



Universidad de Panamá
Vicerrectoría de Investigación y Postgrado

ISSN L 2710-7647

VOL. 36, N° 1, enero-junio 2026

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.36, N° 1

ENERO-JUNIO 2026



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 COMITE

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.

jaimerivera@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

<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

<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

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

EDITORES ASOCIADOS/ASSOCIATED EDITORS

Alessio Papini

Università degli Studi di Firenze (UNIFI), Italia.

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

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

**Coral Jazvel Pacheco Figueroa**

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>

**EDITORAS ASOCIADAS/ 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

<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

<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

<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

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

INDICE

EDITORIAL	8
Evaluación de la actividad antimicrobiana de extractos de plantas seleccionadas del Parque Nacional Camino de Cruces	9
Seguridad alimentaria en Panamá: análisis espectroscópico y percepción ciudadana de envases poliméricos	27
Evaluación de la actividad citotóxica en líneas celulares cancerosas de plantas panameñas del Parque Nacional Camino de Cruces.....	54
Influencia de las perturbaciones antrópicas en la estructura de la comunidad de vertebrados en un bosque urbano: Caso del Campus Dr. Víctor Levi Sasso	75



Evaluación de la actividad antimicrobiana de extractos de plantas seleccionadas del Parque Nacional Camino de Cruces

Evaluation of the antimicrobial activity of selected plant extracts from Camino de Cruces National Park

Edith Madrid

Universidad de Panamá, Facultad de Farmacia – Centro de Investigaciones Farmacognósticas de la Flora Panameña – Dr. Mahabir P. Gupta, Panamá

edith.madrid@up.ac.pa

<https://orcid.org/0009-0003-0220-9617>

Yelkaira Vásquez

Universidad de Panamá, Facultad de Farmacia – Centro de Investigaciones Farmacognósticas de la Flora Panameña – Dr. Mahabir P. Gupta, Panamá

yelkaira.vasquez@up.ac.pa

<https://orcid.org/0000-0001-6501-6992>

Carolina Polanco

Universidad de Panamá, Facultad de Farmacia, Centro de Investigaciones Farmacognósticas de la Flora Panameña - Dr. Mahabir P. Gupta, Panamá

carolina.polanco@up.ac.pa

<https://orcid.org/0009-0005-1372-925X>

Gustavo Rivera

Universidad de Panamá, Facultad de Farmacia, Centro de Investigaciones Farmacognósticas de la Flora Panameña - Dr. Mahabir P. Gupta, Panamá

gustavo.rivera@up.ac.pa

<https://orcid.org/0000-0002-6580-0178>

Dionisio Olmedo

Universidad de Panamá, Facultad de Farmacia – Centro de Investigaciones Farmacognósticas de la Flora Panameña – Dr. Mahabir P. Gupta, Panamá

dionisio.olmedo@up.ac.pa

<https://orcid.org/0000-0002-4681-1365>

Ana I. Santana

Universidad de Panamá, Facultad de Farmacia, Centro de Investigaciones Farmacognósticas de la Flora Panameña - Dr. Mahabir P. Gupta, Panamá

ana.santana@up.ac.pa

<https://orcid.org/0000-0002-3128-1226>

**Alex Espinosa**

Universidad de Panamá, Facultad de Farmacia, Centro de Investigaciones Farmacognósticas de la Flora Panameña - Dr. Mahabir P. Gupta, Panamá

alex.espinosa@up.ac.pa

<https://orcid.org/0009-0009-8412-3393>

Pablo N. Solís

Universidad de Panamá, Facultad de Farmacia – Centro de Investigaciones Farmacognósticas de la Flora Panameña – Dr. Mahabir P. Gupta, Panamá

Autor de correspondencia: pablo.solis@up.ac.pa

<https://orcid.org/0000-0002-9214-0339>

Recepción: 20/10/25

Aceptado: 29/11/25

DOI <https://doi.org/10.48204/j.scientia.v36n1.a8659>

Resumen

Con el objetivo de identificar y evaluar el potencial antimicrobiano de especies de la flora panameña, se desarrolló un estudio orientado a generar alternativas frente al incremento de la resistencia bacteriana, considerada uno de los principales retos de la salud pública mundial. Se obtuvieron 84 extractos vegetales correspondientes a 32 especies pertenecientes a 29 géneros y 24 familias, por percolación con diclorometano, seguida de metanol al 90%. La actividad antimicrobiana de los extractos crudos y sus fracciones se evaluó mediante el método de Mitscher, a una concentración de 100 µg/mL, frente a cepas Gram positivas, Gram negativas, ácido-alcohol resistentes y levaduras. Los extractos activos fueron sometidos a diluciones seriadas para determinar la concentración inhibitoria mínima (CIM). Los extractos de diclorometano de *Otoba novogranatensis* Moldenke (*fruto*) cuyo extracto presentó actividad frente a *Mycobacterium smegmatis* (CIM 50 µg/mL), *Odonellia hirtiflora* (M. Martens & Galeotti) K.R. Rob (parte aérea) que mostró inhibición significativa frente a *Mycobacterium smegmatis* (CIM 62.5 µg/mL), *Mespilodaphne morae* (Gómez- Laur.) (corteza y madera), cuyo extracto presentó actividad frente a *Mycobacterium smegmatis* (CIM 100 µg/mL), y a *Staphylococcus aureus* (CIM 125 µg/mL) y el extracto metanólico de *Billia rosea* (Planch. & Linden) C. Ulloa & P. Jørg. (hoja) que mostró actividad frente a *Mycobacterium smegmatis* y *Candida albicans* (CIM 100 µg/mL). Estos resultados evidencian el potencial de la biodiversidad panameña como fuente de nuevos compuestos antimicrobianos y resaltan la importancia de continuar con el aislamiento y caracterización de los metabolitos responsables de la actividad observada.

Palabras claves: Antimicrobiano, biodiversidad, bioensayo, extractos vegetales, *Mycobacterium*, *Staphylococcus*.

Abstract

With the aim of identifying and evaluating the antimicrobial potential of Panamanian flora species, a study was conducted to generate alternative strategies in response to the increasing bacterial resistance, considered one of the main challenges in global public health. A total of 84 plant extracts



were obtained from 32 species belonging to 29 genera and 24 families, through percolation with dichloromethane, followed by 90% methanol.

The antimicrobial activity of the crude extracts and their fractions was assessed using the Mitscher method at a concentration of 100 µg/mL, against Gram-positive, Gram-negative, acid-alcohol-resistant strains, and yeasts. Active extracts were subjected to serial dilutions to determine the minimum inhibitory concentration (MIC). The dichloromethane extracts of *Otoba novogranatensis* Moldenke (fruit), whose extract exhibited activity against *Mycobacterium smegmatis* (MIC 50 µg/mL); *Odonellia hirtiflora* (M. Martens & Galeotti) K.R. Rob. (aerial parts), which showed significant inhibition against *Mycobacterium smegmatis* (MIC 62.5 µg/mL); and *Mespileodaphne morae* (Gómez-Laur.) (bark and wood), whose extract demonstrated activity against *Mycobacterium smegmatis* (MIC 100 µg/mL) and *Staphylococcus aureus* (MIC 125 µg/mL); as well as the methanolic extract of *Billia rosea* (Planch. & Linden) C. Ulloa & P. Jørg. (leaf), which exhibited activity against *Mycobacterium smegmatis* and *Candida albicans* (MIC 100 µg/mL). These results highlight the potential of Panamanian biodiversity as a source of new antimicrobial compounds and emphasize the importance of continuing the isolation and characterization of the metabolites responsible for the observed activity.

Keywords: Antimicrobial, biodiversity, bioassay, lant extracts, *Mycobacterium*.

Introducción

El incremento progresivo de la resistencia a los antibióticos ha intensificado la búsqueda de nuevos agentes terapéuticos capaces de contrarrestar esta amenaza emergente, que compromete la eficacia de los tratamientos convencionales y representa uno de los mayores desafíos para la salud pública mundial (Patra, et al., 2025). Esta crisis sanitaria global ha impulsado la necesidad de identificar fuentes naturales de compuestos bioactivos con potencial antimicrobiano, capaces de ofrecer alternativas innovadoras frente a los microorganismos resistentes (Cowan, 1999).

En ese marco, el Programa Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación (PENCYT-2025-2029) de Panamá identifica como prioridad estratégica la investigación en enfermedades microbianas de relevancia para la salud humana, así como los estudios sobre cáncer, impulsando el desarrollo de trabajos científicos que fortalezcan la salud pública y contribuyan al progreso científico nacional (Gaceta Oficial N.º 28936-B, 2020).

Desde los inicios de la medicina moderna, la humanidad ha librado una lucha constante contra los microorganismos patógenos, especialmente las bacterias responsables de numerosas enfermedades infecciosas. El descubrimiento de los antibióticos marcó un hito al salvar millones de vidas; sin embargo, su uso



indiscriminado ha favorecido la aparición de cepas resistentes, lo que se traduce en un aumento de la morbilidad, mortalidad y costos asociados a las infecciones (Ahoua *et al.*, 2015).

Ante este panorama, la investigación científica ha orientado sus esfuerzos hacia la exploración de compuestos naturales con propiedades antimicrobianas. Los ecosistemas tropicales, caracterizados por su alta biodiversidad, ofrecen un escenario propicio para el descubrimiento de nuevas moléculas bioactivas. En Panamá, el Parque Nacional Camino de Cruces se destaca como un sitio de especial interés científico por albergar una gran diversidad de especies vegetales poco estudiadas, lo que lo convierte en un espacio idóneo para la búsqueda de metabolitos secundarios con potencial farmacológico y para promover, simultáneamente, la conservación del patrimonio biológico nacional ((Ministerio de Ambiente de Panamá, 2023).

En el ámbito nacional, las enfermedades infecciosas continúan siendo una causa relevante de morbilidad y mortalidad. De acuerdo con el Ministerio de Salud de Panamá, 2021 cerca del 20 % de las muertes registradas en el país son atribuibles a causas infecciosas, destacándose la neumonía y la diarrea como las principales. Esta situación evidencia la necesidad de fortalecer las estrategias de prevención y tratamiento mediante la investigación de alternativas terapéuticas basadas en productos naturales.

Estudios previos han demostrado que diversas especies de la flora panameña presentan actividad antimicrobiana, lo que resalta su potencial como fuente de compuestos bioactivos. Entre ellas se incluyen *Albizia adinocephala*, *Ormosia coccinea*, *Macroptilium lathyroides* y *Diplotropis purpurea* (Gómez - Leija *et al.*, 2013), así como *Lonchocarpus chiricanus*, *Sauraia yasicae*, *Piper fimbriulatum* y *Morinda rojoc* (Rivera - Barba, 2000). De igual manera, Rodríguez - Aguilar (2002) reportó la actividad antimicrobiana de *Calophyllum longifolium*, *Austroeupatorium inulaefolium* y *Morinda panamensis*. Estos antecedentes evidencian la relevancia científica de continuar explorando la biodiversidad nacional como una fuente valiosa de metabolitos secundarios con potencial farmacológico.



En este marco, la presente investigación tiene como propósito evaluar el potencial antimicrobiano de especies vegetales presentes en la flora panameña, particularmente aquellas presentes en el Parque Nacional Camino de Cruces. Con ello se busca contribuir al conocimiento científico sobre los recursos naturales del país, promover su aprovechamiento sostenible y aportar alternativas frente a la creciente resistencia bacteriana.

Materiales y Métodos

Se realizó una selección estratégica de especies vegetales basada en una revisión bibliográfica exhaustiva en bases de datos científicas como PubMed y SciFinder (CAS), con la finalidad de identificar plantas panameñas sin estudios previos de actividad antimicrobiana. A partir del análisis de aproximadamente 925 géneros, se seleccionaron 164 especies pertenecientes a 68 géneros, caracterizadas por presentar información limitada o inexistente sobre su composición química y actividad biológica (ver tabla 1).

Tabla 1

Plantas seleccionadas para el estudio Antimicrobiano.

Familia/Especie	Nº Florpan	Parte	FECHA DE COLECTA
ACANTHACEAE			
<i>Trichantera gigantea</i> (Bonpl.) Nees	5161	Madera	07-mar.-01
APOCYNACEAE			
<i>Rhabdadenia biflora</i> (Jacq.) Muell. - Arg.	6332	Tallo	09-oct.-03
ACHARIACEAE			
<i>Lindackeria laurina</i> Presl	6154	Tallo	18-jun.-03
ARACEAE			
<i>Anthurium cerrocampánense</i> Croat	5919	Raíz	08-abr.-03
ARECACEAE			
<i>Desmoncus orthacanthos</i> Mart.	8966	Hoja	26-may.-24
ASTERACEAE			
<i>Tilea baccata</i> Pruski	2218	Tallo	19-sep.-95
BIGNONIACEAE			
<i>Arrabidaea</i> sp.	9014	Tronco	08-ene.-25
<i>Stizophyllum riparium</i> (Kunth) Sandwith	6204	Hojas	25-jul.-03



Familia/Especie	Nº Florpan	Parte	FECHA DE COLECTA
BLECHNACEAE			
<i>Salpichlaena volubilis</i> (Kaulf.) J. Sm.	6192	Aérea	21-jul.-03
BROMELIACEAE			
<i>Aechmea setigera</i> Mart. ex Schult. & Schult.f	9009	Entera	19-dic.-24
COMBRETACEAE			
<i>Combretum decandrum</i> Jacq.	8994	Tallo	24-sep.-24
CONNARACEAE			
<i>Cnestidium rufescens</i> Planch.	2170	Ramas	17-ago.-95
<i>Connarus panamensis</i> Griseb.	8968	Hoja	26-may.-24
CONVOLVULACEAE			
<i>Odonnellia hirtiflora</i> (M. Martens & Galeotti) K.R. Rob	5094	Aérea	14-feb.-01
COSTACEAE			
<i>Dimerocostus strobilaceus</i> Kuntze	9012	Hoja	06-ene.-25
<i>Dimerocostus strobilaceus</i> Kuntze	2958	Tallo	31-ene.-98
CUCURBITACEAE			
<i>Sicydium tamnifolium</i> (Kunth) Cogn.	2307	Aérea	25-nov.-95
CYCLANTHACEAE			
<i>Carludovica palmata</i> Ruiz & Pav.	8959	Hoja	21-may.-24
DRYOPTERIDACEAE			
<i>Polybotrya polybotryoides</i> (Baker) Christ	8995	Fronda	26-sep.-24
<i>Polybotrya polybotryoides</i> (Baker) Christ	8995	Entera	26-sep.-24
EUPHORBIACEAE			
<i>Dalechampia tiliifolia</i> Lam.	9004	Hoja	24-nov.-24
<i>Dalechampia tiliifolia</i> Lam.	9004	Tallo	24-nov.-24
FABACEAE-CAESALPINOIDEAE			
<i>Prioria copaifera</i> Griseb.	2127	Corteza/Tallo	09-jun.-95
GESNERIACEAE			
<i>Chrysothemis friedrichsthaliana</i> (Hanst.) H.E. Moore	6269	Flor	27-ago.-03
HUMIRIACEAE			
<i>Vantanea depleta</i> McPherson	7014	Hoja	16-abr.-07
LOMARIOPSIDACEAE			
<i>Cyclopeltis semicordata</i> (Sw.) J. Smith	2210	Fronda	19-sep.-95
<i>Cyclopeltis semicordata</i> (Sw.) J. Smith	8960	Fronda	21-may.-24



Familia/Especie	Nº Florpan	Parte	FECHA DE COLECTA
MALPIGHIACEAE			
<i>Spachea elegans</i> (G. Meyer) Juss	5030	Rama	15-ene.-01
MALVACEAE			
<i>Trichospermum galeotti</i> (Turcz.) Kosterm.	2304	Corteza	23-nov.-95
<i>Trichospermum galeotti</i> (Turcz.) Kosterm.	9054	Corteza de tallo joven	
<i>Trichospermum galeotti</i> (Turcz.) Kosterm.	9054	Corteza de Tronco	03-abr.-25
<i>Trichospermum galeotti</i> (Turcz.) Kosterm.	9054	Madera de tallo joven	03-abr.-25
MARANTHACEAE			
<i>Calathea warscewiczii</i> (Donn. Sm.) Schum.	6380	Hoja/Raíz	30-oct.-03
<i>Pleiotachya pruinosa</i> (W. Bull ex Regel) K. Schum.	8967	Lámina	26-may.-24
<i>Pleiotachya pruinosa</i> (W. Bull ex Regel) K. Schum.	8967	Peciolo	26-may.-24
MELASTOMATACEAE			
<i>Bellucia pentámera</i> Naudin	7786	Tallo	07-mar.-08
<i>Conostegia</i> sp.	8961	Hoja	21-may.-24
<i>Conostegia aff subcrustulata</i> (Beurl.) Triana	8977	Hoja y Rama	10-sep.-24
<i>Conostegia bracteata</i> Triana	8979	Hoja y Rama	10-sep.-24
<i>Miconia lacera</i> (Bonpl.) Naudin	8980	Hoja y Rama	10-sep.-24
<i>Conostegia speciosa</i> Naudin	1673	Raíz	10-agosto.-94
<i>Blakea parasitica</i> (Aubl.) D.Don	5130	Tallo	26-abr.-01
MYRISTICACEAE			
<i>Otoba novogranatensis</i> Moldenke	7087	Fruto	31-may.-07
ORCHIDACEAE			
<i>Epidendrum piliferum</i> Rchb. f.	9006	Tallo	18-dic.-24
<i>Sobralia fragrans</i> Lindl.	9007	Entera	18-dic.-24
PICRAMNIACEAE			
<i>Picramnia antidesma</i> subsp.- fessonnia (DC.) W. Thomas	5121	Corteza/Tallo	24-abr.-01
RUBIACEAE			
<i>Faramea eurycarpa</i> Donn. Sm.	6280	Corteza/Tallo	28-ago.-03
SAPINDACEAE			
<i>Billia rosea</i> (Planch. & Linden) C. Ulloa & P. Jørg.	7024	Hoja	16-abr.-07

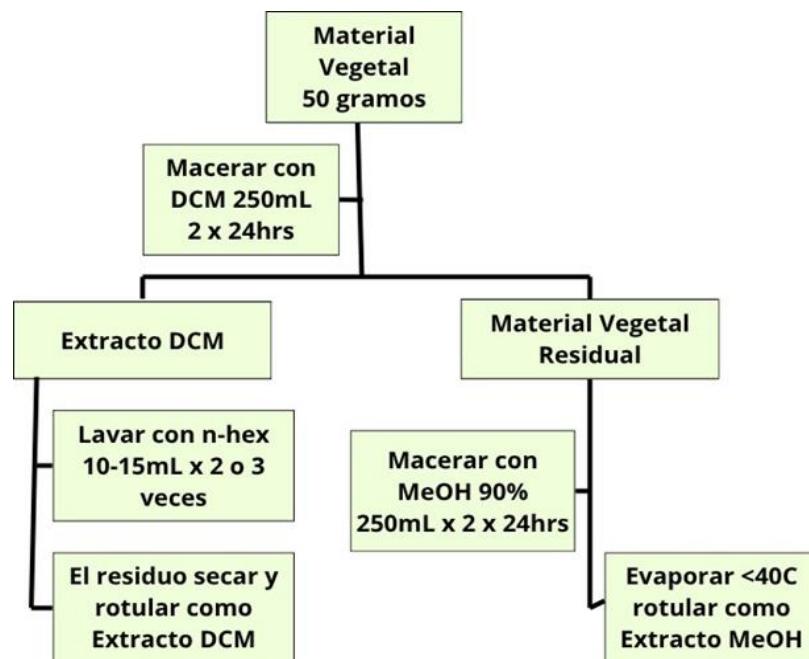


Familia/Especie	Nº Florpan	Parte	FECHA DE COLECTA
<i>Billia rosea</i> (Planch. & Linden) C. Ulloa & P. Jørg.	7024	Tallo	16-abr.-07
SOLANACEAE			
<i>Witheringia correana</i> D'Arcy	6296	Entera	04-sep.-03

Nota: Listado de plantas seleccionadas y partes empleadas en el estudio antimicrobiano.
CIFLORPAN-MPG.

La recolección del material vegetal fue realizada en campo por el equipo de investigación, registrando la ubicación exacta mediante GPS, lo que garantizó la trazabilidad de las muestras. De cada especie se elaboró un ejemplar de referencia (voucher), el cual fue prensado, secado y depositado en el Herbario de la Universidad de Panamá, donde se verificó su identificación taxonómica por comparación con especímenes de referencia.

Posteriormente, el material vegetal fue secado a 37°C y pulverizado en un Molino Thomas-Wiley para obtener un tamaño de partícula homogéneo. A cada muestra se le asignó una cantidad estándar de 50 g, que fueron sometidos a extracción (ver Figura 1) sucesiva mediante maceración: primero con diclorometano y luego con metanol al 90%, realizando ciclos de 24 horas bajo agitación constante y filtración. Los extractos obtenidos fueron concentrados al vacío mediante rotavapor y posteriormente liofilizados, logrando extractos secos aptos para análisis y conservación.

Figura 1
Diagrama del protocolo de extracción.


Nota: Representación del protocolo de extracción del material vegetal utilizando diclorometano (DCM) y metanol al 90% (MeOH).

Ensayo antimicrobiano

La evaluación antimicrobiana se realizó siguiendo el método de Mitscher, empleando extractos a una concentración final de 100 µg/mL incorporados en platos Petri con agar estéril. Se utilizaron siete microorganismos ATCC de importancia clínica, entre ellos bacterias Gram positivas, Gram negativas y un hongo patógeno: *Candida albicans* (ATTC No. 10231), (*Escherichia coli* ATTC No. 9637), (*Klebsiella pneumoniae* (ATTC No. 10031), *Mycobacterium smegmatis* (ATTC No. 607), *Pseudomonas aeruginosa* (ATTC No. 27853), *Salmonella entérica* (ATTC No. 9184), *Staphylococcus aureus* (ATTC No. 6538).

Análisis de datos

La interpretación de los resultados se efectuó mediante observación cualitativa del crecimiento microbiano después de 24 h de incubación a 37°C,



registrando como positivo (+) la ausencia de crecimiento, y como negativo (-) la presencia de crecimiento. Para los extractos que mostraron actividad inhibitoria, se determinó la Concentración Inhibitoria Mínima (CIM) mediante diluciones seriadas, con el fin de establecer la menor concentración capaz de inhibir totalmente el crecimiento del microorganismo.

Los controles positivos utilizados fueron sulfato de estreptomicina (actividad antibacteriana) y anfotericina B (actividad antifúngica), mientras que los controles negativos consistieron en placas con DMSO sin extracto.

Resultados

Se analizaron un total de 84 extractos crudos, correspondientes a 24 familias botánicas, 29 géneros y 32 especies. De estos, 41 extractos fueron obtenidos mediante extracción con diclorometano (DCM), mientras que 42 extractos se obtuvieron utilizando metanol al 90% y 1 de ETOAC. Adicionalmente, se evaluaron dos fracciones (diclorometano y acetato de etilo) obtenidas del extracto metanólico del tallo de *Blakea parasitica* (Aubl.) D. Don. (Se presentan en la Tabla 2). De los 84 extractos evaluados, cinco mostraron actividad antimicrobiana frente al menos una de las cepas ensayadas. De los cuales 4 corresponden a extractos de diclorometano y uno metanol. Los extractos activos a una concentración de 100 µg/mL, corresponden a: *Odonellia hirtiflora* (parte aérea), *Mespilodaphne morae* (corteza), *Mespilodaphne morae* (madera), *Billia rosea* (Hoja) y *Otoba novogranatensis* (Fruto) (Ver tabla 2.).

**Tabla 2.**

Evaluación antimicrobiana de extractos y fracciones (100 µg/mL) de plantas seleccionadas frente a *Candida albicans* (C.a.), *Escherichia coli* (E.c.), *Klebsiella pneumoniae* (K.p.), *Mycobacterium smegmatis* (M.s.), *Pseudomonas aeruginosa* (P.a.), *Salmonella enterica* (S.e.) y *Staphylococcus aureus* (S.a.). (+) activo, (-) inactivo.

Familia/Especie	Nº FLORPAN	Parte	Tipo de Extracto	C.a.	E.c.	K.p.	M.s.	P.a.	S.e.	S.a.
ACANTHACEAE										
<i>Trichanthera gigantea</i> (Bonpl.) Nees	5161	Madera	DCM	-	-	-	-	-	-	-
			MeOH	-	-	-	-	-	-	-
APOCYNACEAE										
<i>Rhabdadenia biflora</i> (Jacq.) Muell.-Arg.	6332	Tallo	DCM	-	-	-	-	-	-	-
			MeOH	-	-	-	-	-	-	-
ARECACEAE										
<i>Desmoncus orthacanthos</i> Mart.	8966	Hoja	DCM	-	-	-	-	-	-	-
			MeOH	-	-	-	-	-	-	-
ASTERACEAE										
<i>Tilesia baccata</i> Pruski	2218	Tallo	DCM	-	-	-	-	-	-	-
			MeOH	-	-	-	-	-	-	-
BIGNONIACEAE										
<i>Arrabidaea</i> sp.	9014	Tronco	DCM	-	-	-	-	-	-	-
			MeOH	-	-	-	-	-	-	-
BROMELIACEAE										
<i>Aechmea setigera</i> Mart. ex Schult. & Schult.f	9009	Enterá	DCM	-	-	-	-	-	-	-
			MeOH	-	-	-	-	-	-	-
CONNARACEAE										
<i>Cnestidium rufescens</i> Planch.	2170	Ramas	DCM	-	-	-	-	-	-	-
			MeOH	-	-	-	-	-	-	-
CONVOLVULACEAE										
<i>Odonellia hirtiflora</i> (M. Martens & Galeotti) K.R. Rob	5094	Aérea	DCM	-	-	-	+	-	-	+
			MeOH	-	-	-	-	-	-	-
COSTACEAE										
	9012	Hoja	DCM	-	-	-	-	-	-	-



Familia/Especie	Nº FLORPAN	Parte	Tipo de Extracto	C.a.	E.c.	K.p.	M.s.	P.a.	S.e.	S.a.
<i>Dimerocostus strobilaceus</i> Kuntze			MeOH	-	-	-	-	-	-	-
	2958	Tallo	DCM	-	-	-	-	-	-	-
			MeOH	-	-	-	-	-	-	-
CUCURBITACEAE			DCM	-	-	-	-	-	-	-
<i>Sicydium tamnifolium</i> (Kunth) Cogn	2307	Aérea	MeOH	-	-	-	-	-	-	-
CYCLANTHACEAE			DCM	-	-	-	-	-	-	-
<i>Carludovica palmata</i> Ruiz & Pav.	8959	Hoja	MeOH	-	-	-	-	-	-	-
		Fronda	DCM	-	-	-	-	-	-	-
			MeOH	-	-	-	-	-	-	-
DRYOPTERIDACEAE			DCM	-	-	-	-	-	-	-
<i>Polybotrya polybotryooides</i> (Baker) Christ	8995	Rizoma	MeOH	-	-	-	-	-	-	-
			DCM	-	-	-	-	-	-	-
			MeOH	-	-	-	-	-	-	-
		Hoja	DCM	-	-	-	-	-	-	-
			MeOH	-	-	-	-	-	-	-
EUPHORBIACEAE			DCM	-	-	-	-	-	-	-
<i>Dalechampia tilifolia</i> Lam.	9004	Tallo	MeOH	-	-	-	-	-	-	-
			DCM	-	-	-	-	-	-	-
			MeOH	-	-	-	-	-	-	-
FABACEAE-			DCM	-	-	-	-	-	-	-
CAESALPINOIDEAE			MeOH	-	-	-	-	-	-	-
<i>Prioria copaifera</i> Griseb.	2127	Corteza	MeOH	-	-	-	-	-	-	-
			DCM	-	-	-	-	-	-	-
			MeOH	-	-	-	-	-	-	-
HUMIRIACEAE			DCM	-	-	-	-	-	-	-
<i>Vantanea depleta</i> McPherson	7014	Hoja	MeOH	-	-	-	-	-	-	-
			DCM	-	-	-	-	+	-	-
			MeOH	-	-	-	-	-	-	-
LAURACEAE			DCM	-	-	-	-	+	-	-
<i>Mespilodaphne morae</i> (Gómez- Laur.)	9057	Corteza	MeOH	-	-	-	-	-	-	-
			DCM	-	-	-	-	+	-	-
			MeOH	-	-	-	-	-	-	-
		Madera	DCM	-	-	-	-	-	-	-
			MeOH	-	-	-	-	-	-	-



Familia/Especie	Nº FLORPAN	Parte	Tipo de Extracto	C.a.	E.c.	K.p.	M.s.	P.a.	S.e.	S.a.
LOMARIOPSIDACEAE	2210	Fronda	DCM	-	-	-	-	-	-	-
<i>Cyclopeltis semicordata</i> (Sw.) J. Smith			MeOH	-	-	-	-	-	-	-
	8960	Fronda	DCM	-	-	-	-	-	-	-
			MeOH	-	-	-	-	-	-	-
MALPIGHIACEAE	5030	Rama	DCM	-	-	-	-	-	-	-
<i>Spachea elegans</i> (G. Meyer) Juss			MeOH	-	-	-	-	-	-	-
	2304	Corteza	DCM	-	-	-	-	-	-	-
		Tallo	MeOH	-	-	-	-	-	-	-
MALVACEAE	9054	Corteza de tallo joven	DCM	-	-	-	-	-	-	-
<i>Trichospermum galeotti</i> (Turcz.) Kosterm.			MeOH	-	-	-	-	-	-	-
		Corteza de Tronco	DCM	-	-	-	-	-	-	-
			MeOH	-	-	-	-	-	-	-
		Lámina	DCM	-	-	-	-	-	-	-
MARANTACEAE	8967		MeOH	-	-	-	-	-	-	-
<i>Pleiostachya pruinosa</i> (W. Bull ex Regel) K. Schum.		Peciolo	DCM	-	-	-	-	-	-	-
			MeOH	-	-	-	-	-	-	-
MELASTOMATACEAE	7786	Tallo	DCM	-	-	-	-	-	-	-
<i>Bellucia pentámera</i> Naudin			MeOH	-	-	-	-	-	-	-
<i>Conostegia sp</i>	8961	Hoja	DCM	-	-	-	-	-	-	-
			MeOH	-	-	-	-	-	-	-
<i>Conostegia aff subcrustulata</i> (Beurl.) Triana	8977	Hoja y Rama	DCM	-	-	-	-	-	-	-
			MeOH	-	-	-	-	-	-	-
<i>Conostegia bracteata</i> Triana	8979	Hoja y Rama	DCM	-	-	-	-	-	-	-
			MeOH	-	-	-	-	-	-	-
<i>Miconia lacera</i> Bonpl.) Naudin	8980	Hoja y Rama	DCM	-	-	-	-	-	-	-
			MeOH	-	-	-	-	-	-	-



Familia/Especie	Nº FLORPAN	Parte	Tipo de Extracto	C.a.	E.c.	K.p.	M.s.	P.a.	S.e.	S.a.
<i>Conostegia speciosa</i> Naudin	1673	Raíz	DCM	-	-	-	-	-	-	-
			MeOH	-	-	-	-	-	-	-
<i>Blakea parasitica</i> Aubl.) D.Don	5130	Tallo	MeOH	-	-	-	-	-	-	-
			DCM	-	-	-	-	-	-	-
MYRISTICACEAE <i>Otoba novogranatensis</i> Moldenke	7087	Fruto	ETOAC	-	-	-	-	-	-	-
			DCM	-	-	-	-	+ (highlighted)	-	-
ORCHIDIACEAE <i>Epidendrum piliferum</i> Rchb. f.	9006	Tallo	MeOH	-	-	-	-	-	-	-
			DCM	-	-	-	-	-	-	-
SAPINDACEAE <i>Sobralia fragrans</i> Lindl.	9007	Enterá	MeOH	-	-	-	-	-	-	-
			DCM	-	-	-	-	-	-	-
<i>Billia rosea</i> Planch. & Linden) C. Ulloa & P. Jørg.	7024	Hoja	MeOH	-	-	-	-	-	-	-
			DCM	-	-	-	-	-	-	-
	7024	Tallo	MeOH	+	-	-	+	-	-	-
			DCM	-	-	-	-	-	-	-

Los extractos positivos fueron sometidos a diluciones seriadas (250, 125, 100, 62.5, 50, 25 y 12.5 µg/mL), cuyos resultados se presentan en la Tabla 3. El extracto de *Odonellia hirtiflora* mantuvo su actividad frente a *M. smegmatis* y *S. aureus* a 100 µg/mL. Para este extracto, se evaluaron concentraciones adicionales (250, 125 y 62.5 µg/mL), encontrándose una CIM de 125 µg/mL frente a *S. aureus* y 62.5 µg/mL frente a *M. smegmatis*. Por su parte, los extractos de *Mespileodaphne morae* (corteza y madera, extracción con DCM) mantuvieron una CIM de 100 µg/mL frente a *M. smegmatis*. El extracto *Billia rosea* (hoja) se evaluaron concentraciones adicionales (100, 50, 25 µg/mL) manteniendo su actividad frente a *M. smegmatis* y



C. albicans a una CIM de 100 µg/mL. Para el extracto del fruto de *Otoba novogranatensis*, se realizaron ensayos adicionales a concentraciones de 100, 50 y 25 µg/mL, obteniéndose una CIM de 50 µg/mL.

Tabla 3.

Resultado de la evaluación del CIM de los extractos positivos y extractos negativos (-)

Nombre científico	Parte	Tipo de extracto	CIM (ug/mL)						
			C.a.	E.c.	K.p.	M.s.	P.a.	S.e.	S.a.
<i>Odonellia hirtiflora</i>	Parte aérea	DCM	-	-	-	62,5	-	-	125
<i>Mespilodaphne morae</i>	Corteza	DCM	-	-	-	100	-	-	-
	Madera	DCM	-	-	-	100	-	-	-
<i>Billia rosea</i>	Hoja	MeOH	100	-	-	100	-	-	-
<i>Otoba novogranatensis</i>	Fruto	DCM	-	-	-	50	-	-	-

Nota: Se presentan las Concentraciones Inhibitorias Mínimas (µg/mL) de los extractos que mostraron actividad antimicrobiana frente a las cepas evaluadas. Fuente: Equipo de CIFLORPAN-MPG.

