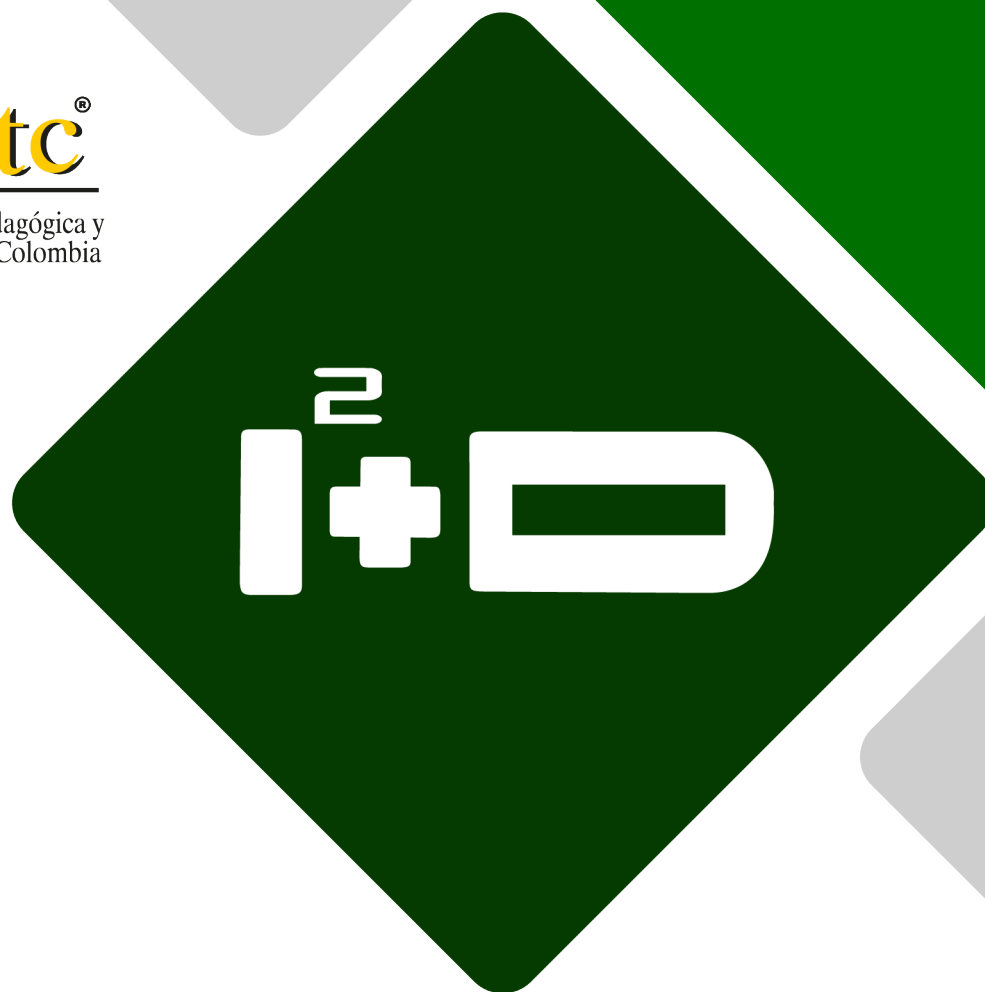




**Uptc**<sup>®</sup>

Universidad Pedagógica y  
Tecnológica de Colombia



# INGENIERÍA, INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO

# REVISTA I2+D

## Ingeniería, Investigación y Desarrollo

Vol. 22 - No. 2 Julio - Diciembre 2022

### RECTOR

*Óscar Hernán Ramírez*

### VICERRECTOR ACADÉMICO

*Manuel Humberto Restrepo Domínguez*

### VICERRECTOR DE INVESTIGACIÓN Y EXTENSIÓN

*Enrique Vera López*

### VICERRECTOR ADMINISTRATIVO Y FINANCIERO

*Luis Ángel Lara González*

### DECANO FACULTAD

*Héctor Antonio Fonseca Peralta*

### DIRECTOR / EDITOR

*Jorge Enrique Espíndola Díaz*

### COMITÉ EDITORIAL Y CIENTÍFICO

*Ph.D. Pedro Fabián Cárdenas Herrera*  
Universidad Nacional de Colombia

*Ph.D. Gabriel Peña Rodríguez*  
Universidad Francisco de Paula Santander

*MSc. Andrés Fernando Jiménez López*  
Universidad de los Llanos

*Ph.D. Jorge Julián Moreno Rubio*  
Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia

*Ph.D. Juan María Menéndez Aguado*  
Universidad de Oviedo

### COMITÉ DE ARBITRAJE

*Ph.D. Alexander Pérez Ruiz*  
Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito

*MSc. Francisco Javier Ibargüen Ocampo*  
Universidad del Quindío

*MSc. Heiner Castro Gutiérrez*  
Universidad del Magdalena

*MSc. Nelson Javier Escobar Mora*  
Universidad Pontificia Bolivariana

*MSc. Luis Carlos Olmos Villalba*  
Institución Universitaria Pascual Bravo

*Ph.D. Carlos Arturo Ávila*  
Universidad de los Andes

*Ph.D. José Ignacio Marulanda Bernal*  
Universidad EAFIT

*Ph.D. Jeison Marín Alfonso*  
Universidad Pontificia Bolivariana

*MSc. Ramiro Alejandro Plazas Rosas*  
Universidad del Valle

*Esp. Carlos Gabriel Correa Chaparro*  
Fundación Universidad de América

*MSc. Christian Ricardo Zea Forero*  
Pontificia Universidad Javeriana

*MSc. Andrés Fernando Jiménez López*  
Universidad de los Llanos

*MSc. William Fernando Álvarez Castañeda*  
Universidad Santo Tomás

*MSc. Oscar Oswaldo Rodríguez Díaz*  
Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia

