazaux (2008). Donde la IA representa una fuerza transformadora con un inmenso potencial para el progreso y la optimización en diversos ámbitos, pero también plantea desafíos



significativos que deben abordarse para garantizar su implementación ética y equitativa, Villagomez (2025). En conjunto con otras nuevas tecnologías están evolucionando el ecosistema de Internet, La incorporación masiva de esta tecnología en la sociedad podría transformar profundamente la capacidad de las personas para tomar decisiones de forma independiente, Antonov (2022).

La comunicación también ha sido profundamente modificada, cambiando la manera en que las personas nos comunicamos especialmente en términos de lenguaje y comprensión. Flores (2023) plantea que el estudio y desarrollo de la **inteligencia artificial** ha estado intrínsecamente ligado al desafío de la **adquisición del lenguaje humano**, representando un reto crucial para la **lingüística computacional** y para la comprensión de la **cognición humana** en las últimas décadas. Seijas-Costa (2023) La integración de tecnologías digitales e inteligencia artificial en los entornos comunicacionales abre oportunidades significativas para contrarrestar la desinformación, optimizar la gestión de la privacidad de los usuarios y consolidar un enfoque ético orientado a minimizar los sesgos en los procesos de producción y difusión informativa.

La tecnología ha permeado profundamente el entorno laboral, social y personal; en donde cada puesto de trabajo utiliza herramientas cada vez más avanzadas para optimizar su rendimiento y eficiencia. García (2022) Estos entornos comprenden tanto los fenómenos mediáticos y sus dinámicas de apropiación, como las prácticas sociales vinculadas a la producción, el debate, la representación y la comunicación de tendencias, normas y patrones de conducta. La IA reconocida como una de las tecnologías emergentes más disruptivas del siglo XXI, ha generado un amplio espectro de debates respecto a su influencia en distintos ámbitos del conocimiento y la práctica profesional. Según Ramos (2019), la mayoría de los esfuerzos actuales en IA se centran en el aprendizaje automático. Gonzales-Trejo y Julián-Ortega (2023), destacan que esta tecnología permite funciones como la generación de contenido y la reescritura de textos existentes.



Hoy en día, tanto organizaciones como individuos deben integrar tecnologías digitales para adaptarse a nuevas dinámicas y responder eficazmente a las demandas del entorno digital Cueva (2020). La tecnología ha influido profundamente en todos los campos de la actividad humana, y la IA como rama de la informática dedicada al diseño de sistemas que simulan la inteligencia humana, ha sido clave para este desarrollo Ocampo (2018a), al buscar soluciones que mejoren la calidad de vida y resuelvan desafíos sociales complejos.

Los avances en comunicación social han generado nuevas formas de crear, gestionar y compartir información mediante la IA. Tozcano (2015) señala que la sociedad actual se caracteriza por la expansión tecnológica, la proliferación de redes de comunicación, el rápido progreso científico y la globalización informativa. Esta revolución tecnológica ha facilitado una interacción más intuitiva con el entorno digital, optimizando procesos y mejorando la experiencia del usuario mediante recomendaciones personalizadas y herramientas avanzadas Girón (2023).

En el campo de la comunicación social se ha abierto nuevas posibilidades y, a la vez, planteado desafíos significativos en torno a la producción, difusión y recepción de la información. El presente artículo se propone examinar el aporte de la IA al desarrollo de la sociedad contemporánea, centrándose en su aplicación en actividades vinculadas a la comunicación social, su incidencia en el ejercicio del periodismo y su papel en la transformación del lenguaje como herramienta de interacción y construcción social. De igual manera que identificar las herramientas de inteligencia artificial de mayor uso entre la población objeto de análisis, así como examinar las percepciones sobre su impacto en los procesos comunicacionales.

La Inteligencia Artificial representa una consecuencia directa del progreso tecnológico asociado a la Cuarta Revolución Industrial, la cual se distingue por su impacto sistémico y su capacidad para impulsar transformaciones de alcance global Túñez (2021). En el ámbito de la comunicación, la IA actúa como un agente de cambio en la sociedad del conocimiento, redefiniendo cómo accedemos a la



información e interactuamos, y configuramos nuestra percepción del mundo. Desde algoritmos de recomendación hasta chatbots y sistemas de procesamiento del lenguaje natural, esta tecnología impulsa nuevas formas de comunicación, con implicaciones éticas y sociales importantes.

El periodismo ha sido uno de los campos más impactados por la incorporación de sistemas de IA en sus rutinas profesionales. Gómez-Calderon y Ceballos (2024) manifiesta que la influencia de la inteligencia artificial en el periodismo está generando un creciente interés tanto en el entorno académico como en los medios de comunicación, que cada vez la consideran con mayor atención. Sin embargo, existen riesgos inherentes al uso de algoritmos, como la reproducción de sesgos y la afectación de la objetividad informativa. En ese sentido Mittelstadt et al. (2016) señalan que los sesgos algorítmicos pueden perpetuar desigualdades sociales y afectar la ética periodística. Esta evolución tecnológica ha optimizado la eficiencia y la rapidez en la generación de noticias, reconfigurando las dinámicas tradicionales de las redacciones. Según, Illuecas et al. (2025) la implementación de herramientas basadas en inteligencia artificial en las salas de redacción exige una revisión crítica de los roles periodísticos, el control de calidad de los contenidos y la formación profesional.

Otro aspecto esencial en la integración de la inteligencia artificial en los medios de comunicación es la personalización del consumo informativo. A través del análisis de preferencias individuales, los algoritmos permiten ofrecer contenido adaptado a los intereses del usuario, optimizando así su experiencia. Sin embargo, esta práctica también conlleva riesgos significativos. Como advierte Ibarra et al (2023), aunque la personalización mejora la accesibilidad y la pertinencia de la información, puede restringir la diversidad informativa disponible y reforzar sesgos cognitivos, lo que favorece la formación de burbujas informativas y procesos de polarización ideológica. Franganillo (2023) sostiene que, en el ámbito de los medios de comunicación, la inteligencia artificial (IA) ha posibilitado una producción de



contenido más rápida y eficiente. No obstante, el autor advierte sobre los riesgos inherentes a su uso, especialmente en lo que respecta a la autenticidad, calidad y veracidad de la información. La IA podría, en efecto, facilitar la manipulación y falsificación de contenidos, lo que plantea serias preocupaciones sobre la integridad informativa en el entorno digital.

La inteligencia artificial (IA) ha representado un avance significativo en la producción periodística, al permitir la generación rápida de noticias, la automatización de redacciones y la mejora en los procesos de verificación de hechos, mediante algoritmos capaces de detectar información falsa o manipulada. No obstante, su integración plantea importantes retos éticos y profesionales que no pueden ser ignorados. En este sentido, su implementación debe ir acompañada de marcos normativos y principios éticos que garanticen un uso responsable. Como advierte Spinak (2024), los modelos de IA no están diseñados para tomar decisiones críticas, ni para ser utilizados en contextos donde sus acciones puedan tener consecuencias materiales sobre el sustento o el bienestar de las personas.

El avance de la sociedad del conocimiento ha estado profundamente vinculado al pensamiento crítico, la ciencia, la educación y su aplicación práctica. En este ámbito, la inteligencia artificial se configura como una herramienta con un potencial transformador sin precedentes. No obstante, su impacto social dependerá del uso que se le dé. Como advierte Verrastro (2024), la IA puede emplearse para construir una sociedad más equitativa y eficiente, pero también tiene el potencial de causar daños significativos si no se regula adecuadamente. Sus aplicaciones, en constante expansión, abarcan desde la automatización de procesos hasta la personalización de contenidos, lo cual exige una reflexión crítica y una gobernanza tecnológica sólida que vele por el interés público.

Frente a este panorama, resulta esencial que los comunicadores se enfrenten a los desafíos emergentes derivados de la IA, desarrollando nuevas habilidades y competencias que les permitan adaptarse a este nuevo entorno. En



este sentido, la transformación tecnológica apunta a un cambio profundo hacia un paradigma mediático donde las herramientas digitales y los algoritmos en constante evolución ocupan un papel central, redefiniendo la práctica del periodismo y la comunicación.

## **Materiales y Métodos**

Para la realización de este estudio, se empleó una metodología sencilla pero efectiva, con el propósito de obtener información sobre la percepción de docentes y estudiantes de la Facultad de Comunicación Social respecto al aporte de la inteligencia artificial (IA) en la comunicación social, en el marco de la sociedad del conocimiento. Dada la relevancia de esta temática global, resulta fundamental que la sociedad esté bien informada sobre el uso de la IA en las diversas actividades sociales, educativas y comunicativas contemporáneas.

### **Diseño de la Investigación**

El estudio adoptó un diseño observacional no experimental, con un enfoque descriptivo. Esta elección permitió observar y describir las percepciones de docentes y estudiantes en torno al uso de la inteligencia artificial en el ámbito de la comunicación social, sin manipular las variables del entorno. El diseño se justifica por su adecuación para estudios de tipo cualitativo que buscan interpretar significados y construcciones sociales en contextos naturales.

### **Tipo de Investigación**

La investigación fue de tipo cualitativo, orientada a interpretar las percepciones, opiniones y actitudes de los participantes Hernández et al. (2014). Se utilizó un enfoque descriptivo con el fin de analizar la percepción de los estudiantes y docentes de la facultad de comunicación social de la universidad de Panamá. Esta metodología fue seleccionada por su idoneidad para explorar fenómenos sociales complejos sin requerir la comprobación de hipótesis cuantitativas.



## Población y Muestra

Población: Docentes y estudiantes de la Facultad de Comunicación Social de la Universidad de Panamá, con acceso a medios de comunicación tradicionales.