Discusión:

Los resultados obtenidos muestran que la actividad antimicrobiana estuvo asociada únicamente a los extractos obtenidos con diclorometano, lo que sugiere que los compuestos responsables de dicha actividad presentan carácter lipofílico.

La actividad observada frente a *Mycobacterium smegmatis* es de especial interés, considerando que esta cepa se emplea como modelo no patogénico para estudios preliminares contra *Mycobacterium tuberculosis*, patógeno de relevancia clínica global. De igual forma, la inhibición observada frente a *Staphylococcus aureus* por el extracto de *Odonellia hirtiflora* resalta su potencial contra bacterias Gram positivas de relevancia clínica, particularmente en el contexto del aumento de cepas resistentes (Gherardi, 2023).



El extracto de *Billia rosea* frente a *Candida albicans* es relevante, ya que este hongo oportunista puede causar desde infecciones superficiales hasta candidemia en pacientes inmunocomprometidos. Su capacidad para formar biofilms y su resistencia a antifúngicos lo convierten en un patógeno de alta relevancia clínica y en un objetivo clave para el desarrollo de nuevos tratamientos (Sahoo *et. al*, 2025).

Finalmente, los resultados justifican la continuidad del estudio mediante fraccionamiento bioguiado, con el propósito de aislar y caracterizar los compuestos responsables y ampliar la evaluación hacia microorganismos clínicos de resistencia conocida.

Conclusión

Los resultados más relevantes correspondieron a *Otoba novogranatensis* cuyo extracto presentó actividad frente a *M. smegmatis* (CIM 50 µg/mL), *Odonellia hirtiflora* que mostró inhibición significativa frente a *M. smegmatis* (CIM 62.5 µg/mL), *Mespilodaphne morae*, cuyo extracto presentó actividad frente a *M. smegmatis* (CIM 100 µg/mL), y a *Staphylococcus aureus* (CIM 125 µg/mL) y el extracto de *Billia rosea* que mostró actividad frente a *M. smegmatis* y *C. albicans* (CIM 100 µg/mL).

Es relevante que dos extractos mostraran una inhibición superior a la de la estreptomicina, utilizada como sustancia de referencia, frente a *M. smegmatis* a concentraciones comparables, destacando así su potencial como fuente de compuestos antimicrobianos.

Estos resultados constituyen el primer reporte de actividad antimicrobiana para *Otoba novogranatensis*, *Odonellia hirtiflora*, *Billia rosea* y *Mespilodaphne morae*, según las bases de datos disponibles, y ponen de manifiesto el valor de la flora panameña. Además de reportar en total, 20 familias, 25 géneros y 28 especies que presentaron respuestas negativas (-) contra todos los microorganismos ensayados. Se recomienda avanzar con los extractos positivos hacia estudios de fraccionamiento biodirigido, aislamiento e identificación de los metabolitos responsables, con el fin de evaluar su posible aplicación como agentes terapéuticos.



frente a la resistencia microbiana.

Agradecimientos

Al proyecto “Potencial Anti-Cáncer y Antimicrobiano en una Parcela del Bosque del Parque Nacional Camino de Cruces (PNCC)”, financiado por SENACYT (FID-23-037), por su respaldo en la generación de conocimiento sobre el potencial terapéutico de la flora panameña.

Expresamos nuestro agradecimiento al Ministerio de Ambiente, por la emisión del permiso de acceso a Recursos Biológicos y Genéticos (ARB-014-2024).

Referencias bibliográficas

- Ahoua, G., Kouassi, E. N., & Kpodehou, S. N. (2015). Prevalence and distribution of extended-spectrum beta-lactamases-producing Enterobacteriaceae in clinical and environmental samples in Côte d'Ivoire. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 12(11), 14269–14283.
- Cowan, M. M. (1999). Plant products as antimicrobial agents. *Clinical Microbiology Reviews*, 12(4), 564–582. <https://doi.org/10.1128/cmr.12.4.564>
- Gaceta Oficial de la República de Panamá. (2020, 8 de enero). *Gaceta Oficial No. 28936-B*. Panamá.
- Gherardi, G. (2023). Staphylococcus aureus infection: Pathogenesis and antimicrobial resistance. *International Journal of Molecular Sciences*, 24(9), 8182. <https://doi.org/10.3390/ijms24098182>
- Gómez, J. (2023, 21 de junio). Parque Nacional Camino de Cruces. *Global National Parks*. <https://www.globalnationalparks.com/es/panama/camino-de-cruces/>
- Gómez - Leija, L. Y. (2013). *Evaluación de la actividad antimicrobiana, farmacológica y antioxidante de seis extractos metanólicos de plantas pertenecientes a la familia Fabaceae* [Trabajo de maestría, Universidad de Panamá]. Universidad de Panamá.
- Ministerio de Ambiente de Panamá. (2023). Plan de Manejo del Parque Nacional Camino de Cruces (PNCC) (Borrador). Recuperado de <https://www.miambiente.gob.pa/wp-content/uploads/2023/06/Borrador-de-Plan-de-Manejo-del-PNCC.pdf>



Patra, M., Gupta, A. K., Kumar, D., & Kumar, B. (2025). Antimicrobial resistance: A rising global threat to public health. *Infectious Drug Resistance*, 18, 5419–5437. <https://doi.org/10.2147/IDR.S530557>

Secretaría Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación (SENACYT). (2025). *Plan Estratégico Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación (PENCYT) 2025-2029*. Panamá.

Rivera - Barba, A. E. (2000). *Actividades antimicrobiana y antimicótica de plantas del bosque tropical panameño* [Tesis de licenciatura, Universidad de Panamá, Facultad de Farmacia].

Rodríguez - Aguilar, Y. E. (2002). *Actividad antimicrobiana de plantas medicinales panameñas. VI parte* [Tesis de licenciatura, Universidad de Panamá, Facultad de Farmacia].

Santana, R. (2021, 11 de julio). Parque Nacional Camino de Cruces. *Esri StoryMaps*.

<https://storymaps.arcgis.com/stories/b865cbd512234172a583607e1831895b>

Sahoo, D., Sharma, P., Gupta, R., & Patel, K. (2025). *Biofilm formation and antifungal resistance mechanisms in *Candida auris**. *Journal of Medical Mycology*, 32(1), 45–58. <https://doi.org/10.1016/j.jmm.2025.01.005>



Seguridad alimentaria en Panamá: análisis espectroscópico y percepción ciudadana de envases poliméricos

Food safety in Panama: spectroscopic analysis and public perception of polymeric packaging

Lourdes Arjona

Universidad de Panamá. Facultad de Ciencias Naturales, Exactas y Tecnología.
Grupo de investigación, innovación y Desarrollo en Química Aplicada (GIIDQA)

Autor de correspondencia: lourdes.arjona@up.ac.pa

<https://orcid.org/0000-0002-0679-4337>

Gerardo Cáceres

Universidad de Panamá. Facultad de Ciencias Naturales, Exactas y Tecnología.
Grupo de investigación, innovación y Desarrollo en Química Aplicada (GIIDQA)

gerardo.caceres@up.ac.pa

<https://orcid.org/0000-0002-7029-6754>

M. Alejandra Quintana

Universidad de Granada. Facultad de Ciencias. Departamento de Ingeniería
Química.

e.malejandra@go.ugr.es

<https://orcid.org/0000-0002-5899-5798>

Irene Castillero

Universidad de Panamá. Facultad de Ciencias Naturales, Exactas y Tecnología.
Grupo de investigación, innovación y Desarrollo en Química Aplicada (GIIDQA)

irene.castillero@up.ac.pa

<https://orcid.org/0000-0002-7571-7386>

Miguel Delgado

Universidad de Panamá. Centro Regional Universitario de San Miguelito. Facultad
de Derecho.

miguel.delgado@up.ac.pa

<https://orcid.org/0000-0001-8279-1456>

**Felipe Barría**

Universidad de Panamá. Facultad de Ciencias Naturales, Exactas y Tecnología.
Grupo de investigación, innovación y Desarrollo en Química Aplicada (GIIDQA)

felipe.barría@up.ac.pa

<https://orcid.org/0009-0007-2267-2739>

Janira Jaén

Universidad de Panamá. Facultad de Ciencias Naturales, Exactas y Tecnología.
Grupo de investigación, innovación y Desarrollo en Química Aplicada (GIIDQA)

janira.jaen@up.ac.pa

<https://orcid.org/0000-0003-3354-5501>

Recepción: 17/09/25

Aceptado: 24/11/25

DOI <https://doi.org/10.48204/j.scientia.v36n1.a8134>

Resumen

A nivel mundial, el consumo global de plásticos ha experimentado un crecimiento exponencial. En Panamá, los envases plásticos destinado a conservar alimentos son importados, y muchos de estos productos no declaran su origen o el tipo de polímero con el que fueron elaborados, lo que representa un riesgo para la seguridad alimentaria debido a la migración de compuestos y otros aditivos al ser expuestos a condiciones que puedan promover estas migraciones. Esta investigación combina un enfoque científico-social en el que se identificó la composición de los polímeros utilizados como contenedores alimentarios mediante técnicas espectroscópicas, con el objetivo de verificar la correspondencia entre su composición real y la declarada por los fabricantes. Los resultados revelaron que el 36 % de los envases carecía de información sobre el tipo de material utilizado y que solo el 2 % de los plásticos analizados presentó discrepancias respecto a lo declarado por los fabricantes. Se aplicaron encuestas a un sector poblacional en Panamá para evaluar su conocimiento sobre la clasificación de los plásticos y los riesgos asociados al uso de plásticos desconocidos para su salud. Se identificó que el 44.7 % de los encuestados no considera el tipo de plástico al comprar productos alimenticios, y aunque más de la mitad (50.3 %) ha escuchado sobre los símbolos de clasificación, pocos logran reconocerlos adecuadamente. Esta información permite transformar los hábitos de consumo en la población panameña, hacia modelos más sustentables y basados en información sobre el uso correcto y responsable del material plástico destinado al contacto con alimentos.

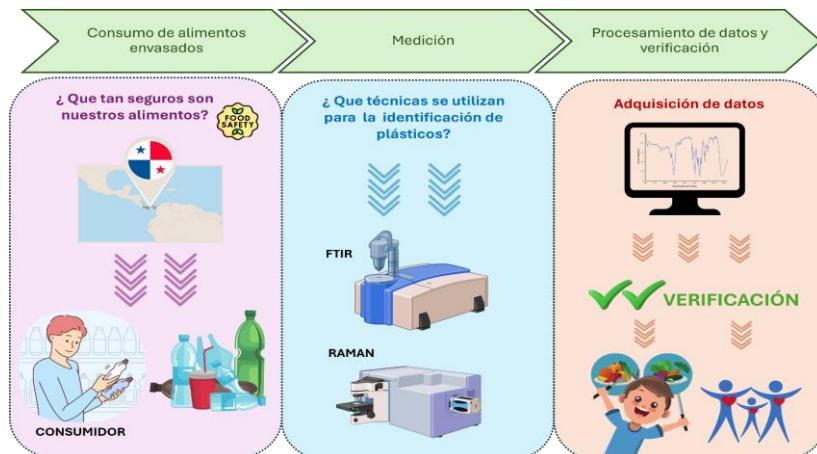
Palabras claves: Polímeros, envases, alimento, seguridad, población, encuesta.

Abstract

Globally, the consumption of plastics has experienced exponential growth. In Panama, plastic containers used to preserve food are imported, and many of these products do not declare their origin or the type of polymer with which they were made, which represents a risk to food safety due to the migration of compounds and other additives when exposed to conditions that may promote these migrations. This research combines a scientific-social approach in which the composition of polymers used as food containers was identified using spectroscopic techniques, with the aim of verifying the correspondence between their actual composition and that declared by manufacturers. The results revealed that 36% of the containers lacked information on the type of material used and that only 2% of the plastics analyzed showed discrepancies with respect to what was declared by the manufacturers. Surveys were conducted among a sector of the population in Panama to assess their knowledge of plastic classification and the risks associated with the use of unknown plastics to their health. It was found that 44.7% of respondents do not consider the type of plastic when purchasing food products, and although more than half (50.3%) have heard about classification symbols, few are able to recognize them properly. This information allows for the transformation of consumption habits among the Panamanian population toward more sustainable models based on information about the correct and responsible use of plastic materials intended for contact with food.

Keywords: Polymers, packaging, food, safety, population, survey.

Resumen gráfico



Introducción

El mercado mundial de envases plásticos utilizados para el empaque de alimentos ha experimentado un crecimiento lineal en los últimos años. Aunque la Organización Mundial de la Salud indicó la poca probabilidad de transmisión del COVID-19 a través de los alimentos (Generales et al., 2020), la mayoría de las empresas de alimentos tomaron medidas de envasado que minimizaran los riesgos



de transmisión. Para el 2020, el 42.0 % del plástico mundial estaba destinado al empaquetado de alimentos y productos manufacturados, este porcentaje se mantuvo para el año 2023 y en términos generales se estima que la producción mundial de plástico alcanzará entre 902 Mt y 1124 Mt (Dokl et al., 2024).

Entre los plásticos más comunes en el rubro alimentario tenemos; el Polietileno de Alta Densidad (HDPE), el Polietileno de Baja Densidad (LDPE), el Polipropileno (PP), el Poliestireno (PS), el Cloruro de Polivinilo (PVC), el Tereftalato de Polietileno (PET) y el Policarbonato (PC). Cada uno de estos polímeros posee una composición química variada, las cuales confieren características físicas, químicas y mecánicas específicas (Gebre et al., 2021).

Poliolefinas: Grupo que incluye el HDPE, LDPE y PP, constituyen la variedad de polímeros termoplásticos más utilizados en la actualidad por su resistencia y buenas propiedades dieléctricas (botellas contenedoras de agua, jugos, leche, envoltorios y empaques de alimentos). Su base polimérica presenta propiedades similares a los hidrocarburos, principal materia prima para su manufactura (Meira and Gugliotta, 2022).

Cloruro de Polivinilo (PVC): Son manufacturados a partir de la polimerización del monómero de cloruro de vinilo, a diferencia de las poliolefinas, contienen cloro (Cl) dentro de su estructura polimérica, este enlace confiere la característica amorfía que impide su recristalización (Meira and Gugliotta, 2022). La producción mundial de PVC se estima en 44,3 millones de toneladas métricas al año, representa el 12 % de todo el plástico que se produce globalmente (Miao et al., 2021). La Unión Europea en su Reglamento UE 10/2011, permite el uso de PVC rígido en bebidas no alcohólicas y alimentos no acuosos con una concentración no mayor del 1% en el recipiente (Comisión Europea, 2011).

Poliestireno (PS): Hidrocarburo aromático producto de la polimerización del monómero del estireno, su liviandad y alta resistencia al calor permite su uso en empaques de alimentos y productos desechables (Meira and Gugliotta, 2022).

Tereftalato de Polietileno (PET): Se obtiene mediante la reacción de policondensación entre el ácido tereftálico y el etilenglicol, se clasifica como un



polímero poliéster. Es el más ampliamente utilizado en la industria de empaque alimentario, en botellas, bandejas, platos y vasos (Meira and Gugliotta, 2022).

Policarbonato (PC): Polímero formado por moléculas de Bisfenol-A (BPA), contiene dos anillos fenólicos unidos por una cadena de propano, ambos anillos están conectados a un grupo hidroxilo (Meira and Gugliotta, 2022). Se caracteriza por su transparencia, resistencia al impacto y su alta capacidad de moldeado en altas temperaturas.

La tendencia actual es el desarrollo de materiales plásticos multicapa destinados a empacado alimentario. Algunas de estas combinaciones pueden llegar a incluir hasta quince capas plásticas con el fin de darle más tiempo de vida útil al alimento (Comisión Europea, 2011).

La República de Panamá dentro de sus legislaciones cuenta con la Ley 187 del 2 de diciembre de 2020 (Gaceta Oficial-República de Panamá, 2020) y el Decreto Ejecutivo No. 9 de 6 de mayo de 2022 (Decreto Ejecutivo #9, 2022). Tanto la ley como el decreto plantean promover e incentivar de manera transversal el desarrollo sostenible del país, reduciendo y reemplazando progresivamente los materiales plásticos por alternativas menos nocivas para el ambiente y la salud. El artículo 15 de la Ley 187 de 2020 establece las entidades encargadas de fiscalizar el cumplimiento de estas legislaciones: Autoridad Nacional de Aduanas, Autoridad de Protección al Consumidor, Ministerio de Salud y Ministerio de Ambiente. Sin embargo, no especifica el protocolo de análisis para dicha fiscalización, lo que permite el ingreso al país de materiales poliméricos sin etiquetado ni instrucciones de uso adecuado.

Se presenta, por primera vez en Panamá los resultados provenientes de una encuesta ciudadana enfocada en establecer el nivel de percepción, conocimiento y comportamiento en relación con el uso y reutilización de envases plásticos utilizados en el almacenamiento alimentario. Esta combinación de datos permite evidenciar la confianza o desconocimiento social respecto a la seguridad, etiquetado y manejo de los materiales plásticos.



Este enfoque integral entre las perspectivas científicas y sociales representa un avance concreto hacia prácticas de envasado alineadas con los principios de desarrollo sostenible, donde la decisión de compra del consumidor se convierte en un factor clave de cambio, a través de un acceso ilimitado a la información (a través del etiquetado, por ejemplo) y la implementación de políticas públicas basadas en el enfoque de una sola salud (Otto et al., 2021).

Materiales y métodos

Muestreo

Se colectaron, un total de 50 muestras y se codificaron por corregimiento; Ernesto Córdoba (EM), Juan Díaz (JD), Tocumen (TM), 24 De diciembre (DM). Las muestras se obtuvieron en el mercado local y fueron seleccionadas de manera aleatoria. Cada muestra fue registrada en una base de datos incluyendo la información reportada por el fabricante (tipo de plástico, las recomendaciones de uso, las advertencias de almacenamiento o reutilización, y otros símbolo o indicaciones relacionadas con seguridad alimentaria) y los resultados obtenidos en los análisis.

Espectroscopía Infrarroja por Transformada de Fourier (FTIR) y Raman

Las muestras plásticas fueron analizadas mediante espectroscopía FTIR y espectroscopía Raman, con el objetivo de identificar su estructura química. La técnica FTIR se fundamenta en la absorción de radiación infrarroja, donde cada enlace molecular exhibe frecuencias de vibración específicas. Para este análisis se empleó un espectrofotómetro Shimadzu IRTtracer-100, equipado con un accesorio de Reflectancia Total Atenuada (ATR). Los espectros se registraron en el rango de 4000 a 1200 cm⁻¹, correspondiente a la región media del infrarrojo. De manera complementaria, se efectuaron análisis mediante espectroscopía Raman, técnica basada en la dispersión inelástica de la radiación láser, capaz de detectar vibraciones moleculares débiles o no observables mediante FTIR. Para ello se empleó un espectrofotómetro portátil Rigaku Sync2, conocido por su alta sensibilidad y rapidez en la identificación de materiales.



Encuesta

Se aplicó una encuesta como técnica cuantitativa para obtener información sobre el uso local del plástico, lo que permitió identificar tendencias, opiniones y costumbres en la forma y modo de uso. La recolección de datos se llevó a cabo de forma digital, mediante el uso de formularios virtuales. En total, se recopilaron 1554 respuestas válidas. La tabla 2 presenta los ejes temáticos considerados en la encuesta.

Para la operacionalización de las variables, cada eje temático (Tabla 1) se tradujo en indicadores medibles mediante preguntas cerradas de opción múltiples y escalas tipo Likert. El eje sociodemográfico incluyó el nivel educativo. El eje de preferencia de consumo evaluó el tipo de envases adquirido y la frecuencia de compra. El eje de conocimiento sobre etiquetado midió la capacidad de los participantes para reconocer materiales poliméricos, así como su conocimiento sobre las rutas de disposición final y reciclabilidad. Finalmente, el eje de conciencia ciudadana evaluó el conocimiento sobre regulaciones vigentes y la percepción de riesgos químico asociados al uso de plástico en contacto con los alimentos.

Tabla 1

Descripción general de los ejes temáticos contenidos en la encuesta realizada

EJE TEMÁTICO	DESCRIPCIÓN
DATOS SOCIODEMOGRÁFICOS	Información básica de la población participante
PREFERENCIA DE CONSUMO DE MATERIAL PARA ENVASE ALIMENTARIO	Este conjunto de preguntas hace referencia al tipo de recipiente (material polimérico) más adquirido, la frecuencia de adquisición de dichos envases y el tipo de alimento empacado que se compra con mayor regularidad.
CONOCIMIENTO DE ETIQUETADO DE LOS MATERIALES POLIMÉRICOS	Se consultó a los usuarios sobre su capacidad para reconocer el material polimérico de los envases alimentarios que adquieren, su conocimiento acerca de las rutas de disposición final y la



CONCIENCIA CIUDADANA Y REGULACIÓN

reciclabilidad de dichos envases, así como su percepción respecto a la visibilidad de la información en los recipientes.

Se preguntó sobre el conocimiento de la importancia en la reducción del uso de material polimérico, si conoce sobre regulaciones en la prohibición del uso de plásticos, si conoce sobre la posibilidad de la liberación de compuestos químicos peligrosos presentes en los envases que pueden pasar a los alimentos y si ha escuchado sobre algunos compuestos químicos en particular como el BPA

Resultados

Análisis espectroscópicos de envases poliméricos

La Tabla 2 muestra los resultados de la caracterización de 50 muestras de envases mediante espectroscopía FTIR y Raman, técnicas que permitieron identificar con precisión el tipo de polímero de los envases. Estos resultados, se compararon con la información declarada por los fabricantes, lo que hizo posible evaluar la confiabilidad del etiquetado de los productos analizados.

Tabla 2

Identificación espectroscópica de envases para almacenamiento de alimentos de venta local en Ciudad de Panamá

Muestra	Código	Tipo de plástico			
		Declarado por el fabricante	Raman	FTIR	Coincidencia
1	EM01	PVC	PVC	PVC	Sí
2	EM02	No reportado	PVC	PVC	Sí
3	EM03	PP	PP	PP	Sí
4	EM04	No reportado	PP	PP	Sí
5	EM05	PP	PP	PP	Sí
6	EM06	Fibra de bambú	Celulosa	Celulosa	Sí



	EM07	PE	PE	PE	Sí
8	EM08	PP	PP	PP	Sí
9	EM09	PP	PP	PP	Sí
10	EM10	No reportado	PP	PP	Sí
11	EM11	No reportado	PP	PP	Sí
12	EM12	PS	PS	PS	Sí
13	EM13	PC	PC	PC	Sí
14	JM01	No reportada	PS	PS	Sí
15	JM02	Cartón	Celulosa	Celulosa	Sí
16	JM03	No reportada	Celulosa	Celulosa	Sí
17	JM04	Hoja de palma	No identificado	Fibra Bemberg (cupra)	Sí
18	JM05	Bagazo de caña	Celulosa	Celulosa	Sí
19	JM06	No reportada	No identificado	PE	No
20	JM07	No reportada	PET	PET	Sí
21	JM08	PS	PS	PS	Sí
22	JM09	No reportada	No identificadas	Caucho de silicona	Sí
23	JM10	Silicona	Silicona	Silicona	Sí
24	JM11	No reportada	2-Meil-4-nitroanilina	PP	No
25	JM12	No reportada	PET	PET	Sí
26	JM13	No reportada	Celulosa	Celulosa	Sí
27	TM01	No reportada	PP	PP	Sí
28	TM02	No reportada	PP	PP	Sí
29	TM03	Melamina	PET	PET	Sí
30	TM04	PS	PS	PS	Sí
31	TM05	7 OTHER	ABS	ABS	Sí
32	TM06	Nylon	No identificada	Poliamida (Nailon 6)	Sí
33	TM07	PP	PP	PP	Sí
34	TM08	PET	PP	PP	No
35	TM09	No reportado	PP	PP	Sí
36	TM10	Acrílico	ABS	ABS	Sí
37	TM11	PP	PP	PP	Sí
38	TM12	PP	PP	PP	Sí
39	DM01	PS	PS	PS	Sí
40	DM02	PS	PS	PS	Sí
41	DM03	PS	PS	PS	Sí
42	DM04	PP	PP	PP	Sí
43	DM05	No reportado	PP	PP	Sí
44	DM06	No reportado	PP	PPS	Sí

45	DM07	7 OTHER	ABS	ABS	Sí
46	DM08	PET	PET	PET	Sí
47	DM09	No reportado	No identificado	PE	Sí
48	DM10	PS	PS	PS	Sí
49	DM11	Cartón	No identificado	Celulosa microfibrilada	Sí
50	DM12	Papel	Celulosa	Celulosa	Sí

Interpretación de análisis espectroscópicos por polímero

Cloruro de polivinilo (PVC): El espectro FTIR del PCV (Figura 1), muestra bandas en 2950-2850 cm⁻¹, representa las vibraciones de tensión (stretching) C-H alifáticas (grupos -CH₃ y -CH₂), las bandas alrededor de 1430-1350 cm⁻¹ se atribuyen a las vibraciones de flexión (bending) C-H y la banda intensa en 1350 cm⁻¹, corresponde a las vibraciones de tensión C-Cl. Esta banda es una de las más distintivas del PVC.

Al igual que en el análisis por FTIR, el espectro Raman demuestra la presencia de PVC en la muestra analizada (Figura 2). Al comparar individualmente ambos espectros, la línea roja que representa la muestra problema y la línea azul correspondiente a la muestra de PVC de referencia, se observan coincidencias clave entre las bandas vibracionales. Destacando el estiramiento correspondiente a ≈1420 cm⁻¹ y el pico intenso establecido en ≈1320 cm⁻¹ que demuestra una deformación angular del enlace CH₂-Cl y de los grupos metileno, respectivamente. Adicionalmente, el espectro Raman revela dos picos adicionales entre 600 y 750 cm⁻¹, característicos de la vibración de estiramiento del enlace C-Cl.

Figura 1

Espectro FTIR para el PVC

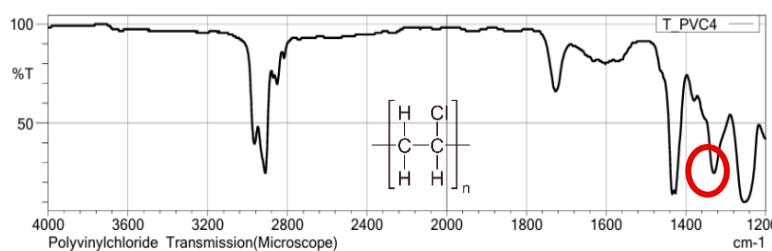
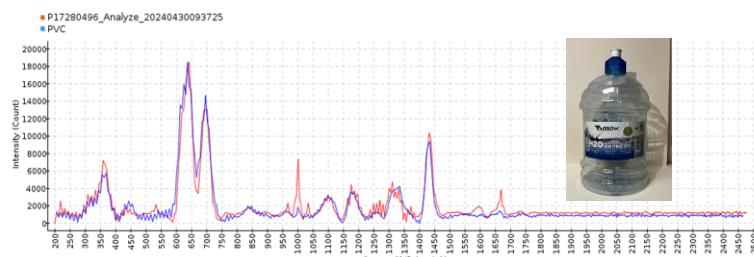


Figura 2
Espectro Raman para el PVC.


Polipropileno (PP): Conformado por grupos CH₂ y CH₃, los estiramientos C-H simétrico y asimétrico se observan entre 2950 y 2800 cm⁻¹ (Figura 3) y la deformación angular del grupo CH₃ se observa en 1390 cm⁻¹. Por su parte, el espectro Raman (Figura 4) revela un comportamiento similar entre la muestra problema y la muestra de referencia, lo que valida la presencia de propileno en la muestra analizada. Al comparar ambos espectros, se puede observar una coincidencia en las bandas asociadas a las deformaciones CH₂ y CH₃, localizadas entre 1300 y 1450 cm⁻¹, reforzando la identificación del polímero en la muestra.

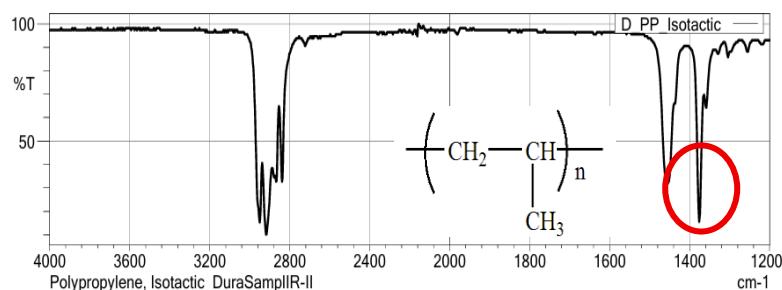
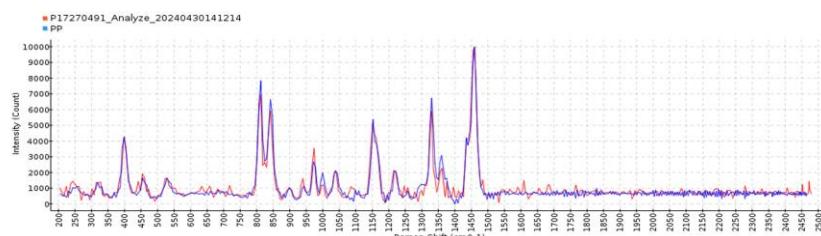
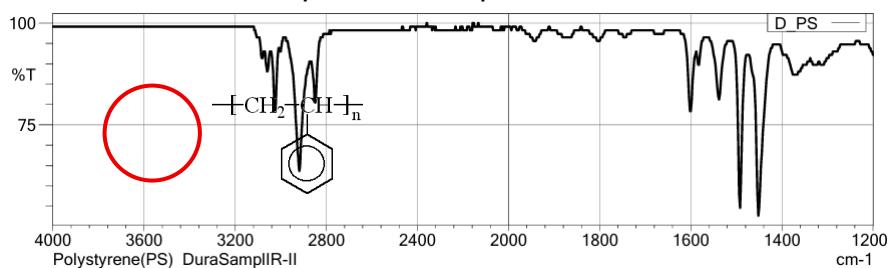
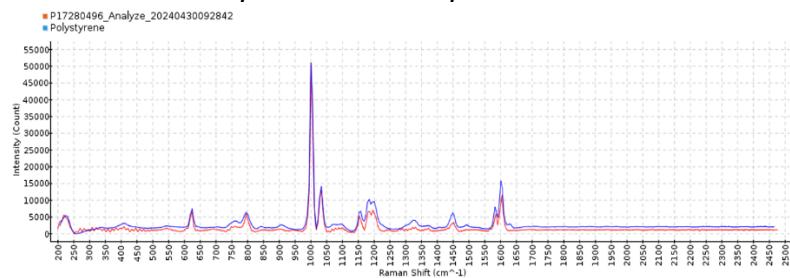
Figura 3
Espectro FTIR para el PP


Figura 4
Espectro Raman para el PP


Poliestireno (PS): El estiramiento C-H del anillo aromático se presentan en el rango de 3100-3000 cm⁻¹ (Figura 5). Estas bandas son más agudas y de intensidad moderada. Las bandas en la región de 1600-1500 cm⁻¹ y 1450 cm⁻¹. Estas corresponden a los modos de estiramiento C=C del anillo aromático. En consonancia con los resultados de FTIR, el espectro Raman (Figura 6) muestra un comportamiento consistente en los picos detectados entre 1550 y 1600 cm⁻¹, los cuales corresponden a las vibraciones de estiramiento de los enlaces C=C dentro de los anillos aromáticos, característico de las unidades repetitivas de estireno.

Figura 5
Espectro FTIR para el PS

Figura 6
Espectro Raman para el PS


Policarbonato (PC). En la Figura 7 se observa el espectro para el PC con bandas correspondientes a movimientos de tensión de los enlaces C-H a 2800-3000 cm^{-1} , un movimiento de tensión correspondiente y específico del C=O alrededor de 1750 cm^{-1} , movimientos de tensión de enlaces C-C a 1400-1600 cm^{-1} y un movimiento de flexión y de tensión de $-\text{CH}_2$ aromático y $-\text{CH}_3$ entre 1200-1300 cm^{-1} . Acorde con los resultados obtenidos por medio de FTIR, en la Figura 8 se puede observar información complementaria a través del Raman. Ambos espectros coinciden en un pico localizado alrededor de 1600 cm^{-1} , el cual indica el estiramiento de C=C del anillo aromático, característico de la estructura del policarbonato. El espectro Raman de la muestra problema muestra una alta similitud con el de la muestra de referencia, verificando una vez más que la muestra pertenece al policarbonato. Adicionalmente la sensibilidad del espectro Raman, nos da la capacidad de analizar picos adicionales, como el pico encontrado a 1170 cm^{-1} que se asocia al estiramiento C-O-C correspondiente al grupo carbonato de la cadena principal. Asimismo, se observa la deformación fuera del plano del anillo bencénico a $\approx 640 \text{ cm}^{-1}$, que describe la vibración del anillo aromático.

Figura 7

Espectro FTIR para el PC

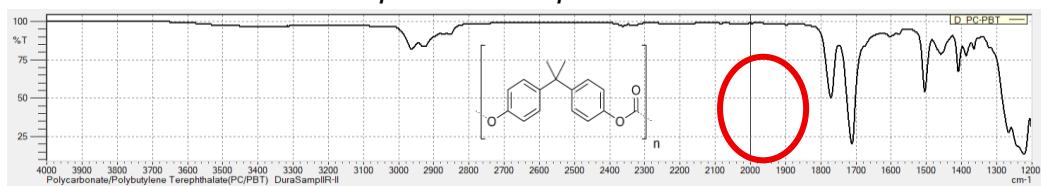
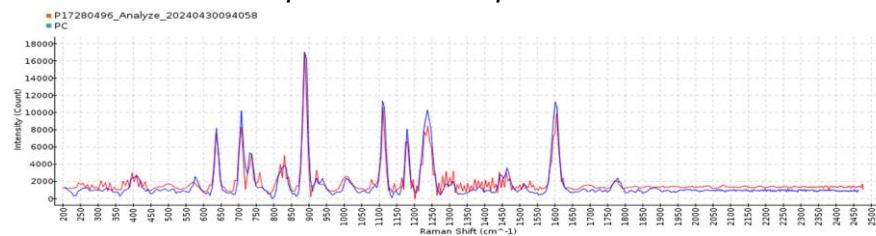


Figura 8

Espectro Raman para el PC



Polietileno de baja densidad (PE): La figura 9 muestra tres grupos de bandas correspondientes a movimientos de tensión de los enlaces C-H a 2850 cm^{-1} , tensión C-C a 1500 cm^{-1} y a un movimiento de flexión de $-\text{CH}_2$ en 700 cm^{-1} . Al superponer los espectros Raman de la muestra problema y su referencia, se observó una gran coincidencia entre ambos, lo que respalda la identificación del material como polietileno de baja densidad (LDPE) (Figura 10).