*MSc. Andrea Catalina Alvarado Fajardo*  
Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia

*MSc. Edgar Absalón Torres Barahona*  
Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia

*MSc. Luis Ariel Mesa Mesa*  
Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia

### ASISTENTE EDITORIAL / CORRECTOR DE ESTILO

*Lic. Giseth Alexandra López López*

### DISEÑO Y DIAGRAMACIÓN

*Esp. Vivian Espíndola Carvajal*

### Correspondencia Canje y Suscripciones a nombre

**de:** Revista Ingeniería, Investigación y Desarrollo UPTC  
Sogamoso-Boyacá, Colombia Calle 4 Sur N° 15-134  
Edificio Administrativo - Tercer Piso

**Tel:** (57+8) 770 5450 Ext. 2606

**E-mail:** [revistaiid@uptc.edu.co](mailto:revistaiid@uptc.edu.co)

**DOI:** <http://dx.doi.org/10.19053/issn.1900-771X>

Los conceptos expresados en los artículos son de exclusiva responsabilidad de sus autores y no comprometen a la publicación.

ISSN 1900-771X e-ISSN 2422-4324

Revista Ingeniería Investigación y Desarrollo

## TABLA DE CONTENIDO

SÍNTESIS Y EVALUACIÓN DE LA ACTIVIDAD ANTIFUNGICA DE HIDRAZONAS AROMÁTICAS <i>Synthesis and evaluation of the antifungal activity of aromatic hydrazones</i> Boris Ezequiel de la Cruz Argüello, Bessy Evelyn Gálvez Cardoza, Guillermo Díaz Crespín, Amy Elieth Morán Rodríguez .....	6
ANÁLISIS COMPARATIVO DE ASERTIVIDAD PARA TRES ÍNDICES DE ZONAS CONSTRUIDAS APLICADOS A CIUDADES COLOMBIANAS <i>Comparative analysis of assertiveness for three built-up zone indexes applied to Colombian cities</i> Julián Leal Villamil, Mauricio Alejandro Perea Ardila, Gabriel Alexis Santa Ramírez .....	16
REPENSANDO LA INGENIERÍA EN PROYECTOS SOCIALES: CONTRIBUCIONES DESDE LA ANTROPOLOGÍA A PARTIR DE LA EXPERIENCIA EN “INGENIERÍA SIN FRONTERAS-ARGENTINA” <i>Rethinking Engineering in Social Projects: Contributions from anthropology based on the experience of “Ingeniería Sin Fronteras – Argentina”.</i> Natalia Zlachevsky .....	27
COMPARACIÓN MORFOMÉTRICA EN POBLACIONES DE MELIPONA BEECHEII DEL MUNICIPIO DE CIENFUEGOS <i>Morphometric comparison in populations of Melipona Beecheii of the municipality of Cienfuegos</i> José Andrés Martínez Machado, Brandon García Rodríguez, Reina Dayamí Reyna Reyes .....	37
OXIDACIÓN BIOCATALÍTICA DE CONTAMINANTES AROMÁTICOS POR LA PEROXIDASA PROVENIENTE DE LA SOYA <i>Bio-catalytic oxidation of aromatic pollutants caused by peroxidase deriving from soybean</i> María Ixel Hernández Hernández, Cynthia Romero Guido, Eduardo Torres Ramírez .....	44
PREDICCIÓN DE PROBLEMAS REFERENTES A TIC EN ORGANIZACIONES DE SERVICIOS GENERALES UTILIZANDO REDES NEURONALES <i>Prediction of problems related to TIC in general service organizations using a neural network</i> Christian Jesús Pinzón Casas, Adriana Marcela Vega Escobar .....	51
EVALUATION OF THE STRUCTURAL, MORPHOLOGICAL MAGNETIC PROPERTIES OF THE $Bi_{1-x}Sm_xFeO_3$ SYSTEM <i>Evaluación de las propiedades estructurales, morfológicas y magnéticas del sistema <math>Bi_{1-x}Sm_xFeO_3</math></i> Iván Fernando Betancourt Montañez, Christian Fabián Varela Olivera, Julián A. Munevar Cagigas, Santiago Sandoval Gutiérrez, César Armando Ortíz Otálora, Carlos A. Parra Vargas, Claudia Liliana Sánchez Sáenz .....	64
CALIDAD AMEBOLÓGICA DEL AGUA EMBOTELLADA EN GARRAFÓN DEL ÁREA METROPOLITANA DE LA CIUDAD DE MÉXICO <i>Amoeba quality of bottled water in carboy of the metropolitan area of Mexico City</i> Elizabeth Ramírez Flores, Esperanza del Socorro Robles Valderrama, María de Guadalupe Sáinz Morales, Blanca Nieves Martínez Rodríguez, Brian Guadalupe Vargas Cerón, Miguel Ángel Ramírez Flores .....	71
ANTIMICROBIAL EFFECT OF BIOLOGICAL AND CHEMICAL SILVER NANOPARTICLES IN ENVIRONMENTAL SAMPLES <i>Efecto antimicrobiano de las nanopartículas de plata biológicas y químicas en muestras ambientales</i> Diana Alexandra Calvo Olvera, Luz Irene Rojas Avelizapa, Norma Gabriela Rojas Avelizapa .....	82