Muestra: 130 personas seleccionadas mediante un muestreo no probabilístico intencional, con base en su acceso a los medios. La selección incluyó participantes del Campus Central de la Universidad y del distrito de Chitré, en la provincia de Herrera, con el fin de asegurar diversidad geográfica, no así incluyendo en su análisis una separación geográfica. El muestreo no probabilístico fue pertinente para los fines de un estudio cualitativo, en el que se privilegia la riqueza y profundidad de los datos por encima de la representatividad estadística Hernández, et al (2014)

## Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos

Técnica utilizada: Encuesta.

Instrumento: Cuestionario estructurado, compuesto por 15 preguntas cerradas (dicotómicas y de selección múltiple), organizado en tres secciones:

Datos demográficos: Edad, género y nivel académico.

Conocimiento sobre inteligencia artificial: Fuentes de información, frecuencia de exposición y consecuencias percibidas.

Opiniones y actitudes: Percepción del impacto informativo de los medios en relación con la inteligencia artificial.

Medio de aplicación: El cuestionario fue diseñado utilizando Microsoft Forms, Microsoft Corporation (2016, EE.UU.) para facilitar la creación de encuestas y formularios digitales, facilitando la organización recolección y el análisis de datos.

## Análisis de Datos

Software utilizado: El análisis cualitativo de los datos se realizó con el software NVivo (QSR International, Australia), el cual permitió codificar, categorizar

e identificar patrones temáticos en las respuestas. Para las preguntas cerradas de carácter cuantitativo-descriptivo, se utilizó IBM SPSS Statistics (IBM Corp., EE.UU.).

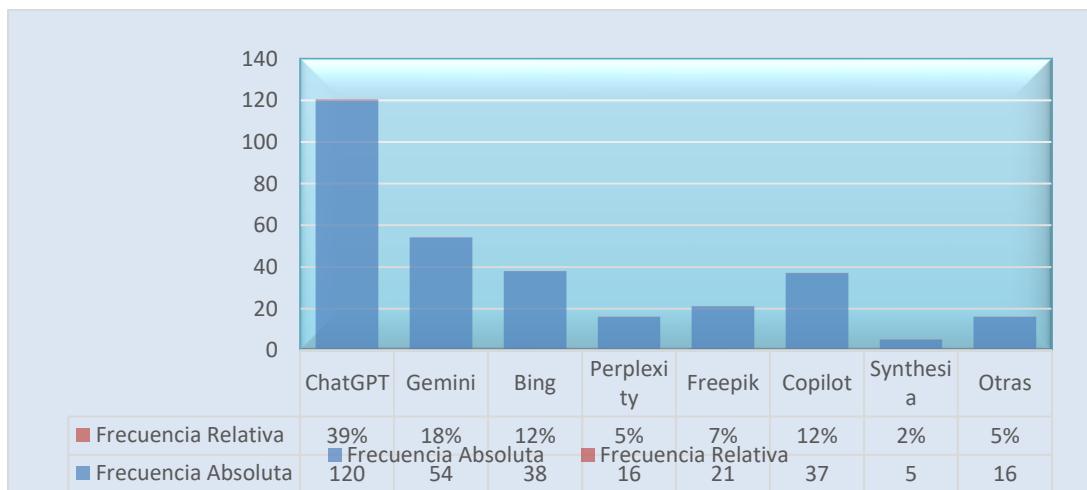
Referencia metodológica: El procedimiento de análisis cualitativo se desarrolló conforme a las recomendaciones de, Salas y Cornejo (2011) el valor científico de una investigación y su capacidad para generar conocimiento significativo están directamente vinculados con la solidez metodológica empleada en la recolección y el análisis de los datos. Garantizando el rigor en la interpretación de los datos.

## Resultados

Para llevar a cabo este estudio, se optó por una metodología sencilla pero efectiva, con el objetivo de obtener información acerca del aporte de la inteligencia artificial a la comunicación social frente a la sociedad del conocimiento. Dada la relevancia de esta realidad mundial, es fundamental que se obtenga información de cómo es percibida y utilizada la IA. En el campo educativo y profesional de la comunicación social es de importante el conocimiento acerca de esta tecnología.

**Figura 1**

*Reconocimiento de herramientas de inteligencia artificial*



**Nota:** Nivel de reconocimiento de herramientas de inteligencia artificial por parte de docentes y estudiantes.

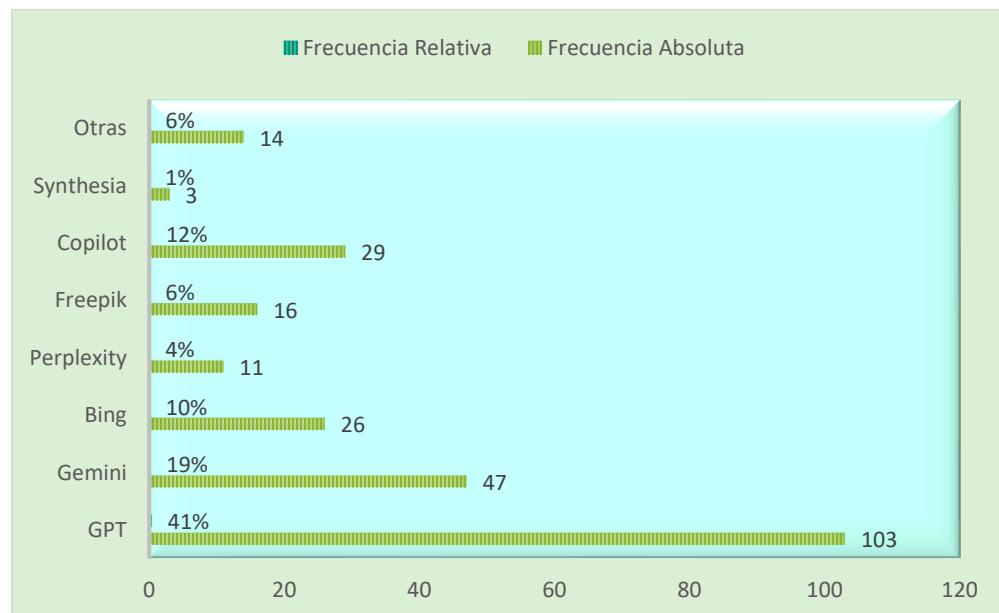
Los datos muestran que ChatGPT es la herramienta de IA más reconocida entre docentes y estudiantes de comunicación social, con un 39% de menciones. Le siguen Gemini (18%), y tanto Bing AI como Copilot, con un 12% cada uno, lo que indica una familiaridad moderada con estas alternativas.

En contraste, herramientas más especializadas como Freepik (7%), Perplexity (5%) y Synthesia (2%) presentan un menor nivel de reconocimiento, posiblemente por su enfoque técnico o visual más específico.

Esta distribución sugiere que las herramientas más conocidas son aquellas que ofrecen funciones aplicables directamente a la generación de texto y asistencia comunicativa, lo que refleja el papel central de la IA en la transformación del campo de la comunicación social.

**Figura 2**

*Uso de herramientas de inteligencia artificial*



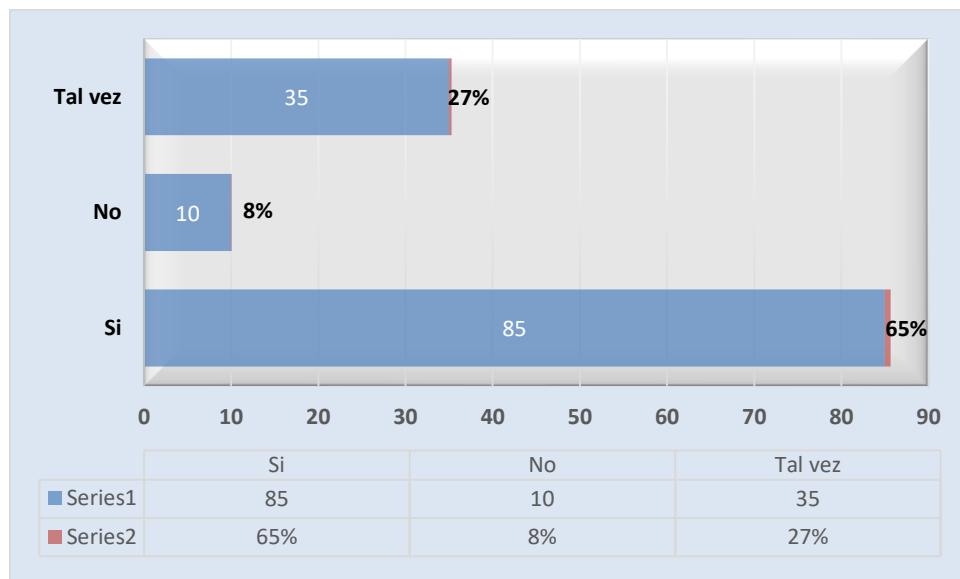
**Nota:** Cifras del uso de herramientas de inteligencia artificial por parte de estudiantes y docentes.

La figura 3 revela que ChatGPT es la herramienta de inteligencia artificial más utilizada, con un 41% de los encuestados que afirman emplearla. Le siguen Gemini (19%), Copilot (12%) y Bing AI (10%). Herramientas como Freepik y otras plataformas similares alcanzan un 6%, mientras que Perplexity (4%) y Synthesia (1%) muestran menor uso.

En general, las herramientas con aplicaciones más versátiles en generación de contenido y comunicación, como ChatGPT, dominan el panorama. Las plataformas especializadas presentan un uso más limitado, lo que indica que su adopción depende de necesidades específicas. Estos datos confirman una tendencia clara hacia el uso de IA conversacional como recurso clave en la comunicación social dentro de la sociedad del conocimiento.