Figura 9

Espectro FTIR para el PE

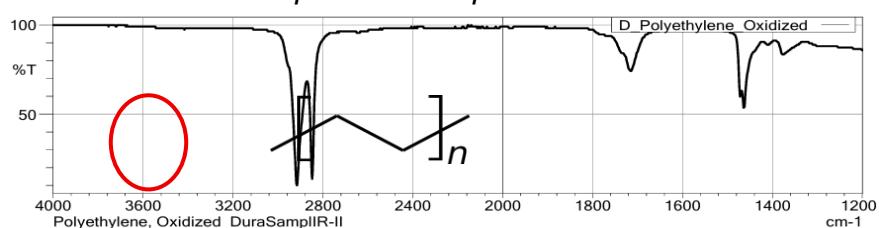
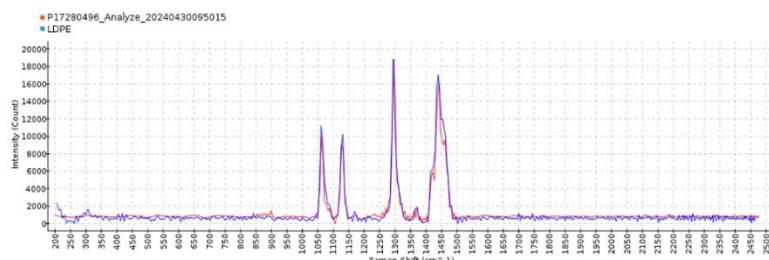


Figura 10

Espectro Raman para el PE



Polietileno Tereftalato (PET): La pequeña banda de adsorción entre $3100-2800\text{ cm}^{-1}$ se han atribuido al estiramiento del enlace $-\text{C}-\text{H}$ aromático y alifático, en 1720 cm^{-1} al estiramiento del enlace carbonilo éster y a 1300 cm^{-1} al estiramiento del grupo éster (Figura 11). El espectro Raman indica la presencia de dos picos que coinciden con los observados en el FTIR, destacando especialmente los ubicados en 1300 y 1720 cm^{-1} , asociados a la vibración del anillo aromático y el estiramiento del grupo éster de la cadena del PET ($\text{C}=\text{O}$), respectivamente, ambos característicos de la estructura del PET (Figura 12). Los picos ubicados en 1720 y 1100 cm^{-1} son particularmente relevantes, ya que permiten identificar con claridad el grupo éster, distintivo del PET frente a otros polímeros aromáticos.

Percepción ciudadana sobre los envases plásticos alimentarios

Datos sociodemográficos

La Figura 13 muestra la distribución de escolaridad de los participantes. Se observa que el 40 % posee estudios de maestría, constituyendo el grupo predominante. En segundo lugar, se encuentran participantes con grado de licenciatura con un 36.6 %. Los niveles de bachillerato y doctorado representan el 13.6 % y 9.8 %, respectivamente.

Figura 11

Espectro FTIR para el PET

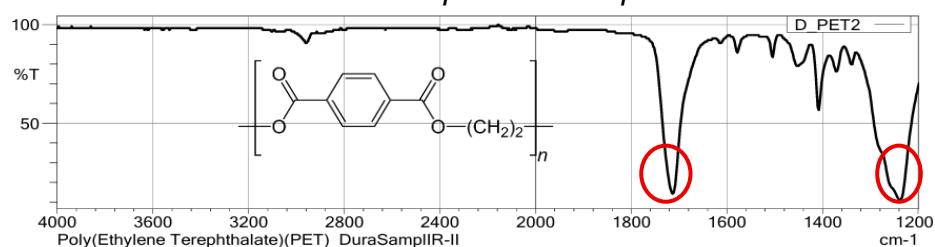
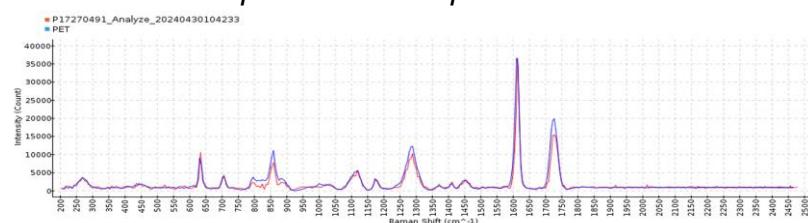


Figura 12

Espectro Raman para el PET



Preferencia de consumo

Al consultar sobre el tipo de envases preferido al momento de comprar productos alimenticios, el 47.8 % indicó preferir vidrio, seguido de plástico (25,9 %) y cartón (24.6 %). Solo el 1.7 % optó por aluminio.

A los encuestados se les preguntó directamente acerca de la frecuencia con la que compran productos en envases plásticos (Figura 14). Los resultados muestran que 34.1 % realiza estas compras de forma quincenal, seguido por el 23.5 % que lo hace semanalmente y el 17.2 % que las efectúa mensualmente. En menor medida, un 16.7 % compra rara vez y únicamente un 8.5 % lo hace diariamente.

Por otra parte, se consultó a la población si considera el tipo de plástico del envase al momento de realizar una compra (Figura 15). El 44.7 % respondió que no lo tiene en cuenta, el 31.5 % indicó que rara vez lo hace, y únicamente el 23.8 % afirmó prestar atención al tipo de plástico en el momento de la compra.

Figura 13
Nivel de escolarización de los encuestados
envases

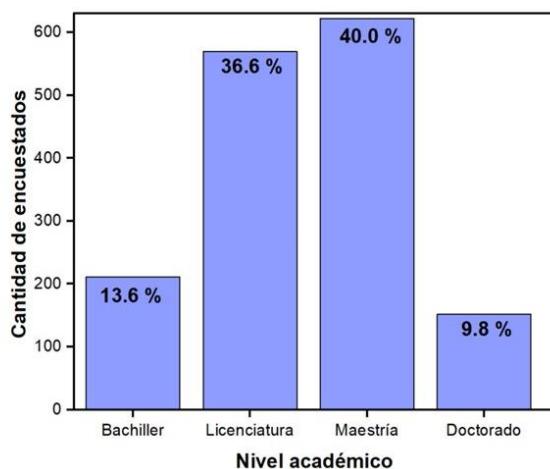


Figura 14
Frecuencia de compra de

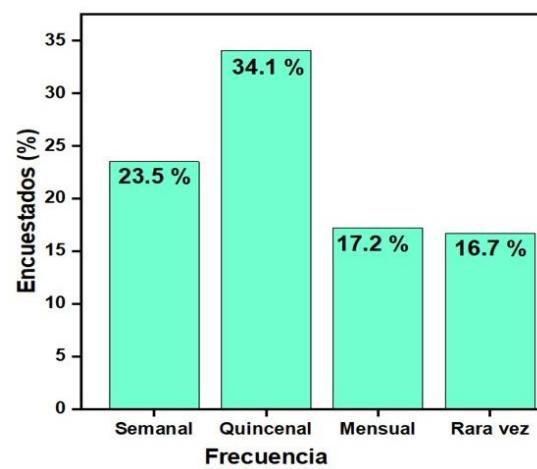
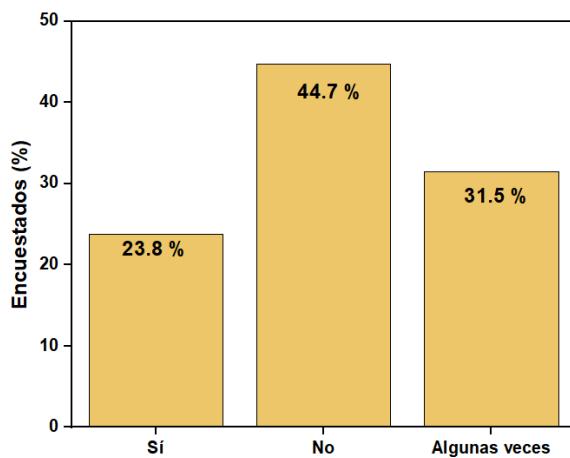


Figura 15

Consideración sobre el tipo de material momento de adquirir un envase



Conocimiento de etiquetado de materiales poliméricos

La Figura 16 presenta dos gráficas que ilustran el destino de los envases plásticos tras su uso. La primera (Figura 16A), muestra las acciones que las



personas realizan con los envases plásticos después de utilizarlos: el 40.5 % los reutiliza en casa, el 32.5 % los tira a la basura y el 24.1 % los lleva a reciclar. Entre los encuestados que lo reutilizan, la mayoría (80.0 %) los utiliza para almacenar alimentos, como se observa en la Figura 16B.

Del 40.5 % que reutiliza el plástico, el 77.6 % ha notado que el plástico se vuelve más blando, quebradizo, que cambia de color y de textura. Un alto número de encuestados, 99.0 %, dijo que si considera que el fabricante debe incluir las advertencias sobre la reutilización de envases.

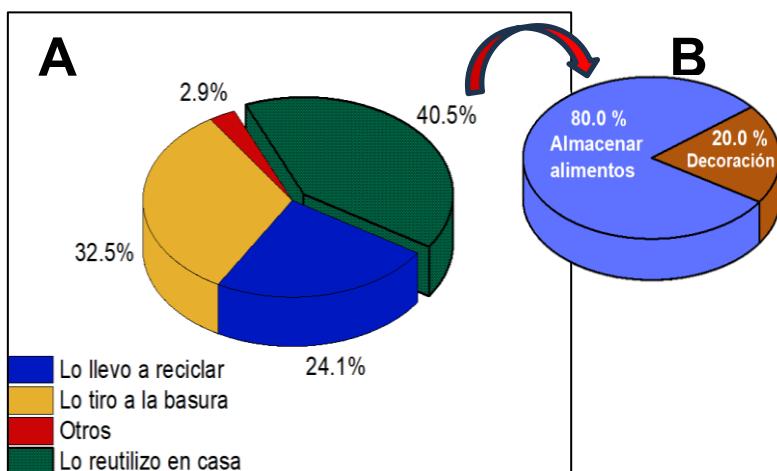
Al indagar si los consumidores prestan atención al símbolo de identificación presente en los envases plásticos, las respuestas evidencian distintos niveles de conocimiento y conciencia. Un 43.0 % señaló que ocasionalmente revisa estos símbolos, mientras que el 22.3 % afirmó que siempre lo hace. En contraste, el 17.8 % reconoció que nunca se ha fijado en ellos, lo que refleja una atención limitada a esta información.

De manera complementaria, los resultados muestran un desconocimiento generalizado sobre el significado de los números dentro de los rombos de reciclaje. Más de la mitad de los encuestados (50.3 %) indicó que ha escuchado hablar de ellos, pero no los conoce bien; un 25.6 % afirmó no tener idea de lo que representa, y únicamente el 24.1 % manifestó entenderlos correctamente.

Existe una marcada tendencia en la percepción de los encuestados en lo que respecta a la visibilidad de la información sobre los tipos de plásticos utilizados en los envases y empaques alimentarios. Un 98.1 % de los participantes manifiesta que la información debe ser más accesible/visible lo que expresa una demanda explícita de mayor transparencia en el etiquetado de materiales en contacto con alimentos.

Figura 16

(A) Reutilización de recipientes plásticos y (B) Uso posterior



Conciencia ciudadana y regulación

Al indagar sobre los temas que les gustaría conocer respecto a la seguridad de los envases plásticos, la opción con mayor tendencia fue “*como identificar los plásticos más seguros*”, alcanzando un 71.2% (Figura 17). Otra de las variables evaluadas reveló que un 99% de los encuestados expresó interés en recibir información sobre el tema, lo que refuerza de manera contundente la necesidad de promover y fortalecer la difusión de conocimientos sobre la seguridad de los envases plásticos en distintos entornos educativos y sociales. Este alto nivel de interés es clara muestra de una conciencia creciente en la población respecto a los posibles riesgos asociados y la importancia de estar informados.

El 88.3 % de los encuestados posee conocimiento sobre la capacidad de migración de algunos plásticos al ser expuestos a factores como elevadas temperaturas y/o a la radiación ultravioleta (rayos solares), el 11.6 % restante manifestó no manejar información acerca de este fenómeno. No obstante, al realizar el análisis de forma más específica el nivel de conocimiento referente al bisfenol A (BPA) y su potencial de migración hacia los alimentos, observamos que únicamente el 31.0 % de los encuestados reportó estar informados sobre el tema. Un 42.3 %



indicó haber escuchado algo al respecto, aunque con conocimientos muy limitados, en cambio un 26.6 % manifestó no tener conocimiento alguno.

Por último, se les preguntó a las personas que opinaban sobre la prohibición de ciertos plásticos de un solo uso. En la Figura 18 se muestran las respuestas obtenidas. La gran mayoría (alrededor del 80.0 %) de los encuestados considera que “*es una buena medida*”, mostrando una aceptación amplia hacia la prohibición.

Figura 17

Interés sobre información sobre los plásticos

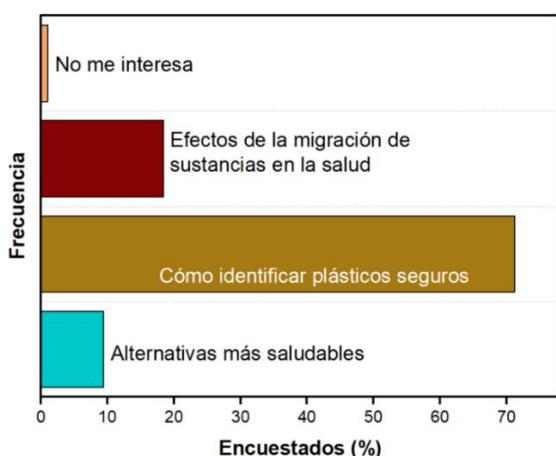
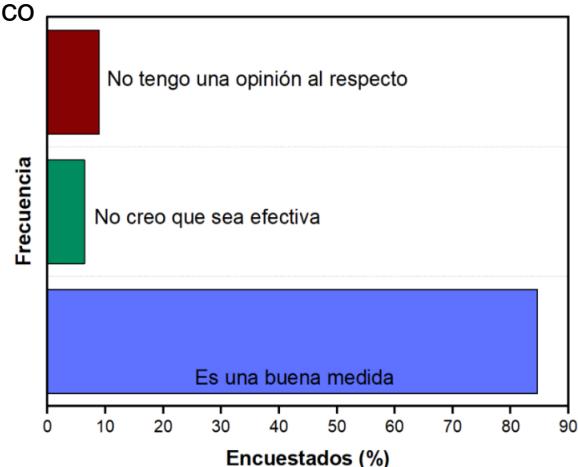


Figura 18

interés sobre regulaciones del plástico



Discusión

Este estudio evaluó, mediante dos técnicas espectroscópicas, la composición de los envases utilizados por los consumidores panameño. Además, a través de encuestas se identificaron los niveles de percepción, conocimiento y comportamiento de la población respecto al uso y la reutilización de envases plásticos y de otros materiales.

Los análisis espectroscópicos revelaron que en el 64 % de las muestras los fabricantes reportaban el tipo de plástico utilizado en la elaboración de envases, mientras que en el 36 % carecía de esta información. Esta ausencia de identificación no solo dificulta la evaluación de posibles riesgos para la salud asociados al



contacto con determinados polímeros, sino que limita la adecuada identificación y clasificación de los materiales para su gestión ambiental.

De todos los envases analizados, el PP fue el material más frecuente (36 %), seguido por PS (16 %) y celulosa (16 %), reflejando tanto el uso generalizado del PP por sus propiedades, resistencia y bajo costo (Hossain et al., 2024), como la creciente incorporación de materiales naturales o biopoliméricos, en línea con las tendencias hacia envases más sostenibles (Arif et al., 2022). No obstante, el PS plantea riesgos sanitarios por la posible liberación de estireno, un posible carcinógeno humano según la Agencia Internacional para la Investigación sobre el Cáncer (IARC) (IARC, 2019), y su baja reciclabilidad ha motivado restricciones en varios países. También resulta preocupante el uso de PVC (4 %), considerado de alto riesgo en la Unión Europea por la posible migración de sus aditivos (ECHA, 2023).

Los análisis espectroscópicos evidenciaron que las técnicas FTIR y Raman son complementarias, dado que cada una presenta sensibilidades diferenciadas frente a los grupos funcionales presentes en los polímeros. En el caso del PVC, los resultados muestran una mayor sensibilidad por Raman específicamente en los enlaces no polares, como C-C y Cl, lo que lo convierte en una herramienta idónea para completar la identificación estructural obtenida mediante FTIR (Ludwig et al., 2018). Asimismo, el espectro Raman permitió observar estiramientos adicionales, como las deformaciones fuera del plano CH₃, que aparecen en el rango de 810 a 850 cm⁻¹. Se resalta la mayor capacidad de detección y, por ende, una sensibilidad superior del análisis Raman hacia enlaces C-C, C-H y estructuras simétricas (Phan et al., 2022).

Los análisis en envases de poliestireno revelaron que ambas técnicas son capaces de identificar de manera consistente las características espectroscópicas propias de este polímero. La presencia de una banda prolongada a 1000 cm⁻¹, asociadas a vibraciones de anillos bencénicos, coincidió con los patrones



reportados en la literatura (Dang et al., 2024), lo que refleja la validez de los resultados obtenidos.

Los análisis de PE, destaca picos ubicados en 1450 cm⁻¹, asociado al estiramiento del grupo CH₂, el cual también coincide con el espectro FTIR, reforzando la consistencia entre ambas técnicas. Adicionalmente el espectro Raman permitió identificar bandas adicionales como las encontradas a 1300 cm⁻¹ y 1130, 1050 cm⁻¹ que corresponden al estiramiento de grupos metileno y al estiramiento simétrico de C-C, respectivamente (Bredács et al., 2021). Por su parte, en los análisis de muestras de PET, se observó la presencia de picos a 1600 cm⁻¹ que se asocia a estiramientos C=C del anillo aromático y 660 cm⁻¹ que corresponde a la deformación del anillo aromático producida por la vibración de baja frecuencia de este mismo. Estos datos refuerzan la información estructural complementaria y verifican la presencia de polietileno tereftalato en la muestra (Naguib et al., 2023). Muchas veces la muestra problema, no es compatible con las bases de datos, esto se debe principalmente al tratamiento que se le ha dado a la muestra si ha sido extruida y enfriada, tratada térmica y posteriormente estirada, es decir, si la muestra es amorfa y orientada, o cristalina y estirada, dato reportado por Chen Z (2012) (Chen et al., 2012).

En relación con los datos sociodemográficos, se identificó una alta proporción de participantes con formación de posgrado, lo cual sugiere un perfil académico avanzado en la muestra analizada. Este contexto puede influir en la percepción y el nivel de conocimiento reportado respecto a materiales etiquetados y sostenibles.

En análisis de la relación entre la preferencia de envases y las razones de elección muestran patrones claramente diferenciados. La mayoría de quienes optan por envases de vidrio lo hacen porque perciben que ofrece una mejor protección para los alimentos (387 respuestas). A esta motivación le siguen la posibilidad de reutilizar el envase (243) y por último porque prefieren un producto más ecológico (106). Estas tendencias son consistentes con estudios previos: Caner et al. (2025) (Caner et al., 2025) reportaron una preferencia marcada por envases de vidrio frente



a alternativas poliméricas, señalando además, que las mujeres mostraban mayor disposición a pagar por productos ecológicos.

En contraste, la elección de envases plásticos se sustenta principalmente en la percepción de que ayudan a evitar accidentes (168), y en menor medida, por su bajo costo (73). Por su parte, el cartón se asocia mayoritariamente con motivos ambientales, siendo considerado el material más ecológico por un número significativos de encuestados (265). El aluminio, en cambio, presenta una presencia marginal de las preferencias, con valores reducidos en todos los criterios evaluados.

Los panameños que compra de forma quincenal, los productos adquiridos con mayor frecuencia en envases plásticos corresponden principalmente a bebidas (agua, refrescos, jugos, entre otros) y alimentos procesados. En segundo plano aparecen los productos de limpieza, cosméticos y artículos de cuidado personal.

En conjunto, los datos reflejan que, si bien la compra diaria de productos de envases plásticos es limitada, existe una tendencia marcada hacia un consumo periódico y sostenido, especialmente semanal y quincenal, con predominio en las categorías de bebidas y alimentos procesados. Esta dinámica sugiere que el plástico mantiene una presencia constante en los hábitos de consumo, particularmente en productos de uso recurrente. Sin embargo, pese a la frecuencia significativa en la adquisición de productos en envases plásticos, la mayoría de los consumidores no percibe el material del envase como un factor determinante en sus decisiones de compra.

En general, aunque muchas personas están familiarizadas con estos símbolos que se muestran en los plásticos, la comprensión sigue siendo limitada, lo que evidencia la necesidad de mejorar la educación sobre su significado. El nivel de conocimiento sobre los códigos de identificación en plásticos varía de acuerdo con la formación académica, tal como lo señalan estudios previos estíudios (Caner et al., 2025).

Entre los participantes con nivel de bachillerato, casi la mitad ha escuchado sobre estos símbolos, pero no los comprenden bien, mientras que solo una cuarta



parte declara entenderlos con claridad. En el caso de quienes poseen estudios de licenciatura y maestría, más de la mitad reconoce los símbolos de manera superficial y aproximadamente el 23.0 % demuestra que los comprende correctamente. Finalmente entre los encuestados con grado de doctorado, se observa una mayor proporción que interpreta adecuadamente su significado, aunque persiste un pequeño grupo que no logra identificarlos.

Esta tendencia sugiere que, si bien los símbolos se muestran en los envases, su interpretación sigue siendo un desafío incluso en niveles educativos superiores.

Los resultados obtenidos en la sección de seguridad de los envases plásticos indican que la población muestra una alta sensibilización hacia la clasificación y el reconocimiento de polímeros considerados seguros para el contacto humano. Esto refleja una creciente preocupación por los posibles efectos en la salud derivados de la exposición a sustancias químicas migrantes, así como una actitud proactiva hacia la prevención. Dichos hallazgos destacan la necesidad de fortalecer las estrategias de comunicación científica y educación pública sobre materiales plásticos.

Además, los resultados sugieren una distribución asimétrica del conocimiento dentro de la muestra, predominando niveles bajos o intermedios de familiaridad con el BPA, presente principalmente en envases de policarbonato (de Paula and Alves, 2024). A pesar de una posible conciencia general sobre los riesgos asociados al uso de plásticos, los datos evidencian que el conocimiento específico sobre compuesto químicos particulares, como el BPA, sigue siendo insuficiente en una proporción considerable de la población evaluada (de Paula and Alves, 2024).

Paralelamente, la mayoría de los encuestados perciben la prohibición de algunos tipos de plásticos como una acción favorable para el medio ambiente y la salud de la población. Este hallazgo coincide con la encuesta global realizada por Ipsos a más de 24,000 personas en 32 países, donde el 85.0 % de los encuestados consideró que “*un tratado global para detener la contaminación por plásticos debería prohibir los plásticos problemáticos de un solo uso*” (Oceana, 2024). Estos resultados refuerzan la necesidad de que gobiernos y empresas incremente sus



esfuerzos para reducir la producción del plástico y adopten estrategias de eliminación progresiva de envases que representen un riesgo para la salud, tanto en el mercado panameño como a nivel mundial.

Conclusiones

La combinación de técnicas espectroscópicas, como Raman y FTIR, ha demostrado ser una herramienta poderosa y eficaz para la identificación y caracterización de materiales poliméricos. Esta capacidad analítica permite el desarrollo de protocolos regulatorios robustos que aseguren el ingreso a nuestro mercado materiales que cumplan con los estándares requeridos para el envasado de alimentos. Además, facilita la implementación de normativas que exijan la correcta identificación y etiquetado de estos materiales, incluido sus posibles usos recomendados, lo que contribuye a una mayor seguridad alimentaria y sostenibilidad ambiental.

El manejo de la información por parte de los consumidores panameños sobre los envases de alimentos es insuficiente. Aun cuando la muestra incluye participantes altamente escolarizados, se evidencia el desconocimiento de la simbología de etiquetado y las implicaciones en la salud que esto podría representar. Esta situación requiere mejoras que incluyan descripciones más claras en las etiquetas, así como el desarrollo de procesos formativos y educativos dirigidos a los niños, que puedan generar un cambio positivo a largo plazo, tanto en el uso como en el manejo consciente de los materiales de envasado, considerando su impacto en la salud y en el ambiente.

La implementación por parte de organismos estatales y sociales de programas de sensibilización basados en datos científicos e información sobre los productos, mediante sistemas de etiquetado, que podrían apoyar un comportamiento de compra más sostenible. Esta etiqueta debe incluir una clasificación predefinida para facilitar su comprensión (Otto et al., 2021).



En este contexto, la identificación del tipo de polímero de cada envase resulta fundamental para garantizar su uso seguro y reducir el riesgo de migración química hacia los alimentos, ya que cada polímero presenta una composición específica y propiedades particulares de resistencia térmica, permeabilidad y estabilidad frente a agentes químicos, lo que determina su compatibilidad con distintos tipos de alimentos y condiciones de almacenamiento. Por ello, es fundamental que los fabricantes indiquen de manera obligatoria el tipo de material de cada envase.

En Panamá, la economía circular debe mejorarse hasta alcanzar el modelo teórico ideal, al implementar sistemas avanzados de economía circular, Panamá puede servir como ejemplo para los países menos desarrollados, con el fin de aumentar los niveles de circularidad en toda la región.

Agradecimientos

Los autores agradecen a la Secretaría Nacional de Ciencia, Tecnología e innovación (SENACYT) por la financiación de esta investigación, a la Policía Nacional de Panamá, por el préstamo del equipo Raman al igual que al Centro de investigación e información de Medicamentos y tóxicos (CIIMET), por el permitir el uso del equipo FTIR. De igual manera agradecemos a todas las personas que participaron en la encuesta; su cooperación y disposición resultaron fundamental para alcanzar los objetivos de esta investigación.

Referencia Bibliográfica

Arif ZU, Khalid MY, Sheikh MF, Zolfagharian A, Bodaghi M. Biopolymeric sustainable materials and their emerging applications. *J Environ Chem Eng* 2022;10:108159. <https://doi.org/10.1016/J.JECE.2022.108159>.

Bredács M, Barretta C, Castillon LF, Frank A, Oreski G, Pinter G, et al. Prediction of polyethylene density from FTIR and Raman spectroscopy using multivariate data analysis. *Polym Test* 2021;104:107406. <https://doi.org/10.1016/J.POLYMERTESTING.2021.107406>.



Caner C, Pascall MA, Aday MS, Bicki D. Consumer Survey on the Environmental Impact of Food Packaging and How It Influences Purchasing Decisions. *Int J Food Sci* 2025;2025. [https://doi.org/10.1155/IJFO/9458195.](https://doi.org/10.1155/IJFO/9458195)

Chen Z, Hay JN, Jenkins MJ. FTIR spectroscopic analysis of poly(ethylene terephthalate) on crystallization. *Eur Polym J* 2012;48:1586–610. [https://doi.org/10.1016/J.EURPOLYMJ.2012.06.006.](https://doi.org/10.1016/J.EURPOLYMJ.2012.06.006)

Comisión Europea. REGLAMENTO (UE) No 10/2011 sobre materiales y objetos plásticos destinados a entrar en contacto con alimentos. D Of La Unión Eur 2011:89.

Dang TT, Sogut E, Uysal-Unalan I, Corredig M. Quantification of polystyrene microplastics in water, milk, and coffee using thermogravimetry coupled with Fourier transform infrared spectroscopy (TGA-FTIR). *Chemosphere* 2024;368:143777. [https://doi.org/10.1016/J.chemosphere.2024.143777.](https://doi.org/10.1016/J.chemosphere.2024.143777)

Decreto Ejecutivo #9. Decreto Ejecutivo No. 9 de 6 de mayo de 2022. 2022.

Dokl M, Copot A, Krajnc D, Fan Y Van, Vujanović A, Aviso KB, et al. Global projections of plastic use, end-of-life fate and potential changes in consumption, reduction, recycling and replacement with bioplastics to 2050. *Sustain Prod Consum* 2024;51:498–518. [https://doi.org/10.1016/J.SPC.2024.09.025.](https://doi.org/10.1016/J.SPC.2024.09.025)

ECHA. INVESTIGATION REPORT ON PVC AND PVC ADDITIVES Investigation report-PVC and PVC Additives ABOUT THIS REPORT Investigation report-PVC and PVC Additives. vol. 0. 2023.

Gaceta Oficial-República de Panamá. Ley 187 de 2 de diciembre de 2020. 2020.

Gebre SH, Sendeku MG, Bahri M. Recent Trends in the Pyrolysis of Non-Degradable Waste Plastics. *ChemistryOpen* 2021;10:1202. [https://doi.org/10.1002/OPEN.202100184.](https://doi.org/10.1002/OPEN.202100184)

Generales LP, Alimentarius C, Covid- L. COVID-19 e inocuidad de los alimentos: orientaciones para las empresas alimentarias. Orientaciones provisionales. COVID-19 e Inocuidad Los Aliment Orientaciones Para Las Empres Aliment Orientaciones Provisionales 2020:1–7. [https://doi.org/10.4060/ca8660es.](https://doi.org/10.4060/ca8660es)

Hossain MT, Shahid MA, Mahmud N, Habib A, Rana MM, Khan SA, et al. Research and application of polypropylene: a review. *Discov Nano* 2024;19. [https://doi.org/10.1186/s11671-023-03952-z.](https://doi.org/10.1186/s11671-023-03952-z)

IARC. Styrene, styrene-7,8-oxide, and quinoline. vol. 121. 2019.



Ludwig V, Da Costa Ludwig ZM, Rodrigues MM, Anjos V, Costa CB, Sant'Anna das Dores DR, et al. Analysis by Raman and infrared spectroscopy combined with theoretical studies on the identification of plasticizer in PVC films. *Vib Spectrosc* 2018;98:134–8. <https://doi.org/10.1016/J.VIBSPEC.2018.08.004>.

Meira GR, Gugliotta LM. Polímeros Introducción a su caracterización y a la ingeniería de la polimerización 2022;1:1–860.

Miao Y, von Jouanne A, Yokochi A. Current technologies in depolymerization process and the road ahead. *Polymers (Basel)* 2021;13:1–17. <https://doi.org/10.3390/polym13030449>.

Naguib HM, Zaki EG, Abdelsattar DE, Dhmees AS, Azab MA, Elsaheed SM, et al. Environmentally Friendly Polymer Concrete: Polymer Treatment, Processing, and Investigating Carbon Footprint with Climate Change. *ACS Omega* 2023;8:8804–14. <https://doi.org/10.1021/acsomega.3C00086>.

Oceana I. Encuesta revela que 85% de las personas apoya una prohibición mundial de los plásticos de un solo uso. 2024 2024. <https://www.wwf.org.mx/?387837/Encuesta-revela-que-85-de-las-personas-apoya-una-prohibicion-mundial-de-los-plasticos-de-un-solo-uso> (accessed August 25, 2025).

Otto S, Strenger M, Maier-Nöth A, Schmid M. Food packaging and sustainability – Consumer perception vs. correlated scientific facts: A review. *J Clean Prod* 2021;298:126733. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2021.126733>.

de Paula LCP, Alves C. Food packaging and endocrine disruptors. *J Pediatr (Rio J)* 2024;100:S40–7. <https://doi.org/10.1016/J.JPED.2023.09.010>.

Phan S, Padilla-Gamiño JL, Luscombe CK. The effect of weathering environments on microplastic chemical identification with Raman and IR spectroscopy: Part I. polyethylene and polypropylene. *Polym Test* 2022;116:107752. <https://doi.org/10.1016/J.POLYMERTESTING.2022.107752>.