## EDITORIAL

Extendemos un fraterno y cordial saludo a todos nuestros lectores y autores de la Revista I2+D, son ustedes quienes hacen posible que la difusión del conocimiento se haga efectiva en cada uno de los espacios que comparten y crean en la investigación y la academia, inclusive en la empresa-estado. Por esta razón, los invitamos a celebrar los lazos del saber en las diversas ramas de la ingeniería, gracias a los trabajos de investigación y reflexión compilados en este Volumen, que convoca autores provenientes de El Salvador, Argentina, Cuba y México; por supuesto, la academia nacional también soporta el quehacer investigativo con la participación de académicos provenientes de la Universidad del Tolima, Universidad Distrital Francisco José de Caldas y la UPTC, respectivamente.

Con el compromiso de difundir la ciencia y la tecnología, esta revista es el medio por el cual los autores pueden mostrar a la comunidad académica sus metas, sus objetivos y sus logros en las investigaciones propuestas. A continuación, se detallan los artículos evaluados para este volumen 2 de 2022.

En primer lugar, el artículo “SÍNTESIS Y EVALUACIÓN DE LA ACTIVIDAD ANTIFUNGICA DE HIDRAZONAS AROMÁTICAS” donde los autores tratan el estudio de las acilhidrazonas como compuesto relevante para el diseño de fármacos dadas sus características biológicas, investigación llevada a cabo en la Universidad de El Salvador, Facultad de Ciencias Naturales y Matemática, Escuela de Química, Laboratorio de Síntesis Orgánica y el Centro de Investigación y Desarrollo en Salud (CENSALUD).

En segundo lugar, el manuscrito “ANÁLISIS COMPARATIVO DE ASERTIVIDAD PARA TRES ÍNDICES DE ZONAS CONSTRUIDAS APLICADOS A CIUDADES COLOMBIANAS” permite abordar los Índices de Zonas Construidas, de tal manera que, se pueda identificar las zonas urbanas utilizando sensores remotos del estudio realizado entre (1997, 2002, 2007 y 2018) para tres ciudades colombianas, investigación desarrollada por académicos suscritos a la Universidad del Tolima, el Centro de Investigaciones Oceanográficas e hidrográficas del Pacífico-CCCP y la Corporación Autónoma Regional del Tolima – CORTOLIMA.

En tercer lugar, el artículo de reflexión titulado “REPENSANDO LA INGENIERÍA EN PROYECTOS SOCIALES: CONTRIBUCIONES DESDE LA ANTROPOLOGÍA A PARTIR DE LA EXPERIENCIA EN INGENIERÍA SIN FRONTERAS ARGENTINA” propone cuestionar las representaciones y prácticas de la ingeniería desde los aportes de la antropología social y la perspectiva de género validado desde la experiencia de trabajo lograda en Ingeniería Sin Fronteras – Argentina.

El cuarto lugar lo ocupa la investigación “COMPARACIÓN MORFOMÉTRICA EN POBLACIONES DE MELIPONA BEECHEII DEL MUNICIPIO DE CIENFUEGOS” en donde los autores proponen el estudio de los caracteres morfométricos de las poblacionales de abeja Melipona beecheii en el municipio de Cienfuegos al tener en cuenta sus similitudes y diferencias, la cual fue realizada por académicos suscritos a la Universidad de Cienfuegos (UCF), Facultad de Ciencias Agrarias, Departamento de Ciencias Biológicas Aplicadas y el Centro de Estudio para la Transformación Agraria Sostenible, de la misma casa de estudios.

El quinto artículo “CALIDAD AMEBOLÓGICA DEL AGUA EMBOTELLADA EN GARRAFÓN DEL ÁREA METROPOLITANA DE LA CIUDAD DE MÉXICO” a lo largo de este estudio, la investigación hecha por académicos provenientes de la Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Estudios Superiores Iztacala, Grupo de Investigación CyMA, tratan desde el estado del arte y la metodología abordada el porqué de la desconfianza de los mexicanos acerca de la calidad del agua de grifo, así como, la limitación del acceso desigual e intermitente a los sistemas de agua potable, y cómo esto se ve reflejado

en la adquisición del líquido envasado en garrafón al analizar el contenido del agua de 47 garrafones de 20 litros que se venden en el Área Metropolitana de la Ciudad de México.

El sexto lugar, le corresponde al manuscrito de académicos adscritos a la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, Facultad de Biología e Instituto de Ciencias, de la misma alma máter titulado “OXIDACIÓN BIOCATALÍTICA DE CONTAMINANTES AROMÁTICOS POR LA PEROXIDASA PROVENIENTE DE LA SOYA” cuyo aporte esencial es su posible aplicación en la descontaminación de efluentes que contienen contaminantes aromáticos, todo provisto desde la descripción del desempeño biocatalítico de la enzima peroxidasa de la soya para oxidar contaminantes acuosos del tipo aromáticos como plaguicidas organofosforados, hidrocarburos policíclicos aromáticos (HPAs), y flavonoides provenientes de residuos agroindustriales.