**Figura 3**

*Percepción sobre la influencia de la IA en el lenguaje de la comunicación social*



*Nota: Influencia de la inteligencia artificial en el lenguaje de la comunicación social, según la percepción de docentes y estudiantes.*

La figura muestra que un 65% de los encuestados considera que la inteligencia artificial influye en el lenguaje de la comunicación social. Este alto porcentaje evidencia una percepción generalizada sobre el impacto de la IA en la forma de comunicarnos, especialmente a través de herramientas como asistentes virtuales, traductores automáticos y generadores de contenido.

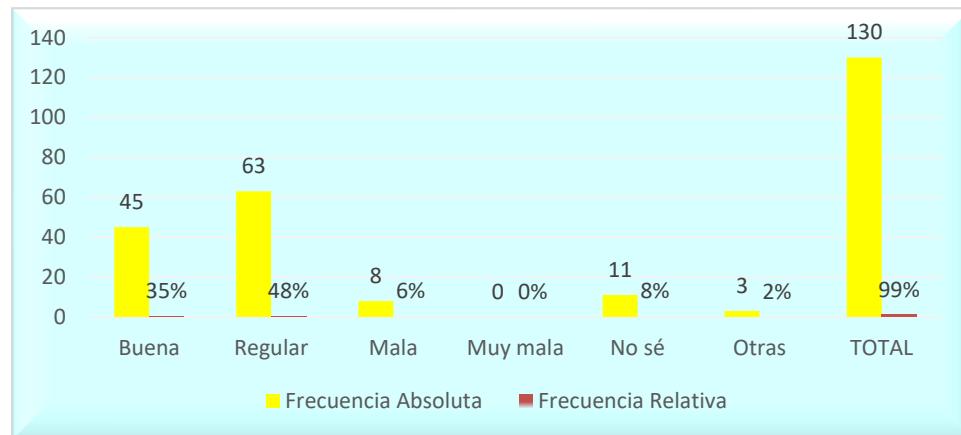
Un 8% opina que la IA no influye, lo que, revela que existe un grupo que no percibe cambios significativos en el lenguaje derivados del uso de estas tecnologías.

El 27% restante respondió "Tal vez", lo cual sugiere una postura ambivalente o dependiente del contexto, en la que se reconoce una posible influencia de la IA, aunque no necesariamente directa o uniforme.

Estos resultados reflejan una conciencia creciente sobre el papel transformador de la IA en los procesos comunicativos, especialmente en el ámbito del lenguaje, elemento clave de la comunicación social.

#### Figura 4

*Percepción sobre el impacto de la inteligencia artificial en el periodismo*



*Nota:* Percepción de docentes y estudiantes sobre el impacto de la inteligencia artificial en el ejercicio del periodismo.

En la figura 4 los datos revelan que un 48% de los encuestados considera que el impacto de la inteligencia artificial en el periodismo es regular, mientras que

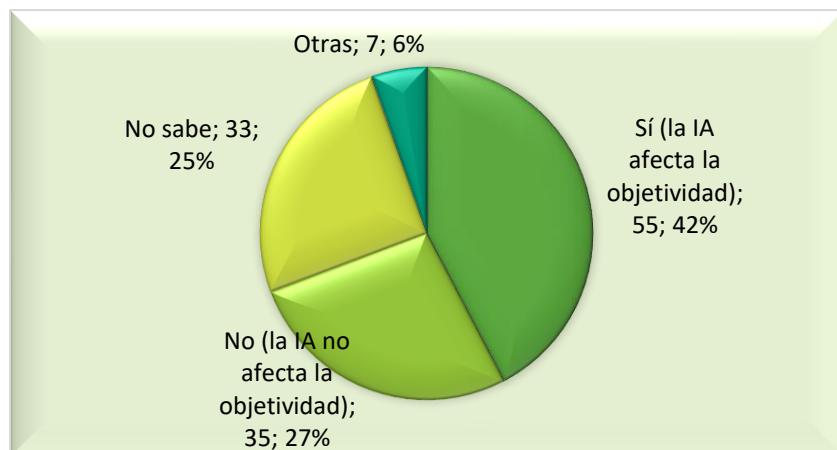
un 35% lo califica como bueno. Esta distribución sugiere una percepción predominantemente neutral o moderadamente positiva, lo que evidencia una actitud cautelosa, aunque abierta, hacia la incorporación de tecnologías de IA en la labor periodística.

En menor proporción, un 6% percibe un impacto negativo, y no se registraron valoraciones que lo consideraran muy malo. Un 8% manifestó no saber cuál es el impacto, lo que podría indicar una falta de información o familiaridad con su aplicación concreta. El 2% restante seleccionó la opción “otras”, lo cual sugiere opiniones más específicas o matizadas.

En este sentido, la mayoría de los participantes reconoce que la IA está influyendo en el periodismo, aunque aún existen dudas sobre sus implicaciones éticas, su efecto en la veracidad de la información y el rol del periodista en la era digital.

**Figura 5**

*Influencia de la IA en la objetividad periodística*



*Nota:* Percepción de docentes y estudiantes sobre la influencia de la inteligencia artificial en la objetividad periodística.

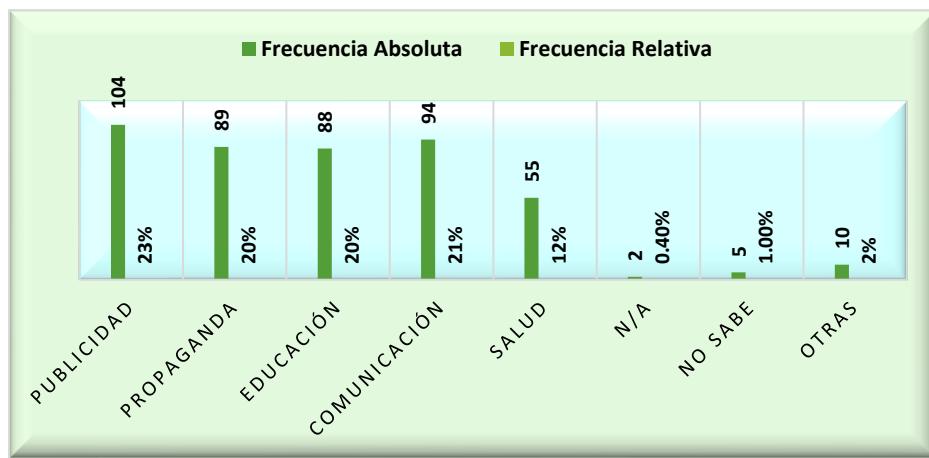
Los resultados reflejan una percepción dividida sobre el impacto de la inteligencia artificial en la objetividad periodística. Un 42% de los encuestados considera que afecta la objetividad, posiblemente debido a los sesgos algorítmicos

que pueden influir en la selección y redacción de noticias. Por otro lado, el 27% cree que no compromete la objetividad. Sin embargo, un 25% de los encuestados no tiene una postura clara al respecto, lo que sugiere que aún hay desconocimiento sobre el funcionamiento y las implicaciones de la IA en el periodismo.

Este resultado indica que el papel de la inteligencia artificial en la generación de noticias sigue siendo objeto de discusión. Mientras algunos advierten sobre los riesgos de la automatización y la posible disminución del juicio humano en el proceso informativo, otros consideran que su uso puede favorecer una mayor neutralidad en la difusión de la información. El 5% de las respuestas clasificadas como "Otras" sugiere la existencia de enfoques más equilibrados, que podrían proponer una combinación entre el trabajo de la IA y la labor periodística para garantizar tanto precisión como objetividad. En este contexto, los resultados resaltan la importancia de continuar investigando y regulando el impacto de la IA en los medios de comunicación.

**Figura 6**

*Ámbitos de uso de la Inteligencia Artificial*



*Nota:* Principales ámbitos de uso de la inteligencia artificial identificados por docentes y estudiantes.



Los resultados reflejan que la inteligencia artificial es percibida como una herramienta predominante en la **publicidad 23%**, **comunicación 21%**, **propaganda 20%** y **educación 20%**, lo que sugiere que su aplicación es ampliamente reconocida en la creación, difusión y personalización de contenidos en medios digitales, campañas políticas y entornos educativos. Estas cuatro áreas concentran el **84% de las respuestas**, lo que indica que la IA es vista como un facilitador de estrategias informativas y comerciales.

Por otro lado, el sector **salud 12%** obtuvo una menor representación, a pesar de su creciente uso en diagnóstico, análisis clínico y gestión hospitalaria. Esto puede indicar que los encuestados tienen menos conocimiento sobre sus aplicaciones en este ámbito o que su uso en salud no es tan visible como en otros sectores. Además, un **3.4% de los encuestados** (las categorías "No sabe", "Otras" y "N/A") no tiene una percepción clara de dónde se utiliza la IA, lo que sugiere que aún existe un grado de desconocimiento sobre su alcance.

## Discusión

Los resultados del estudio sobre la percepción de percepción de docentes y estudiantes de la facultad de comunicación social a cerca del aporte de la inteligencia artificial a la comunicación social frente a la sociedad y a la sociedad del conocimiento una realidad que ha sido abordada en diversas investigaciones en distintos contextos. A continuación, se presenta una discusión contrastada con otros estudios:

En los resultados obtenidos en estudio dirigido a estudiantes y docentes de la facultad de comunicación social de la universidad de Panamá, resultado muestra que ChatGPT es la herramienta de inteligencia artificial más conocida 39%, destacándose especialmente en el ámbito académico, donde su capacidad para generar texto y asistir en tareas comunicativas es muy valorada. Esto coincide con estudios que señalan que las plataformas de procesamiento de lenguaje natural son



ampliamente utilizadas en educación Ibarra et al (2023), Gemini 18% también es reconocida, aunque con menor popularidad, mientras que Bing AI y Copilot 12% tienen una presencia más moderada y las herramientas como Perplexity 5%, Freepik 7% y Synthesia 2% son menos conocidas. En general, las herramientas de IA más populares son las que facilitan la generación de contenido y tareas comunicativas.