Evaluación de la actividad citotóxica en líneas celulares cancerosas de plantas panameñas del Parque Nacional Camino de Cruces

Screening of the cytotoxic activity on cancer cell lines of panamanian plants from Camino de Cruces National Park

Yelkaira Vásquez

Universidad de Panamá, Facultad de Farmacia, Centro de Investigaciones Farmacognósticas de la Flora Panameña - Dr. Mahabir P. Gupta, Panamá

yelkaira.vasquez@up.ac.pa

<https://orcid.org/0000-0001-6501-6992>

Edith Madrid

Universidad de Panamá, Facultad de Farmacia, Centro de Investigaciones Farmacognósticas de la Flora Panameña - Dr. Mahabir P. Gupta, Panamá

edith.madrid@up.ac.pa

<https://orcid.org/0009-0003-0220-9617>

Lourdes García

Universidad de Panamá, Facultad de Farmacia, Centro de Investigaciones Farmacognósticas de la Flora Panameña - Dr. Mahabir P. Gupta, Panamá

lourdes.garcia-h@up.ac.pa

<https://orcid.org/0009-0006-0557-8700>

Dionisio Olmedo

Universidad de Panamá, Facultad de Farmacia, Centro de Investigaciones Farmacognósticas de la Flora Panameña - Dr. Mahabir P. Gupta, Panamá

dionisio.olmedo@up.ac.pa

<https://orcid.org/0000-0002-4681-1365>

Ana I. Santana

Universidad de Panamá, Facultad de Farmacia, Centro de Investigaciones Farmacognósticas de la Flora Panameña - Dr. Mahabir P. Gupta, Panamá

ana.santana@up.ac.pa

<https://orcid.org/0000-0002-3128-1226>

Alex Espinosa

Universidad de Panamá, Facultad de Farmacia, Centro de Investigaciones Farmacognósticas de la Flora Panameña - Dr. Mahabir P. Gupta, Panamá

yaravi601@gmail.com



<https://orcid.org/0009-0009-8412-3393>

Pablo N. Solís

Universidad de Panamá, Facultad de Farmacia, Centro de Investigaciones Farmacognósticas de la Flora Panameña - Dr. Mahabir P. Gupta, Panamá

Autor de correspondencia: pablo.solis@up.ac.pa

<https://orcid.org/0000-0002-9214-0339>

Recepción: 13/10/25

Aceptado: 27/11/25

DOI <https://doi.org/10.48204/j.scientia.v36n1.a8658>

Resumen

El cáncer es una de las principales causas de morbimortalidad en Panamá y constituye un desafío significativo para la salud pública. A fin de identificar especies de la flora panameña con potencial anticáncer, se realizó un estudio de bioprospección en una parcela del Parque Nacional Camino de Cruces. Se analizaron 925 géneros registrados en la parcela mediante criterios bio-quimiotaxonómicos y etnofarmacológicos, permitiendo seleccionar 164 especies pertenecientes a 91 géneros sin antecedentes de su composición química ni actividad anticáncer. De estas plantas promisorias se recolectaron 41 especies, generando 100 extractos vegetales obtenidos por maceración con diclorometano (DCM) y metanol (MeOH). La actividad citotóxica fue evaluada *in vitro* frente a tres líneas celulares cancerosas humanas de glándula mamaria (MCF-7), pulmón (H-460) y sistema nervioso central (SF-268), empleando el método colorimétrico de Sulforhodamina B. Se realizó un tamizaje preliminar a 100 µg/mL para estimar la inhibición del crecimiento celular (%GI) y un cribado final a cinco diluciones para determinar la concentración inhibitoria media (GI_{50}). En total 25 extractos resultaron activos con valores $GI_{50} = \leq 100 \mu\text{g/mL}$. Destacando las especies *Anthurium cerrocampanense* Croat (Araceae), *Tilesia baccata* Pruski (Asteraceae), *Connarus panamensis* Griseb. (Connaraceae), *Odonellia hirtiflora* (M. Martens & Galeotti) K.R. Robertson (Convolvulaceae), *Sicydium tamnifolium* (Kunth) Cogn. (Cucurbitaceae), *Polybotrya polybotryoides* (Baker) Christ (Dryopteridaceae), *Billia rosea* (Planch. & Linden) C. Ulloa & P. Jørg. (Hippocastanaceae), *Cyclopeltis semicordata* (Sw.) J. Smith (Lomariopsidaceae), *Spachea elegans* (G. Meyer) Juss (Malpighiaceae), *Bellucia pentamera* Naudin (Melastomataceae), *Conostegia speciosa* Naudin (Melastomataceae), *Otoba novogranatensis* Moldenke (Myristicaceae), *Sobralia fragrans* Lindl. (Orchidaceae), *Witheringia correana* D'Arcy (Solanaceae) que exhibieron por primera vez actividad citotóxica frente a las tres líneas celulares.

Palabras claves: Anticáncer, biodiversidad, H-460, MCF-7, SF-268, bioprospección.

Abstract

Cancer is one of the leading causes of morbidity and mortality in Panama and represents one of the greatest challenges to global public health. To identify Panamanian plant species with anticancer potential, a bioprospecting study was conducted in a plot within Camino de Cruces National Park. A total of 925 genera recorded in the plot were analyzed using bio-chemo-taxonomic and ethnopharmacological criteria, leading to the selection of 164 species belonging to 91 genera with no previous phytochemical or anticancer studies. Forty-one species of these potential plants were collected, yielding 100 plant extracts obtained by maceration with dichloromethane (DCM) and methanol (MeOH). Cytotoxic activity was evaluated *in vitro* against three human cancer cell lines: breast (MCF-7), lung (H-460), and central nervous system (SF-268), using the Sulforhodamine B



colorimetric assay. A preliminary screening at 100 µg/mL was performed to estimate cell growth inhibition (%GI), and a final screening at five dilutions was performed to determine the mean inhibitory concentration (GI_{50}). A total of 25 extracts were found to be active with $GI_{50} \leq 100$ µg/mL. Highlighting the species *Anthurium cerrocampanense* Croat (Araceae), *Tilea baccata* Pruski (Asteraceae), *Connarus panamensis* Griseb. (Connaraceae), *Odonellia hirtiflora* (M. Martens & Galeotti) K.R. Robertson (Convolvulaceae), *Sicydium tamnifolium* (Kunth) Cogn. (Cucurbitaceae), *Polybotrya polybotryoides* (Baker) Christ (Dryopteridaceae), *Billia rosea* (Planch. & Linden) C. Ulloa & P. Jørg. (Hippocastanaceae), *Cyclopeltis semicordata* (Sw.) J. Smith (Lomariopsidaceae), *Spachea elegans* (G. Meyer) Juss (Malpighiaceae), *Bellucia pentamera* Naudin (Melastomataceae), *Conostegia speciosa* Naudin (Melastomataceae), *Otoba novogranatensis* Moldenke (Myristicaceae), *Sobralia fragrans* Lindl. (Orchidaceae), *Witheringia correana* D'Arcy (Solanaceae), which exhibited cytotoxic activity against the three cell lines for the first time.

Keywords: Anticancer, biodiversidad, H-460, MCF-7, SF-268.

Introducción

El cáncer representa uno de los mayores retos para la salud pública mundial. A pesar de los avances en el diagnóstico y tratamiento, continúa siendo una de las principales causas de mortalidad a nivel global. De acuerdo con la Organización Mundial de la Salud (OMS), esta patología fue responsable de aproximadamente 10 millones de muertes en el 2020. Así mismo, detalla que los tipos de cáncer más frecuentes son el de mama (2.26 millones de casos y 685,000 muertes), pulmón (2.21 millones de casos y 1.80 millones de muertes), colon y recto (1.93 millones de casos y 916,000 muertes), y próstata (1.41 millones de casos) (Organización Mundial de la Salud, 2025).

En Panamá, los tumores malignos (neoplasias) representaron en el año 2023 la principal causa de muerte (16.9%), seguidos por las enfermedades isquémicas del corazón (10.1%), (Instituto Nacional de Estadística y Censo, 2025). Entre los tipos de cáncer más frecuentes, el cáncer de mama ocupó el tercer lugar con 306 defunciones, seguido del cáncer de pulmón con 277 defunciones y el cáncer de sistema nervioso central con 97 defunciones (Ministerio de Salud, 2025).

El descubrimiento de nuevos fármacos antineoplásicos es esencial debido a la incidencia de efectos adversos y la baja efectividad de los tratamientos actuales. Esta prioridad resalta la importancia de la biodiversidad en la búsqueda de nuevas



sustancias con actividad citotóxica. A diferencia de los compuestos sintéticos, los productos naturales presentan complejidad estructural y funcional, resultado de millones de años de evolución biológica. Esta diversidad química les confiere múltiples mecanismos de acción, diversas propiedades biológicas, lo que los convierte en candidatos atractivos para el desarrollo de fármacos multitarget más selectivos y con menos efectos secundarios (Newman, et al., 2020).

Se ha establecido que más de la mitad (64%) de los medicamentos actuales aprobados por la Food and Drug Administration (FDA), se basan en moléculas de origen natural o sus derivados, especialmente aquellos empleados en terapias antitumorales y antiinfecciosas (Newman, et al., 2020). Este hecho evidencia que la naturaleza continúa siendo una fuente inagotable de metabolitos bioactivos con eficacia terapéutica. Cabe resaltar, el paclitaxel (*Taxus brevifolia*), ampliamente utilizado en el tratamiento de diversos tipos de cáncer, incluyendo mama, ovario, pulmón y el sarcoma de Kaposi (Weaver, 2014; Coombe-Tennat, et al., 2024); la podofilotoxina y sus derivados etopósido y tenipósido (*Podophyllum peltatum*), eficaces contra diversos tumores (Xie, et al., 2025); los alcaloides vincristina y la vinblastina (*Catharanthus roseus*) empleados en el tratamiento de cáncer de mama, pulmón y leucemia (Ray, et al., 2024); la camptotecina y sus derivados topotecán e irinotecán (*Camptotheca acuminata*) utilizados en el tratamiento del cáncer de pulmón y de ovario (Zhao, et al., 2017).

En este contexto, la flora panameña representa un recurso de gran valor para la bioprospección, siendo Panamá uno de los países de mayor impacto ecológico en la región neotropical (Ministerio de Ambiente, 2020). Esta rica biodiversidad ha impulsado estudios orientados a evaluar la actividad biológica de la flora panameña. De la cual se han identificado extractos de plantas y se han aislado compuestos activos nuevos con potencial farmacológico (Caballero-George, et al., 2011; Olmedo et al., 2017).



Entre los ecosistemas que conforman esta diversidad, destaca el Parque Nacional Camino de Cruces (PNCC), un corredor biológico de aproximadamente 4,000 hectáreas, caracterizado por un clima tropical lluvioso y la influencia de vientos caribeños, que conecta los parques nacionales Soberanía y Metropolitano (Santana, 2021). Esta área protegida alberga una notable diversidad florística, incluyendo un porcentaje considerable de especies endémicas, muchas de las cuales permanecen sin estudiar, lo que lo convierte en un sitio estratégico para la prospección de especies con relevancia clínica.

En este marco, el presente estudio se enfocó en la evaluación de la actividad citotóxica *in vitro* de extractos de plantas panameñas del PNCC, frente a tres líneas celulares cancerosas humanas de glándula mamaria (MCF-7), pulmón (H-460) y sistema nervioso central (SF-268). Esta investigación se enmarca en las estrategias nacionales de bioprospección orientadas a la búsqueda de nuevos fármacos antineoplásicos más efectivos y seguros, contribuyendo al mismo tiempo a la conservación y valorización de la biodiversidad panameña.

Materiales y Métodos

Reactivos y células

Las líneas celulares ATCC HTB-22 (MCF-7), ATCC HTB-177 (H-460), NCI SF-268 (SF-268) fueron obtenidas de ATCC, EE. UU. La doxorubicina, tripsina-EDTA, suero fetal bovino (SFB) amortiguador de fosfato salino (PBS), sulfurodamina B, azul de tripano, ácido acético glacial y dimetilsulfóxido (DMSO) se adquirieron de Sigma-Aldrich, EE.UU. El medio RPMI y el tris-buffer se obtuvieron de HIMEDIA, EE.UU.

Selección de las plantas

El área de muestreo correspondió a una parcela de una hectárea ubicada en el PNCC, la cual tipifica el 65% de los bosques del país. A partir de un análisis bio-



quimio-taxonómico y etnofarmacológico de los 925 géneros registrados en la parcela se seleccionaron 164 especies pertenecientes a 91 géneros sin antecedentes de estudios sobre actividad anticáncer ni datos previos sobre su composición química, según la revisión bibliográfica en las bases de datos de PubMed y SciFinder (CAS).

Recolección e identificación de las plantas

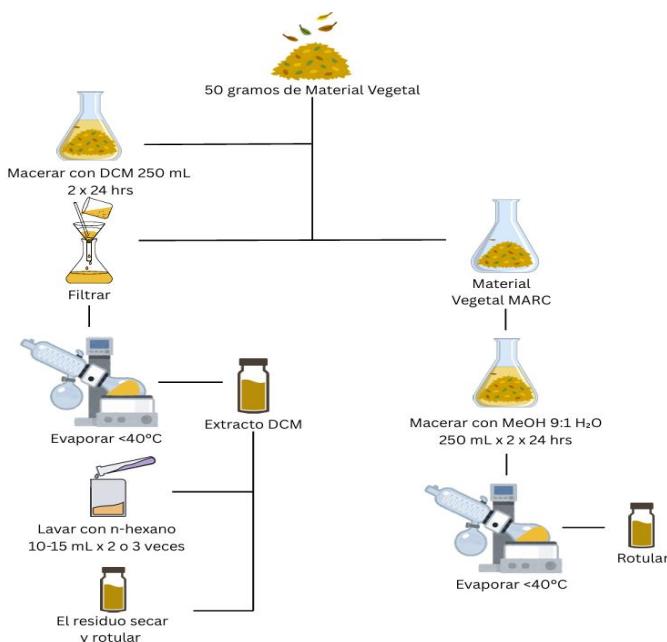
De las 164 especies seleccionadas por no contar con reportes previos de actividad anticáncer ni información sobre su composición química, se recolectaron 41 especies pertenecientes a 31 familias y 38 géneros, las cuales se detallan en la Tabla 1. Todas las especies fueron identificadas taxonómicamente por el botánico Alex Espinosa y los especímenes de referencia (Voucher) fueron prensados, secados y depositados en el Herbario de la Universidad de Panamá, Panamá.

Preparación de los extractos

El material vegetal molido (50g) se maceró sucesivamente con diclorometano (DCM) y metanol 90% (MeOH). Los extractos vegetales se filtraron y concentraron al vacío en un rotavapor a una temperatura <40 °C y se almacenaron en refrigeración hasta su posterior evaluación en las líneas celulares (Figura 1).

Figura 1

Esquema del proceso de preparación de los extractos vegetales con DCM y MeOH



Fuente: Wall, M. E. et. al., 1996

Bioensayo Anticáncer

La actividad citotóxica fue determinada de acuerdo con el método de Monks et al. (1991, 1997). El cual evalúa la citotoxicidad de los extractos en tres líneas celulares cancerosas MCF-7, H-460 y SF268. Cada línea celular fue inoculada en microplatos de 96 pocillos e incubada por 24 horas a 37 °C con 5% CO₂. Al cabo de las 24 horas se adicionaron los extractos y como patrón doxorrbicina, luego se incubaron por 48 horas. Transcurridas las 48 horas se retiraron los microplatos de la incubadora, se dejaron reposar por cinco minutos y se realizó la fijación de las células con ácido tricloroacético. Subsecuentemente se tiñeron los microplatos con una solución de sulforodamina B por 15 minutos, luego se enjuagaron con ácido acético 1% y se secaron al aire. Finalmente se adicionó Tris base 10mM a cada pocillo para la determinación de la absorbancia a 515/490 nm utilizando un lector de microplatos (INFITEK Modelo MPR-H200BC).

Análisis de datos



Los datos obtenidos fueron introducidos a una hoja de Excel® para así determinar los valores de %GI y la GI₅₀ [(DO de las células tratadas/DO de las células de control) x 100]. Todas las muestras se evaluaron en duplicado. Aquellas que presentaron un porcentaje de inhibición de crecimiento de las células cancerosas %GI = -20% a -100% en alguna de las tres líneas celulares fueron ensayadas nuevamente a cinco concentraciones (100 µg/mL, 31.6 µg/mL, 10 µg/mL, 3.16 µg/mL y 1 µg/mL), para determinar finalmente la concentración a la cual se inhibe el 50% del crecimiento de las células cancerosas (GI₅₀), considerándose activos aquellos extractos con una GI₅₀ = ≤ 100 µg/mL.

Resultados

A partir de las 41 especies recolectadas se obtuvieron 100 extractos: 50 (50%) preparados con metanol (MeOH), 49 (49%) con diclorometano (DCM) y 1 (1%) extracto acuoso (H₂O).

Tabla 1

Inhibición de crecimiento (%GI) de las plantas seleccionadas a una concentración (100 µg/mL) en las células cancerosas

Familia/Especie	Nº Florpar n	Fecha de colecta	Parte	Tipo de extract o	%GI		
					MCF -7	H- 460	SF- 268
ACANTHACEAE							
<i>Trichantera gigantea</i> (Bonpl.) Nees	5161	07-mar.-01	Madera	MeOH DCM	80.2 9.4	94.9 16.8	68.3 15.7
ACHARIACEAE							
<i>Lindackeria laurina</i> Presl	6154	18-jun.-03	Tallo	MeOH DCM	89.3 23.7	97.6 31.7	73.7 43.9
APOCYNACEAE							
<i>Rhabadenia biflora</i> (Jacq.) Muell.-Arg.	6332	09-oct.-03	Tallo	MeOH DCM	73.8 10.8	70.0 13.4	69.3 28.4
ARACEAE							
<i>Anthurium</i> <i>cerrocampanense</i> Croat	5919	08-abr.-03	Raíz	MeOH DCM	83.6 -30.5	81.2 11.0	81.3 -5.5
ARECACEAE							
<i>Desmoncus</i> <i>orthacanthos</i> Mart.	8966	26-may.-24	Hoja	MeOH DCM	85.0 80.6	80.6 77.8	68.7 34.8
ASTERACEAE							
<i>Tilesia baccata</i> Pruski	2218	19-sep.-95	Tallo	MeOH DCM	72.2 -20.9	91.1 -29.3	70.9 -28.6



BIGNONIACEAE								
<i>Arrabidaea sp.</i>	9014	08-ene.-25	Tronco	MeOH DCM	83.8 21.9	75.2 17.6	74.9 14.3	
<i>Stizophyllum riparium</i> (Kunth) Sandwith	6204	25-jul.-03	Hojas	MeOH DCM	68.1 -85.8	84.0 -51.4	70.5 -85.5	
BLECHNACEAE								
<i>Salpichlaena volubilis</i> (Kaulf.) J. Sm.	6192	21-jul.-03	Aérea	MeOH DCM	91.3 1.6	105. 8	74.0 25.7	16.7
BROMELIACEAE								
<i>Aechmea setigera</i> Mart. ex Schult. & Schult.f	9009	19-dic.-24	Entera	MeOH DCM	47.5 54.8	58.5 53.5	40.8 67.5	
COMBRETACEAE								
<i>Combretum decandrum</i> Jacq.	8994	24-sep.-24	Tallo	MeOH DCM	56.2 17.1	72.7 26.3	63.3 3.1	
CONNARACEAE								
<i>Connarus panamensis</i> Griseb.	8968	17-ago.-95	Hoja	MeOH DCM	87.2 -92.7	107. 2	104. 4	-74.5 -90.2
Cnestidium rufescens Planch.	2170	26-may.-24	Ramas	MeOH DCM	33.8 2.0	52.8 0.5	68.5 -26.5	
CONVOLVULACEA E								
<i>Odonellia hirtiflora</i> (M. Martens & Galeotti) K.R. Robertson	5094	14-feb.-01	Aérea	MeOH DCM	-38.1 -76.7	-15.8 -86.9	-39.3 -83.6	
COSTACEAE								
<i>Dimerocostus strobilaceus</i> Kuntze	9012	06-ene.-25	Hoja	MeOH DCM	66.5 85.3	65.5 82.2	33.5 69.6	
<i>Dimerocostus strobilaceus</i> Kuntze	2958	31-ene.-98	Tallo	MeOH DCM	0.3 11.7	30.4 8.3	-37.1 7.8	
CUCURBITACEAE								
<i>Sicydium tamnifolium</i> (Kunth) Cogn.	2307	25-nov.-95	Aérea	MeOH DCM	26.1 -69.8	31.9 -61.7	-29.4 -49.8	
CYCLANTHACEAE								
<i>Carludovica palmata</i> Ruiz & Pav.	8959	21-may.-24	Hoja	MeOH DCM	67.8 22.2	58.1 25.2	73.7 7.7	
DRYOPTERIDACEA E								
<i>Polybotrya polybotryoides</i> (Baker) Christ	8995	26-sep.-24	Fronda	MeOH DCM	75.2 70.2	113. 5	94.7 21.8	
<i>Polybotrya polybotryoides</i> (Baker) Christ	8995	26-sep.-24	Entera	MeOH DCM	85.8 -16.2	126. 0	76.5 -34.4	
EUPHORBIACEAE								
<i>Dalechampia tiliifolia</i> Lam.	9004	24-nov.-24	Hoja	MeOH DCM	65.3 26.5	72.5 18.1	64.1 10.4	



<i>Dalechampia tiliifolia</i> Lam.	9004	24-nov.-24	Tallo	MeOH DCM	54.9 80.0	63.1 42.6	57.6 47.4
FABACEAE-CAESALPINOIDEAE							
<i>Prioria copaifera</i> Griseb.	2127	09-jun.-95	Corteza/Tallo	MeOH DCM	-50.7 39.9	0.6 12.8	43.3 45.3
GESNERIACEAE							
<i>Chrysothemis</i> <i>friedrichsthaliana</i> (Hanst.) H.E. Moore	6269	27-agosto-03	Flor	MeOH DCM	74.7 42.9	49.6 33.4	49.2 34.1
HUMIRIACEAE							
<i>Vantanea depleta</i> McPherson	7014	16-abr.-07	Hoja	MeOH DCM	75.2 70.2	113.5 60.0	94.7 21.8
LOMARIOPSIDACE AE							
<i>Cyclopeltis</i> <i>semicordata</i> (Sw.) J. Smith	2210	19-sep.-95	Fronda	MeOH DCM	54.2 1.0	91.8 -12.5	73.8 -26.5
LOMARIOPSIDACE AE							
<i>Cyclopeltis</i> <i>semicordata</i> (Sw.) J. Smith	2210	19-sep.-95	Fronda	MeOH DCM	54.2 1.0	91.8 -12.5	73.8 -26.5
<i>Cyclopeltis</i> <i>semicordata</i> (Sw.) J. Smith	8960	21-may.-24	Fronda	MeOH DCM	69.7 31.6	71.6 31.4	64.1 13.0
MALPIGHIACEAE							
<i>Spachea elegans</i> (G. Meyer) Juss	5030	15-ene.-01	Rama	MeOH DCM	56.7 14.0	74.4 5.5	131.5 -19.9
MALVACEAE							
<i>Trichospermum</i> <i>galeotti</i> (Turcz.) Kosterm.	2304	23-nov.-95	Corteza	MeOH DCM	54.9 2.9	69.6 -15.1	52.6 -34.4
<i>Cyclopeltis</i> <i>semicordata</i> (Sw.) J. Smith	8960	21-may.-24	Fronda	MeOH DCM	69.7 31.6	71.6 31.4	64.1 13.0
MALPIGHIACEAE							
<i>Spachea elegans</i> (G. Meyer) Juss	5030	15-ene.-01	Rama	MeOH DCM	56.7 14.0	74.4 5.5	131.5 -19.9
MALVACEAE							
<i>Trichospermum</i> <i>galeotti</i> (Turcz.) Kosterm.	2304	23-nov.-95	Corteza	MeOH DCM	54.9 2.9	69.6 -15.1	52.6 -34.4
<i>Trichospermum</i> <i>galeotti</i> (Turcz.) Kosterm.	9054	03-abr.-25	Corteza de tallo joven	MeOH DCM	96.7 21.4	66.6 25.4	97.8 33.5
<i>Trichospermum</i> <i>galeotti</i> (Turcz.) Kosterm.	9054	03-abr.-25	Corteza de Tronco	MeOH DCM	91.2 35.6	88.3 34.5	87.6 38.4



<i>Trichospermum galeotti (Turcz.) Kosterm.</i>	9054	03-abr.-25	Madera de tallo joven	MeOH DCM	-5.2 -33.5	15.8 2.0	-39.7 22.9
MARANTHACEAE							
<i>Pleiotachya pruinosa (W. Bull ex Regel) K. Schum.</i>	8967	26-may.-24	Peciolo	MeOH DCM	71.9 52.1	69.1 61.6	66.2 56.6
MELASTOMATACEAE							
<i>Bellucia pentamera Naudin</i>	7786	07-mar.-08	Tallo	MeOH DCM	69.6 -11.9	65.3 -32.1	94.9 -45.2
<i>Conostegia sp.</i>	8961	21-may.-24	Hoja	MeOH DCM	19.4 39.3	61.1 38.2	35.4 17.0
<i>Conostegia aff subcrustulata (Beurl.) Triana</i>	8977	10-sep.-24	Hoja y Rama	MeOH DCM	96.6 52.8	98.1 80.4	95.3 17.6
<i>Conostegia bracteata Triana</i>	8979	10-sep.-24	Hoja y Rama	MeOH DCM	36.8 12.2	51.3 40.3	18.5 23.2
<i>Miconia lacera (Bonpl.) Naudin</i>	8980	10-sep.-24	Hoja y Rama	MeOH DCM	73.9 13.5	75.7 25.5	51.4 17.6
<i>Conostegia speciosa Naudin</i>	1673	10-agosto-94	Raíz	MeOH DCM	99.0 12.3	102. 9	82.0 -11.4
<i>Blakea parasitica (Aubl.) D.Don</i>	5130	26-abr.-01	Tallo	MeOH	65.5	91.3	43.3
MYRISTICACEAE							
<i>Otoba novogranatensis Moldenke</i>	7087	31-may.-07	Fruto	MeOH DCM	56.8 -78.0	71.0 -87.6	73.2 -67.2
ORCHIDACEAE							
<i>Epidendrum piliferum Rchb. f.</i>	9006	18-dic.-24	Tallo	MeOH DCM	79.6 90.0	80.8 75.3	39.2 42.2
<i>Sobralia fragrans Lindl.</i>	9007	18-dic.-24	Entera	MeOH DCM	56.3 -38.1	55.1 -20.2	42.4 -17.9
PICRAMNIACEAE							
<i>Picramnia antidesma subsp. fessonii (DC.) W. Thomas</i>	5121	24-abr.-01	Corteza/Tallo	MeOH DCM	10.0 -67.5	8.5 -66.2	13.0 -60.9
RUBIACEAE							
<i>Faramea eurycarpa Donn. Sm.</i>	6280	28-agosto-03	Corteza/Tallo	MeOH DCM	83.9 86.0	69.2 65.6	63.4 64.7
SAPINDACEAE							



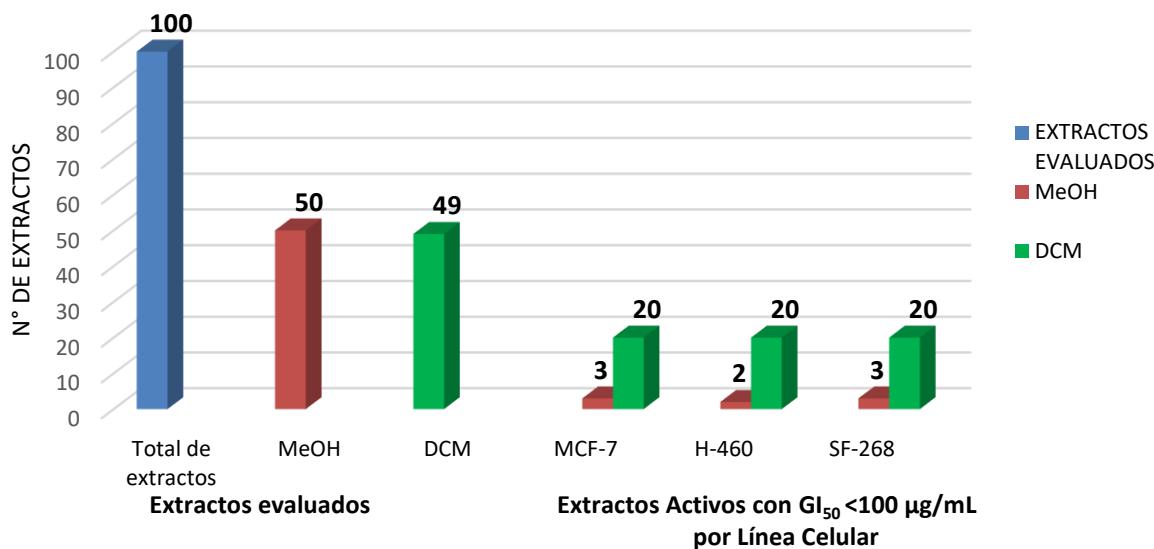
<i>Billia rosea (Planch. & Linden) C. Ulloa & P. Jørg.</i>	7024	16-abr.-07	Hoja	MeOH H ₂ O DCM	45.5 26.5 19.0	49.0 37.4 12.8	32.3 31.5 -19.0
<i>Billia rosea (Planch. & Linden) C. Ulloa & P. Jørg.</i>	7024	16-abr.-07	Tallo	MeOH DCM	14.5 7.6	16.3 -25.6	38.2 -7.3
SOLANACEAE <i>Witheringia correana D'Arcy</i>	6296	04-sep.-03	Entera	MeOH DCM	98.8 4.0	85.6 6.2	64.5 14.5

Los 100 extractos fueron evaluados inicialmente frente a las líneas celulares MCF-7, H-460 y SF-268, mediante un precribado a 100 µg/mL. Aquellos que mostraron %GI= -20% a -100% fueron seleccionados para la determinación de su GI₅₀. En esta fase, 23 extractos (23%) exhibieron actividad dentro de este rango; de ellos, 18 correspondieron a extractos de DCM y 5 a extractos de MeOH, como se muestra la Tabla 1. Estos resultados sugieren que los metabolitos de naturaleza lipofílica podrían ser los principales responsables de la actividad citotóxica observada.

Los extractos seleccionados (%GI = -20% a -100%) fueron posteriormente sometidos a un cribado final empleando cinco diluciones para determinar la GI₅₀, considerándose activos aquellos con valores de GI₅₀ = ≤100 µg/mL. En esta evaluación 25 extractos (25%) demostraron actividad citotóxica: 20 de los 49 extractos de DCM (40.8%) y 5 de 50 extractos de MeOH (10%) como se ilustra en la Figura 2.

Figura 2

Extractos de MeOH y DCM con actividad citotóxica en las líneas celulares cancerosas



Nota: Los extractos con valores de $GI_{50} \leq 100 \mu\text{g/mL}$ fueron considerados activos

Las especies *Trichantera gigantea* (Bonpl.) Nees (Acanthaceae), *Rhabdadenia biflora* (Jacq.) Muell.-Arg. (Apocynaceae), *Lindackeria laurina* Presl (Achariaceae), *Desmoncus orthacanthos* Mart. (Arecaceae), *Arrabidaea* sp. (Bignoniaceae), *Salpichlaena volubilis* (Kaulf.) J. Sm. (Blechnaceae), *Aechmea setigera* Mart. ex Schult. & Schult.f (Bromeliaceae), *Combretum decandrum* Jacq. (Combretaceae), *Carludovica palmata* Ruiz & Pav. (Cyclanthaceae), *Dalechampia tiliifolia* Lam. (Euphorbiaceae), *Chrysothermis friedrichsthaliana* (Hanst.) H.E. Moore (Gesneriaceae), *Vantanea depleta* McPherson (Humiriaceae), *Calathea warszewiczii* (Donn. Sm.) Schum. (Maranthaceae), *Pleiotachya pruinosa* (W. Bull ex Regel) K. Schum (Maranthaceae), *Conostegia* sp. (Melastomataceae), *Conostegia aff subcrustulata* (Beurl.) Triana (Melastomataceae), *Conostegia bracteata* Triana (Melastomataceae), *Miconia lacera* (Bonpl.) Naudin (Melastomataceae), *Blakea parasitica* (Aubl.) D.Don (Melastomataceae), *Epidendrum piliferum* Rchb. f. (Orchidaceae), *Faramea eurycarpa* Donn. Sm.



(Rubiaceae), resultaron inactivas frente a las líneas celulares cancerosas MCF-7, H-460 y SF268 (Tabla 1). Este estudio constituye el primer reporte de evaluación de la actividad citotóxica para estas especies.

Por otro lado, las especies *Anthurium cerrocampanense* Croat (Araceae), *Tilesia baccata* Pruski (Asteraceae), *Connarus panamensis* Griseb. (Connaraceae), *Cnestidium rufescens* Planch. (Connaraceae), *Odonellia hirtiflora* (M. Martens & Galeotti) K.R. Robertson (Convolvulaceae), *Dimerocostus strobilaceus* Kuntze (Costaceae), *Sicydium tamnifolium* (Kunth) Cogn. (Cucurbitaceae), *Polybotrya polybotryoides* (Baker) Christ (Dryopteridaceae), *Prioria copaifera* Griseb. (Fabaceae-Caesalpinoideae), *Billia rosea* (Planch. & Linden) C. Ulloa & P. Jørg. (Sapindaceae), *Cyclopeltis semicordata* (Sw.) J. Smith (Lomariopsidaceae), *Spachea elegans* (G. Meyer) Juss (Malpighiaceae), *Bellucia pentamera* Naudin (Melastomataceae), *Conostegia speciosa* Naudin (Melastomataceae), *Otoba novogranatensis* Moldenke (Myristicaceae), *Sobralia fragrans* Lindl. (Orchidaceae), *Witheringia correana* D'Arcy (Solanaceae), exhibieron por primera vez actividad citotóxica ($GI_{50} = \leq 100 \mu\text{g/mL}$) frente a las líneas celulares MCF-7, H-460, SF-268 (Tabla 2).

Tabla 2

Plantas panameñas con actividad citotóxica en líneas celulares cancerosas

Familia/Especie	N° Florpan	Parte	Tipo de extracto	GI ₅₀ (μg/mL)		
				MCF-7	H-460	SF-268
ARACEAE						
<i>Anthurium cerrocampanense</i> Croat	5919	Raíz	DCM	26	44	37
ASTERACEAE						
<i>Tilesia baccata</i> Pruski	2218	Tallo	DCM	40	48	49
BIGNONIACEAE						
<i>Stizophyllum riparium</i> (Kunth) Sandwith	6204	Hojas	DCM	42	26	38
CONNARACEAE						
<i>Connarus panamensis</i> Griseb.	8968	Hoja	DCM	7.9	12	14
<i>Cnestidium rufescens</i>	2170	Ramas	DCM	60	61	57



Planch.