El séptimo artículo se titula “PREDICCIÓN DE PROBLEMAS REFERENTES A TIC EN ORGANIZACIONES DE SERVICIOS GENERALES UTILIZANDO REDES NEURONALES” propuesto por investigadores de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Grupo de Investigación GESETIC, pretende con la creación de un modelo entidad-relación adecuada para las necesidades de la empresa para responder a la necesidad de implementar una aplicación de mesa de ayuda con un modelo predictivo mediante redes neuronales que defina un catálogo de los servicios.

El octavo manuscrito “EVALUATION OF THE STRUCTURAL, MORPHOLOGICAL MAGNETIC PROPERTIES OF THE Bi1-xSmxFeO3 SYSTEM” reporta la síntesis del sistema Bi1-xSmxFeO3 (x = 0.00, 0.02, 0.04, 0.06, 0.08 y 0.10) obtenido por el método de reacción en estado sólido a 1073.15 K durante 15 h, con la colaboración de investigadores de la UPTC, Universidad de los Llanos, el CCNH y la Universidade Federal do ABC (UFABC).

La novena, y última investigación, intitulada “ANTIMICROBIAL EFFECT OF BIOLOGICAL AND CHEMICAL SILVER NANOPARTICLES IN ENVIRONMENTAL SAMPLES” de investigadoras de la Universidad Veracruzana tanto la Sede Veracruz como la de Querétaro, donde presentan la evaluación del efecto antimicrobiano de ambos tipos de nanopartículas en la población microbiana proveniente de tres muestras ambientales diferentes (teclado de computadora, agua del grifo y un exudado faríngeo).

Con lo anterior, les invitamos a continuar difundiendo los artículos que aquí reposan, además, a visitar el OJS y el Twitter @RevistaIID\_Uptc espacio que permite la divulgación constante de los manuscritos. No olviden que la Revista I2+D es una publicación sin ánimo de lucro, editada por la UPTC, donde ustedes pueden someter los resultados de sus investigaciones a revisión doble ciega, en los campos de las ingenierías; se reciben sus contribuciones a través del OJS o enviando correo electrónico: [revista iid@uptc.edu.co](mailto:revista iid@uptc.edu.co), ¡tenemos convocatoria permanente!

**Jorge Enrique Espíndola Díaz, PhD.**  
**Profesor Titular**  
**Editor**

## SÍNTESIS Y EVALUACIÓN DE LA ACTIVIDAD ANTIFÚNGICA DE HIDRAZONAS AROMÁTICAS

### Synthesis and evaluation of the antifungal activity of aromatic hydrazones

Boris Ezequiel de la Cruz Argüello<sup>1</sup>, Bessy Evelyn Gálvez Cardoza<sup>2</sup>, Guillermo Díaz Crespín<sup>3</sup>,  
Amy Elieth Morán Rodríguez<sup>4</sup>

<sup>1-3</sup> Universidad de El Salvador, Facultad de Ciencias Naturales y Matemática Escuela de Química, Laboratorio de Síntesis Orgánica. <sup>4</sup> Universidad de El Salvador, Centro de Investigación y Desarrollo en Salud (CENSALUD). Email: <sup>1</sup>da09025@ues.edu.sv, <sup>2</sup>bessy.galvez@ues.edu.sv, <sup>3</sup>guillermo.diaz@ues.edu.sv, <sup>4</sup>amy.moran@ues.edu.sv

(Recibido 31 de mayo de 2022 y aceptado 30 de junio de 2022)

#### Resumen

Las acilhidrazonas se han estudiado desde 1850, son compuestos importantes para el diseño de fármacos por su amplia actividad biológica entre ellas. Los compuestos fueron sintetizados mediante una reacción de adición nucleofílica al grupo carbonilo; se obtuvieron seis derivados empleando la 2,4-dinitrofenilhidracina (2,4-DNPH) y las cetonas: fluorenona, benzofenona y benzofenonas sustituidas; en todos los casos se han alcanzado buenos rendimientos, el mejor porcentaje corresponde al compuesto (7), con un 67% y el más bajo al compuesto (10) con un rendimiento de 29%. En el desarrollo de la síntesis se aplicaron los principios número dos y cinco de química verde. Además, la metodología de obtención usada fue una modificación del procedimiento descrito en la literatura. Las benzofenonas sustituidas fueron obtenidas mediante la oxidación de los respectivos alcoholes para la obtención de las benzofenonas y fluoenona; en este método se emplea hipoclorito de sodio como agente de oxidación y bromuro de tetrabutilamonio como medio de transferencia de fase en medio acuoso. Las moléculas se caracterizaron por resonancia magnética nuclear de protón (RMN-<sup>1</sup>H) y espectroscopia de infrarroja de reflectancia total atenuada (IR-ATR) entre otras técnicas espectroscópicas. La evaluación de la actividad biológica se realizó mediante el método Kirby-Bauer, empleado para determinar la sensibilidad de un organismo frente a antibióticos o antifúngicos. Los resultados muestran que las hidrazonas sustituidas (9) y (10) presentaron una actividad inhibitoria mayor frente *Candida albicans* y *Aspergillus niger* en comparación con cicloheximida al 1%, pero considerablemente son menos efectivos que ketoconazol compuestos utilizados como control.

**Palabras clave:** *Aspergillus niger*, *Candida albicans*, bencidroles sustituidos, benzofenonas sustituidas, hidrazonas.