En otros resultados obtenidos acerca de la adopción de herramientas de inteligencia artificial, en particular **ChatGPT**, respaldan la tendencia observada en diversos estudios recientes, que indican un crecimiento notable en el uso de plataformas de procesamiento de lenguaje natural. Según **Sánchez** (2022), ChatGPT ha surgido como una herramienta clave en la educación y el periodismo, gracias a su capacidad para generar texto de manera rápida y coherente, lo que facilita la creación de contenido y la interacción con los usuarios. La alta adopción de **ChatGPT 41%** refleja no solo su accesibilidad y adaptabilidad, sino también su rol destacado en la transformación digital de la comunicación social. Además, como señalan Goyanes y Lopezosa (2024), la adaptabilidad de ChatGPT a diferentes necesidades comunicativas es uno de los factores que impulsa su popularidad, ya que permite desde la redacción de artículos hasta la generación de ideas o respuestas en tiempo real.

Por otro lado, el uso de **Gemini 19%**, aunque aún menor, refleja un interés creciente en alternativas a ChatGPT, lo que podría indicar una apertura a nuevas tecnologías en el campo de la IA. **Copilot 12%** y **Bing AI 10%** registran una menor adopción, lo que sugiere que, aunque estas herramientas son conocidas, no han logrado captar la misma base de usuarios que las herramientas de generación de contenido. Según Romo-Pérez et al. (2023), herramientas como Copilot son valoradas principalmente por su integración con otras aplicaciones y su enfoque en aumentar la productividad, pero su aplicación en la creación de contenido



conversacional o académico es más limitada, lo que puede explicar su menor penetración en comparación con herramientas más específicas para la redacción.

Otro aspecto importante es que, si la IA influye en el lenguaje de la comunicación social, tenemos que el 65% de los encuestados considera que si, lo que refleja una percepción creciente de la tecnología como un factor transformador en la manera en que nos comunicamos. Este alto porcentaje se alinea con estudios previos que destacan cómo las herramientas de IA están redefiniendo la forma en que interactuamos a través del lenguaje. Según Romo-Pérez et al (2023), el uso de asistentes virtuales y tecnologías como la traducción automática está modificando tanto la producción como la recepción de información, facilitando la comunicación en diversos idiomas y mejorando la accesibilidad a contenido en línea. Además, plataformas como ChatGPT y otros generadores de texto automatizado están alterando el proceso de creación de contenido, permitiendo a los usuarios producir mensajes de manera rápida y eficiente.

Sin embargo, un 8% de los encuestados considera que la IA no influye en el lenguaje, lo que indica que aún existe un segmento de la población que no percibe cambios significativos en la forma en que el lenguaje se utiliza en la comunicación social. Sánchez (2022), argumenta que esta resistencia o indiferencia hacia el impacto de la IA en el lenguaje podría estar relacionada con la falta de familiaridad con las tecnologías emergentes, o incluso con una percepción de que estas herramientas no modifican la interacción diaria de manera profunda. El 27% de los encuestados que respondieron "Tal vez" sugieren que la influencia de la IA en el lenguaje puede ser subjetiva o dependiente del contexto. Como sugiere Gómez-Diago (2022), la integración de la IA en el lenguaje podría variar según el sector o el tipo de comunicación, ya que algunas áreas, como el marketing digital y la educación, han experimentado una mayor transformación que otras, como la comunicación interpersonal.

Otro punto abordado en el estudio la percepción de la inteligencia artificial



(IA) en el periodismo reflejan una postura mayormente neutral o positiva, aunque con ciertas reservas. Un 35% de los encuestados considera que su impacto es bueno, mientras que un 48% lo califica como regular, este resultado coincide con estudios previos que destacan el potencial de la IA para optimizar procesos periodísticos, pero también advierten sobre sus desafíos éticos y su impacto en la labor del periodista, según López-García y Vizoso (2021). Por otro lado, un 6% de los encuestados tenga una percepción negativa y que no haya respuestas que la califiquen como "muy mala" indica que, aunque existen preocupaciones, no hay un rechazo significativo hacia su implementación.

En términos generales, los datos obtenidos refuerzan la idea de que la IA es vista como una herramienta con potencial para mejorar la labor periodística, aunque persisten dudas y desafíos en torno a su aplicación. Aspectos como la veracidad de la información generada por IA, la ética periodística y el papel del periodista en la era digital siguen siendo puntos de discusión fundamentales. Investigaciones como las de y Sanahuja-Sanahuja y González- Estevan (2023), han resaltado la necesidad de establecer marcos éticos claros y mecanismos de supervisión para garantizar que la IA complemente la labor humana en el periodismo sin comprometer su credibilidad ni su responsabilidad social.

Los resultados obtenidos relacionados a la percepción muestran una división del impacto de la inteligencia artificial (IA) en la objetividad periodística. Un 42% de los encuestados considera que la IA afecta la objetividad en el periodismo, mientras que un 27% opina que no compromete dicha objetividad. Sin embargo, un 25% de los participantes no tiene una postura clara sobre este asunto, lo que indica que aún persiste un desconocimiento significativo sobre cómo la IA incide en los procesos informativos. Este fenómeno es coherente con las observaciones de autores como Quimis (2024), señala que cuando los procesos de IA carecen de transparencia, los usuarios pueden tener problemas para reconocer la fuente y credibilidad de la información, lo que contribuye a una creciente desconfianza hacia los medios



informativos.

En relación con las áreas en las que se percibe un mayor impacto de la IA, los resultados señalan que la inteligencia artificial es vista como una herramienta predominante en la publicidad (23%), comunicación (21%), propaganda (20%) y educación (20%). Estos sectores concentran el 84% de las respuestas, lo que indica una amplia aceptación de la IA en la creación, difusión y personalización de contenidos. Esta tendencia está en línea con lo que señala Cajamarca (2023), quien destaca que el marketing y la inteligencia artificial tienen un extenso campo de acción y uso en múltiples áreas, entre las que destacan los bienes de consumo, el reconocimiento de voz, el desarrollo de productos y el sector musical. En la educación, la IA también es valorada por su capacidad para ofrecer un aprendizaje personalizado y adaptativo.

Sin embargo, el sector salud presenta una representación menor (12%), a pesar de los avances notables de la IA en diagnóstico, análisis clínico y gestión hospitalaria. Este hallazgo podría sugerir que, aunque la IA tiene un enorme potencial en la mejora de la atención médica, su uso sigue siendo menos visible para el público en comparación con sectores como la publicidad y la comunicación. Stable-Rodríguez (2023), subrayan que, a pesar de las mejoras tecnológicas, el conocimiento del público sobre estas aplicaciones aún es limitado, lo que podría contribuir a la percepción de que la IA tiene un impacto menor en la salud.

En resumen, los resultados muestran que la IA es vista como una herramienta clave en sectores comerciales, políticos y educativos, mientras que su presencia en el sector salud sigue siendo menos reconocida, a pesar de sus aplicaciones avanzadas en la medicina. Esta discrepancia resalta la necesidad de mejorar la visibilidad y comprensión de la IA en sectores como la salud, y sugiere que las investigaciones futuras deberían enfocarse en cómo aumentar el conocimiento y la aceptación de la IA en diferentes contextos.



## Conclusiones

La investigación revela que la percepción generalizada es que la IA ejerce una influencia significativa en el lenguaje y la comunicación, aunque la variabilidad contextual genera dudas en un segmento de la población que la inteligencia artificial (IA) está provocando una transformación paradigmática en la comunicación social y el periodismo, redefiniendo la producción, distribución y consumo de información.

ChatGPT se identifica como la herramienta de IA dominante, con un alto índice de reconocimiento y uso, especialmente en los ámbitos académico y comunicacional. Sin embargo, otras herramientas como Gemini y Bing AI, así como las más especializadas Perplexity y Synthesia, aún luchan por ganar tracción.

En el ámbito periodístico, la IA se percibe con una mezcla de optimismo cauteloso y neutralidad, reconociendo su potencial para optimizar la redacción y la gestión de información, persisten inquietudes sobre la veracidad de los contenidos, los dilemas éticos que plantea la automatización y la necesidad de redefinir el papel del periodista como garante de la verdad. La polarización de opiniones sobre el impacto de la IA en la objetividad periodística subraya la complejidad del tema.

La IA se considera como una herramienta clave en sectores donde la información y la persuasión son fundamentales, como la publicidad, la comunicación, la propaganda y la educación. No obstante, su presencia es menos evidente en sectores como la salud, lo que sugiere una brecha en la comprensión de sus aplicaciones.

La necesidad de una regulación ética y mecanismos de control se hace cada vez más apremiante para mitigar los riesgos asociados a la IA. La alfabetización digital y la formación en IA se erigen como pilares fundamentales para empoderar a la sociedad y garantizar un uso responsable de esta tecnología.

La implementación de la IA en la comunicación social y el periodismo plantea desafíos de gran envergadura, como la proliferación de burbujas informativas, la polarización social y la manipulación de contenidos. Para salvaguardar la integridad



del periodismo y la responsabilidad en la comunicación, es imperativo profundizar en la investigación y fortalecer la regulación.

La IA ofrece un abanico de oportunidades sin precedentes en la comunicación y el periodismo, pero también exige un enfoque crítico y regulado. La clave reside en equilibrar su potencial transformador con la responsabilidad ética, asegurando que su uso beneficie a la sociedad en su conjunto, sin comprometer valores fundamentales como la veracidad, la objetividad y la ética profesional.