CONVOLVULACEAE

<i>Odonellia hirtiflora</i> (M. Martens & Galeotti) K.R. Robertson	5094	Aérea	MeOH DCM	57 15	61 16	53 16
--	------	-------	-------------	----------	----------	----------

COSTACEAE

<i>Dimerocostus strobilaceus</i> Kuntze	2958	Tallo	MeOH	>100	>100	64
---	------	-------	------	------	------	----

CUCURBITACEAE

<i>Sicydium tamnifolium</i> (Kunth) Cogn.	2307	Aérea	MeOH DCM	>100 32	>100 38	87 35
---	------	-------	-------------	------------	------------	----------

<i>Polybotrya polybotryoides</i> (Baker) Christ	8995	Entera	DCM	42	43	24
---	------	--------	-----	----	----	----

FABACEAE-**CAESALPINOIDEAE**

<i>Prioria copaifera</i> Griseb.	2127	Corteza/ Tallo	MeOH	58	60	>100
----------------------------------	------	-------------------	------	----	----	------

LOMARIOPSIDACEAE

<i>Cyclopeltis semicordata</i> (Sw.) J. Smith	2210	Fronda	DCM	25	36	26
---	------	--------	-----	----	----	----

MALVACEAE

<i>Trichospermum galeotti</i> (Turcz.) Kosterm.	2304	Corteza	DCM	18	24	35
<i>Trichospermum galeotti</i> (Turcz.) Kosterm.	9054	Madera de tallo joven	MeOH DCM	72 37	>100 47	>100 39

MALPIGHIACEAE

<i>Spachea elegans</i> (G. Meyer) Juss	5030	Rama	DCM	41	57	46
--	------	------	-----	----	----	----

MELASTOMATACEAE

<i>Bellucia pentamera</i> Naudin	7786	Tallo	DCM	45	64	52
<i>Conostegia speciosa</i> Naudin	1673	Raíz	DCM	58	66	75

Naudin

MYRISTICACEAE

<i>Otoba novogranatensis</i> Moldenke	7087	Fruto	DCM	20	26	32
---------------------------------------	------	-------	-----	----	----	----

ORCHIDACEAE

<i>Sobralia fragrans</i> Lindl.	9007	Entera	DCM	16	19	16
---------------------------------	------	--------	-----	----	----	----

PICRAMNIACEAE

<i>Picramnia antidesma</i> subsp.-fessonnia (DC.) W. Thomas	5121	Corteza/ Tallo	DCM	6.5	8.7	10
---	------	-------------------	-----	-----	-----	----

SAPINDACEAE

<i>Billia rosea</i> (Planch. &	7024	Hoja	DCM	70	85	57
--------------------------------	------	------	-----	----	----	----



Linden) C. Ulloa & P. Jørg.							
<i>Billia rosea</i> (Planch. & Linden) C. Ulloa & P. Jørg.	7024	Tallo	DCM	57	77	59	
SOLANACEAE							
<i>Witheringia correana</i> D'Arcy	6296	Entera	DCM	8.1	6.8	7.9	
*DOXORRUBICINA=	9.7X10⁻⁷	9.4X10⁻⁷	5.7X10⁻⁶				
ORCHIDACEAE							
<i>Sobralia fragrans</i> Lindl.	9007	Entera	DCM	16	19	16	
PICRAMNIACEAE							
<i>Picramnia antidesma</i> subsp.-fessonnia (DC.) W. Thomas	5121	Corteza/Tallo	DCM	6.5	8.7	10	
SAPINDACEAE							
<i>Billia rosea</i> (Planch. & Linden) C. Ulloa & P. Jørg.	7024	Hoja	DCM	70	85	57	
<i>Billia rosea</i> (Planch. & Linden) C. Ulloa & P. Jørg.	7024	Tallo	DCM	57	77	59	
SOLANACEAE							
<i>Witheringia correana</i> D'Arcy	6296	Entera	DCM	8.1	6.8	7.9	
*DOXORRUBICINA=		9.7X10⁻⁷	9.4X10⁻⁷	5.7X10⁻⁶			

*Control positivo: Doxorrubicina

A su vez, las especies *Connarus panamensis*, *Picramnia antidesma* y *Witheringia correana* mostraron actividad citotóxica significativa, con valores de GI₅₀ = ≤ 10 µg/mL frente a las tres líneas celulares cancerosas evaluadas, lo que sugiere la presencia de metabolitos secundarios con potencial antineoplásico.

Discusión

Estudios previos sobre *Witheringia coccocoloides*, reportaron el aislamiento de los compuestos physalin B y 25,26-epidihydrophysalin C, los cuales mostraron actividad citotóxica significativa frente a líneas celulares tumorales humanas de epidermoide de cavidad oral. Además, physalin B exhibió actividad antitumoral *in vivo* en un modelo murino de leucemia (Antoun, *et al.*, 1981). En el presente estudio, *Witheringia correana* mostró valores de GI₅₀ = 8.1 µg/mL MCF-7, 6.8 µg/mL H-460,



7.9 µg/mL SF-268, representando la primera evidencia de su actividad citotóxica.

De igual forma, reportes previos sobre *Picramnia antidesma* (Solís *et al.*, 1995; Hernández *et al.*, 2002) identificaron glicósidos de antraquinona con citotoxicidad destacada frente a células KB, particularmente el compuesto 10-epi-uveoside aislado de la corteza de raíz ($ED_{50} = 0.6 \mu\text{M}$). Estos hallazgos revelaron que la actividad antiplasmódica tradicionalmente atribuida a la especie se relaciona en realidad con la citotoxicidad de sus antraquinonas, lo que limita su selectividad terapéutica y, al mismo tiempo resalta su potencial como fuente de compuestos antitumorales.

Se evaluaron dos extractos de DCM obtenidos de la fronda de *Cyclopeltis semicordata*, la muestra colectada con No. Florpan 2210 mostró actividad frente a las tres líneas celulares evaluadas ($GI_{50} = 25 \mu\text{g/mL}$ MCF-7, 36 µg/mL H-460, 26 µg/mL SF-268), mientras que la muestra colectada con No. Florpan 8960, resultó inactiva en las líneas celulares. La revisión de los Vouchers de ambas colectas indicó que la muestra 2210 correspondía a una planta madura con abundantes soros, mientras que la colecta 8960 provenía de un ejemplar joven con pocos soros. Estas diferencias morfológicas sugieren que la planta adulta concentra metabolitos responsables de la actividad citotóxica.

Por otro lado, *Trichospermum galeottii* ha sido reportada previamente con actividad citotóxica en líneas celulares cancerosas de riñón ($GI_{50} = 3.4 \mu\text{g/mL}$ TK-10) y melanoma ($GI_{50} = 9.4 \mu\text{g/mL}$ UACC-62) (Barberena, *et al.*, 2004), además de mostrar efectos inmunomoduladores sobre células esplénicas de ratón. Estos hallazgos respaldan los resultados obtenidos de *T. galeotti* en el presente estudio donde los extractos de corteza (DCM) presentaron $GI_{50} = 18 \mu\text{g/mL}$ MCF-7, 24 µg/mL H-460, 35 µg/mL SF-268, mientras que la madera de tallo joven (DCM) mostró $GI_{50} = 37 \mu\text{g/mL}$ MCF-7, 47 µg/mL H-460, 39 µg/mL SF-268), constituyendo este el primer registro de actividad citotóxica en estas líneas celulares.



A su vez, estudios previos de fraccionamiento bioguiado con *Stizophyllum riparium* revelaron que el extracto de cloroformo de la corteza posee marcada actividad citotóxica frente a células de leucemia P-388 ($ED_{50} = 0.07 \mu\text{g/mL}$), conduciendo al aislamiento de triterpenos y pregnanos bioactivos, destacando el compuesto stizophyllin que bloquea el ciclo celular al inducir bloqueo en la fase G₂ + M (Duh, et al., 1987). En el presente estudio se reporta por primera vez la actividad citotóxica de *S. riparium* frente a las líneas celulares MCF-7, H-460 y SF-268.

En consecuencia, las especies evaluadas se perfilan como candidatas prometedoras para investigaciones futuras enfocadas en la caracterización química, aislamiento de sus metabolitos activos y modelado molecular. La variabilidad observada en la respuesta entre distintas líneas celulares sugiere que factores genéticos y metabólicos propios de cada tipo de cáncer influyen en la selectividad y eficacia de los compuestos bioactivos, resaltando la importancia de considerar perfiles moleculares específicos al analizar la selectividad y eficacia de los agentes antineoplásicos.

Conclusión

Este estudio documenta por primera vez la actividad citotóxica ($GI_{50} = \leq 100 \mu\text{g/mL}$) frente a líneas celulares cancerosas en 17 de las especies evaluadas (Tabla 2). Estos resultados constituyen un punto de partida relevante para investigaciones posteriores orientadas al aislamiento bioguiado de compuestos activos, la elucidación estructural de los metabolitos y el modelado molecular enfocado en potenciales dianas terapéuticas contra el cáncer.

Los datos obtenidos sugieren que los metabolitos secundarios presentes en los extractos de DCM podrían ser los responsables de la actividad citotóxica observada, en concordancia con estudios previos que atribuyen efectos anticancerígenos a compuestos de naturaleza triterpénica, antraquinónica,



esteroidal, entre otros.

Asimismo, 21 especies no mostraron actividad citotóxica (Tabla 1); no obstante, este trabajo representa el primer reporte de evaluación actividad anticancerígena para todas ellas, constituyendo un aporte al estudio de la flora panameña.

En conjunto, estos hallazgos reafirman el valor de la biodiversidad de Panamá como una fuente estratégica de metabolitos con potencial antineoplásico y destacan la importancia de su estudio para promover el aprovechamiento sostenible de los recursos naturales.

Agradecimientos

Esta investigación fue financiada por la Secretaría Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación (SENACYT) a través del proyecto “Potencial Anti-Cáncer y Antimicrobiano en una Parcela del Bosque del Parque Nacional Camino de Cruces (PNCC)”, FID-23-037. Se agradece al Ministerio de Ambiente por el permiso de acceso a recurso biológico y genético No. ARB-014-2024.

Referencias bibliográficas

- Antoun, M. D., Abramson, D., Tyson, R. L., Chang, C. J., McLaughlin, J. L., Peck, G., & Cassady, J. M. (1981). Potential antitumor agents. XVII. physalin B and 25,26-epidihydrophysalin C from Witheringia coccoboides. *Journal of natural products*, 44(5), pp. 579–585. <https://doi.org/10.1021/np50017a013>
- Barberena, I., Calderón, A., Solís, P. N., Correa, M., Risco, E., Cañigueral, S., Alvarez E., Fernández T., Hajos S., Gupta, M. P. (2004). Screening of Anticancer and Immunomodulatory Activities of Panamanian Plants. *Pharmaceutical Biology*, 42(7), pp. 552–558. <https://doi.org/10.3109/13880200490901230>
- Caballero-George, C., & Gupta, M. P. (2011). A quarter century of pharmacognostic research on Panamanian flora: A review. *Planta Medica*, 77(11), pp. 1189–1202. <https://doi.org/10.1055/s-0030-1271187>
- Coombe-Tennant, T., Zhu, X., Wu, S., & Loake, G. J. (2024). Avances recientes en



la biosíntesis y regulación del paclitaxel. *Journal of Experimental Botany*, 76(1), pp. 124–133. <https://doi.org/10.1093/jxb/erae240>

Duh, C. Y., Pezzuto, J. M., Kinghorn, A. D., Leung, S. L., & Farnsworth, N. R. (1987). Plant anticancer agents XLIV. Cytotoxic constituents from *Stizophyllum riparium*. *Journal of natural products*, 50(1), pp. 63–74. <https://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/np50049a010>

Hernández-Medel, M.del R., & Pereda-Miranda, R. (2002). Cytotoxic anthraquinone derivatives from *Picramnia antidesma*. *Planta médica*, 68(6), pp. 556–558. <https://doi.org/10.1055/s-2002-32562>

Instituto Nacional de Estadística y Censo. (2025). Estadísticas Vitales, Volumen III
- Defunciones: Año 2023. https://www.inec.gob.pa/publicaciones/Default3.aspx?ID_PUBLICACION=1309&ID_CATEGORIA=3&ID_SUBCATEGORIA=7

Ministerio de Ambiente. (2020). BIODIVERSIDAD, EL GRAN TESORO DE PANAMÁ. <https://www.miambiente.gob.pa/panama-una-joya-de-la-biodiversidad-global/>

Ministerio de Salud de la República de Panamá. (2025). Boletín estadístico: Año 2021 (Final), 2022 (Preliminar), 2023 (Preliminar). <https://www.minsa.gob.pa/contenido/boletin-estadistico-ano-2021final-2022preliminar-2023preliminar>

Monks, A., Scudiero, D., Skehan, P., Shoemaker, R., Paull, K., Vistica, D., Hose, C., Langley, J., Cronise, P., & Vaigro-Wolff, A. (1991). Feasibility of a high-flux anticancer drug screen using a diverse panel of cultured human tumor cell lines. *Journal of the National Cancer Institute*, 83(11), pp. 757–766. <https://doi.org/10.1093/jnci/83.11.757>

Monks, A., Scudiero, D. A., Johnson, G. S., Paull, K. D., & Sausville, E. A. (1997). The NCI anti-cancer drug screen: a smart screen to identify effectors of novel targets. *Anti-cancer drug design*, 12(7), pp. 533–541. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/9365500/>

Newman, D. J., & Cragg, G. M. (2020). Natural products as sources of new drugs over the nearly four decades from 01/1981 to 09/2019. *Journal of Natural Products*, 83(3), pp. 770-803. <https://doi.org/10.1021/acs.jnatprod.9b01285>

Olmedo, D. A., González-Medina, M., Gupta, M. P., & Medina-Franco, J. L. (2017). Cheminformatic characterization of natural products from Panama. *Molecular diversity*, 21(4), pp. 779–789. <https://doi.org/10.1007/s11030-017-9781-4>



Organización Mundial de la Salud. (2025). Cáncer. <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/cancer>

Ray, B., Das, S., Deka, P., Das, K., Niyogi, P., & Barman, T. (2024). A review: Importance of Catharanthus roseus in the treatment of cancer. *African Journal of Biomedical Research*, 27(1S), pp. 1384–1388. <https://doi.org/10.53555/AJBR.v27i1S.1624>

Santana, R. (2021). Parque Nacional Camino de Cruces. <https://storymaps.arcgis.com/stories/b865cbd512234172a583607e1831895b>

Solís, P. N., Ravelo, A. G., González, A. G., Gupta, M. P., & Phillipson, J. D. (1995). Bioactive anthraquinone glycosides from Picramnia antidesma spp. fessonii. *Phytochemistry*, 38(2), pp. 477–480. [https://doi.org/10.1016/0031-9422\(94\)00598-n](https://doi.org/10.1016/0031-9422(94)00598-n)

Wall, M. E., Wani, M. C., Brown, D. R., Johnson, T. C., & Takimoto, C. H. (1996). Effect of tannins on screening of plant extracts for enzyme and cytotoxic activities. *Phytomedicine*, 3(4), pp. 281–285. [https://doi.org/10.1016/S0944-7113\(96\)80067-5](https://doi.org/10.1016/S0944-7113(96)80067-5)

Weaver B. A. (2014). How Taxol/paclitaxel kills cancer cells. *Molecular biology of the cell*, 25(18), pp. 2677–2681. <https://doi.org/10.1091/mbc.E14-04-0916>

Xie, Y., Khalifa, S. A. M., El-Seedi, H. R., & Coghi, P. (2025). Multi-Target Biological Activities of Podophyllotoxin-Derived Natural Products. *Oncology Research*, 33(10), pp. 2673-2697. <https://doi.org/10.32604/or.2025.067666>

Zhao, D., Hamilton, J. P., Pham, G. M., Crisovan, E., Wiegert-Rininger, K., Vaillancourt, B., DellaPenna, D., & Buell, C. R. (2017). De novo genome assembly of Camptotheca acuminata, a natural source of the anti-cancer compound camptothecin. *GigaScience*, 6(9), pp. 1–7. <https://doi.org/10.1093/gigascience/gix065>



Influencia de las perturbaciones antrópicas en la estructura de la comunidad de vertebrados en un bosque urbano: Caso del Campus Dr. Víctor Levi Sasso

Influence of Anthropogenic Disturbances on Vertebrate Community Structure in an Urban Forest: A Case Study of the Dr. Víctor Levi Sasso Campus

Ericka Atencio

Universidad Tecnológica de Panamá, Panamá

Ericka.atencio@utp.ac.pa

<https://orcid.org/0009-0001-9559-6868>

Cristian Pinto

Universidad Tecnológica de Panamá, Panamá

Cristian.pinto2@utp.ac.pa

<https://orcid.org/0009-0008-6636-9093>

Carlos A. Nieto

Universidad Tecnológica de Panamá, Facultad de Ingeniería Civil, Panamá

Autor de correspondencia: carlos.nieto2@utp.ac.pa

<https://orcid.org/0000-0002-6357-2693>

Rita Dionela-Rodríguez-G.

Universidad Tecnológica de Panamá, Facultad de Ingeniería Civil, Panamá

Rita.rodriguez1@utp.ac.pa

<https://orcid.org/0000-0003-4097-6502>

Ana G.-Sánchez-G.

Universidad Tecnológica de Panamá, Facultad de Ingeniería Civil, Panamá

Ana.sanchez17@utp.ac.pa

<https://orcid.org/0000-0002-1874-7124>

Ernesto Martínez

Universidad Tecnológica de Panamá, Facultad de Ingeniería Civil, Panamá

Ernesto.martinez@utp.ac.pa

<https://orcid.org/0000-0002-6108-9841>

**Dario Frizzarin**

Universidad Tecnológica de Panamá, Panamá

dario.frizzarin@utp.ac.pa<https://orcid.org/0009-0003-8058-3524>**Liam Ortega**liam.ortega@utp.ac.pa<https://orcid.org/0009-0007-7370-0744>**Jorge Quijada-Alarcón**

Universidad Tecnológica de Panamá, Facultad de Ingeniería Civil, Panamá

Jorge.quijada@utp.ac.pa<https://orcid.org/0000-0001-8938-0190>

Recepción: 24/09/25

Aceptado: 01/12/25

DOI <https://doi.org/10.48204/j.scientia.v36n1.a8248>

Resumen

La conservación de la biodiversidad urbana depende de la protección de los fragmentos de bosques inmersos en estas zonas, aunque a menudo se desconocen los filtros ambientales que estructuran estas comunidades. Este estudio tuvo como objetivo evaluar la influencia de las perturbaciones antrópicas en la estructura de la comunidad de vertebrados del campus Dr. Víctor Levi Sasso de la Universidad Tecnológica de Panamá. Se realizó un muestreo sistemático de fauna y variables ambientales, analizando los datos mediante un análisis de Coordenadas Principales (PCoA) y correlaciones de gradiente (ruido, luz artificial, suelo impermeable). Se registraron 208 especies incluyendo aves, mamíferos, reptiles y anfibios, de las cuales ocho se encuentran en alguna categoría de amenaza según la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN), confirmando al campus como un refugio de biodiversidad. El análisis de diversidad beta mostró una alta heterogeneidad en la composición de especies entre sitios. La contaminación acústica emergió como el determinante principal, mostrando una correlación significativa con el segundo eje de ordenación comunitaria ($r = 0,747$; $p = 0,021$). Se evidenció que la fauna del campus está estructurada por micro-gradientes antrópicos, donde el ruido actúa como un filtro ambiental selectivo. Estos resultados confirman que la gestión de espacios verdes urbanos requiere estrategias que mitiguen estas perturbaciones para asegurar su función como refugios ecológicos.

Palabras clave: Contaminación acústica, ecología urbana, fragmentación de hábitat, filtrado ambiental, gradiente ambiental.

Abstract

Urban biodiversity conservation relies on protecting forest fragments embedded within these areas, although the environmental filters structuring these communities are often unknown. This study aimed to evaluate the influence of anthropogenic disturbances on the vertebrate community structure of the Dr. Víctor Levi Sasso campus of the Universidad Tecnologica de Panamá. A systematic sampling of fauna and environmental variables was conducted, analyzing data using Principal Coordinates Analysis (PCoA) and gradient correlations (noise, artificial light, impermeable soil). A



total of 208 species were recorded, including birds, mammals, reptiles, and amphibians, eight of which are listed in a threatened category according to the International Union for Conservation of Nature (IUCN), confirming the campus as a biodiversity refuge. Beta diversity analysis showed high heterogeneity in species composition among sites. Noise pollution emerged as the main determinant, showing a significant correlation with the second axis of community ordination ($r= 0,747$; $p= 0,021$). It was evidenced that the campus fauna is structured by anthropogenic micro-gradients, where noise acts as a selective environmental filter. These results confirm that the management of urban green spaces requires strategies to mitigate these disturbances to ensure their function as ecological refuges.

Keywords: Noise pollution, urban ecology, habitat fragmentation, environmental filtering, environmental gradient.

Introducción

Las instituciones de educación superior han demostrado ser sitios de interés, ya que con áreas verdes extensas en medio de ciudades densamente pobladas desempeñan un papel crucial como refugios ecológicos, contribuyendo significativamente a la conservación de la biodiversidad local. Ejemplos destacados incluyen la Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua (UNAN) en Managua; la Universidad Estatal de Milagro (UNEMI) en Milagro, Ecuador; la Universidad Técnica del Norte (UTN) en Ibarra, Ecuador; y la Universiti Sains Malaysia (USM) en Penang, Malasia (Cue García et al., 2020; Fonseca González et al., 2025; Jaafar et al., 2024; Ramos Mendieta & Alulema Rivera, 2024).

La conservación de la fauna en zonas urbanas no se limita a proteger especies aisladas, sino a mantener las interacciones entre ellas y su entorno. Diversos grupos animales contribuyen a servicios ecosistémicos clave como la polinización, dispersión de semillas y control biológico. Conjuntamente, algunas especies actúan como bioindicadores ofreciendo métricas concretas para evaluar su resiliencia en los entornos urbanos, frente a perturbaciones naturales o antropogénicas (Alvey, 2006 ; Aronson et al., 2017 ; Wang et al., 2017).

Actualmente la sociedad, demanda que, en materia ambiental, las universidades deben reestructurar sus políticas y modelos organizativos, para lograr comprender la cultura, los impactos y las estrategias necesarias para reducir problemas ambientales (Godet & Roubelat, 1996). A pesar de que se han desarrollado iniciativas para documentar la biodiversidad en universidades



panameñas y latinoamericanas, el conocimiento sigue siendo parcial y en el caso específico del campus Dr. Víctor Levi Sasso, carece de un inventario sistemático de la fauna vertebrada, lo que limita la comprensión de su valor ecológico y su potencial como laboratorio natural (Jiménez, 2022).

Varias universidades a nivel regional han comenzado a reconocer la importancia ecológica de su campus mediante inventarios de biodiversidad. Por ejemplo, la Universidad Estatal de Milagro (Ecuador) registró más de 100 especies vegetales y 10 de aves(Cue García et al., 2020), por su parte, la Universidad Nacional de Colombia (Sede La Paz) documentó 21 mamíferos a través de cámaras trampa y redes de niebla (Acevedo-Quintero & Zamora-Abrego, 2022). Por otro lado, la Universidad Militar Nueva Granada, Sabana de Bogotá, registró más del 40 % de especies introducidas o invasoras, a pesar de ser un sitio que alberga fauna amenazada o poco estudiada. El Instituto Federal Baiano (Brasil) evidenció que, incluso en biomas degradados, se pueden detectar especies de gran valor a través de monitoreos sistemáticos (Fernandes et al., 2023). La Universidad de Costa Rica (Sede del Atlántico), realizó un inventario de aves durante tres años para conocer la riqueza del campus, sustentando que poseen condiciones biogeográficas favorables para una alta diversidad (Acosta-Chaves & Ramírez-Calvo, 2020).

Panamá, posee una gran biodiversidad, reconocida como una de las regiones biológicas más importantes del planeta, basado en su variedad de ecosistemas y especies de flora y fauna, combinado con su posición geográfica en la zona neotropical (Gutiérrez Pineda & Méndez-Carvajal, 2021; Jiménez et al., 2020).

Los estudios para conocer el papel de las universidades panameñas en la conservación de la biodiversidad es muy limitado y disperso, lo que ocasiona la falta de comprensión integral de su rol en la adecuada gestión de espacios verdes. Aunque algunas universidades han desarrollado iniciativas puntuales, estas no han sido articuladas dentro de un marco institucional amplio. En este contexto, la Universidad de Panamá realizó en 2021, en el campus central, un análisis de quirópteros (Villarreal et al., 2021), mientras que el Centro Regional Universitario de



Azuero, registro la variedad de 37 especies de aves en un parche de bosque urbano con indicios de regeneración (Camarena et al., 2020; Contreras et al., 2017; Sánchez Sánchez, 2022).

Estos resultados evidencian que los espacios universitarios, incluso en zonas muy urbanizadas, tienen la capacidad de funcionar como refugios biológicos locales. Por lo que se hace evidente la necesidad de ampliar, sistematizar y coordinar los esfuerzos de monitoreo de biodiversidad en otros centros regionales del país (Gómez et al., 2013).

En 2020, la Universidad Tecnológica de Panamá (UTP) establece una parcela permanente de monitoreo forestal en el campus central Víctor Levi Sasso, constituyendo la primera infraestructura de este tipo implementada por una institución académica en el país. Esta iniciativa posiciona a la UTP dentro de una red internacional de monitoreo ecológico y también sienta las bases para una gestión ambiental más estructurada dentro de la institución (Resolución No. CADM-R-14-2020, 2020; Universidad Tecnológica de Panamá, 2025).

Posteriormente, en 2023, se impulsaron acciones institucionales como, el establecimiento del Departamento de Áreas Verdes y la Dirección Nacional de Gestión Energética, Ambiental e Ingeniería Aplicada, estas instancias han impulsado una nueva etapa en la administración ambiental en la Universidad, caracterizada por una visión integral y proactiva.

Los inventarios de fauna vertebrada se alinean con la Estrategia Nacional de Ambiente 2021-2031 (Decreto Ejecutivo N° 12, 2022) y con el Plan de Acción “Panamá Ciudad Sostenible” (Municipio de Panamá & Banco Interamericano de Desarrollo, 2017); además que fortalecen los diseños de corredores ecológicos y la conectividad en áreas metropolitanas (Castillo, 2023; León & Julio Mario Julio De León, 2023). A pesar de las múltiples investigaciones sobre fauna urbana en Panamá y de los instrumentos de planificación municipal, no existe un levantamiento sistemático que documente la diversidad de vertebrados en el campus Dr. Víctor Levi Sasso de la UTP.

En el área metropolitana de Panamá, el crecimiento desproporcionado de la



población y el desarrollo de infraestructuras ha provocado el deterioro de los hábitats y el desplazamiento de la fauna silvestre hacia zonas urbanas en Panamá (Aráuz et al., 2010; Gálvez, 2021; Ortiz et al., 2021; Voltas & Pino, 2024); En este contexto, el campus Dr. Víctor Levi Sasso al conservar un remanente de bosque húmedo tropical en el que, se han catalogado 102 especies arbóreas en 38 familias, refleja su valor como refugio para vertebrados y como laboratorio vivo para la investigación ambiental (Jiménez, 2022). Inventarios sistemáticos de fauna vertebrada en estos parches permiten establecer líneas base para futuros monitoreos, detectar tendencias en diversidad y abundancia de especies, identificar taxones vulnerables y sentar las bases para programas de restauración ecológica y corredores verdes.

Asimismo, este inventario se alinea con la meta estratégica 6.2.1 del Plan de Desarrollo Institucional de la UTP, sobre el fomento de una cultura de conciencia ambiental, y contribuye al cumplimiento del ODS 15 (Vida de ecosistemas terrestres) de la Agenda 2030, fortaleciendo la contribución institucional a la sostenibilidad y promoviendo una conexión más profunda entre la comunidad académica y su entorno natural (Universidad Tecnológica d Panamá, 2018; Universidad Tecnológica de Panamá, 2025).

De este modo, más allá de su aporte científico y ecológico, el estudio fortalece el compromiso institucional con la sostenibilidad y estrecha el vínculo entre la comunidad académica y su entorno natural. Tradicionalmente la estructura de las comunidades faunísticas asociadas a fragmentos urbanos se explicaba por estos patrones de paisaje, donde el efecto de borde era el principal impulsor en la composición de las especies (Ries et al., 2004). Sin embargo, esta dicotomía puede no describir adecuadamente los campus universitarios en zonas urbanas de alta intensidad de uso, ya que la red de infraestructuras, iluminación y construcciones, generan micro-gradientes de perturbación antrópica. Por lo que este estudio, se plantea si la comunidad de vertebrados del campus Dr. Víctor Levis Sasso responde a la clasificación tradicional de hábitats o a una heterogeneidad más fina, determinada por micro-gradientes antrópicos. Para esto se contrastó el poder

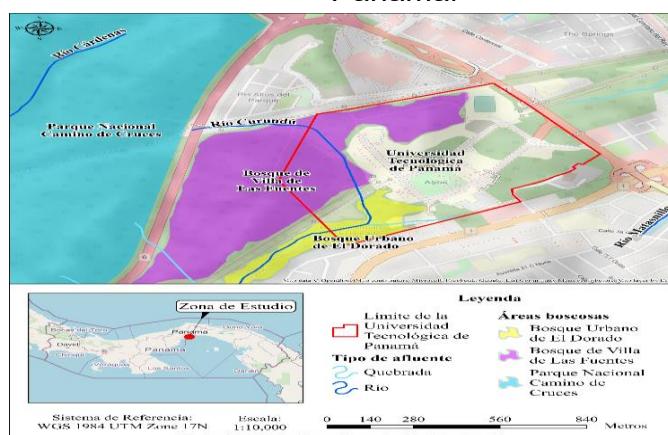
explicativo de la clasificación de hábitat frente a los gradientes de perturbaciones medidos in situ (contaminación acústica, luz artificial e impermeabilidad del suelo), como predictores de las variaciones en la composición de las comunidades de vertebrados.

Materiales y Métodos

Este estudio se desarrolló en el Campus Dr. Víctor Levi Sasso de la Universidad Tecnológica de Panamá (UTP), el área corresponde a un bosque húmedo tropical de tierras bajas, con temperaturas medias anuales de 26 °C, precipitaciones entre 1 850 mm y 4 300 mm y humedad relativa promedio del 85 % (Jiménez, 2022), tiene una extensión de 60 hectáreas, se ubica en el área metropolitana de la Ciudad de Panamá. Este espacio colinda con bosques urbanos y se encuentran en las proximidades del Parque Natural Camino de Cruces (Figura 1). Estas conexiones sitúan al campus en una posición clave para la conservación, estudio de fauna y flora nativa. La topografía es ondulada, con pendientes moderadas y suelos de bajo valor agrológico. Aunque las actividades humanas han modificado parte de la vegetación, persisten fragmentos boscosos que albergan alta diversidad.

Figura 1

Ubicación del campus Dr. Víctor Levi Sasso de la Universidad Tecnológica de Panamá.



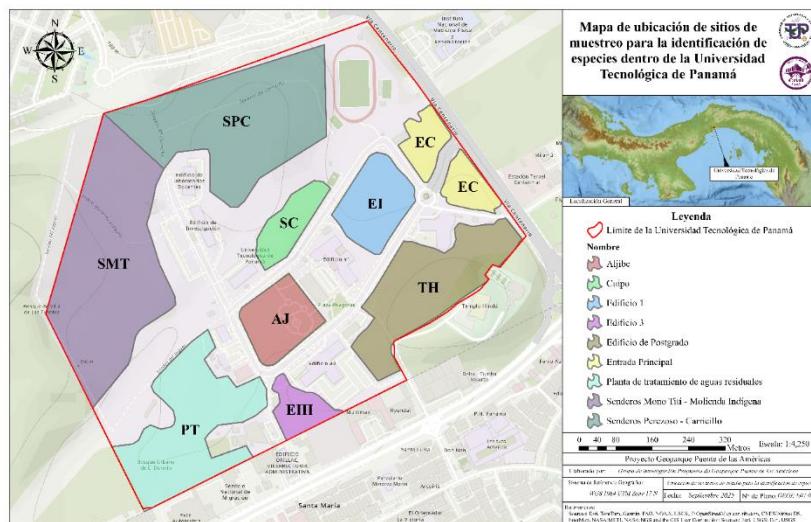
Nota: Se presenta su colindancia con fragmentos de bosque urbano clave, como el Bosque Urbano de El Dorado y el Parque Nacional Camino de Cruces, resaltando su posición

estratégica como corredor biológico

Los sitios de muestreos incluyeron los senderos: Mono Tití - Molienda Indígena (SMT), Perezoso – Carricillo (SPC), Cuipo (SC), Aljibe (AJ). Así como de áreas adyacentes a edificios institucionales: Edificio 1 (EI), Edificio 3 (EIII), Edificio de Postgrado (TH); y otras zonas como: Entrada Principal (EC), Planta de tratamiento de aguas residuales (PT). Ver figura 2

Figura 2

Distribución de los sitios de muestreo de fauna vertebrada en el campus Dr. Víctor Levi Sasso.



Nota: Los polígonos de colores delimitan las zonas monitoreadas, que incluyen tanto áreas boscosas (senderos) como zonas adyacentes a infraestructuras (edificios y planta de tratamiento).

Los monitoreos se realizaron desde enero de 2023 hasta julio de 2025 mediante un muestreo transversal aleatorio en transectos de aproximadamente de 100 metros, con el objetivo de registrar la fauna vertebrada, abarcando diversas zonas en variados horarios y épocas del año, sin restringirse a un grupo taxonómico concreto (Howe et al., 1997; Stiles Hurd & Rosselli, 1998). Estos se efectuaron de 6:00 a 8:00 h y de 19:00 a 20:00 h, permitiendo registrar fauna tanto diurna como nocturna.

Para la recolección de datos se utilizaron: binoculares (10 ud, Huhloch B2ZK, Simmons) y cámaras digitales (1ud, Nikon EOS E7) para la observación directa y



registro fotográfico; cámaras trampa (10 ud, Browning Spec Ops Elite HP5), colocadas en los senderos y parches boscosas; redes de niebla (2 ud, 6 m x 2.5 m, Biologika) para la captura y liberación de murciélagos, operadas al anochecer. El ruido acústico se midió en distintos puntos dentro y fuera de los sitios de muestreo obteniendo el nivel promedio en decibelios (dB) durante cinco minutos (1 ud; SoundMeter HT602A, Intendvision); La iluminación artificial se midió en cada sitio de muestreo durante la noche (19:00 a 20:00 h) y la madrugada (04:00 a 05:00 h), para obtener la iluminación promedio en Lux (1 ud, Light Meter TS-720). El porcentaje de suelo impermeable en cada sitio se calculó, mediante la estimación de la cantidad de suelo recubierto en un radio de 10 metros. La participación de estudiantes voluntarios del Programa ConserVirtual-UTP como parte de una estrategia de ciencia ciudadana, que fueron capacitados para la observación, registro y documentación visual de especies. Esta estrategia amplió el alcance del muestreo y fortaleció el vínculo entre la comunidad educativa y la conservación del entorno natural del campus.

Además, se emplearon plataformas digitales como eBird y Merlin para la identificación y registro de aves, y Recosfa para el reporte de fauna silvestre viva o afectada por eventos como atropellos o interacciones humanas.