#### Abstract

Acylhydrazones have been studied since 1850; they are important compounds for drug design due to their extensive biological activity. The compounds were synthesized by a nucleophilic addition reaction to the carbonyl group; six derivatives were obtained using 2,4-dinitrophenylhydrazine (2,4-DNPH) and ketones: fluorenone, benzophenone and substituted benzophenones; Good yields have been obtained in all cases, the best percentage corresponds to compound (7), with 67% and the lowest to compound (10) with a yield of 29%. Principles number two and five of green chemistry were applied during the development of the synthesis. In addition, the production methodology used was a modification of the procedure described in the knowledge base. The substituted benzophenones were obtained by oxidation of the respective alcohols, so that it was obtained benzophenones and fluoenone; In this method, sodium hypochlorite is

used as an oxidation agent and tetrabutyl ammonium bromide as a phase transfer medium in an aqueous medium. The molecules were characterized by proton nuclear magnetic resonance ( $^1\text{H-NMR}$ ) and attenuated total reflectance infrared spectroscopy (IR-ATR) among other spectroscopic techniques. Biological activity was evaluated by using the Kirby-Bauer method, in order to determine the sensitivity of an organism to antibiotics or antifungals. The results show that the substituted hydrazones (9 and 10) presented a higher inhibitory activity against *Candida albicans* and *Aspergillus niger* compared to 1% cycloheximide, but considerably less effective than ketoconazole compounds used as control.

**Key words:** *Aspergillus niger*, *Candida albicans*, substituted benzhydrols, substituted benzophenones, hydrazine.

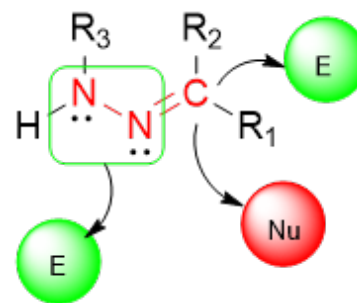
## 1. INTRODUCCIÓN

El grupo carbonilo es sin duda un grupo funcional importante en la química orgánica. La mayoría de las moléculas biológicas contienen grupos carbonilo, al igual que la mayor parte de los agentes farmacéuticos y muchas de las sustancias químicas sintéticas con las que tratamos todos los días [1,2]. La hidrazona es un grupo versátil que exhibe una amplia variedad de actividades biológicas. Las acilhidrazonas se han estudiado desde 1850, evaluando acilhidrazinas N-no sustituidas, mono y disustituidas [3]. Las cuales son compuestos importantes para el diseño de fármacos, como posibles ligando de complejos metálicos y también para la síntesis de compuestos heterocíclicos; esto debido a sus características de facilidad de preparación, mayor estabilidad a la hidrólisis, comparados a las iminas y su tendencia formar cristales, todas características deseables en síntesis orgánica [4].

Las acilhidrazonas contienen un enlace C-N conjugado con un par no apareado de electrones del átomo de nitrógeno funcional, los átomos de nitrógeno de las hidrazonas son nucleofílicos y el átomo de carbono tiene naturaleza tanto electrofílica como nucleofílica (Figura 1); el  $\alpha$ -hidrógeno de las acilhidrazonas es más reactivo que el de las cetonas. Por lo anterior y, debido a sus propiedades biológicas y farmacológicas, este grupo funcional se considera importante para la síntesis de compuestos heterocíclicos [5,6].

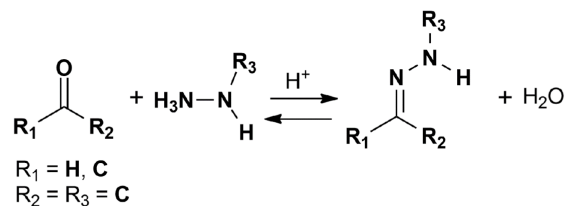
El método más clásico para la síntesis de hidrazonas es la reacción de hidracinas con compuestos de carbonilo (Esquema 1), donde se verifica la condensación entre

grupo carbonilo y las hidracinas, por eliminación de agua para generar el enlace imino [5,7]. En estas reacciones se forma el análogo nitrogenado de un hemiacetal, llamado un hemiaminal.



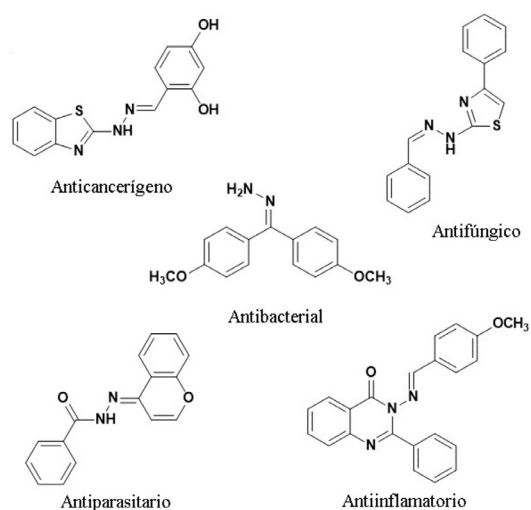
**Figura 1.** Estructura general y los centros reactivos de la acilhidrazona.

Un factor importante en la formación del enlace imina es el control sobre el pH, de hecho, la formación de una imina es más rápida a un pH aproximado de 4-6; a pH más bajo, el exceso de amina se protona y la tasa de la primera etapa es lenta; por encima de este pH la concentración de protones es demasiado baja para permitir la protonación del grupo saliente OH en la etapa de deshidratación [8,9].