## Referencias Bibliográficas

- Aldana, M. R. (2000). La era de la información, realidades y reflexiones sobre la globalización. *Espiral*, VI(18), 288-316.
- Antonov, A. (2022). Gestionar la complejidad: la contribución de la UE a la gobernanza de la inteligencia artificial. *Revista CIDOB d'Afers Internacionals*, 131, 41-68.
- Bartolomé, A. (2011). Comunicación y aprendizaje en la sociedad del conocimiento. *Virtualidad, Educación y Ciencia*. vol 2, N°2, 9-49.
- Cajamarca, E. E. (2023). Herramientas de marketing digital potenciadas por inteligencia. *Revista Esprint Investigación*, 2 (2), 35-44. <https://doi.org/10.61347/ei.v2i2.56>
- Cazaux, D. (2008). La comunicación pública de la ciencia y la tecnología en la sociedad del conocimiento. *Razón y Palabra*, 65, 1-12.
- Cueva, G. D. (2020). Transformacion digital. *Revista Conrado* 16 (77), 483-489. *Revista Conrado*, 16(77)
- Flores, S. A. (2023). La intersección entre la adquisición y la inteligencia artificial. *Amazona investiga*, 12(62), 7-9. <https://doi.org/10.34069/AI/2023.62.02.0>
- Forero, I. d. (2009). La sociedad del conocimiento. *Revista Científica General José María Córdova*, 5(7). 40-44.
- Franganillo, J. (2023). La inteligencia artificial generativa y su impacto en la creación de contenidos mediáticos. *Revista de la ciencias sociales*, 11(2),, 1-17.
- García, H. R. (2022). Sociedad de plataformas. *Oximora. Revista internacional de*



ética y política, n°20, 61-82 <https://doi.org/10.1344/oxi.2022.i20.36316>

Giron, J. M. (2023). *Introducción a la inteligencia Artificial*. <https://almuzaralibros.com/fichalibro.php?libro=6789&edi=6>

Gómez-Calderon, C. Y. (2024). Periodismo e inteligencia Artificial . *index•comunicación* 14(1), 281-300 <https://doi.org/10.62008/ixc/14/01Period>

Gómez-Diago, G. (2022). Perspectivas para abordar la inteligencia artificial en la enseñanza de periodismo. *Revista Latina de Comunicación Social*, 80, 29-46.

Gonzales-Trejo, K. Julian-Ortega C. (2023). La inteligencia artificial y su influencia en el rendimiento académico de los estudiantes. *Revista Mexicana de Investigación e Intervención Educativa*, 3(1),, 37-44.

Goyanes M. y Lopezosa C. (2024). *Revisión de la literatura sobre el uso de inteligencia artificial (IA)*. Obtenido de ChatGPT en Ciencias Sociales: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=9496146>

Heinze G., Chanchola V. y Andonay J.(2017). Uso de las tecnologías de la información y comunicación. *Acta Medica Grupo Ágeles*. (15) 2, 150-153.

Hernández S., Fernández C. y Baptista P. (2014). *Metodología de la investigación* (6 ed.,). Mc Graw Hill.

Ibarra M., Peréz M. y Caro J. (2023). Inteligencia artificial en la educación. *Revista digital de Tecnologías Informáticas y Sistemas*, 7(1), 99-105. <https://redtis.org/index.php/Redtis/article/view/136>

Illuecas, D., Palacios A.y Ortiz F. (2025). La inteligencia artificial en el periodismo: herramientas y aplicaciones. *Redilat*, 6 (1),, 2354 – 2375. DOI: <https://doi.org/10.56712/latam.v6i1.3503>

Mitchelstein E. y Boczkuwski P. (2017). *La comunicación en la era digital*. <https://n9.cl/dy92x>

Mittelstadt B., Floridi L., Allo P., Taddeo M., y Wachter S. (2016). La ética de los algoritmos: Mapeo del debate. *La ética de los algoritmos: Mapeando el debate. Big Data & Society*, 3(2), <https://journals.sagepub.com/doi/10.1177/2053951716679679>



Ocampo, M. (2018). *Inteligencia artificial*. INCYTU. [https://www.foroconsultivo.org.mx/INCYTU/documentos/Completa/INCYTU\\_18-012.pdf](https://www.foroconsultivo.org.mx/INCYTU/documentos/Completa/INCYTU_18-012.pdf)

Red de periodistas. (2024). *El impacto de la Inteligencia Artificial en la comunicación*. Obtenido de <https://www.comunicacionsostenible.co/2024/02/08/el-impacto-de-la-inteligencia-artificial-en-la-comunicacion/>

Quimis, L. A. (2024). Inteligencia Artificial en el Periodismo. *Revista Latineamerica de Ciencias Sociales y Humanas*, vol v (6), 1120.

Ramirez, T. (2024). Las humanidades en el mundo digital. *Areté* 10(20), 1-3.

Ramos, P. R. (2019). Perspectivas y retos de las técnicas de la inteligencia artificial en el ámbito de las ciencias sociales y la comunicación. *Anuario Electrónico de Estudios en Comunicación Social “Dissertaciones”*, 13(1),, 21-34. <https://doi.org/10.12804/revistas.urosario.edu.co/dissertaciones/a.7774>

Romo-Pérez V., Garcia.-Soidan J., Ozdemir A. y Leiros R (2023). hatGPT ha llegado ¿Y ahora qué hacemos? *Revista de investigación en educación*, Vol. 21, Nº. 3., 320-334.

Salas, N. y Cornejo M. (2011). Rigor y calidad metodológica: Un reto de la investigación científica. *Psicoperspectivas* 10(2), <https://www.psicoperspectivas.cl/index.php/psicoperspectivas/article/view/144/152>

Sanahuja-Sanahuja, R., y Gonzalez-Estevan E. (2023). Exigencias éticas para un periodismo responsable en el con-texto de la inteligencia artificial. *Daimon. Revista Internacional de Filosofía*, nº 90, 131-145.

Sánchez, M. d. (2022). *Hasta chat GPT y más allá*. Obtenido de Grupo de Investigación de Tecnología Educativa: <https://digitum.um.es/digitum/bitstream/10201/131973/1/Hasta-GPT-y-mas-allá.pdf>

Sanz-Magallón, J. M. (2000). *¿Qué es la sociedad del conocimiento?* Obtenido de Nueva Revista: <https://www.nuevarevista.net/que-es-la-sociedad-del-conocimiento/>

Sejas, C. R. (2023). Políticas de comunicación e inteligencia artificial: nuevos desafíos. *Revista Latinoamericana de Estudios de Seguridad*. n°37, 45-63



<https://doi.org/10.17141/urvio.37.2023.5992>

Soto Corzo C., Ormeño C. y Dominguez D. (2024). La Tecnología 4.0 en la gestión de los aprendizajes. *Revista InveCom*, 5 (1),, 1-9. <https://doi.org/10.5281/zenodo.11389415>

Spinak, E. (2024). *La inteligencia artificial y comunicaciones e investigación*. Scielo en Perspectivas: <https://blog.scielo.org/es/2023/08/30/inteligencia-artificial-y-comunicacion-de-investigaciones/>

Stable-Rodríguez, Y. (2023). Desafíos en el uso de la Inteligencia Artificial para el sector salud. *Revista Información Científica*, vol. 102, <https://doi.org/10.5281/zenodo.7942911>

Toscano, D. R. (2015). Comunicación y Tecnología. *Revista Cumbre* (1)1, , 49-55. Túñez, J. M. (2021). Tendencias e impacto de la inteligencia artificial en comunicación. *Fonseca, Journal of Communication*, 22, 5-22, DOI: <https://doi.org/10.14201/fjc-v22-25766>

Verrastro, C. (2024). La sociedad del conocimiento y la inteligencia artificial. *Voces en el Fenix*, 13(93), 1-97. Obtenido de Voces en el Fenix: <https://www.economicas.uba.ar/extencion/vocesenelfenix/introduccion-la-sociedad-del-conocimiento-y-la-inteligencia-artificial/>

Villagomez, A. H. (2025). El impacto de la Inteligencia Artificial en la Sociedad: Una Revisión Sistemática sobre su influencia en Ámbitos Sociales, Económicos y Tecnológicos. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinaria* 9(1), 8150-8172. [https://doi.org/10.37811/cl\\_rcm.v9i1.16468](https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v9i1.16468)

Vizoso A. y López-Garcia X. (2021). Periodismo de alta tecnología: signo de los tiempos digitales del tercer milenio. *Profesional de la información*, v. 30, n. 3., 1699-2407. <https://doi.org/10.3145/epi.2021.may.01>



pp. 180– 194

## **Potencial del polen en la industria: variabilidad y su impacto en la apicultura tropical**

### **Pollen potential in industry: variability and its impact on tropical beekeeping**

**Nataly Jiménez Espinoza**

Universidad Autónoma de Chiriquí, Panamá. Departamento de Química.  
Centro de investigación de Productos Naturales y Biotecnología.

[nathycris3023@gmail.com](mailto:nathycris3023@gmail.com)

<https://orcid.org/0009-0001-2850-3975>

**Roberto Guevara**

Universidad Autónoma de Chiriquí, Panamá. Departamento de Química.  
Centro de investigación de Productos Naturales y Biotecnología.