Los registros generados fueron contrastados con un inventario previo realizado por (Jiménez, 2022). Los patrones de diversidad de la fauna en los sitios de muestreo fueron analizados utilizando una matriz de abundancia para las especies registradas distribuidas en cada sitio, se calculó la diversidad alfa para caracterizar la riqueza de especie (S), la abundancia total y los índices de Shannon (H') se calculó utilizando el logaritmo natural (\ln), Simpson (1-D) y Equitatividad de Pielou (J'). El análisis de diversidad beta, se calculó mediante una matriz de disimilitud utilizando el índice de Bray-Curtis, a partir del cual se construye el Análisis de Coordenadas Principales (PCoA), y un Análisis de Conglomerados Jerárquico (método de Ward). Para identificar gradientes lineales en la composición, se realizó un Análisis de Componentes Principales (PCA), por lo que previamente la matriz de abundancia se transformó mediante el método de Hellinger (Legendre & Gallagher,



2001), para reducir el peso de las especies raras y corregir el efecto de los dobles ceros. Se utilizó el TB-PCA, en lugar de un Análisis de Correspondencia Sin Tendencia (DCA), debido a que la transformación de Hellinger permite el uso validado de ordenaciones lineales euclidianas en gradientes ecológicos cortos, típicos de entornos urbanos fragmentados como el que se observó en el campus. El cálculo de las diferencias en la composición de especies entre los grupos de hábitats se evaluó mediante un Análisis de Varianza Multivariado Permutacional (PERMANOVA), complementado con una prueba PERMDISP, para evaluar la homogeneidad de la dispersión. A nivel de especie, se evaluó el grado de generalismo o especialización de las especies más representativas mediante el índice de Levins (B), que fue utilizado como una medida de la amplitud en el uso de los distintos sitios de muestreo. Además, la estructura de dominancia de la comunidad se examinó mediante curvas de Rango – Abundancia, lo que permitió distinguir entre las especies dominantes, comunes y raras en el entorno urbano del campus.

Considerando la importancia de los factores ambientales sobre la estructuración de la comunidad faunística, se realizaron análisis de gradiente directo. Para cada una de las estaciones de muestreo se analizaron variables representativas de la perturbación antrópica a microescala como: la contaminación acústica promedio (Ruido en dB) mediante un sonómetro, realizando mediciones durante cinco minutos; el porcentaje de incidencia de luz artificial (porcentaje de iluminación), estimada como la incidencia de luz no natural durante la noche, mediante la utilización de un luxómetro por aproximadamente 5 minutos y el porcentaje de superficie de suelo impermeable (%), calculado como la cantidad de superficie cubierta por cemento o asfalto en un radio de 10 metros, en cada sitio de muestreo. Considerando la naturaleza y no normalidad de los datos ecológicos, se utilizó un enfoque estadístico no paramétrico basado en rangos, a través de una prueba de Kruskal-Wallis, con la que se evaluó si existían diferencias significativas en los patrones de distribución de las abundancias de los sitios de muestreo, lo que permitió comprar la estructura de los ensamblajes sin asumir homogeneidad de



varianzas.

Posteriormente se analizó la influencia de los filtros ambientales, utilizando el Coeficiente de Correlación de Rangos de Spearman (r_s), que evaluó la relación entre las variables de perturbación (ruido, luz, impermeabilidad) y los gradientes de composición resumidos en los dos primeros ejes del PCoA, lo que aseguró la robustez del análisis frente a valores atípicos y la ausencia de normalidad multivariada.

Todos los análisis de los datos y visualizaciones se llevaron a cabo en el entorno de programación Python (v.3.10+), utilizando bibliotecas de Pandas para manipular los datos, scikit-learn para PCoA y PCA, scipy para el análisis de conglomerados y scikit-bio para las pruebas estadísticas PERMANOVA y PERMDISP, generando los gráficos mediante matplotlib y seaborn.

Resultados

El presente estudio identificó un total de 6 755 individuos de vertebrados, distribuidos en 208 especies. En término de abundancia relativa, las aves fueron el grupo con mayor dominancia representando el 93.9% de los registros ($N= 6\,343$), seguidos por los mamíferos con un 4,5 % ($N= 303$) y la herpetofauna (reptiles y anfibios) con el 1,6 % (= 109) (Apéndices1: Tabla 1). El análisis de rango-abundancia (Figura 8), mostró que la comunidad está dominada numéricamente por pocas especies generalistas, donde los individuos *Tyrannus tyrannus* ($N= 547$); *Sporophila corvina* ($N= 629$) y *Columba livia* ($N= 270$), acumulan el 21 % de la abundancia total, mientras que la mayoría de las especies presentaron abundancias bajas, según una distribución log normal típica (Ver apéndice 2).

Previo a los análisis biológicos, se cuantificaron los microgradientes de perturbación en los sitios de estudio, donde las mediciones in situ revelaron un gradiente de contaminación acústica con un rango de variación promedio de 4,5 dB entre los sitios extremos, además de que los valores más altos se encontraron en las zonas de alto tráfico vehicular y las edificaciones como EC (Entrada Principal) y



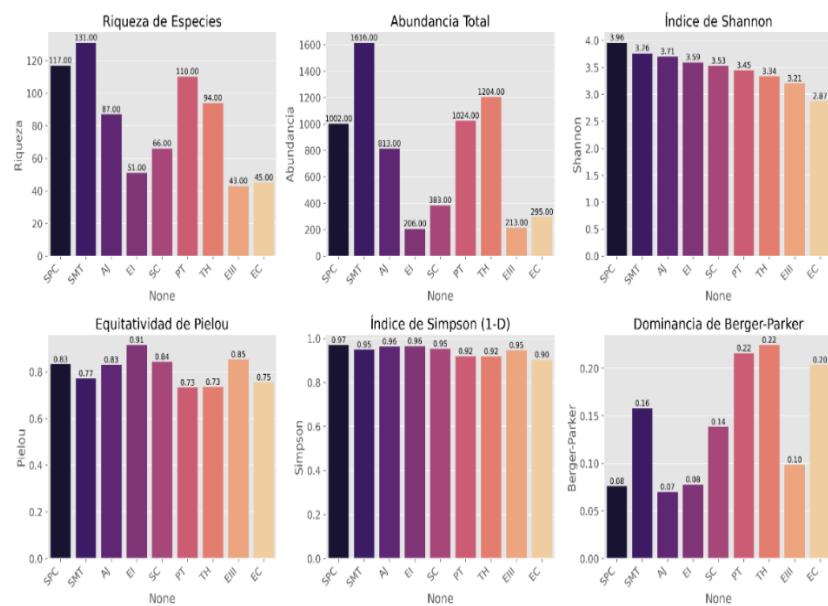
EIII (Edificio 3) (media \approx 55,5 dB). Por otro lado, en las estaciones SMT (Mono Tití) y SPC (Perezoso-Caricillo), mostraron niveles bajos de ruido (media \approx 51,0 dB). De igual manera, el porcentaje de suelo impermeable mostró polarización que alcanzó una cobertura máxima del 82 % en los sitios urbanizados (EC), en contraste con una cobertura nula (0 – 2 %), observada en los fragmentos de bosque y senderos, demostrando la heterogeneidad física del campus.

Las variaciones encontradas en la diversidad alfa por sitio de muestreo se presentan en la Figura 3, donde el Edificio de Postgrado (TH), registró los valores más altos, con una riqueza de especies acumulada de $S=58$, una abundancia total de $N= 804$ individuos y un valor máximo de diversidad de Shannon de $H'= 3,85$. El índice de Simpson (1-D), evidenció una alta probabilidad de diversidad interespecífica en la mayoría de los sitios, con valores entre 0,85 y 0,95. Los sitios con mayor integridad ecológica como TH (0,95), SPC (0,94) y PT (0,93), presentaron los valores más altos, lo que indicó una estructura comunitaria compleja y bien distribuida.

Por el contrario, las zonas con mayor intervención antrópica, como el Edificio 1 (EI), registró el valor más bajo (0,85), lo que refleja una simplificación de la comunidad asociada a la dominancia de pocas especies. En cuanto al índice Berger-Parker, reveló que el sitio TH (BP = 0,34), presentó una mayor dominancia de la especie Columbia livia, mientras que la mayor equitatividad se encontró en el sitio E3 (Pielou's J' = 0,95).

Figura 3

Comparativa de los índices de diversidad alfa para las comunidades de vertebrados en los sitios de muestreo.

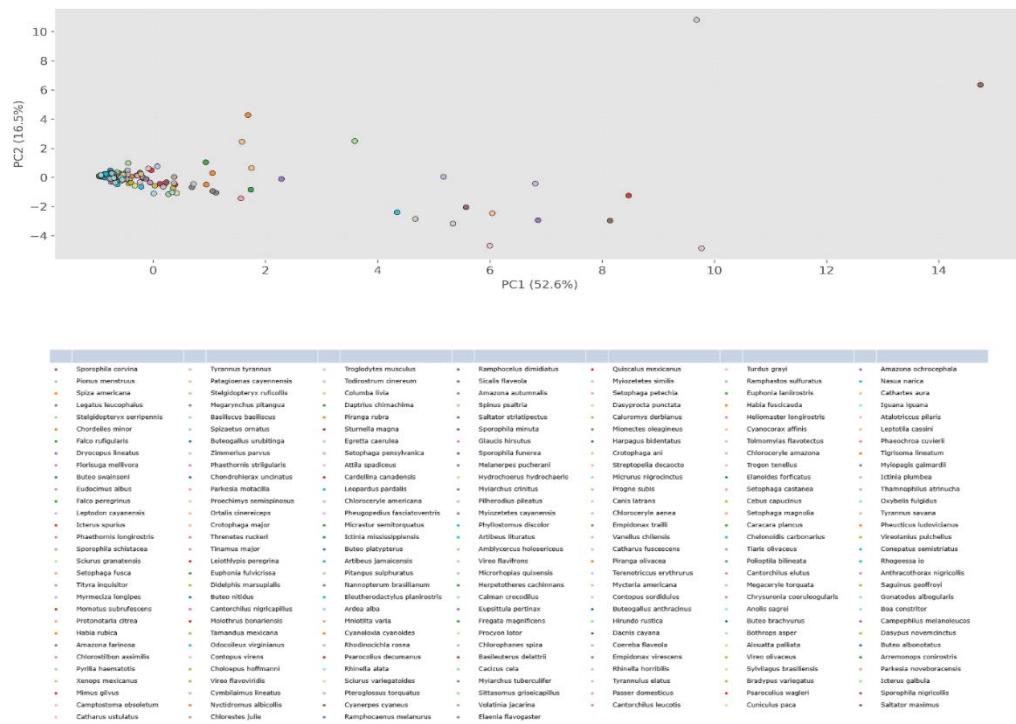


Nota: Los gráficos de barras ilustran la Riqueza de Especies (S), Abundancia Total (N), y los índices de Shannon (H'), Pielou (J'), Simpson (1-D) y Dominancia de Berger-Parker, permitiendo una evaluación cuantitativa de la estructura comunitaria en cada localidad.

La estructura de la comunidad se analizó mediante técnicas de ordenación y clasificación (PCA), el cual con los datos transformados con Hellinger, explicó el 69.1 % de la variación total en sus dos primeros ejes (PC = 52,6 % y PC = 16,5 %), lo que para estudios de comunidades ecológicas complejas considera el porcentaje de la varianza como robusta (Legendre, 2019)

Figura 4

Análisis de Componentes Principales (PCA) basado en la transformación de Hellinger de las abundancias de especies.



Nota: Los ejes representan el 69.1,7 % de la varianza explicada acumulada (PC1= 52,6 %; PC2= 16,5 %). Los vectores y la posición de los sitios ilustran la diferenciación en la composición de la comunidad a lo largo de gradientes ambientales lineales.

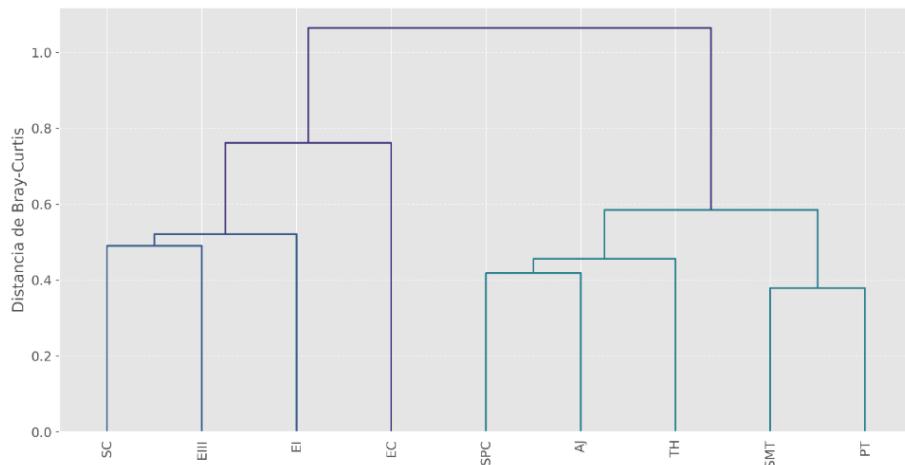
De manera complementaria, el análisis de conglomerado (Figura 5), identificó dos grandes grupos: uno conformado por los sitios boscosos (sitios de muestreo TH, SMT, SPC, SC) y otro por las zonas intervenidas, lo que reafirmó la disimilitud biológica entre estos ambientes, coincidiendo con el análisis de Coordenadas Principales (PCoA, Figura 7), donde el sitio EC es el más disimilar en cuanto a composición.

A pesar de los patrones visuales, según PERMANOVA no se encontraron diferencias significativas estadísticas, según la composición de especies entre los grupos de hábitat predefinidos ($F= 1,35$, $p= 0,243$) y la prueba de PERMDISP, indicó

que la dispersión de los grupos es homogénea ($F= 0,89$, $p= 0,451$).

Figura 5

Dendrograma de clasificación jerárquica de los sitios de muestreo basado en la disimilitud de Bray-Curtis.

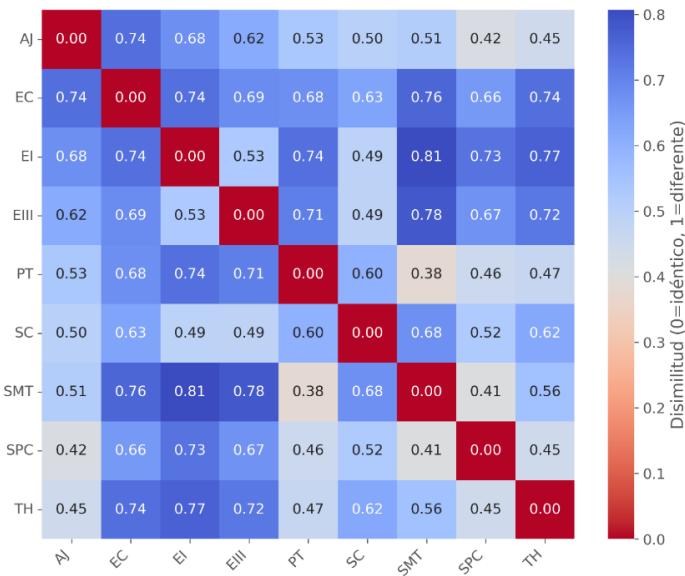


Nota: Este análisis, utilizando el método de enlace de Ward, agrupa los sitios según la similitud en la composición de sus comunidades de vertebrados, donde la altura de las ramas indica el grado de diferenciación.

La composición de especies entre sitios mostró patrones consistentes con los análisis de ordenación realizados para visualizar la disimilitud. Según el análisis de Coordenadas Principales (PCoA), basado en la Figura 6 de la matriz de disimilitud de Bray-Curtis ($Es= 0,215$), mostró una separación clara entre sitios a lo largo del primer eje. Los sitios de muestreo TH, SMT y SPC formaron un grupo cohesivo, mientras el sitio EC, caracterizado por una alta abundancia de las especies *Spiza americana* y *Tyrannus tyrannus*, mostró ser el más distinto según su composición.

Figura 6

Matriz de disimilitud de Bray-Curtis compara la composición de especies entre todos los pares de sitios de muestreo.

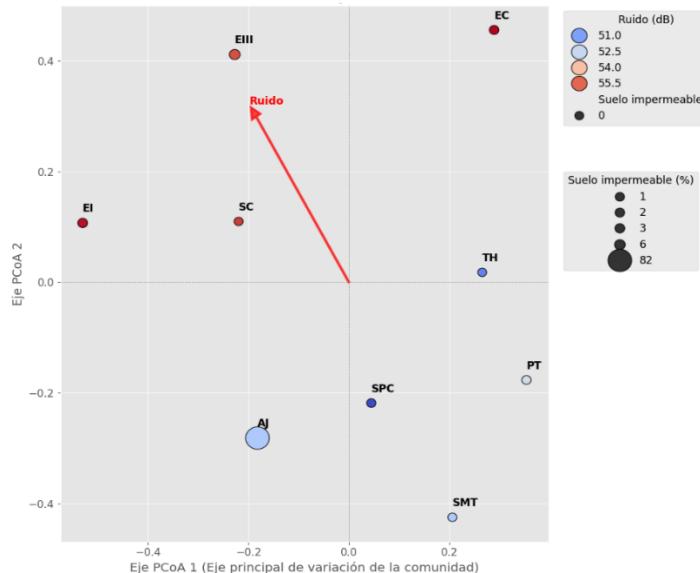


Nota: La escala de colores representa el grado de diferencia, donde los valores cercanos a 1 (azul oscuro) indican una alta disimilitud y los valores cercanos a 0 (rojo) señalan una alta similitud.

El análisis de gradientes (Figura 7), mostró que la contaminación acústica fue el principal factor ambiental, con una correlación estadísticamente significativa en la estructura de la comunidad, explicando conjuntamente el 54,8 % de la disimilitud total (PCoA1= 33,3 %, PCoA2= 21,5 %). Los niveles de ruido (dB), mostraron una correlación positiva con el segundo eje PCoA ($r= 0,747$; $p= 0,021$), representándose visualmente por la separación de los sitios en el eje vertical, por sitios como EC y EIII (más ruidosos) mientras que los sitios SMT, PT y SPC (más silenciosos) en la parte inferior de la gráfica. Las variables de iluminación artificial y suelo impermeable no mostraron una correlación estadísticamente significativa con ninguno de los ejes principales ($p> 0,1$).

Figura 7

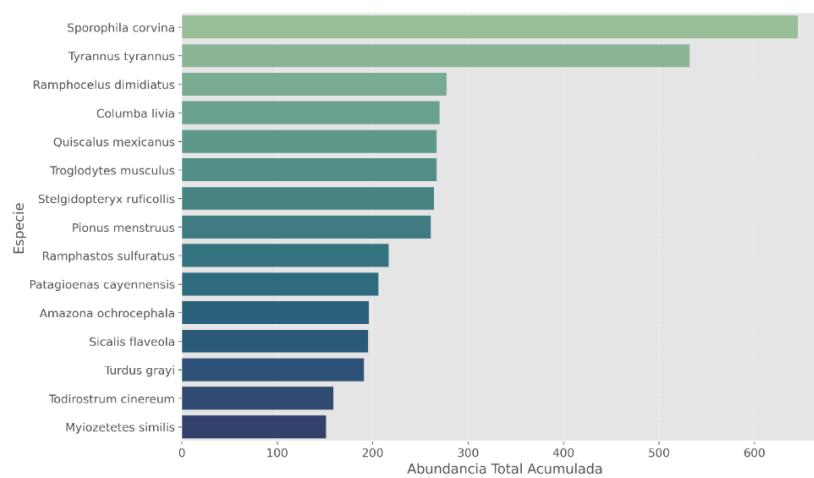
Ordenación de los sitios de muestreo mediante Análisis de Coordenadas Principales (PCoA) y su correlación con variables ambientales.



Nota: La posición de cada sitio en los dos ejes principales refleja la variación en la composición de la comunidad. La flecha roja indica la dirección y fuerza de la correlación con el ruido (dB), que se identifica como el principal gradiente ambiental estructurador ($r=0,747$, $p=0,021$).

El análisis de dominancia dio como resultado (Figura 8), que las especies más abundantes fueron *Tyrannus tyrannus* ($N= 547$), *Sporophila corvina* ($N= 629$) y *Columba livia* ($N= 270$). Al analizar la plasticidad en el uso del habitat (Índice de Levins), se identificó a *Nasua narica* ($B= 8,89$), *Turdus grayi* ($B= 8,54$) y *Daptrius chimachima* ($B= 8,12$), como las especies más generalistas, las cuales se encuentran ampliamente distribuidas entre los diferentes sitios de estudio. Por otro lado, las especies *Leopardus pardalis*, *Hydrochoerus hydrochaeris* y *Cuniculus paca* se clasificaron como las más raras, registrándolas en un único sitio y con baja abundancia.

Figura 8
Análisis de especies dominantes.



Nota: Se muestra el Top 15 de especies con mayor abundancia total acumulada en todos los sitios de muestreo. Este análisis permite identificar las especies dominantes que ejercen mayor influencia en la estructura y dinámica de las comunidades de vertebrados

Discusión

La estructura de la comunidad faunística en el fragmento boscoso de la UTP pareció responder a la heterogeneidad ambiental del campus, donde la contaminación acústica resaltó como el principal filtro ambiental. A diferencia de lo esperado, otros factores evaluados como la iluminación artificial y la cobertura impermeable del suelo, no mostraron una correlación significativa con la ordenación de las especies, lo que sugiere que el paisaje sonoro ejerce una presión selectiva más fuerte en este entorno urbano. Mediante los análisis realizados a la estructura de la comunidad mediante un dendrograma (Figura 5), se observó una separación biológica clara entre los sitios con mayor cobertura boscosa y las zonas de infraestructura, lo que reafirma la heterogeneidad ambiental observada. Aunque la prueba de PERMANOVA no detectó diferencias significativas globales, la tendencia visual sugiere que la composición de especies responde a gradientes continuos de perturbación. Este patrón es congruente con lo reportado por (Ortega-Álvarez & MacGregor-Fors, 2009), quienes sostienen que, en matrices urbanas continuas, las



comunidades no forman islas, sino que reordenan su tolerancia según los diversos disturbios.

El agrupamiento observado durante este estudio en la estación EC como el sitio más disímil, se explica por la ausencia de especies sensibles y la dominancia de generalistas, representando un fenómeno de homogenización biótica, documentado ampliamente en campus universitarios neotropicales (Callaghan et al., 2021; Fernandes et al., 2023; McKinney, 2006).

En cuanto a la abundancia y riqueza, el inventario superó los registros de estudios previos en la zona, posicionando al Campus Victor Levi Sasso como un punto de interés para la biodiversidad urbana local. El análisis de los índices ecológicos permitió comparar la calidad aparente de los sitios de estudio como el TH que presentó la mayor riqueza absoluta, sin embargo, el índice Berger-Parker reveló una alta dominancia sostenida principalmente por especies sinantrópicas. Al comparar nuestros resultados con estudios regionales (Tabla 1), la riqueza total de aves del campus UTP (169 especies), supera significativamente las 98 reportadas por Fonseca et al. (2025) en la UNAM – Managua y es muy similar al estudio de (Shibatta et al., 2009), quienes registraron 178 especies. Sin embargo, la alta abundancia de pocas especies dominantes en las zonas edificadas (sitios de muestreo EC y EIII), sugiere que, a pesar de la alta riqueza, el campus enfrenta procesos de simplificación funcional en sus bordes, consistentes con los efectos del ruido antropogénico descritos globalmente por (Francis & Barber, 2013a; Xiao et al., 2017)

**Tabla 1**

Superficie, riqueza/diversidad de fauna registrada en distintos campus universitarios latinoamericanos basados en referencia disponible

Universidad	Superficie (ha)	Especies de fauna registradas	Comparación entre estudios	Referencias
<i>UTP - Campus Dr. Víctor Levi Sasso (Panamá)</i>	60	169 aves, 26 mamíferos, 4 anfibios, 9 reptiles	Referencia base	Estudio actual*
<i>UTP - Campus Dr. Víctor Levi Sasso (Panamá)</i>	60	32	Menor diversidad y solo aves reportadas	(Jiménez, 2022)
<i>UCR - Campus Central (Costa Rica)</i>	500	188 aves	Similar riqueza en aves.	(Acosta-Chaves & Ramírez-Calvo, 2020)
<i>UNAN - Managua (Nicaragua)</i>	71.4	98 aves	Menor diversidad y solo aves reportadas	(Fonseca González et al., 2025)
<i>UMNG (Colombia)</i>	76	80 aves, 10 mamíferos, 1 anfibio, 1 reptil	Menor riqueza total	(Sánchez et al., 2015)
<i>UNEMI (Ecuador)</i>	19.5	10 aves, algunos mamíferos, anfibios, reptiles, insectos	Menor riqueza total y no sistemáticamente cuantificada	(Cue García et al., 2020)
<i>Universidad de Panamá - Campus Central</i>	38	10 murciélagos	Grupo especializado, menor diversidad total	(Villarreal et al., 2021)
<i>UCR - Recinto de Paraíso</i>	4	120 aves	Alta densidad de aves, pero sin otros grupos	(Acosta-Chaves & Ramírez-Calvo, 2020)
<i>IF Baiano - Xique-Xique (Brasil)</i>	30	11 familias de mamíferos	Enfoque en mamíferos, menos diversidad total	(Fernandes et al., 2023)
<i>Universidad Estatal de Londrina (UEL)- Paraná, Brasil</i>	223	250	Similar riqueza y abundancia de grupos	(Shibatta et al., 2009)
<i>UNAL - Sede La Paz (Colombia)</i>	52	21 mamíferos	Menor diversidad total	(Acevedo-Quintero & Zamora-Abrego, 2022)

Nota: El estudio actual, aunque también registro las especies reportadas por Jiménez, U. (2022), no las integra dentro de sus resultados para evitar duplicidad de registro.



El valor que presenta el campus como un refugio de biodiversidad, se ve reforzado por la presencia de ocho taxones con categoría de amenazada según la UICN, incluyendo especies vulnerables como el mono aullador (*Allouatta palliata*), el mono cariblanco (*Cebus capucinus*), y la boa (*Boa constrictor*), lo que reafirma la función del campus como un hábitat estable y funcional durante el año y no solo como una zona de tránsito.

Los análisis demostraron que las especies dentro del campus no se distribuyen de forma homogénea, sino que responden a un filtrado ambiental que podría estar propiciado por el ruido, la iluminación y la cobertura impermeable, coincidiendo con estudios globales (Francis & Barber, 2013a). La separación observada en algunos sitios como EIII y EI, propiciada por el ruido, en contraste con zonas más silenciosas como SPC, PT y SMT, sugiere que las especies tolerantes a la perturbación humana constante pueden tener la capacidad de ocupar todos los espectros de microhábitats disponibles (Bonier et al., 2007; De Lange et al., 2013). Esto sugiere que las clasificaciones de hábitat representadas por la dicotomía borde-núcleo, no explicaron de manera significativa la variación de la composición de la fauna (PERMANOVA, $p= 0,243$). La interpretación conjunta del Dendrograma y el índice de dominancia de Simpson, permiten matizar estos resultados y como se muestra en la Figura 5, el agrupamiento separó los sitios en dos conglomerados (bosque e infraestructura), pero la falta de significancia en el análisis de PERMANOVA, sugiere que esta clasificación dicotómica es insuficiente para explicar la complejidad de la comunidad.

Esto valida la hipótesis de que la fauna responde a gradientes continuos, como el ruido (demostrado en el PCoA), más que a tipos de hábitat discretos. Además, aunque sitios de muestreo como TH presentaron una alta riqueza, el análisis de índices reveló una alta dominancia de especies sinantrópicas, lo que indica que la calidad de hábitat no debe relacionarse únicamente por el número de especies, sino por la estructura equitativa de la comunidad.

Esto demuestra que las características del paisaje a gran escala no actúan



como filtro ecológico en el sistema urbano del campus, sino la heterogeneidad ambiental intra-fragmento, lo que resalta el hecho que la conservación de la fauna urbana no debe enfocarse solo a delimitación de áreas verdes, sino en la gestión de intensidad y distribución especial de las perturbaciones antrópicas a nivel local (Aronson et al., 2017; Francis & Barber, 2013b; McDonnell & Hahs, 2013a).

La participación de más de 100 voluntarios estudiantiles del Programa ConserVirtual-UTP, se centró en la elaboración de reportes diarios de observaciones de vertebrados durante cada bloque de muestreo. Esta estrategia garantizó un monitoreo continuo que mejoró la resolución temporal y espacial de los datos, fortaleciendo la formación ambiental de los participantes. En consonancia con lo señalado por (D'Onofrio et al., 2024), quienes, en su estudio sobre ciencia ciudadana en América Latina, destacan la eficacia de los reportes sistemáticos para el seguimiento de la biodiversidad urbana y la consolidación de la conciencia ecológica en entornos académicos (Acevedo-Quintero & Zamora-Abrego, 2022; Baker et al., 2024; Fernandes et al., 2023; Teixeira et al., 2024).

La estrategia de ciencia ciudadana fue clave para la obtención de una mayor resolución de datos, además de consolidar la apropiación social a las políticas de conservación. Se hace evidente la necesidad de preservar este corredor biológico urbano, debido a su alta biodiversidad, su riqueza de especies y nicho de especies locales. El impacto de las estructuras, la movilidad vehicular y la disponibilidad de recursos, hacen necesario continuar los estudios en el campus universitario (D'Onofrio et al., 2024; McDonnell & Hahs, 2013b).

Conclusiones

- El análisis de los microgradientes antrópicos en el Campus Dr. Victor Levi Sasso permitió identificar a la contaminación acústica como el factor determinante en la estructuración de la comunidad faunística. El análisis de gradientes demostró una correlación estadísticamente entre los niveles de ruido y la variación en la composición de la biodiversidad, confirmando al paisaje sonoro



como un filtro ecológico prioritario sobre otras variables físicas del entorno urbano.

- El papel del campus como refugio de biodiversidad es crítico, albergando una riqueza de especies superior a la reportada en otros recintos universitarios de la región. Esta alta diversidad, que incluye taxones amenazados, refuerza el valor de los fragmentos de bosque húmedo tropical remanentes para el sostenimiento de la fauna urbana.

- El articular la ciencia ciudadana a través de plataformas móviles como eBird y RECOOSFA, demostró ser altamente eficaz para la investigación y la formación de ecología urbana en el campus. La participación de estudiantes voluntarios contribuyó a la formación de una nueva generación de profesionales conscientes del valor de la biodiversidad urbana, lo que se alinea con las metas 6.2.1 del PDI de la UTP, el Objetivo de Desarrollo Sostenible 15 y colaborar en el alcance de los UI Green Metric World University Rankings, aumentando los esfuerzos sobre educación ambiental e investigación sostenible.

Agradecimientos

A la Ing. Mileyka Bustamante de la Dirección de Servicio Social Universitario de la UTP y a los patrocinadores del proyecto ConserVirtual-UTP: TractorMedik; Museo de Botones Destro y el Grupo Aguas. De igual forma el apoyo a la Universidad de Panamá, a la Facultad de Veterinaria la Dra. Claudia Rengifo, al Dr. Josue Ortega y al grupo Biomundi.

Referencias Bibliográficas

Acevedo-Quintero, J. F., & Zamora-Abrego, J. G. (2022). Inventario de mamíferos asociados al campus universitario de la Universidad Nacional de Colombia - Sede de La Paz, Cesar. *Mammalogy Notes*, 7(2), 298. <https://doi.org/10.47603/mano.v7n2.298>

Acosta-Chaves, V. J., & Ramírez-Calvo, D. (2020). La avifauna del Recinto de Paraíso, Cartago, Costa Rica. *Pensamiento Actual*, 20(34), 2020.