**Esquema 1.** Reacción general de obtención de acilhidrazonas.

Las hidrazonas constituyen una clase importante de compuestos que han atraído la atención de los químicos medicinales con respecto a estudiar sus estructuras, ya que poseen ingentes e interesantes propiedades biológicas tales como: antitumorales, anticancerígenos, antibacteriales, antimaláricos, antifúngicos, antituberculosos y actividades antiinflamatorias, en la Figura 2 se muestran algunas estructuras de hidrazonas y la actividad biológica reportada [10,11].



**Figura 2.** Acilhidrazonas con diferente actividad biológica.

Por otra parte, debido a sus aplicaciones biológicas, derivados de acilhidrazonas con sustituyentes heterocíclicos bioactivos; se han utilizado en el desarrollo de fármacos acoplados a anticuerpos, gracias a que, el enlace a base de hidrazona es estable a pH neutro (como el de la sangre), pero fácil de romper por los lisosomas de la célula (pH ácido); de tal forma que, el fármaco se libera en la célula, donde ejerce su función [12].

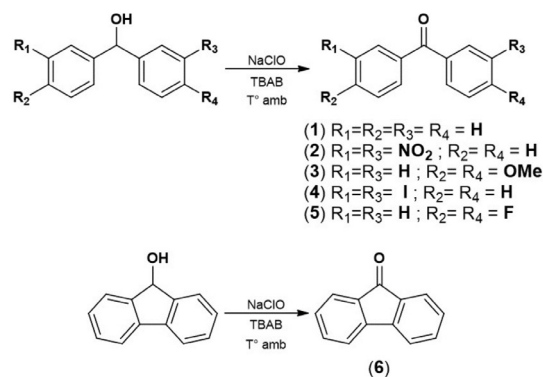
En este trabajo, se muestra la síntesis y la actividad biológica como antifúngicos de una familia de hidrazonas, empleando 2,4-dinitrofenilhidracina (DNFH) y seis cetonas aromáticas.

## 2. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 2.1 Química

Las benzofenonas sustituidas fueron obtenidos mediante la oxidación de los respectivos bencidroles y del fluorenol para la obtención de la fluoenona; para este procedimiento, se usaron medios suaves de oxidación, NaClO y bromuro de tetrabutil amonio como medio de transferencia de fase (Esquema 2) en medio acuoso.

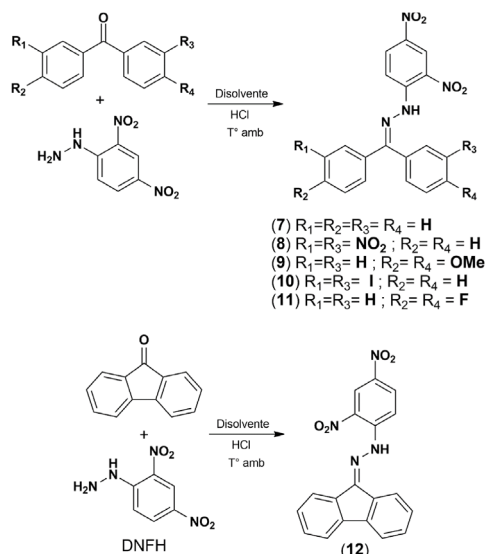
Para síntesis de las hidrazonas se buscó aplicar los principios número dos y cinco de química verde, la metodología de obtención usada fue una modificación del procedimiento descrito en la literatura; la reacción general se describe en Esquema 3.



**Esquema 2.** Reacción de oxidación de bencidroles y fluorenol.

En la síntesis de hidrazonas el mejor rendimiento corresponde al compuesto (7), con un 67% y el más bajo al compuesto (10) con un rendimiento de 29%; algunas características físicas, tales como el punto de fusión (Pf), color, entre otros aspectos, que al ser diferentes a las de los productos de partida permitieron confirmar que la reacción se verificó. El porcentaje de obtención de hidrazonas se reporta a partir de dos repeticiones; los resultados se resumen en la Tabla 1.





**Esquema 3.** Reacciones de obtención de hidrazonas.

**Tabla 1.** Resumen de las características físicas y el porcentaje de rendimiento de las hidrazona obtenidas.

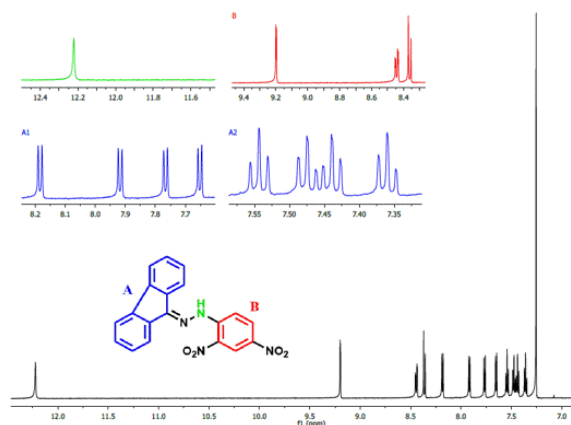
	COMPUESTO					
	7	8	9	10	11	12
Estado físico	Sólido	Sólido	Sólido	Sólido	Sólido	Sólido
Color	Anaranjado claro	Amarillo	Anaranjado claro	Anaranjado	Rojo	Anaranjado claro
Pf	240 °C	264 °C	166 °C	277 °C	292 °C	282 °C
Rendimiento <sup>a</sup>	67%	49%	35%	29%	38%	58%