[roberto.guevara@unachi.ac.pa](mailto:roberto.guevara@unachi.ac.pa)

<https://orcid.org/0009-0007-6665-8605>

Recepción: 21/04/2024

Aprobación:06/06/2025

DOI:

#### **Resumen**

El objetivo fundamental de la apicultura es proporcionar productos apícolas de alta calidad y servicios de polinización con la máxima eficiencia; sin embargo, esta actividad se ve afectada por diversos factores, incluido el origen botánico del polen, las condiciones climáticas, la geografía y la época del año. Esta revisión implicó la búsqueda de estudios relevantes en bases de datos reconocidas como MDPI, ScienceDirect, entre otras, priorizando artículos recientes que exponen la calidad del polen y dichos factores por lo cual se ve afectado. Investigaciones internacionales han evidenciado que el polen de abeja tiene un alto valor nutritivo y atributos funcionales importantes; además, existe una conexión entre el valor nutricional de este producto y el desarrollo de la colmena. Otro aspecto clave, como la estación de cosecha, puede influir tanto positiva como negativamente en la calidad y productividad de la colmena. Por ello, el propósito de esta revisión es analizar la variabilidad y el impacto que genera la producción de polen en la apicultura tropical, así como su potencial en la industria; enfatizando que, a nivel nacional el polen de abeja podría ser un producto viable para producir y comercializar cumpliendo con todos los estándares de calidad, diversificando así la oferta apícola en Panamá.

**Palabras claves:** apicultura, nutrientes, polen apícola, proteína.



## Abstract

The fundamental objective of beekeeping is to provide high quality bee products and pollination services with maximum efficiency; however, this activity is affected by several factors, including the botanical origin of pollen, climatic conditions, geography and time of year. This review involved searching for relevant studies in recognized databases such as MDPI, ScienceDirect, among others, prioritizing recent articles that expose pollen quality and the factors by which it is affected. International research has shown that bee pollen has a high nutritional value and important functional attributes; furthermore, there is a connection between the nutritional value of this product and the development of the hive. Another key aspect, such as the harvest season, can influence both positively and negatively the quality and productivity of the hive. Therefore, the purpose of this review is to analyze the variability and impact generated by pollen production in beekeeping, as well as its potential in the industry, emphasizing that, at the national level, bee pollen could be a viable product to produce and market, complying with all quality standards, thus diversifying the beekeeping supply in Panama.

**Keywords:** beekeeping, bee pollen, nutrients, protein.

## Introducción

El polen apícola se forma a través de la recolección de polen por las abejas, que se adhieren entre sí con la ayuda de diversos peines y pelos de las patas que están humedecidas con la saliva y el néctar para dar forma a un grano, es su característica distintiva del polen de viento (Saavedra, Rojas, & Delgado, 2013). De tal modo que, las abejas recogen y transportan el polen como pellets utilizando la cesta de polen para proveer y tener mayor consumo cumpliendo con los requerimientos de proteína y demás nutrientes (Di Pasquale et al., 2013).

Es decir, las abejas deben consumir ciertos nutrientes esenciales en su alimentación; y básicamente el polen es su principal fuente de proteínas, minerales, grasas y otras sustancias diversas, mientras que el néctar aporta la mayor parte de los carbohidratos (Herbert, 1992). De acuerdo con el origen botánico, el clima, y estado en el que se encuentra, el contenido nutricional de cada tipo de polen varía notablemente; por tanto, no todo el polen es igualmente nutritivo para las abejas como para el ser humano.

La proteína proporcionada por el polen es fundamental para el desarrollo de la colmena, pero por las razones expuestas anteriormente, la cantidad de proteína cruda disponible en el polen varía ampliamente entre las diferentes fuentes de



polen, oscilando entre el 6% y el 30% del peso seco total del mismo (Ellis et al., 2023). Sin embargo, estiman que el contenido mínimo de proteína requerido por las abejas melíferas está entre el 20% y el 25% de proteína cruda.

En Panamá según cifras documentadas por el Ministerio de Desarrollo Agropecuario de Panamá (MIDA), la provincia de Chiriquí - Panamá está considerada como la zona agrícola más productiva del país, alcanzando entre un 60 al 70% de la producción nacional (MIDA, 2019); no obstante, con una producción relativa de 100 kg anuales de polen apícola.

En este contexto, esta revisión sistemática tiene como objetivo exponer la variabilidad, el impacto que conlleva la generación de polen en la apicultura y su potencial en la industria.

## **Materiales y Métodos**

Se implementó un método organizado para la selección, evaluación y análisis de la literatura científica en relación con la composición y los factores que afectan la calidad del polen apícola; específicamente, la variabilidad e impacto en la región tropical, así como el potencial que posee este producto. Básicamente, el proceso de selección de fuentes consistió en la búsqueda de investigaciones pertinentes en diversas bases de datos reconocidas, tales como Google Scholar, Scopus, ScienceDirect, MDPI y demás; se tomaron en cuenta trabajos publicados entre 2012 y 2024 para garantizar que la revisión incluyera la información más reciente sobre el tema, aunque algunas referencias antiguas resultaron cruciales para aclarar distintos puntos importantes.

### **Variabilidad e impacto en la apicultura tropical**

La variabilidad del polen de abeja es un tema importante en la apicultura y la biología de las abejas, dado que las abejas recogen polen de diferentes especies



de plantas, por consecuencia una amplia variación en la composición del polen y sus propiedades nutricionales; así como también se ve afectada por varios factores como el origen de la flor, las condiciones climáticas, la geografía, la etapa del año y demás.

Enfocados en esos factores que pueden verse afectada esas propiedades, varios estudios consisten en examinar el polen que se encuentra en los nidos de abejas o en las cargas de miel y polen de los recolectores con el fin de identificar que plantas son visitadas. El nectar y el polen son dos de las gratificaciones que las plantas brindan a los polinizadores, por lo que, en función de esto, las plantas entomofílicas pueden clasificarse en tres categorías: nectaríferas, poliníferas y nectaríferas-poliníferas (Villanueva R., 2002; Briceño C., 2018).

La importancia del conocimiento sobre estas plantas facilita identificar necesidades de conservación y restauración de los ecosistemas, el poder adaptar la gestión de los apiarios a las variaciones en el potencial natural y evaluar las oportunidades de generar productos de la colmena de un origen floral específico, un aspecto para la comercialización en mercados internacionales (Andrade, 2003), que actualmente le proporciona valor al producto.

En el caso de Panamá, se encuentra entre los primeros 25 países del mundo en términos de diversidad de especies de plantas con flores, en el territorio se conocen 10,444 especies de plantas (3,3% de la diversidad mundial) (Ministerio de Ambiente; 2020). Como se indicó anteriormente, la variedad de flora juega un papel importante en la calidad del polen, en Panamá destacan fuentes poliníferas como *Quercus*, *Alnus*, *Curatella americana*, *Mimosa* (4 ssp.), *Pelliciera*, entre otras; destacando que el rango de vuelo de las abejas puede llegar hasta 10 km cuando buscan néctar y polen, por tanto, la fuente puede variar. Roubik et al (1984) afirman que las abejas de miel se especializan en fuentes de polen beneficiosas según la temporada.

Dado que es un país tropical, las abejas pueden recoger polen a lo largo de



todo el año por las temperaturas cálidas y las lluvias habituales; ya que, la viabilidad del polen permanece sin cambios de temperatura que oscilan entre 25-37°C y es constante entre diferentes variedades de plantas (Brunet et al, 2019; El Ghouizi et al, 2023).

Además, la variedad de flores permite que las colonias accedan a una mejor diversidad de nutrientes (proteínas, aminoácidos, vitaminas, y demás), lo que es crucial para el crecimiento de las abejas y el bienestar de la colonia. No obstante, hasta un cierto grado afectan la recolección del polen, puesto que, con el viento las abejas necesitan más energía para seguir el camino de ida y vuelta; esto hace que la lluvia impida que las abejas salgan a recolectar néctar, al estar empapadas su peso dificulta el vuelo y podrían ahogarse, lo que causa la pérdida de muchas de ellas (Mungsan N., 2018). Del mismo modo, van a repercutir estos factores en la calidad del polen apícola; a su vez, representa un desafío para los apicultores en considerar el origen como un elemento diferenciador en su estrategia comercial.

En primer lugar, los entornos nutricionales se transforman a medida que las plantas florecen en la sucesión de las estaciones, brindando la variedad de nutrientes requeridos para apoyar las actividades de los herbívoros durante todo el año (Solon-Biet et al., 2015). Los nutrientes requeridos en las etapas de reproducción y crecimiento de las abejas son diferentes de aquellos necesarios para sobrevivir el invierno, especialmente si los recursos son limitados (Machovsky-Capuska et al., 2016).

Por ende, la escasez de polen o un bajo contenido nutricional puede impactar a que las abejas sean más vulnerables, a menudo más pequeñas, tienen menos capacidad de alimentar a las crías y tienen una vida útil más corta; en estas circunstancias, las colonias de abejas pueden disminuir significativamente la producción de miel (Santos et al., 2009).

Considerando estas variables y los distintos procesos que enfrentan para su comercialización, los granos de polen se distinguen por su forma y por la cantidad

de sustancias bioactivas y nutritivas que contienen (Keskin & Özkök, 2020). A diferencia del polen monofloral, el polen apícola multifloral (figura 1) reúne las características bioquímicas, organolépticas de las plantas de procedencia y presenta el nivel más elevado de contenido bioactivo, además su coloración puede variar; debido a que se han empleado diferentes métodos de extracción y análisis para identificar las propiedades químicas del polen, su composición también suele cambiar (Puerto et al., 2015).

**Figura 1**

*Polen apícola, variabilidad en las muestras (diversos colores).*



Se destacan investigaciones donde se ve reflejado esta variabilidad del producto apícola, por ejemplo; México se encuentra entre los cinco principales productores apícolas del mundo, ya que tiene una gran cantidad de colonias manejadas de *A. mellifera* (Winston, 1979; Quezada-Euán, 2007; Quezada Euán & otros, 2008). Entre los estudios realizados, determinaron la variación de la calidad nutricional de polen en colmenas de distintas regiones apícolas durante la época



seca en México (Hernández Y., 2020), sus resultados mostraron diferencias significativas en el contenido de nutrientes dentro de la colmena. Concluyeron que las variaciones climáticas causan un desequilibrio entre la fenología de las plantas y la dinámica de las abejas, lo que retrasa el inicio temprano de las floraciones y afecta negativamente la calidad del polen y la salud de las colmenas.