<https://doi.org/10.15517/PA.V20I34.41784>

Alvey, A. A. (2006). Promoting and preserving biodiversity in the urban forest. *Urban Forestry & Urban Greening*, 5(4), 195–201.
<https://doi.org/10.1016/J.UFUG.2006.09.003>

Aráuz, R., Núñez, E., Uribe, L., Tejada, I., García, J., Montero, A., Ramos, M., Medina, C., Antonio González, J., Gil, I., & Ing Roney, A. (2010). Cuarto Informe Nacional de Panamá ante el Convenio sobre la Diversidad Biológica Contenido. <https://www.cbd.int/doc/world/pa/pa-nr-04-es.pdf>

Aronson, M. F. J., Lepczyk, C. A., Evans, K. L., Goddard, M. A., Lerman, S. B., MacIvor, J. S., Nilon, C. H., & Vargo, T. (2017). Biodiversity in the city: key challenges for urban green space management. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 15(4), 189–196.
<https://doi.org/10.1002/FEE.1480;WGROUP:STRING:PUBLICATION>

Baker, P. M., Samuels, B., & Hain, T. J. A. (2024). Using Citizen Science to Document Biodiversity on a University Campus: A Year-Long Case Study. *Conservation Biology Letters*, 4(3), 533–546.
<https://doi.org/10.3390/CONSERVATION4030032/S1>

Bonier, F., Martin, P. R., & Wingfield, J. C. (2007). Urban birds have broader environmental tolerance. *Biology Letters*, 3(6), 670–673.
<https://doi.org/10.1098/RSBL.2007.0349>

Callaghan, C. T., Nakagawa, S., & Cornwell, W. K. (2021). Global abundance estimates for 9,700 bird species. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 118(21).
<https://doi.org/10.1073/PNAS.2023170118>

Camarena, F., Villalaz, V., Pimentel, G., & Barría, J. (2020). Diversidad de aves en un bosque urbano en regeneración del Centro Regional Universitario de Azuero, Panamá. *Revista de Iniciación Científica*, 6, 22–29.
<https://doi.org/10.33412/REV-RIC.V6.0.3129>

Castillo, M. V. (2023). Planificación urbana sostenible en Panamá. *Revista Oratores*, 19, 129–151. <https://doi.org/10.37594/ORATORES.N19.1207>

Contreras, M., Herrera, J., Bryand, G., Loredon, Y., & urbano, B. (2017). RIQUEZA Y ABUNDANCIA DE AVES EN EL CENTRO REGIONAL UNIVERSITARIO DE COLÓN, PANAMÁ. *Revista Colón Ciencias, Tecnología y Negocios*, 4(2), 51–60. <https://doi.org/10.48204/NH>

Cue García, J. L., Chagna Avila, E. J., Palacios Cuenca, W. A., & Carrión Burgos,



A. M. (2020). Biodiversidad del componente forestal en dos campus de la Universidad Técnica del Norte, Ecuador. *La Técnica: Revista De Las Agrociencias*, 2, 09–28.
https://doi.org/https://doi.org/10.33936/la_tecnica.v0i24.2360

De Lange, W. J., Veldtman, R., & Allsopp, M. H. (2013). Valuation of pollinator forage services provided by Eucalyptus cladocalyx. *Journal of Environmental Management*, 125, 12–18. <https://doi.org/10.1016/J.JENVMAN.2013.03.027>

Decreto Ejecutivo N° 12, Pub. L. No. 12, Estrategia nacional del ambiente 2021-2031 denominada gestión ambiental para la restauración de los ecosistemas y el desarrollo sostenible e inclusivo 1 (2022).
https://www.gacetaoficial.gob.pa/pdfTemp/29620_C/GacetaNo_29620c_20220912.pdf

D'Onofrio, G., Arza, V., & Actis, G. (2024). Ciencia ciudadana en América Latina: Perspectivas y políticas públicas*. *Perfiles Educativos*, 46(184), 194–204.
<https://doi.org/10.22201/IISUE.24486167E.2024.184.61781>

Fernandes, C. E., Dias, A., Leão, R., & Santos, C. (2023). Fauna em fotos: mamíferos do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Baiano - campus Xique-Xique. *Revista Macambira*, 7(1), 1–14.
<https://doi.org/10.35642/RM.V7I1.936>

Fonseca González, L. I., Selva García, J. I., & Abarca, G. del C. (2025). Avifauna en el recinto universitario Rubén Darío de la Universidad Nacional Autónoma De Nicaragua, Managua (UNAN-Managua). *Revista Torreón Universitario*, 14(39), 157–175. <https://doi.org/10.5377/RTU.V14I39.20136>

Francis, C. D., & Barber, J. R. (2013a). A framework for understanding noise impacts on wildlife: An urgent conservation priority. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 11(6), 305–313. <https://doi.org/10.1890/120183>

Francis, C. D., & Barber, J. R. (2013b). A framework for understanding noise impacts on wildlife: An urgent conservation priority. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 11(6), 305–313.
<https://doi.org/10.1890/120183;WGROUP:STRING:PUBLICATION>

Gálvez, D. (2021). Three-year monitoring of roadkill trend in a road adjacent to a national park in Panama. *Biotropica*, 53(5), 1270–1275.
<https://doi.org/10.1111/BTP.12995;PAGE:STRING:ARTICLE/CHAPTER>

Godet, M., & Roubelat, F. (1996). Creating the future: The use and misuse of scenarios. *Long Range Planning*, 29(2), 164–171.
[https://doi.org/10.1016/0024-6301\(96\)00004-0](https://doi.org/10.1016/0024-6301(96)00004-0)



Gómez, J. A., Martínez, V., Araúz, J., Cambra, R., Carrasquilla, L., Mendieta, J., Rodríguez, E. A., & Botánico, M. S. (2013). Estudio de recursos biológicos y lineamientos estratégicos para el plan de manejo del Refugio Ecológico Universitario de Los Santos, ciudad de Las Tablas. Visión Antataura, 1(1), 57–86. <https://doi.org/10.48204/NH>

Gutiérrez Pineda, K. M., & Méndez-Carvajal, P. G. (2021). Diversidad ecológica de aves en un hábitat fragmentado en la comunidad de Rincón Largo, Chiriquí, Panamá. Huitzil, 22(1). <https://doi.org/10.28947/HRMO.2021.22.1.492>

Howe, R. W., Niemi, G. J., Lewis, S. J., & Welsh, D. A. (1997). A standard method for monitoring songbird populations in the Great Lakes region. *Passenger Pigeon*, 53, 183–194.

Jaafar, C. R. C., Ghazali, M. M., Ismail, M. I., Azmi, N. A., Akil, M. A. M. M., & Ruppert, N. (2024). Universiti Sains Malaysia Campus Nature Challenge: A Collaborative Citizen Science Initiative For Biodiversity Conservation And Environmental Awareness. *PaperASIA*, 40(3b), 33–41. <https://doi.org/10.59953/PAPERASIA.V40I3B.77>

Jiménez, J. U. (2022). Flórula Arbórea del Campus Dr. Víctor Levi Sasso, Universidad Tecnológica de Panamá. <https://ridda2.utp.ac.pa/handle/123456789/15269>

Jiménez, J. U., Fábrega, J., Mora, D., Tejedor, N., & Sánchez, M. (2020). Composition, Diversity, and Tree Structure of a Tropical Moist Forest in Gamboa, Colon, Panama. [Https://Doi.Org/10.1177/ASWR.S33960](https://doi.org/10.1177/ASWR.S33960), 9(1). <https://doi.org/10.1177/ASWR.S33960>

Legendre, P. (2019). Numerical Ecology. *Encyclopedia of Ecology*: Volume 1-4, Second Edition, 3, 487–493. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-409548-9.10595-0>

Legendre, P., & Gallagher, E. D. (2001). Ecologically meaningful transformations for ordination of species data. *Oecologia*, 129(2), 271–280. <https://doi.org/10.1007/S004420100716/METRICS>

León, D. Q., & Julio Mario Julio De León, M. Q. (2023). LA DINÁMICA DEL ESPACIO URBANO EN PANAMÁ. VARIABILIDAD, CRECIMIENTO O DESARROLLO CAUSAS Y CONSECUENCIAS. <https://doi.org/10.48204/j.catedra.n23.a4189>

McDonnell, M. J., & Hahs, A. K. (2013a). The future of urban biodiversity research: Moving beyond the “low-hanging fruit.” *Urban Ecosystems*, 16(3), 397–409.



<https://doi.org/10.1007/S11252-013-0315-2>

McDonnell, M. J., & Hahs, A. K. (2013b). The future of urban biodiversity research: Moving beyond the 'low-hanging fruit.' *Urban Ecosystems* 2013 16:3, 16(3), 397–409. <https://doi.org/10.1007/S11252-013-0315-2>

McKinney, M. L. (2006). Urbanization as a major cause of biotic homogenization. *Biological Conservation*, 127(3), 247–260. <https://doi.org/10.1016/J.BIOCON.2005.09.005>

Municipio de Panamá, & Banco Interamericano de Desarrollo. (2017). Plan de Acción: Panamá Ciudad Sostenible. <https://dpu.mupa.gob.pa/wp-content/uploads/2017/06/PA-Panama-Borrador-Final-v1.pdf>

Ortega-Álvarez, R., & MacGregor-Fors, I. (2009). Living in the big city: Effects of urban land-use on bird community structure, diversity, and composition. *Landscape and Urban Planning*, 90(3–4), 189–195. <https://doi.org/10.1016/J.LANDURBPLAN.2008.11.003>

Ortiz, D. I., Piche-Ovares, M., Romero-Vega, L. M., Wagman, J., & Troyo, A. (2021). The Impact of Deforestation, Urbanization, and Changing Land Use Patterns on the Ecology of Mosquito and Tick-Borne Diseases in Central America. *Insects* 2022, Vol. 13, Page 20, 13(1), 20. <https://doi.org/10.3390/INSECTS13010020>

Ramos Mendieta, S. A., & Alulema Rivera, E. D. (2024). Inventario de flora y fauna en zonas estratégicas de la Universidad Estatal de Milagro. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 8(6), 322–342. https://doi.org/10.37811/CL_RCM.V8I6.14629

Resolución No. CADM-R-14-2020, Pub. L. No. CADM-R-14-2020, Resolución CADM-R-14-2020: Por medio de la cual se aprueba la reserva y uso de una hectárea de terreno en El Campus Metropolitano Victor Levi Sasso para el establecimiento de una parcela Permanente Bosque 1 (2020). <https://utp.ac.pa/sites/default/files/documentos/2021/pdf/utp-res-cadm-r-14-2020-del-24-noviembre-2020.pdf>

Ries, L., Fletcher, R. J., Battin, J., & Sisk, T. D. (2004). Ecological responses to habitat edges: Mechanisms, models, and variability explained. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 35(Volume 35, 2004), 491–522. <https://doi.org/10.1146/ANNUREV.ECOLSYS.35.112202.130148/1>

Sánchez, F., Martínez-Habibe, M. C., Díaz, S., Medina, N., Riaño, J., & PaQui, M. F. (2015). BIODIVERSIDAD EN UN CAMPUS UNIVERSITARIO EN LA SABANA DE BOGOTÁ: INVENTARIO DE PLANTAS Y TETRÁPODOS.



Boletín Científico. Centro de Museos. Museo de Historia Natural, 19(2), 186–203. <https://doi.org/10.17151/BCCM.2015.19.2.11>

Sánchez Sánchez, B. R. (2022). Inventario ornitológico para potenciar la observación de aves en la reserva natural privada las oropéndolas Chiguirí Arriba, Provincia de Coclé, Panamá.

Shibatta, O. A., Galves, ; Wanner, Wanessa, ;, David Do Carmo, P., Passos De Lima, I., Edson, ;, Lopes, V., Reginaldo, ;, & Machado, A. (2009). A fauna de vertebrados do campus da Universidade Estadual de Londrina, região norte do estado do Paraná, Brasil. Semina: Ciências Biológicas e Da Saúde, 30(1), 3–26. <https://doi.org/10.5433/1679-0367.2009V30N1P3>

Stiles Hurd, F. G., & Rosselli, L. (1998). Inventario de las aves de un bosque altoandino: comparación de dos métodos. Caldasia, 20(1), 29–43. <https://revistas.unal.edu.co/index.php/cal/article/view/17468>

Teixeira, D., Roe, P., van Rensburg, B. J., Linke, S., McDonald, P. G., Tucker, D., & Fuller, S. (2024). Effective ecological monitoring using passive acoustic sensors: Recommendations for conservation practitioners. Conservation Science and Practice, 6(6), e13132. <https://doi.org/10.1111/CSP2.13132;PAGE:STRING:ARTICLE/CHAPTER>

Universidad Tecnológica d Panamá. (2018). MARCO ESTRATÉGICO PARA EL DESARROLLO SOSTENIBLE DE LAUNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PANAMÁ. <https://utp.ac.pa/sites/default/files/documentos/2025/pdf/utp-marco-estrategico-pdi-desarrollo-sostenible-2018-2030.pdf>

Universidad Tecnológica de Panamá. (2025). Acciones Sostenibles de la UTP a nivel Institucional | UTP Sostenible. Acciones Sostenibles de La UTP a Nivel Institucional. <https://sostenible.utp.ac.pa/contenido/acciones-sostenibles-utp-nivel-institucional>

Villarreal, C. J., Suira, C., Araúz, J. G., Pérez A, R. J., & María Jiménez. (2021). DIVERSIDAD DE QUIRÓPTEROS EN EL CAMPUSUNIVERSITARIO DE LA UNIVERSIDAD DE PANAMÁ, PANAMÁ. REVISTA NICARAGÜENSE DE BIODIVERSIDAD, 69. <http://www.bio-nica.info/RevNicaBiodiv/69-murcielagos-Panama.pdf>

Voltas, L., & Pino, J. L. (2024). Aves en entornos urbanos:los parques como refugios de vida silvestre en el Occidente de Panamá. Revista Científica Vida Natural, 2(1), 1–17. <https://doi.org/10.59722/RCVN.V2I1.747>

Wang, J. W., Poh, C. H., Tan, C. Y. T., Lee, V. N., Jain, A., & Webb, E. L. (2017). Building biodiversity: Drivers of bird and butterfly diversity on tropical urban



roof gardens. *Ecosphere*, 8(9). <https://doi.org/10.1002/ECS2.1905>

Xiao, H., Hu, Y., Lang, Z., Fang, B., Guo, W., Zhang, Q., Pan, X., & Lu, X. (2017). How much do we know about the breeding biology of bird species in the world? *Journal of Avian Biology*, 48(4), 513–518. <https://doi.org/10.1111/JAV.00934>

Anexo 1. Listado de fauna registradas en el campus. Lista de especies de vertebrados.

Grupo	Familia	Especie	Nombre Común	Registros	IUCN/Nacional
Aves	Embeziridae	<i>Arremonops conirostris</i>	Cerquero negrilistado	7	LC/NE
Aves	Falconidae	<i>Caracara plancus</i>	Carancho	2	LC/NE
Aves	Falconidae	<i>Daptrius chimachima</i>	Chimachimá	87	LC/NE
Aves	Falconidae	<i>Falco peregrinus</i>	Halcón peregrino	2	LC/VU
Aves	Falconidae	<i>Falco rufigularis</i>	Halcón murcielaguero	1	LC/VU
Aves	Falconidae	<i>Herpetotheres cachinnans</i>	Halcón guaco	10	LC/VU
Aves	Falconidae	<i>Micrastur semitorquatus</i>	Halcón selvático de collar	3	LC/VU
Aves	Fregatidae	<i>Fregata magnificens</i>	Fragata tijereta	15	LC/NE
Aves	Fringillidae	<i>Euphonia fulvicrissa</i>	Eufonia ventricanela	2	LC/NE
Aves	Fringillidae	<i>Euphonia laniirostris</i>	Eufonia piquigresa	82	LC/NE
Aves	Fringillidae	<i>Spinus psaltria</i>	Jilguerito dominico	33	LC/NE
Aves	Furnariidae	<i>Sittasomus griseicapillus</i>	Trepatorcos cabeza gris	17	LC/NE
Aves	Furnariidae	<i>Xenops mexicanus</i>	Picolezna norteño	9	LC/NE
Aves	Hirundinidae	<i>Hirundo rustica</i>	Golondrina tijereta	9	LC/NE
Aves	Hirundinidae	<i>Progne subis</i>	Golondrina Azulnegra	1	LC/NE
Aves	Hirundinidae	<i>Stelgidopteryx ruficollis</i>	Golondrina barranquera	263	LC/NE
Aves	Hirundinidae	<i>Stelgidopteryx serripennis</i>	Golondrinas Alas Aserradas	16	LC/NE
Aves	Icteridae	<i>Amblycercus holosericus</i>	Cacique pico claro	8	LC/NE
Aves	Icteridae	<i>Cacicus cela</i>	Arrendajo culiamarillo	15	LC/NE
Aves	Icteridae	<i>Icterus galbula</i>	Calandria de Baltimore	9	LC/NE
Aves	Icteridae	<i>Icterus spurius</i>	Calandria castaña	2	LC/NE
Aves	Icteridae	<i>Molothrus bonariensis</i>	Tordo sudamericano	8	LC/NE
Aves	Icteridae	<i>Psarocolius decumanus</i>	Oropéndola crestada	15	LC/NE
Aves	Icteridae	<i>Psarocolius wagleri</i>	Oropéndola cabeza castaña	43	LC/NE
Aves	Icteridae	<i>Quiscalus mexicanus</i>	Chango	267	LC/NE
Aves	Icteridae	<i>Sturnella magna</i>	Pradero oriental	1	LC/NE
Aves	Mimidae	<i>Mimus gilvus</i>	Sinsonte	2	LC/NE
Aves	Momotidae	<i>Momotus subrufescens</i>	Momoto sudamericano	6	LC/NE
Aves	Parulidae	<i>Basileuterus delattrii</i>	Reinita Gorricastaña	30	LC/NE
Aves	Parulidae	<i>Cardellina canadensis</i>	Chipe de Collar	2	LC/NE



Aves	Parulidae	<i>Leiothlypis peregrina</i>	Chipe peregrino	3	LC/NE
Aves	Parulidae	<i>Mniotilla varia</i>	Chipe trepador	5	LC/NE
Aves	Parulidae	<i>Parkesia motacilla</i>	Chipe arroyero	6	LC/NE
Aves	Parulidae	<i>Parkesia noveboracensis</i>	Chipe Charquero	16	LC/NE
Aves	Parulidae	<i>Protonotaria citrea</i>	Chipe dorado	9	LC/NE
Aves	Parulidae	<i>Setophaga castanea</i>	Reinita pechicastaña	3	LC/NE
Aves	Parulidae	<i>Setophaga fusca</i>	Chipe garganta naranja	2	LC/NE
Aves	Parulidae	<i>Setophaga magnolia</i>	Chipe de magnolias	4	LC/NE
Aves	Parulidae	<i>Setophaga pensylvanica</i>	Chipe flancos castaños	1	LC/NE
Aves	Parulidae	<i>Setophaga petechia</i>	Chipe amarillo	37	LC/NE
Aves	Passeridae	<i>Passer domesticus</i>	Gorrión doméstico	6	LC/NE
Aves	Phalacrocoracidae	<i>Nannopterum brasiliandum</i>	Corúa neotropical	11	LC/NE
Aves	Picidae	<i>Campephilus melanoleucus</i>	Carpintero marcial	18	LC/NE
Aves	Picidae	<i>Dryocopus lineatus</i>	Carpintero Lineado	1	LC/NE
Aves	Picidae	<i>Melanerpes pucherani</i>	Carpintero Cara Negra	1	LC/NE
Aves	Polioptilidae	<i>Polioptila bilineata</i>	Perlita Cejancha	6	LC/NE
Aves	Polioptilidae	<i>Ramphocaenus melanurus</i>	Saltón picudo	24	LC/NE
Aves	Psittacidae	<i>Amazona autumnalis</i>	Loro frentirrojo	108	LC/VU
Aves	Psittacidae	<i>Amazona farinosa</i>	Loro verde	4	NT/VU
Aves	Psittacidae	<i>Amazona ochrocephala</i>	Loro coroniamarillo	206	LC/EN
Aves	Psittacidae	<i>Eupsittula pertinax</i>	Perico carisucio	6	LC/NE
Aves	Psittacidae	<i>Pionus menstruus</i>	Loro cabeciazul	149	LC/VU
Aves	Psittacidae	<i>Pyrilia haematotis</i>	Loro cabeza oscura	5	LC/VU
Aves	Ramphastidae	<i>Pteroglossus torquatus</i>	Tucancillo collarejo	15	LC/NE
Aves	Ramphastidae	<i>Ramphastos sulfuratus</i>	Tucán pico canoa	217	LC/VU
Aves	Rhodinicichlae	<i>Rhodinicichla rosea</i>	Tangara pecho rosa	33	LC/NE
Aves	Thamnophilidae	<i>Cymbilaimus lineatus</i>	Batará lineado	23	LC/NE
Aves	Thamnophilidae	<i>Microrhopias quixensis</i>	Hormiguero alas punteadas	7	LC/NE
Aves	Thamnophilidae	<i>Myrmeciza longipes</i>	Hormiguero ventriblanco	2	LC/NE
Aves	Thamnophilidae	<i>Thamnophilus atrinucha</i>	Batará cabecinegro	3	LC/NE
Aves	Thraupidae	<i>Chlorophanes spiza</i>	Mielero verde	10	LC/NE
Aves	Thraupidae	<i>Coereba flaveola</i>	Reinita mielera	20	LC/NE
Aves	Thraupidae	<i>Cyanerpes cyaneus</i>	Mielero patirrojo	37	LC/NE
Aves	Thraupidae	<i>Dacnis cayana</i>	Dacnis azul	13	LC/NE
Aves	Thraupidae	<i>Ramphocelus dimidiatus</i>	Tangara dorsirroja	277	LC/NE
Aves	Thraupidae	<i>Saltator maximus</i>	Saltador gorgienteado	26	LC/NE
Aves	Thraupidae	<i>Saltator striaticeps</i>	Saltador listado	1	LC/NE
Aves	Thraupidae	<i>Sicalis flaveola</i>	Pinzón azafranado	19	LC/NE
Aves	Thraupidae	<i>Sporophila corvina</i>	Semillero variable	357	LC/NE
Aves	Thraupidae	<i>Sporophila funerea</i>	Semillero piquigrueso	81	LC/NE
Aves	Thraupidae	<i>Sporophila minuta</i>	Espiguero pechirrojizo	1	LC/NE
Aves	Thraupidae	<i>Sporophila nigricollis</i>	Espiguero ventriamarillo	27	LC/NE



Aves	Thraupidae	<i>Sporophila schistacea</i>	Espiguero pizarroso	8	LC/NE
Aves	Thraupidae	<i>Tiaris olivaceus</i>	Semillerito cariamarillo	3	LC/NE
Aves	Thraupidae	<i>Volatinia jacarina</i>	Semillerito negriazulado	17	LC/NE
Aves	Threskiornithidae	<i>Eudocimus albus</i>	Ibis Blanco	1	LC/NE
Aves	Tinamidae	<i>Tinamus major</i>	Tinamú Mayor	2	LC/VU
Aves	Tityridae	<i>Tityra inquisitor</i>	Titira pico negro	6	LC/NE
Aves	Trochilidae	<i>Anthracothorax nigricollis</i>	Mango gorjinegro	8	LC/VU
Aves	Trochilidae	<i>Chlorestes julie</i>	Colibrí de Julia	28	LC/NE
Aves	Trochilidae	<i>Chlorostilbon assimilis</i>	Esmeralda de Panamá	15	LC/VU
Aves	Trochilidae	<i>Chrysuronia coeruleogularis</i>	Colibrí gorjizafiro	7	LC/NE
Aves	Trochilidae	<i>Florisuga mellivora</i>	Jacobino nuquiblanco	1	LC/VU
Aves	Trochilidae	<i>Glaucis hirsutus</i>	Ermitaño hirsuto	1	LC/VU
Aves	Trochilidae	<i>Heliomaster longirostris</i>	Colibrí piquilargo	1	LC/VU
Aves	Trochilidae	<i>Phaeochroa cuvierii</i>	Colibrí pecho escamoso	1	LC/VU
Aves	Trochilidae	<i>Phaethornis longirostris</i>	Ermitaño piquilargo	5	LC/VU
Aves	Trochilidae	<i>Phaethornis striigularis</i>	Ermitaño gorguirrayado	1	LC/VU
Aves	Trochilidae	<i>Threnetes ruckeri</i>	Barbita colibandeada	5	LC/VU
Aves	Troglodytidae	<i>Cantorchilus elutus</i>	Sotorrorey de Panamá	2	LC/NE
Aves	Troglodytidae	<i>Cantorchilus leucotis</i>	Sotorrorey pechiblanco	28	LC/NE
Aves	Troglodytidae	<i>Cantorchilus nigricapillus</i>	Sotorrorey castaño	3	LC/NE
Aves	Troglodytidae	<i>Pheugopedius fasciatoventris</i>	Sotorrorey Ventrinegro	4	LC/NE
Aves	Troglodytidae	<i>Troglodytes musculus</i>	Sotorrorey común	267	LC/NE
Aves	Trogonidae	<i>Trogon tenellus</i>	Trogon tenellus	2	LC/NE
Aves	Turdidae	<i>Catharus fuscegens</i>	Zorzal canelo	7	LC/NE
Aves	Turdidae	<i>Catharus ustulatus</i>	Zorzal de Anteojos	25	LC/NE
Aves	Turdidae	<i>Turdus grayi</i>	Mirlo café	191	LC/NE
Aves	Tyrannidae	<i>Atalotriccus pilaris</i>	Tirano-enano ojipálido	1	LC/NE
Aves	Tyrannidae	<i>Attila spadiceus</i>	Atila lomiamarilla	1	LC/NE
Aves	Tyrannidae	<i>Camptostoma obsoletum</i>	Tiranolete silbador sureño	19	LC/NE
Aves	Tyrannidae	<i>Contopus sordidulus</i>	Papamoscas del Oeste	3	LC/NE
Aves	Tyrannidae	<i>Contopus virens</i>	Papamoscas del este	37	LC/NE
Aves	Tyrannidae	<i>Elaenia flavogaster</i>	Elenia vientriamarilla	25	LC/NE
Aves	Tyrannidae	<i>Empidonax traillii</i>	Papamoscas saucero	5	LC/NE
Aves	Tyrannidae	<i>Empidonax virescens</i>	Papamoscas verdoso	8	LC/NE
Aves	Tyrannidae	<i>Legatus leucophaius</i>	Mosquero pirata	60	LC/NE
Aves	Tyrannidae	<i>Megarynchus pitangua</i>	Mosquero picudo	53	LC/NE
Aves	Tyrannidae	<i>Mionectes oleagineus</i>	Mosquero ventriocráneo	1	LC/NE
Aves	Tyrannidae	<i>Myiarchus crinitus</i>	Copetón viajero	1	LC/NE
Aves	Tyrannidae	<i>Myiarchus tuberculifer</i>	Copetón crestoscuro	15	LC/NE
Aves	Tyrannidae	<i>Myiopagis gaimardi</i>	Elenia selvática	45	LC/NE
Aves	Tyrannidae	<i>Myiozetetes cayanensis</i>	Mosquero alicastaño	4	LC/NE
Aves	Tyrannidae	<i>Myiozetetes similis</i>	Mosquero social	151	LC/NE



Aves	Tyrannidae	<i>Pitangus sulphuratus</i>	Bienteveo común	59	LC/NE
Aves	Tyrannidae	<i>Terenotriccus erythrurus</i>	Mosquerito Cola Castaña	3	LC/NE
Aves	Tyrannidae	<i>Todirostrum cinereum</i>	Espatulilla común	159	LC/NE
Aves	Tyrannidae	<i>Tolmomyias flavotectus</i>	Picoancho aliamarillo del Pacífico	1	LC/NE
Aves	Tyrannidae	<i>Tyrannulus elatus</i>	Tiranolete coroniamarillo	40	LC/NE
Aves	Tyrannidae	<i>Tyrannus savana</i>	Tijereta sabanera	2	LC/NE
Aves	Tyrannidae	<i>Tyrannus tyrannus</i>	Tirano norteño	532	LC/NE
Aves	Tyrannidae	<i>Zimmerius parvus</i>	Tiranolete del muérdago	1	LC/NE
Aves	Vireonidae	<i>Hylophilus decurtatus</i>	Vireocillo cabeza gris	3	LC/NE
Aves	Vireonidae	<i>Hylophilus flavipes</i>	Verdillo paticlaro	1	LC/NE
Aves	Vireonidae	<i>Pachysylvia aurantifrons</i>	Verderón Luisacho	4	LC/NE
Aves	Vireonidae	<i>Vireo flavifrons</i>	Vireo garganta amarilla	6	LC/NE
Aves	Vireonidae	<i>Vireo flavoviridis</i>	Vireo verdeamarillo	13	LC/NE
Aves	Vireonidae	<i>Vireo olivaceus</i>	Vireo ojos rojos	5	LC/NE
Aves	Vireonidae	<i>Vireolanius pulchellus</i>	Vireón esmeralda	2	LC/NE
Mamíferos	Atelidae	<i>Alouatta palliata</i>	Mono aullador	12	LC/VU
Mamíferos	Bradypodidae	<i>Bradypus variegatus</i>	Perezoso de tres dedos	13	LC/NE
Mamíferos	Canidae	<i>Canis latrans</i>	Coyote	2	LC/NE
Mamíferos	Caviidae	<i>Hydrochoerus hydrochaeris</i>	Capibara	1	LC/NE
Mamíferos	Cebidae	<i>Cebus capucinus</i>	Mono capuchino	2	VU/EN
Mamíferos	Cebidae	<i>Saguinus geoffroyi</i>	Tamarín	24	NT//NE
Mamíferos	Cervidae	<i>Odocoileus virginianus</i>	Venado cola blanca	12	LC/VU
Mamíferos	Cuniculidae	<i>Cuniculus paca</i>	Paca común	23	LC/NE
Mamíferos	Dasypodidae	<i>Dasyurus novemcinctus</i>	Armadillo de nueve bandas	6	LC/NE
Mamíferos	Dasyproctidae	<i>Dasyprocta punctata</i>	Agutí centroamericano	24	LC/NE
Mamíferos	Didelphidae	<i>Didelphis marsupialis</i>	Zariguella común	4	LC/NE
Mamíferos	Didelphidae	<i>Caluromys lanatus</i>	Zarigüeya lanuda occidental	1	LC/NE
Mamíferos	Echimyidae	<i>Proechimys semispinosus</i>	Rata espinosa	2	LC/NE
Mamíferos	Felidae	<i>Leopardus pardalis</i>	Ocelote	1	LC/VU
Mamíferos	Leporidae	<i>Sylvilagus brasiliensis</i>	Tapetí	13	LC/NE
Mamíferos	Mephitidae	<i>Conepatus semistriatus</i>	Zorrillo de espalda blanca sureño	3	LC/NE
Mamíferos	Megalonychidae	<i>Choloepus hoffmanni</i>	Perezoso de dos dedos	12	LC/NE
Mamíferos	Myrmecophagidae	<i>Tamandúa mexicana</i>	Tamandúa mexicano	4	LC/NE
Mamíferos	Procyonidae	<i>Procyon lotor</i>	Mapache común	6	LC/NE
Mamíferos	Procyonidae	<i>Nasua narica</i>	Coatí de nariz blanca	52	LC/NE
Mamíferos	Phyllostomidae	<i>Artibeus lituratus</i>	Murciélagos frugívoro gigante	3	LC/NE
Mamíferos	Phyllostomidae	<i>Artibeus jamaicensis</i>	Murciélagos frutero	4	LC/NE
Mamíferos	Phyllostomidae	<i>Phyllostomus discolor</i>	Murciélagos de nariz de lanza	2	LC/NE
Mamíferos	Sciuridae	<i>Sciurus variegatoides</i>	Ardilla centroamericana	9	LC/NE
Mamíferos	Sciuridae	<i>Sciurus granatensis</i>	Ardilla de cola roja	6	LC/NE
Mamíferos	Vespertilionidae	<i>Rhogeessa io</i>	Murciélagos	3	LC/NE



Reptiles	Alligatoridae	<i>Caiman crocodilus</i>	Caimán	12	LC/VU
Reptiles	Eleutherodactylidae	<i>Eleutherodactylus planirostris</i>	Rana Chirriadora Caribeña	3	LC/NE
Reptiles	Polychrotidae	<i>Anolis sagrei</i>	Abaniquillo pardo	4	LC/NE
Reptiles	Sphaerodactylidae	<i>Gonatodes albogularis</i>	Geco de cabeza amarilla	5	LC/NE
Reptiles	Testudinidae	<i>Chelonoidis carbonarius</i>	Morrocoy, Tortuga de patas rojas	7	VU/NE
Reptiles	Viperidae	<i>Bothrops asper</i>	Terciopelo, Barba amarilla	7	LC/NE
Anfibios	Boidae	<i>Boa constrictor</i>	Boa constrictora, Mazacuata	3	LC/NE
Anfibios	Bufonidae	<i>Rhinella alata</i>	Sapo de hojarasca	12	LC/NE
Anfibios	Bufonidae	<i>Rhinella horribilis</i>	Sapo de caña mesoamericano	4	LC/NE
Anfibios	Colubridae	<i>Oxybelis fulgidus</i>	Bejuquilla verde	2	LC/NE
Anfibios	Corytophanidae	<i>Basiliscus basiliscus</i>	Basilisco común	23	LC/NE

Nota: Las primeras 4 columnas contienen la información taxonómica de cada especie. Las siguientes columnas contienen información sobre el número de registros, estado de conservación asentado por la UICN (CR: en peligro crítico, EN: en peligro, VU: vulnerable, NT: casi amenazada, LC: preocupación menor, NE: no evaluada).



Simbiosis digital: Redefiniendo la interacción persona-computador a través de Inteligencia Artificial como puente y compañero

Digital Symbiosis: Redefining Human-Computer Interaction through Artificial Intelligence as a Bridge and Companion

Ricardo Manuel Candanedo Yau

Universidad de Panamá, Centro Regional Universitario de Panamá Este, Facultad de Informática Electrónica y Comunicación, Panamá

ricardo.candanedo@up.c.pa

<https://orcid.org/0009-0002-5017-9830>

DOI <https://doi.org/10.48204/j.scientia.v36n1.a8433>

Resumen

La simbiosis digital representa una transformación profunda en la manera en que los humanos interactúan con la tecnología. Este artículo analiza la relación complementaria entre la inteligencia humana y la inteligencia artificial (IA), destacando esta última como asistente y potenciador de capacidades humanas en ámbitos profesionales, creativos y sociales. A través de una revisión bibliográfica y análisis crítico, se exploran las oportunidades y desafíos de la co-creación, la innovación colaborativa y la integración tecnológica en la sociedad contemporánea. Los resultados muestran que, aunque la inteligencia artificial (IA) mejora la eficiencia y la precisión, las capacidades humanas como la empatía, la creatividad y la iniciativa siguen siendo insustituibles. Finalmente, se propone que la simbiosis digital ética y responsable puede generar un entorno más equitativo, inclusivo y sostenible, donde la colaboración entre humanos y máquinas potencie la creatividad, la productividad y el bienestar social.

Palabras clave: creatividad, ética, innovación, derechos humanos, tecnología.

Abstract

Digital symbiosis represents a profound transformation in the way humans interact with technology. This article analyzes the complementary relationship between human intelligence and artificial intelligence (AI), highlighting the latter as an assistant and enhancer of human capabilities in professional, creative, and social spheres. Through a literature review and critical analysis, the article explores the opportunities and challenges of co-creation, collaborative innovation, and technological integration in contemporary society. The results show that, although artificial intelligence (AI) improves efficiency and accuracy, human capabilities such as empathy, creativity, and initiative remain irreplaceable. Finally, it is proposed that ethical and responsible digital symbiosis can generate a more equitable, inclusive, and sustainable environment, where human-machine collaboration enhances creativity, productivity, and social well-being.

Keywords: creativity, ethics, innovation, human rights, technology.



Introducción

El desarrollo de la inteligencia artificial (IA) ha transformado profundamente la relación entre las personas y las máquinas, inaugurando una nueva etapa evolutiva denominada simbiosis digital (Floridi, 2020; Shneiderman, 2022). Este concepto describe una interacción interdependiente en la que humanos y sistemas inteligentes colaboran de forma complementaria, combinando las fortalezas de cada uno para alcanzar metas comunes y expandir capacidades cognitivas, creativas y operativas (Altuve, 2024).