<sup>a</sup>Todos los experimentos se realizaron por duplicado

El análisis realizado al espectro de RMN-<sup>1</sup>H de la 2,4-dinitrofenilhidrazona de la fluorenona (Figura 3), muestra en color verde el pico que indica la formación del producto, el cual corresponde a la señal del protón del grupo -NH de la hidrazona, con un desplazamiento químico de  $\delta$  12.22 ppm (s, <sup>1</sup>H) [15,17]. En la expansión B se observan los desplazamientos químicos para los tres protones del anillo aromático proveniente de la 2,4-dinitrofenilhidrazina mostrados en color rojo que van desde 8.36 ppm hasta 9.20 ppm. Así también, los 3 protones del anillo aromático proveniente de la

Las hidrazonas fueron caracterizadas por espectroscopía IR (ATR) UV-Vis y RMN <sup>1</sup>H; excepto el compuesto (11) del cual solo reportó IR (ATR) y UV-Vis. En infrarrojo se observa la banda de tensión del enlace C=N [13,14], alrededor de 1591-1660 cm<sup>-1</sup>, y la ausencia de la señal debida a C=O a 1670 cm<sup>-1</sup> [15,16]. En UV-Vis se aprecian señales que son consecuencia de la presencia de grupos cromóforos en la estructura de la hidrazona, tales como: C=C de los anillos aromáticos, C=N del grupo imino y R-NO<sub>2</sub>, los cuales presentan transiciones de tipo  $\pi \rightarrow \pi^*$  y  $n \rightarrow \pi^*$ . Por otro lado, en RMN-<sup>1</sup>H observamos los desplazamientos químicos ( $\delta$ , ppm) de protones olefinicos y aromáticos, característicos de los productos esperados.

2,4-dinitrofenilhidrazina (expansión B), representados por 3 señales las cuales se encuentran a 8.36, 8.44 y 9.20 ppm, desplazados a campo bajo por el efecto que ejerce los grupos nitro (-NO<sub>2</sub>) de anillo aromático, siendo el protón ubicado en posición meta con respecto al grupo imino, el más afectado y desplazado a campo bajo [16,18].



**Figura 3.** Espectro de RMN-1H, (600 MHz, CDCl<sub>3</sub>) de la 2,4-dinitrofenilhidrazona de la fluorenona (12).

Así mismo, se observan los protones aromáticos proveniente de la parte de la fluorenona (color azul), ambos anillos aromáticos están conectados por un anillo de 5 carbonos lo cual afecta en el desplazamiento de las señales, en la expansión A1 observamos 4 dobletes que

van desde 7.65 ppm hasta 8.18 ppm los cuales poseen la misma constante de acoplamiento (7.5 Hz) indicando la relación entre ellos, estas señales corresponden a 4 protones en posición orto con respecto al anillo de 5 carbonos, de igual manera, en la expansión A2 se observan 2 tripletes y un doblete de triplete correspondiente a los protones en posiciones meta con respecto al anillo de 5 carbonos.

En la expansión A1 observamos 4 dobletes que van desde 7.65 ppm hasta 8.18 ppm los cuales poseen la misma constante de acoplamiento (7.5 Hz) indicando la relación entre ellos, estas señales corresponden a 4 protones en posición orto con respecto al anillo de 5 carbonos, de igual manera en la expansión A2 se observan 2 tripletes y un doblete de triplete correspondiente a los protones en posiciones meta con respecto al anillo de 5 carbonos. En la Tabla 2 se recogen los datos espectroscópicos de las hidrazonas sintetizadas.