Un estudio realizado en Uruguay (Santos et al., 2009), determinó el contenido de proteína cruda de polen de 25 especies vegetales que frecuentan las abejas, hallando entre un 14.5% y 41.5%, la mayoría presentando más del 20% de proteína, valor mínimo aceptado para una correcta nutrición de las abejas; concluyendo que en Uruguay las abejas no deberían tener problemas proteicos en su dieta cuando hay una oferta de polen de diferentes especies botánicas. De igual manera, en Colombia se han llevado a cabo estudios al Polen apícola, por ejemplo, el caso de Prada D. (2022), obtuvo valores de 24.6%-29.4% de proteína en pólenes colombianos, concluyendo una excelente calidad de polen apícola.

Como resultado de muchos factores influyentes, existe una gran variabilidad en la composición química como se ha mencionado, y existen problemas en la comparación de resultados. Para armonizar y estandarizar la calidad del polen apícola y los métodos de determinación, Campos et al. (2008) publicaron una propuesta internacional para la calidad del polen apícola con un borrador de requisitos básicos de composición para el polen seco de abeja. Los límites prescritos para los parámetros fisicoquímicos se utilizan para la evaluación de la calidad del polen apícola a nivel internacional, ya que solo unos pocos países (por ejemplo, Brasil, Bulgaria, Polonia y Suiza) han establecido criterios de calidad del polen a nivel nacional (Aličić et al, 2019).

### **Potencial en la industria**

Debido a su composición química, rica en nutrientes y con propiedades antioxidantes, microbiológicas, el polen apícola se considera un superalimento



(Thakur & Nanda, 2018). Por tanto, ha sido estudiado a nivel mundial desde el punto nutricional, valorización de un producto con ayuda del polen, hasta estudios del polen contaminado de sustancias peligrosas, como micotoxinas. Adicionalmente, para aprovechar al máximo el potencial de los productos apícolas en la industria alimentaria, es fundamental tener un entendimiento profundo de su composición química (Kieliszek et al, 2018).

### **Composición fisicoquímica y bioactiva**

Para las abejas, el néctar es su principal fuente de azúcares, mientras que el polen proporciona proteínas, lípidos y micronutrientes; aunque, su composición puede variar considerablemente, según la abeja y la especie de planta (Nicolson, 2011). Como lo señala Pedroso et al. (2018), el polen presenta en su composición nutricional aproximadamente un 40 % de carbohidratos, 35 % de proteínas, entre 4 y 10 % de agua, 5 % de lípidos y entre 5 - 15 % de otras sustancias como minerales, vitaminas; por tanto, es considerado una buena fuente nutricional y ofrece una serie de beneficios para la salud, a lo que lleva a ganar relevancia actualmente.

En la mayoría de los pólenes, los carbohidratos representan la fracción más alta; como se destaca anteriormente, variando entre un 15 y 40 %. Estos están compuestos principalmente por azúcares simples como fructosa y glucosa (Graham, 1993). De acuerdo con Dworschak, mencionado por Talpay (1978), la mayor parte de carbohidratos presentes en los pólenes son azúcares derivados del néctar que las abejas incorporan al formar los pellets de los mismos.

Comúnmente en estos pólenes, se presenta un incremento en los azúcares simples, este aumento en el contenido de azúcares simples se debe al utilizar el néctar como aglutinante en la formación de los agregados de polen (Stanley y Linskens, 1974).

Por su parte, según sus estructuras químicas los compuestos polifenólicos del polen apícola pueden clasificarse generalmente como ácidos fenólicos y



flavonoides; en el caso de los ácidos fenólicos y sus derivados, se pueden mencionar, los ácidos 3,4-dihidroxibenzoico, 4-hidroxibenzoico, clorogénico, ferúlico, cafeico, gálico, siríngico, p-cumárico y vanílico y el éster etílico del ácido 4-hidroxibenzoico y sus derivados, lo cual se informaron en el polen de abeja (Thakur & Nanda, 2020; Mutlu, et al., 2023). Además, según Salazar, et al. (2020) entre los carotenoides, que identificaron encontraron:  $\beta$ -caroteno, criptoantina, zeaxantina y luteína en el polen de abeja.

En sí, el polen es un excelente recurso para descubrir alimentos nutritivos y sustentables; su contribución nutricional a la industria alimentaria señala avances en el sabor y la calidad nutricional de varios alimentos innovadores; por ejemplo, bebidas endulzadas con miel y enriquecidas con polen, la miel como edulcorante natural y el polen como enriquecimiento de proteínas, vitaminas, minerales y antioxidantes (Gündoğdu et al, 2019). De acuerdo con Bianchi et al (2025), añadir un 10% de polen de abeja muestra ser lo más eficaz para potenciar galletas con compuestos fenólicos y carotenoides, mejorando su actividad antioxidante; ofreciendo los máximos beneficios nutricionales con este grado de suplementación. Indicando que enriquecer las galletas con polen podría aumentar significativamente la oferta de bocadillos saludables; a su vez, extendiendo las posibles aplicaciones del polen apícola en sector alimentario.

La amplia variedad de productos a base de polen se debe a que es un producto valorado y reconocido por sí mismo; mencionado anteriormente, gracias a sus propiedades medicinales y nutricionales tanto en su forma natural como en las formulaciones que lo incluyen, particularmente en aquellas con características específicas ligadas a su origen botánico y geográfico (Valdes P., 2014). El polen de abeja es bastante conocido en los mercados asiáticos, donde se utiliza de manera tradicional, sobre todo en la medicina china; los mercados más importantes son Corea del Sur y Japón. No obstante, mercados occidentales tales como el australiano, el norteamericano y el europeo han evidenciado un creciente interés



por productos derivados de la apicultura.

Por su parte cabe mencionar, han llevado a cabo investigaciones acerca de las propiedades cosmetológicas del polen en el laboratorio, demostrando que puede impulsar los mecanismos de defensa contra el envejecimiento de la piel (polifenoles, vitamina C, E), la deshidratación cutánea, radiación UV (carotenoides), que intervienen en el deterioro de la piel humana (Kurek-Górecka et al, 2020).

A pesar de ello, el polen es un producto comercialmente rezagado a nivel nacional, en comparación a otros países que han reconocido al polen como un producto alimenticio y han establecido estándares oficiales de calidad (Fuenmayor et al., 2014). Es decir, las ventas de polen en Panamá no son tan significativas en comparación con otros productos agrícolas más comunes; el MIDA proporciona estadísticas detalladas sobre la producción y venta de diversos productos agrícolas, pero el polen no es uno de los productos principales en sus informes. Esto sugiere que, aunque el polen es un producto valioso, su volumen de ventas es menor en comparación con otros productos agrícolas más tradicionales

### **Perspectivas futuras**

Panamá cuenta con una diversidad de flora que nos beneficia en varios aspectos, especialmente en la apicultura; sin embargo, hay otros variables a considerar (clima, tipo de suelo), lo cual influye en la calidad de los productos de la colmena. Por ello, gracias a esta revisión bibliográfica en bases datos con el propósito de visualizar, analizar información actualizada sobre países donde producen y comercializan este producto; y así exponiendo la variabilidad, el impacto que conlleva la calidad de polen en la apicultura y su potencial en la industria, atribuyéndole un enfoque en Panamá.

En sí, el polen ha sido reconocido a nivel mundial como un producto de alto valor alimenticio debido a su notable composición química, destacándose entre otros productos de la colmena. Sin embargo, en Panamá no se comercializa



ampliamente ni se le ha categorizado de esa manera, lo que refleja uno de los desafíos en la apicultura panameña: la diversificación de los productos en el mercado.

### Agradecimientos

Agradecemos a la Secretaría Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación de Panamá (SENACYT). Al programa de Maestría en Ciencias Químicas con Énfasis en Inocuidad alimentaria y a la Universidad Autónoma de Chiriquí.

### Referencias bibliográficas

- Aličić, D., Flanjak, I., Ačkar, Đ., Jašić, M., Babić, J., & Šubarić, D. (2019). Physicochemical properties and antioxidant capacity of bee pollen collected in Tuzla Canton (B&H). *Journal of Central European Agriculture*, 21(1), 42–50. <https://doi.org/10.5513/jcea01/21.1.2533>
- Andrade, A. (2003). Flora utilizada por *Apis mellifera* L. en el sur del Caldenal (Provincia Fitogeográfica del Espinal), Argentina. *Revista del Museo Argentino de Ciencias Naturales* nueva serie, 5(2), 329-336
- Bianchi, A., Capparelli, S., Taglieri, I., Sanmartin, C., Pistelli, L. y Venturi, F. (2025). Galletas saladas enriquecidas con polen de abeja fresco y seco: caracterización química, tecnológica y sensorial. *Alimentos*, 14(3), 527. <https://doi.org/10.3390/foods14030527>
- Briceño C. (2018). Identificación de flora melífera con potencial ornamental y medicinal en Yucatán. Tesis. Merida, Yucatán, Mexico. Recuperado: <https://ciatej.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1023/598/1/Cinthia%20Isabel%20Briceño%20Santiago.pdf>
- Brunet J, Ziobro R, Osvatic J, Clayton MK. (2019). The effects of time, temperature and plant variety on pollen viability and its implications for gene flow risk. *Plant Biol.* 21:715–22. <https://doi.org/10.1111/plb.12959>.
- Campos, M.G., Bogdanov, S., de Almeida-Muradian, L.B., Szczesna, T., Mancebo, Y., Frigerio, C., Ferreira, F. (2008) Pollen composition and standardisation of



analytical methods. *Journal of Apicultural Research*, 47 (2), 156-163. DOI: <https://doi.org/10.1080/00218839.2008.11101443>

Di Pasquale, G., Salignon, M., Le Conte, Y., Belzunces, L. P., Decourtey, A., Kretzschmar, A. & Alaux, C. (2013). Influence of pollen nutrition on honey bee health: do pollen quality and diversity matter? *PLoS one*, 8, e72016. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0072016>.