Actualmente, la IA ha dejado de ser meramente instrumental para convertirse en un agente de co-creación y acompañamiento, integrando tecnologías multimodales capaces de interpretar voz, gestos, lenguaje natural y señales biométricas, anticipando necesidades humanas de manera contextualizada (Kindelán, 2023; Marcus, 2019). Este avance consolida una nueva dimensión en la interacción persona–computador, en la que la tecnología no solo responde, sino que aprende, adapta y potencia las capacidades humanas (Marcus, 2019).

La simbiosis digital no se limita al uso de asistentes virtuales o sistemas automatizados; representa una relación de aprendizaje mutuo entre el ser humano y la máquina (Licklider, 1960; Shneiderman, 2022). Las tendencias recientes en la interacción persona-computador destacan la necesidad de integrar modelos adaptativos centrados en el usuario (Flórez Rojas, 2024). Desde los albores de la informática moderna, la relación entre personas y computadoras ha sido objeto de análisis y predicción sobre su evolución futura (Asociación de Técnicos de Informática [ATI], 2000). Modelos recientes como el *Human-AI Handshake Framework* (2024) proponen un esquema de colaboración bidireccional, en el que humanos y sistemas de IA intercambian información, se retroalimentan y construyen conocimiento conjunto (Floridi, 2020). A su vez, la arquitectura *e-person* (2025) ofrece un enfoque neurocognitivo y ético que dota a los sistemas inteligentes de sensibilidad contextual y mecanismos para manejar la incertidumbre, fortaleciendo una relación empática y sostenible entre ambos agentes (Bryson, 2021).

Estos avances representan un cambio sustancial respecto de la visión



tradicional de la IA como herramienta, consolidando su papel como un verdadero compañero cognitivo que potencia creatividad y bienestar humano (Floridi, 2020; Bryson, 2021). Sin embargo, la integración profunda de la IA plantea desafíos éticos, sociales y psicológicos de creciente relevancia, incluyendo la dependencia tecnológica, la pérdida de autonomía, la opacidad algorítmica y los sesgos en los modelos de decisión (Boddington, 2020; Bryson, 2021). Frente a esto, instituciones como la *International Association for Safe and Ethical AI* (IASEAI) promueven marcos normativos que garantizan seguridad, equidad y transparencia en la evolución tecnológica (UNESCO, 2021).

El objetivo central de esta investigación es analizar la simbiosis digital como modelo emergente de interacción persona–computador que redefine la colaboración entre humanos y máquinas desde una perspectiva integradora. Más que reemplazar capacidades humanas, la IA busca complementarlas, asumiendo tareas de análisis, optimización y predicción que liberan al individuo para actividades más creativas, estratégicas y empáticas (Shneiderman, 2022; Marcus, 2019). Este equilibrio plantea la posibilidad de un entorno colaborativo en el que la tecnología actúe como puente y compañero, consolidando la simbiosis digital como un modelo de co-evolución que amplía horizontes de conocimiento, productividad e innovación, siempre bajo principios éticos sólidos y respeto a la dignidad humana (Boddington, 2020; Bryson, 2021).

La relevancia de este estudio radica en que comprender la simbiosis digital no solo permite aprovechar el potencial transformador de la IA, sino también orientar su desarrollo hacia un modelo centrado en el bienestar social y la justicia tecnológica (Altuve, 2024; García-Peña & Flores-Vivar, 2023). Analizar este fenómeno implica reconocer que la tecnología es una extensión del pensamiento y la acción humana, capaz de promover entornos inclusivos, equitativos y sostenibles (Kindelán, 2023). En esta nueva era de colaboración cognitiva, la IA no representa una amenaza, sino un catalizador que amplifica capacidades y nos invita a repensar lo que significa ser humano en el siglo XXI (Case, 2018; Savić, 2023).



Materiales y métodos

El presente estudio se desarrolló bajo un enfoque cualitativo de revisión bibliográfica y análisis crítico, orientado a comprender la simbiosis digital como un proceso de interacción colaborativa entre humanos e inteligencia artificial (IA) (Bardin, 2011; Shneiderman, 2022). Esta metodología permitió abordar de manera integral los aspectos tecnológicos, ergonómicos, culturales y éticos vinculados con la interacción persona–computador en entornos contemporáneos, incorporando tanto los avances recientes de la IA como las transformaciones sociales y cognitivas derivadas de su integración (Floridi, 2020; Kindelán, 2023).

La investigación se estructuró bajo un diseño descriptivo que combinó la exploración de literatura académica especializada con el análisis de experiencias prácticas de aplicación tecnológica en diversos sectores profesionales y empresariales (Bryson, 2021). La recolección de información se basó en una revisión sistemática de fuentes académicas publicadas entre 2018 y 2024, seleccionadas por su relevancia y rigor científico (García-Peñalvo & Flores-Vivar, 2023). Las bases de datos consultadas incluyeron Scopus, SpringerLink, IEEE Xplore y Google Scholar, priorizando artículos revisados por pares, informes de innovación tecnológica y libros especializados en ciborg-antropología, ética digital y diseño de interacción humano–computador (Case, 2018; Marcus, 2019).

Entre las referencias clave se consideraron los aportes clásicos de J.C.R. Licklider (1960) sobre la simbiosis hombre-máquina, los estudios recientes de C. Kindelán (2023) sobre co-creación con IA y los trabajos de A. Case (2018) sobre la extensión de las capacidades humanas mediante herramientas digitales. Además, se incluyeron fuentes de 2024 y 2025 que abordaban la inteligencia artificial ética, la cognición híbrida y el diseño responsable, destacando los marcos *Human-AI Handshake Framework* y *e-person architecture*, que exploran la colaboración neurocognitiva y la co-evolución humano–IA (Floridi, 2020; Bryson, 2021).

El proceso metodológico consistió en una revisión sistemática de la literatura que permitió identificar publicaciones enfocadas en la interacción humano–máquina, el desarrollo de la IA y sus aplicaciones en contextos educativos,



profesionales y culturales (Shneiderman, 2022; Marcus, 2019). Esta etapa estableció una base teórica sólida, que abarcó desde los orígenes conceptuales de la interacción persona–computador hasta las tendencias emergentes de simbiosis digital y cognición aumentada (Licklider, 1960; Floridi, 2020).

Complementariamente, se realizó un análisis crítico de casos y experiencias aplicadas, con el objetivo de identificar cómo la IA potencia la actividad humana en distintos escenarios. Se estudiaron aplicaciones médicas que emplean algoritmos para apoyar diagnósticos clínicos, plataformas de aprendizaje adaptativo que personalizan contenidos educativos, sistemas de análisis periodístico basados en procesamiento masivo de datos y herramientas de gestión empresarial que fomentan la co-creación en tiempo real (Marcus, 2019; Case, 2018). Entre los casos destacados se incluyó la digitalización de clínicas veterinarias mediante el software WinVet, que integra módulos de gestión administrativa y clínica, optimizando procesos y mejorando la experiencia del usuario (Bryson, 2021). Este análisis permitió reconocer patrones de eficiencia, creatividad y colaboración, así como los desafíos derivados de la dependencia tecnológica y los sesgos algorítmicos (Boddington, 2020).

Finalmente, se realizó una síntesis conceptual que integró los hallazgos teóricos y prácticos en un marco analítico coherente, examinando la complementariedad entre las capacidades humanas, como la empatía, el juicio crítico, la creatividad y la ética, y las capacidades de la IA, incluyendo el análisis masivo de datos, la rapidez de procesamiento y la asistencia en la toma de decisiones complejas (Savić, 2023; Floridi, 2020). Este enfoque permitió identificar la co-creación como eje central de la simbiosis digital, enfatizando que la eficacia de la colaboración humano–máquina depende del equilibrio entre la autonomía humana y el apoyo tecnológico (Bryson, 2021).

Además, se abordaron dimensiones éticas relacionadas con la privacidad, la transparencia, la inclusión digital y la responsabilidad compartida, aspectos fundamentales para un desarrollo tecnológico sostenible y centrado en las personas (Boddington, 2020; UNESCO, 2021). Para organizar y analizar los datos se adoptó



el método de análisis de contenido temático propuesto por Bardin (2011), construyéndose una matriz en la que se clasificaron los conceptos clave y se establecieron relaciones entre creatividad aumentada, automatización ética y cognición híbrida (Shneiderman, 2022). De acuerdo con la Universitat Oberta de Catalunya (2013), la interacción persona-ordenador debe contemplar factores perceptivos, cognitivos y emocionales que aseguren la eficiencia y comodidad del usuario. La representación y visualización de los datos se realizó mediante Microsoft Excel y la herramienta de diseño Canva (versión 2024, EE.UU.), asegurando claridad en la exposición de las categorías temáticas.

Tabla 1*Categorías de análisis identificadas en la revisión*

Categoría principal	Descripción breve	Referencias clave
Creatividad aumentada	IA como herramienta para la expansión del pensamiento humano.	Shneiderman (2022); Marcus & Davis (2019)
Automatización ética	Equilibrio entre eficiencia y responsabilidad moral.	Bryson (2021); Boddington (2020)
Cognición híbrida	Interacción simbiótica entre mente humana y sistema inteligente.	Floridi (2020); Savić (2023)

Nota: Esta tabla resume las principales categorías conceptuales identificadas en la revisión bibliográfica sobre inteligencia artificial y cognición humana, con sus referencias clave.

En conjunto, la metodología aplicada combinó revisión bibliográfica sistemática, análisis crítico de casos prácticos y síntesis conceptual, ofreciendo un enfoque multidimensional que permite comprender la simbiosis digital no solo como fenómeno tecnológico, sino también como proceso social y cultural en constante evolución. Este enfoque integral evidencia que la integración ética y estratégica de la inteligencia artificial redefine las dinámicas de trabajo, aprendizaje y creación, configurando un modelo de colaboración en el que humanos y máquinas convergen como compañeros en la construcción de conocimiento, innovación y bienestar colectivo.



Resultados

Los hallazgos derivados del análisis de literatura y casos prácticos muestran que la simbiosis digital constituye un fenómeno complejo y multidimensional, en el que la interacción entre el ser humano y la inteligencia artificial genera una relación de complementariedad orientada a potenciar capacidades cognitivas, creativas y operativas. Lejos de reemplazar la intervención humana, la tecnología funciona como un catalizador que amplifica las habilidades intelectuales y emocionales, promoviendo un modelo de colaboración donde la máquina asume tareas de análisis y procesamiento, mientras el individuo conserva su rol de creador, intérprete y decisor (Floridi, 2020; Marcus, 2019). Esta dinámica evidencia una nueva forma de alianza entre lo humano y lo digital, sustentada en cooperación, eficiencia y co-creación.

Desde la dimensión tecnológica, la inteligencia artificial se consolida como un asistente estratégico capaz de incrementar la eficiencia en diversos contextos profesionales. En el ámbito médico, los algoritmos procesan grandes volúmenes de datos clínicos, identifican patrones relevantes y apoyan diagnósticos tempranos, liberando tiempo para que los profesionales de la salud se concentren en la atención personalizada de los pacientes (Marcus, 2019). De manera similar, en el periodismo, la IA facilita la recopilación y análisis de información, la elaboración de borradores y la verificación de datos, permitiendo que los periodistas se enfoquen en la producción de contenidos más reflexivos, críticos y humanizados (Shneiderman, 2022). En el ámbito empresarial, la integración de herramientas como el software WinVet en clínicas veterinarias demuestra cómo la combinación de gestión administrativa, aplicaciones móviles y firma digital optimiza recursos y mejora la experiencia del cliente (Bryson, 2021). En conjunto, estos ejemplos muestran que la tecnología no sustituye la labor humana, sino que la complementa, ampliando los márgenes de acción y la capacidad de respuesta frente a entornos dinámicos.

La dimensión ergonómica y de interacción persona–computador evidencia



que las interfaces inteligentes contribuyen a reducir la distancia entre la intención del usuario y la acción tecnológica. Asistentes virtuales, entornos de aprendizaje adaptativos y sistemas de gestión automatizados permiten una interacción más natural, intuitiva y centrada en las necesidades del individuo, disminuyendo la carga cognitiva, reduciendo errores y fortaleciendo la productividad y el bienestar (Kindelán, 2023; Shneiderman, 2022). La ergonomía cognitiva se ve reforzada por la capacidad de los sistemas inteligentes de anticipar requerimientos, personalizar contenidos y ofrecer retroalimentación inmediata, generando una experiencia de usuario optimizada.

En el plano antropológico y cultural, los resultados reflejan una transformación profunda en la manera en que los individuos se relacionan con su entorno y con los demás. La incorporación de dispositivos inteligentes y plataformas digitales convierte a los usuarios en extensiones simbióticas de los sistemas tecnológicos, en lo que algunos autores denominan ciborg-antropología (Case, 2018). En este paradigma, los humanos utilizan herramientas digitales como prótesis cognitivas que amplían memoria, organización, comunicación y creatividad. Sin embargo, esta integración también plantea desafíos, incluyendo dependencia tecnológica, disminución de habilidades sociales tradicionales y redefinición de la identidad en contextos mediados por pantallas (Floridi, 2020; Kindelán, 2023). La cultura digital contemporánea se configura, por tanto, como un espacio híbrido donde la tecnología transforma los modos de trabajo, aprendizaje y socialización.

En cuanto a la dimensión ética, los hallazgos evidencian que la simbiosis digital solo puede desarrollarse de manera sostenible si se orienta por principios de transparencia, equidad y responsabilidad compartida (Boddington, 2020; Bryson, 2021). La co-creación entre humanos y sistemas inteligentes se presenta como un motor de innovación, siempre que exista claridad sobre los límites y responsabilidades de cada actor. Las investigaciones revisadas muestran que los proyectos con participación ética y colaborativa logran resultados más inclusivos y sostenibles, mientras que aquellos carentes de marcos éticos sólidos tienden a reproducir sesgos algorítmicos y desigualdades estructurales.



En conjunto, la simbiosis digital no solo incrementa la eficiencia y la creatividad, sino que redefine la naturaleza de la interacción persona–computador. La colaboración entre humanos y sistemas inteligentes genera un modelo de inteligencia colectiva extendida, en el que ambos agentes aprenden y se adaptan mutuamente. Se destacan tres hallazgos fundamentales: la inteligencia artificial como potenciador cognitivo capaz de ampliar habilidades de análisis y predicción; la ética como principio indispensable para garantizar justicia y transparencia en los procesos algorítmicos; y la consolidación de un modelo de colaboración donde creatividad humana e inteligencia artificial se entrelazan para generar conocimiento compartido (Savić, 2023; Floridi, 2020; Marcus, 2019). Estos hallazgos permiten afirmar que la simbiosis digital representa un proceso de coevolución entre humanos y tecnologías basado en cooperación, adaptabilidad y responsabilidad ética, redefiniendo la noción de progreso tecnológico y situando al ser humano como diseñador, orientador y beneficiario del cambio digital.

Para una mejor comprensión de las dimensiones y hallazgos conceptuales de la simbiosis digital, se presentan a continuación las tablas que sintetizan esta información.

Tabla 2

Dimensiones analizadas en la simbiosis digital humano–IA

Dimensión	Descripción principal	Evidencias ejemplos	y	Implicaciones clave
Tecnológica	La IA actúa como asistente estratégico que amplifica la eficiencia y la productividad.	Aplicaciones en medicina (diagnóstico asistido), periodismo (redacción automatizada) y gestión empresarial (<i>WinVet</i>).		Optimiza procesos, libera tiempo humano y fomenta la innovación.
Ergonómica e interacción persona–computador	Interfaces inteligentes mejoran la experiencia del usuario.	Plataformas adaptativas, asistentes virtuales y sistemas de gestión automatizados.		Favorecen la usabilidad, seguridad y eficiencia cognitiva.



Antropológica y cultural	<p>usuario y reducen la carga cognitiva.</p> <p>Transformación de la identidad y la socialización humana mediante la integración tecnológica.</p>	<p>Uso de dispositivos digitales como prótesis cognitivas y de comunicación.</p>	<p>Genera nuevas formas de relación, pero también dependencia tecnológica.</p>
Ética y de co-creación	<p>La IA requiere una gobernanza basada en transparencia, responsabilidad y equidad.</p>	<p>Procesos colaborativos y de innovación participativa entre humanos y sistemas inteligentes.</p>	<p>Promueve inclusión y sostenibilidad si se gestiona con principios éticos claros.</p>

Nota: Esta tabla resume las principales dimensiones identificadas en la simbiosis digital, señalando su impacto, ejemplos concretos y relevancia práctica.

Tabla 3

Síntesis de hallazgos conceptuales sobre la simbiosis digital

EJE ANALÍTICO	CONCEPTO CENTRAL	AUTORES FUENTES	CONTRIBUCIÓN PRINCIPAL
POTENCIADOR COGNITIVO	La IA amplía las capacidades humanas de análisis, predicción y resolución de problemas.	Marcus (2019); Shneiderman (2022).	Define a la IA como un asistente intelectual y creativo.
ÉTICA DIGITAL	La simbiosis digital exige marcos de justicia algorítmica y respeto a los derechos humanos.	Boddington (2020); Bryson (2021).	La confianza del usuario depende de la transparencia y la equidad en los sistemas inteligentes.
COGNICIÓN HÍBRIDA	Convergencia entre pensamiento humano e inteligencia artificial en procesos colaborativos.	Savić (2023); Floridi (2020).	Propone el modelo de <i>inteligencia colectiva extendida</i> para la co-creación y el aprendizaje conjunto.
CULTURA DIGITAL	La tecnología redefine la identidad y la interacción social contemporánea.	Case (2018); Kindelán (2023).	Introduce la noción de <i>ciborg-antropología</i> como marco para analizar la integración humano-IA.



Nota: Esta tabla sintetiza los hallazgos conceptuales más relevantes, destacando los enfoques teóricos que fundamentan la simbiosis digital y su implicación en la práctica.

El análisis de la interacción persona-computador permite además proponer un Modelo Conceptual de la Simbiosis Digital, representado en la Figura 1, que formaliza la relación dinámica y recíprocamente beneficiosa entre el ser humano y los sistemas inteligentes. El modelo se articula en torno a tres dimensiones interconectadas —tecnológica, cognitiva y ética— que convergen en un núcleo central de co-creación simbiótica.

La Dimensión Tecnológica constituye la infraestructura esencial de la simbiosis, agrupando sistemas de IA, algoritmos, plataformas digitales y herramientas de automatización. Su función principal es amplificar la capacidad humana al externalizar tareas que requieren gran poder de procesamiento, permitiendo el análisis de grandes volúmenes de datos y la ejecución de tareas complejas con alta precisión. Ejemplos de esta amplificación incluyen sistemas de diagnóstico médico avanzados, plataformas de aprendizaje adaptativo y software empresarial especializado como WinVet.

La Dimensión Cognitiva describe la interacción simbiótica directa entre la mente humana y los sistemas inteligentes, donde la IA se posiciona como asistente cognitivo, facilitando procesos de pensamiento, predicción, creatividad y resolución de problemas. Esta colaboración da lugar a la cognición híbrida (Savić, 2023), un concepto central donde intuición y experiencia humana se fusionan con la capacidad analítica artificial, alcanzando niveles de eficiencia y comprensión inalcanzables de manera individual.

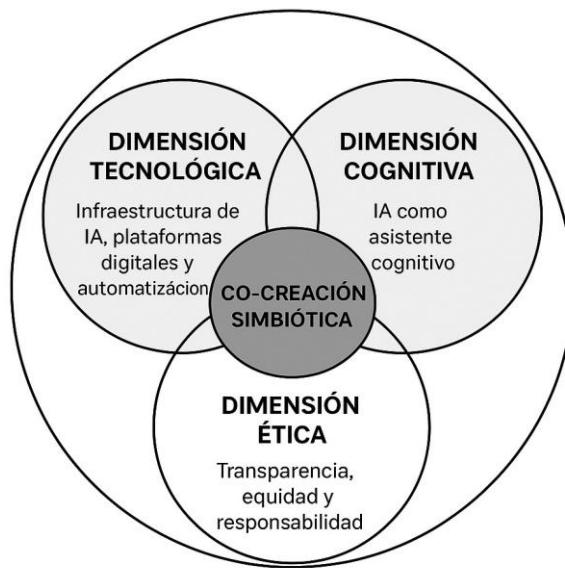
La Dimensión Ética actúa como marco de gobernanza y regulación, asegurando que la simbiosis humano-IA se desarrolle bajo principios de transparencia, equidad, responsabilidad y respeto a los derechos humanos. Esta dimensión aborda críticamente la justicia algorítmica (Boddington, 2020), la inclusión digital (Bryson, 2021) y la sostenibilidad tecnológica (Floridi, 2020), garantizando que la innovación tecnológica esté orientada al bienestar colectivo y

no únicamente a la eficiencia operativa.

Estas tres dimensiones convergen en la Co-creación Simbiótica, donde la colaboración activa entre humanos y máquinas genera innovación y valor compartido, emergiendo una inteligencia colectiva extendida que supera la suma de las partes y consolidando un proceso de crecimiento mutuo, adaptativo y responsable.

Figura 1

Modelo Conceptual de la Síntesis Digital: Interacción Ética, Cognitiva y Tecnológica



Nota: Se asienta sobre tres dimensiones fundamentales que definen la naturaleza y el alcance de la interacción entre humanos e Inteligencia Artificial.

Discusión

El análisis de la evidencia bibliográfica y los casos prácticos confirma que la inteligencia artificial no sustituye al ser humano, sino que amplifica sus capacidades cognitivas, operativas y creativas. La Universidad de Salamanca (2024) resalta que la inteligencia artificial (IA) generativa transforma los entornos de aprendizaje, promoviendo nuevas dinámicas de colaboración y creatividad docente. La



inteligencia artificial (IA) destaca en el procesamiento masivo de información, la ejecución de tareas repetitivas y el análisis predictivo, mientras que la creatividad, la empatía, el juicio crítico y el razonamiento abstracto permanecen como atributos exclusivamente humanos (Floridi, 2020; Marcus, 2019). Esta complementariedad constituye la esencia de la simbiosis digital, entendida como una integración estratégica en la que la tecnología actúa como colaborador y puente, potenciando la acción humana sin reemplazarla.

Sin embargo, la interacción humano-IA plantea desafíos críticos. Como destaca Flórez Rojas (2023), la formulación de marcos éticos para la inteligencia artificial requiere incluir la voz de múltiples partes interesadas, de modo que la regulación sea colaborativa y socialmente legítima. La protección de datos personales, la claridad en roles y responsabilidades, la inclusión de diversas voces y la gestión ética de la innovación emergen como factores determinantes para garantizar una colaboración sostenible y equitativa (Boddington, 2020; Bryson, 2021). La educación digital se identifica como un componente clave, pues capacita a los individuos para interactuar de manera efectiva con sistemas inteligentes, promoviendo competencias humanas esenciales y reduciendo la dependencia tecnológica (Kindelán, 2023).

Desde la perspectiva tecnológica, la IA funciona como un multiplicador de capacidades humanas, gestionando información compleja y realizando análisis masivos que liberan a los usuarios de tareas rutinarias. No obstante, esta eficiencia depende de la supervisión humana; la dependencia excesiva de algoritmos podría comprometer la autonomía cognitiva, aumentar riesgos de desinformación, reproducir sesgos algorítmicos y debilitar el juicio crítico (Shneiderman, 2022). Así, la tecnología por sí sola no garantiza resultados óptimos; su valor reside en cómo los humanos la diseñan, supervisan y emplean.

La ergonomía digital emerge como un elemento crucial en la integración humano-IA. La implementación de interfaces inteligentes requiere entornos que reduzcan la carga cognitiva, favorezcan la adaptación al usuario y permitan interacciones intuitivas. Esto no solo incrementa la eficiencia y la productividad, sino



que también previene la fatiga, la frustración y la dependencia tecnológica, al tiempo que fomenta la autonomía mediante programas de formación y concienciación digital (Kindelán, 2023; Shneiderman, 2022).

Desde el ámbito antropológico y cultural, la simbiosis digital redefine la identidad y la socialización humanas, consolidando la noción de “ciborg cotidiano”, en la que dispositivos y algoritmos funcionan como extensiones de la memoria, la comunicación y la resolución de problemas (Case, 2018). Si bien esta integración expande las capacidades cognitivas y optimiza tareas, también plantea riesgos relacionados con la dependencia tecnológica y la transformación de la interacción social. Mantener un equilibrio entre los beneficios funcionales y la preservación de competencias humanas tradicionales se vuelve indispensable (Floridi, 2020; Kindelán, 2023).

La ética y la co-creación se presentan como elementos esenciales para garantizar beneficios sostenibles y justos en la interacción humano-IA. La transparencia, la responsabilidad compartida y la inclusión son principios fundamentales que permiten que la innovación tecnológica genere soluciones contextualizadas, equitativas y respetuosas con los derechos humanos (Boddington, 2020; Bryson, 2021). Valenzuela (2024) plantea que la inteligencia artificial no solo transforma la comunicación, sino que también redefine los criterios de credibilidad, autenticidad y confianza en los entornos digitales. En consecuencia, la simbiosis digital constituye un reto no solo tecnológico, sino también social y moral, que requiere conciencia, gobernanza y responsabilidad de diseñadores, instituciones y usuarios.

En síntesis, la simbiosis digital se perfila como un modelo sostenible de interacción humano-tecnológica, capaz de potenciar creatividad, productividad e innovación, siempre que los avances tecnológicos se integren con educación digital, principios éticos sólidos y políticas inclusivas que aseguren equidad y autonomía humana. Este enfoque resalta que el futuro de la inteligencia artificial dependerá tanto de los avances científicos como de la capacidad ética, cultural y pedagógica de la sociedad para orientarlos hacia un desarrollo humanista.



Conclusiones

La interacción entre humanos, inteligencia artificial y sistemas tecnológicos representa una transformación profunda en la concepción del conocimiento, la creatividad y la colaboración. La IA actúa como un aliado estratégico, potenciando capacidades cognitivas, operativas y creativas, liberando tiempo para actividades que requieren juicio crítico, empatía y pensamiento ético, sin sustituir la esencia humana (Floridi, 2020; Marcus, 2019). Esta complementariedad evidencia que la tecnología, cuando se integra de manera consciente, funciona como co-creadora y facilitadora, más que como reemplazo de las habilidades humanas.

La integración tecnológica orientada por principios de co-creación y ética digital genera soluciones más innovadoras, eficientes y adaptadas a las necesidades reales de los usuarios. La combinación de diversidad humana con inteligencia artificial promueve la innovación inclusiva, fortalece comunidades y facilita la construcción de ecosistemas de conocimiento compartido. No obstante, estos beneficios dependen de mantener un equilibrio entre autonomía humana y capacidad tecnológica, evitando la dependencia excesiva y la pérdida de habilidades críticas (Boddington, 2020; Bryson, 2021).

Desde la perspectiva antropológica y cultural, la simbiosis digital redefine la identidad humana y la interacción con el entorno, evidenciando la aparición de un ser híbrido parcialmente extendido por la tecnología. Este fenómeno plantea retos éticos y sociales relacionados con la privacidad, la equidad en el acceso a herramientas digitales y la preservación de competencias cognitivas esenciales. Su gestión requiere transparencia, educación digital y responsabilidad compartida para garantizar que la integración tecnológica se traduzca en bienestar colectivo y desarrollo sostenible (Case, 2018; Kindelán, 2023).

La innovación colaborativa se perfila como un factor central del futuro, permitiendo desarrollar productos y servicios precisos, optimizar recursos y expandir mercados. Asimismo, exige atención a la comunicación, la equidad de participación y la propiedad intelectual mediante políticas inclusivas, formación interdisciplinaria y diseño estratégico de plataformas, asegurando que la co-creación no reproduzca desigualdades ni sesgos en la toma de decisiones.

En síntesis, la simbiosis digital un modelo transformador que redefine la interacción persona-computador. Bajo este nuevo paradigma, la Inteligencia Artificial se consolida como co-creadora y facilitadora, cuyo propósito es amplificar las capacidades humanas y promover la productividad global sin comprometer la autonomía ni la creatividad esenciales del ser humano. Este enfoque se sustenta en el Modelo Conceptual de la Symbiosis Digital, el cual evidencia la convergencia armónica de tres esferas fundamentales: la Dimensión Tecnológica, que proporciona la infraestructura crítica para el análisis de grandes volúmenes de datos; la Dimensión Cognitiva, que permite la cognición híbrida al fusionar la intuición humana con la capacidad analítica de la IA; y la Dimensión Ética, que



establece un marco de gobernanza responsable para asegurar la transparencia y la equidad en el proceso (Savić, 2023; Floridi, 2020).

Para que este modelo prospere de manera efectiva y sostenible, la comunidad científica y los actores empresariales deben priorizar una cultura de responsabilidad compartida, asegurando que la supervisión y el juicio final recaigan siempre en el ser humano. Asimismo, es esencial fomentar la transparencia en los procesos algorítmicos, superar la opacidad de los “cajones negros” y promover la inclusión digital para garantizar equidad algorítmica. En última instancia, la consolidación de la simbiosis digital no constituye únicamente un desafío técnico, sino también ético y educativo, requiriendo que los individuos desarrollen competencias en alfabetización digital e inteligencia artificial para maximizar los beneficios de la colaboración sin delegar facultades distintivamente humanas.

Reconocer la tecnología como compañero y no como sustituto es clave para construir sociedades más creativas, resilientes y colaborativas, en las que humanos y máquinas evolucionen conjuntamente hacia objetivos comunes y beneficios mutuos. La simbiosis digital ofrece una oportunidad para desarrollar un entorno ético, equitativo y sostenible, potenciando el bienestar colectivo y promoviendo innovación responsable. Kurzweil (2005) anticipa que la convergencia entre la inteligencia biológica y la artificial conducirá a una etapa de coevolución simbiótica, donde la cognición humana se amplificará mediante sistemas inteligentes.

Referencias Bibliográficas

- Altuve, N. (2024, julio 13). *La simbiosis entre humanos e inteligencia artificial: Un futuro colaborativo*. <https://nestoraltuve.com/2024/07/13/la-simbiosis-entre-humanos-e-inteligencia-artificial-un-futuro-colaborativo/>
- Asociación de Técnicos de Informática (ATI). (2000). *La interacción persona-computador en los próximos 25 años*. Novática, 145, 4–11. <https://www2.ati.es/novatica/2000/145/julaba-145.pdf>
- Bardin, L. (2011). Análisis de contenido. Akal.
- Boddington, P. (2020). *Towards a code of ethics for artificial intelligence*. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-21836-2>
- Bryson, J. (2021). *The artificial intelligence of the ethics of artificial intelligence: An introductory overview*. Cambridge University Press. <https://www.joannajbryson.org/publications/the-artificial-intelligence-of-the-ethics-of-artificial-intelligence-an-introductory-overview-for-law-and-regulation.pdf>
- Case, A. (2018). *Cyborg anthropology: Technology and the human experience*.



National Geographic Education.
<https://education.nationalgeographic.org/resource/amber-case/>

Cognitive Systems Institute. (2025). *E-person architecture: Ethical and neurocognitive systems for hybrid intelligence.*
<https://www.cognitivesystems.org/e-person-architecture>

Flórez Rojas, M. L. (2023). *Pensamiento de diseño y marcos éticos para la inteligencia artificial: Una mirada a la participación de las múltiples partes interesadas.* Desafíos, 35(1), 1–31.
<https://doi.org/10.12804/revistas.urosario.edu.co/desafios/a.12183>

Floridi, L. (2020). *The logic of information: A theory of philosophy as conceptual design.* Oxford University Press.
<https://doi.org/10.1093/oso/9780198833635.001.0001>

García-Peña, F. J., & Flores-Vivar, J. M. (2023). ¡Qué viene la IA! ¿Estoy preparado/a? (Recomendaciones éticas en educación). En *VII Congreso Internacional sobre Innovación, Aprendizaje y Cooperación (CINAIC 2023)*. Universidad Politécnica de Madrid. <https://doi.org/10.5281/zenodo.10050857>

Human-AI Handshake Framework. (2024). *Collaborative models for human–AI interaction.* AI Ethics Consortium.
<https://www.aiethicsconsortium.org/handshake2024>

International Association for Safe and Ethical AI (IASEAI). (2024). *Guidelines for safe and transparent AI development.* <https://www.iaseai.org/guidelines2024>

Kindelán, C. (2023). *Convergencia de la inteligencia humana y de las máquinas.* Aula Telemática. Academia de Ciencias, Ingenierías y Humanidades de Lanzarote. <http://www.academiadelanzarote.es/Cartelas-25/ATM-54%20Invitacion-2025-09-01%20CKA.pdf>

Kurzweil, R. (2005). *The singularity is near: When humans transcend biology.* Viking.
<https://n9.cl/9oaxif>

Licklider, J. C. R. (1960). *Man-computer symbiosis.* IRE Transactions on Human Factors in Electronics, 1(1), 4–11.
<https://ieeexplore.ieee.org/document/1450845>

Marcus, G., & Davis, E. (2019). *Rebooting AI: Building artificial intelligence we can trust.* Pantheon.
<https://www.penguinrandomhouse.com/books/607891/rebooting-ai-by-gary-marcus-and-ernest-davis/>



Flórez Rojas, M. L. (2024). *Tendencias en interacción persona-computador*.
<https://www.redalyc.org/journal/3596/359678926002/359678926002.pdf>

Savić, D. (2023). *Human-centered AI and hybrid cognition: Building trust in digital ecosystems*. *AI & Society*, 38(2), 415–429. <https://doi.org/10.1007/s00146-022-01589-3>

Shneiderman, B. (2022). *Human-centered AI*. Oxford University Press.
<https://doi.org/10.1093/oso/9780192845290.001.0001>

UNESCO. (2021). *Recomendación sobre la ética de la inteligencia artificial*.
<https://www.unesco.org/es/artificial-intelligence/recommendation-ethics>

Universidad de Salamanca. (2024). *Inteligencia artificial generativa y educación. Education in the Knowledge Society (EKS)*.
<https://revistas.usal.es/index.php/eks/article/view/eks.2024.1.1>

Universitat Oberta de Catalunya (UOC). (2013). *Introducción a la interacción persona-ordenador (Módulo 1)*. <https://surl.li/rrnunz>

Valenzuela, L. (2024). *La inteligencia artificial y su impacto en la comunicación: Recorrido y perspectivas*. Dialnet. <https://dialnet.unirioja.es/ejemplar/208794>