El Ghouizi A, Bakour M, Laaroussi H, Ousaaid D, El Meniyi N, Hano C, Lyoussi B. (2023). Bee Pollen as Functional Food: Insights into Its Composition and Therapeutic Properties. *Antioxidants* (Basel). 12(3):557. <https://doi.org/10.3390/antiox12030557>. PMID: 36978805; PMCID: PMC10045447.

Franco, V. C. (2018). Industria apícola experimenta crecimiento. Panamá América. <https://www.panamaamerica.com.pa/provincias/industria-apicola-experimenta-crecimiento-36920>.

Fuenmayor C., Zuluaga C., Díaz C., Quicazan M., Cosio M., Mannino S. (2014). Evaluación de las propiedades fisicoquímicas y funcionales del polen apícola colombiano. *Rev. MVZ Córdoba* 10(1):4003-4014.

Graham, J. (1993). *The Hive and Honey Bee*. Dadant & Sons, Inc. Hamilton Illinois. 1324p.

Gündoğdu E., Çakmakçı S., Güngör Sat I. (2019). An overview of honey: its composition, nutritional and functional properties. *JFSE*, 9. Recuperado: [https://www.researchgate.net/publication/330685140\\_An\\_Overview\\_of\\_Honey\\_Its\\_Composition\\_Nutritional\\_and\\_Functional\\_Properties](https://www.researchgate.net/publication/330685140_An_Overview_of_Honey_Its_Composition_Nutritional_and_Functional_Properties).

Kieliszek M., Piwowarek K., Kot A.M., Błażejak S., Chlebowska-Śmigiel A., Wolska I. (2018). Pollen and bee bread as new health-oriented products: a review. *Trends Food Sci. Technol.*, 71, pp. 170-180. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2017.10.021>.

Keskin, M.; Özkök, A. (2020). Effects of drying techniques on chemical composition and volatile constituents of bee pollen. *Czech J. Food Sci.* 38, 203–208. <https://doi.org/10.17221/79/2020-CJFS>.

Kurek-Górecka, A.; Górecki, M.; Rzepecka-Stojko, A.; Balwierz, R.; Stojko, J. (2020). Bee Products in Dermatology and Skin Care. *Molecules*, 25, 556. <https://doi.org/10.3390/molecules25030556>.

Hernández, Y. (2020). "Contenido nutricional de polen utilizado por *Apis mellifera* en México, en época seca". Tesis de maestría, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, México.

Machovsky-Capuska, G.E.; Senior, A.M.; Zantis, S.P.; Barna, K.; Cowieson, A.J.; Pandya, S.; Pavard, C.; Shiels, M.; Raubenheimer, D. (2016). Dietary protein selection in a free-ranging urban population of common myna birds. *Behav. Ecol.* 27, 219–227

MIDA. (2019). Encuesta Apícola, Programa de Apicultura. Dirección de Ganadería. La encuesta está basada en la información recopilada por las direcciones regionales, a través de los extensionistas Pecuarios Regionales.

Ministerio de Ambiente (2020). BIODIVERSIDAD, EL GRAN TESORO DE PANAMÁ - Ministerio de Ambiente. <https://miambiente.gob.pa/panama-una-joya-de-la-biodiversidad-global/>

Morgano M.A., Milani R.F., Martins M.C.T., Rodríguez-Amaya D.B. (2011). Determination of water content in Brazilian honeybee-collected pollen by Karl Fischer titration. *Food Control*; 22:1604-1608. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2011.03.016>.

Mungsan N. (2018). Origen y diversidad del polen apícola. Tesis. Universidad Complutense de Madrid. Madrid, España.

Mutlu C., Erbas M. (2023). Turkish bee pollen: Composition, regional discrimination and polyphenol biaccessibility. *Food Bioscience* 53, 102805. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2023.102805>

Nicolson, S.W. (2011). Bee food: The chemistry and nutritional value of nectar, pollen and mixtures of the two. *African Zoology*. 46(2), 197–204. <https://doi.org/10.1080/15627020.2011.11407495>

Pedroso N., Vázquez M., Del Risco C., Almanza E., Vázquez-Ventura M., Frías A. (2018). Influencia de la temperatura de secado en la calidad del polen apícola. *Ciencia y Tecnología de Alimentos* Vol. 28, No. 1. ISSN 1816-7721, pp. 17-21. <https://revcitech.iiia.edu.cu/revista/index.php/RCTA/article/view/99>

Prada, D. (2022). Evaluación del polen apícola producido en Cundinamarca como fuente de componentes liposolubles de interés nutricional y antioxidante. Tesis. Bogotá, Colombia.

Puerto, N.; Prieto, G.; Castro, R. (2015). Chemical composition and antioxidant



activity of pollen. Review. Chil. J. Agric. Anim. Sci. 31, 115–126.  
<https://revistas.udec.cl/index.php/chjaas/article/view/9973>

Radev, Zh., Liolios, V., Tananaki, C. and Thrasivoulou, A. (2014). The impact of the nutritive value of pollen on the development, reproduction and productivity of honeybee (*Apis mellifera* L.). Bulg. J. Agric. Sci., 20: 685-689.  
[https://www.researchgate.net/publication/287949869\\_The\\_impact\\_of\\_the\\_nutritive\\_value\\_of\\_pollen\\_on\\_the\\_development\\_reproduction\\_and\\_productivity\\_of\\_honey\\_bee\\_Apis\\_Mellifera\\_L.](https://www.researchgate.net/publication/287949869_The_impact_of_the_nutritive_value_of_pollen_on_the_development_reproduction_and_productivity_of_honey_bee_Apis_Mellifera_L.)

Roubik D., Schmalzel R., Moreno E. (1984). Estudio Apibotánico de Panamá: cosecha y fuentes de polen y néctar usados por *Apis mellifera* y sus patrones estacionales y anuales. B. técnico SV Nº24; Instituto de investigaciones tropicales Smithsonian, Panamá.

Rzepecka-Stojko, A., Stojko, J., Kurek-Górecka, A., Górecki, M., Kabała-Dzik, A., Kubina, R., et al. (2015). Polyphenols from Bee Pollen: Structure, absorption, metabolism and biological activity. *Molecules*, 20(12), 21732–21749.  
<https://doi.org/10.3390/molecules201219800>

Saavedra, K. I., Rojas, C., & Delgado, G. E. (2013). Características polínicas y composición química del polen apícola colectado en Cayaltí (Lambayeque – Perú). Revista Chilena de Nutrición, 40, 71–78.  
<https://www.scielo.cl/pdf/rchnut/v40n1/art11.pdf>

Salazar C., Rodriguez F., Stinco C., Terrab A., Diaz C., Fuenmayor C., Heredia F. (2020). Carotenoid profile determination of bee pollen by advanced digital imagine analysis. Computers and Electronics in Agriculture, 175, 105601.  
<https://doi.org/10.1016/j.compag.2020.105601>

Santos, E., Invernizzi, C., García, E., Cabrera, C., Di Landro, R., Saadoun, A., Daners, G. (2009). Contenido de proteína cruda del polen de las principales especies botánicas utilizadas por las abejas melíferas en Uruguay. Agrociencia, Vol XIII N° 2 pág. 9 – 13.  
<http://www.scielo.edu.uy/pdf/agro/v13n2/v13n2a02.pdf>

Solon-Biet, S.M.; Walters, K.A.; Simanainen, U.K.; McMahon, A.C.; Ruohonen, K.; Ballard, J.W.O.; Raubenheimer, D.; Handelsman, D.J.; Le Couteur, D.G.; Simpson, S.J. (2015). Macronutrient balance, reproductive function, and lifespan in aging mice. Proc. Natl. Acad. Sci. 112, 3481–3486.  
<https://doi.org/10.1073/pnas.1422041112>

Stanley, R. y Linskens, H. (1974). Pollen, biology, biochemistry and management.



Heidellberg, spring Verlag. Alemania. 307p.

Talpay, B. (1978). El polen Floral: Una reseña. *Apiacta* 1 (3): 103 – 105.

Thakur, M., & Nanda, V. (2018). Assessment of physico-chemical properties, fatty acid, amino acid and mineral profile of bee pollen from India with a multivariate perspective. *Journal of Food & Nutrition Research*, 57(4), 328-34. <https://www.cabidigitallibrary.org/doi/pdf/10.5555/20193134453>

Thakur, M., & Nanda, V. (2020). Composition and functionality of bee pollen: A review. *Trends in Food Science & Technology*, 98, 82–106. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.02.001>

Valdés P. (2014). Polen apícola, una alternativa de negocio. Reporte Nº1. Agrimundo, Inteligencia competitiva para el sector agroalimentario.

Villanueva-G, R. (2002). Polliniferous plants and foraging strategies Of *Apis mellifera* (Hymenoptera: Apidae) in the Yucatán Peninsula, Mexico. *Revista de Biología Tropical*, 50(3-4), 1035-1044. Retrieved February 16, 2025, from [http://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0034-77442002000300021&lng=en&tlng=en](http://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0034-77442002000300021&lng=en&tlng=en).

Winston, M. L., Otis, G. W., & Taylor Jr O. R. (1979). Absconding behaviour of the africanized honeybee in South America. *Journal of Apicultural Research*, 18(2), 85-94. <https://doi.org/10.1080/00218839.1979.11099951>