**Tabla 2.** Caracterización espectroscópica de las hidrazonas obtenidas.

	COMPUESTO					
	7	8	9	10	11	12
<b>UV-vis</b> $\lambda_{\max}$ (nm)	387.2.	373.2	396, 263.4.	382.4	385.6.	393.4
<b>IR (ATR)</b> $\nu$ (cm <sup>-1</sup> )	3300 (>N-H); 1620 (C=N); 1510 (N-H); 1260 (C-N)	3100 (>N-H); 1660 (C=N); 1540, 1350 (NO); 1270 (CN).	3270 (>N-H); 1607 (C=N); 1586 (N-H); 1332 (CN); 1248 (C-O)	3281.89 (>NH); 1650.18 (C=N); 1509.05 (NH); 1335.55 (CN).	3280 (>N- H); 1620 (C=N); 1500 (NH); 1220 (CN).	3331 (>NH); 1615 (C=N); 1499 (NH); 1332 (CN)
<b>RMN-1H</b> (600 MHz, CDCl <sub>3</sub> ) $\delta$ (ppm)	$\delta$ 11.23 (s, 1H), 9.07 (d, J = 2.6 Hz, 1H), 8.37 (ddd, J = 9.6, 2.6, 0.7 Hz, 1H), 8.21 (d, J = 9.6 Hz, 1H), 7.74 – 7.59 (m, 5H), 7.46 – 7.39 (m, 3H), 7.38 – 7.35 (m, 2H)	$\delta$ 11.25 (s, 1H), 9.10 (d, J = 2.5 Hz, 1H), 8.33 (ddd, J = 8.1, 2.2, 0.9 Hz, 1H), 8.23 (d, J = 9.5 Hz, 1H), 8.00 – 7.91 (m, 4H), 7.81 – 7.75 (m, 4H)	$\delta$ 11.31 (s, 1H), 9.08 (d, J = 2.6 Hz, 1H), 8.34 (dd, J = 9.6 Hz, 1H), 8.26 (dd, J = 9.6, 2.6 Hz, 2H), 8.18 (d, J = 9.6 Hz, 1H), 8.08 (d, J = 9.7 Hz, 1H), 7.91 (d, J = 9.6 Hz, 2H), 7.73 (d, J = 8.8 Hz, 1H), 7.63 (d, J = 9.0 Hz, 2H), 6.98 (d, J = 8.8 Hz, 1H), 3.79 (s, J = 4.3 Hz, 6H)	$\delta$ 11.20 (s, 1H), 9.09 (dd, J = 9.1, 2.6 Hz, 1H), 8.41 (dd, J = 9.5, 2.5 Hz, 1H), 8.37 (dd, J = 9.6, 2.4 Hz, 1H), 8.24 – 8.17 (m, 2H), 8.12 (t, J = 1.6 Hz, 1H), 8.07 (t, J = 1.6 Hz, 1H), 7.96 – 7.93 (m, 2H), 7.81 – 7.62 (m, 2H), 7.54 – 7.32 (m, 2H)	$\delta$ 12.22 (s, 1H), 9.20 (d, J = 2.5 Hz, 1H), 8.44 (dd, J = 9.5, 2.5 Hz, 1H), 8.36 (d, J = 9.5 Hz, 1H), 8.18 (d, J = 7.7 Hz, 1H), 7.92 (d, J = 7.5 Hz, 1H), 7.77 (d, J = 7.5 Hz, 1H), 7.65 (d, J = 7.5 Hz, 1H), 7.54 (t, J = 7.5 Hz, 1H), 7.46 (dt, J = 21.1, 7.5 Hz, 2H), 7.36 (t, J = 7.4 Hz, 1H)	

## 2.2 Actividad biológica

La actividad biológica de los compuestos sintetizados se determinó con respecto a las cepas de hongos *Candida albicans* y *Aspergillus niger* bajo condiciones in vitro utilizando el método Kirby-Bauer [19,20]. Todos los compuestos sintetizados presentaron actividad inhibitoria contra ambas cepas de estudio, desde la concentración más baja de 25 µg/ml, (Tablas 3 y 4). Los fármacos de

referencia empleados fueron ketoconazol y cicloheximida 1 %. Los resultados indican que ninguno supero la inhibición del patrón ketoconazol, pero en la mayoría de los casos todos los compuestos sintetizados presentaron mayor o igual actividad que cicloheximida, indicando una actividad moderada (o susceptibilidad intermedia) de acuerdo a los puntos de referencia establecidos por el Instituto de Normas Clínicas y de Laboratorio [20, 21].

**Tabla 3.** Actividad antifúngica de acilhidrazonas a diferentes concentraciones contra *Candida albicans*.

[µg/ml]	C. albicans					
	7	8	9	10	11	12
	Diámetro inhibición <sup>a</sup> [mm]					
25	14.01±1.85	16.54±0.74	13.61±0.17	14.41±0.14	13.69±3.10	17.48±0.57
40	13.17±1.17	15.69±-	13.51±0.32	15.36±0.32	16.11±-	15.98±0.76
55	13.84±1.44	15.72±0.91	13.13±0.27	14.92±0.30	15.22±2.50	16.81±2.50
100	15.09±0.71	15.51±1.20	12.84±0.67	14.72±0.54	16.04±1.32	15.95±3.71
150	16.35±1.05	15.45±4.01	16.60±-	11.90±-	11.01±-	15.11±1.72
200	17.54±3.20	13.85±2.35	17.60±-	12.51±1.23	13.89±-	13.55±1.87
250	16.48±1.19	17.28±0.25	18.54±-	15.34±0.50	14.39±0.40	14.57±1.27
300	16.97±1.86	15.45±2.05	17.12±-	14.59±0.28	14.17±0.99	12.93±2.06
Ketoconazol	62.13	62.13	62.13	62.13		62.13
Cicloheximida	12.05	-	12.05	12.05		12.05

<sup>a</sup>( $\bar{X} \pm s$ ) dos repeticiones.

Entre los compuestos sintetizados, resalta el (9), el cual mostró mayor inhibición (18.54 mm) con una concentración de 250 µg/ml contra *C. albicans*; de igual modo, presentó actividad de inhibición con *A. niger* (14.72 mm) a la concentración de 55 µg/ml, estos comparados con el patrón cicloheximida. La actividad antifúngica presentada por este compuesto se asocia a la presencia de los sustituyentes en la estructura de la molécula (grupo metoxi), debido a que son grupos fuertemente donadores de electrones [13]. Por otro lado, el compuesto (10) resulto ser de mayor actividad contra *A. niger* a una concentración de 100 µg/ml, con un halo de inhibición de 15.52 mm, comparado con la cicloheximida, tal como se muestra en la Tabla 3.

**Tabla 4.** Actividad antifúngica de acilhidrazonas a diferentes concentraciones contra *Aspergillium niger*.

[µg/ml]	A. niger					
	7	8	9	10	11	12
	Diámetro inhibición <sup>a</sup> [mm]					
25	14.29±1.24	12.15±1.06	10.65±0.61	13.94±1.33	12.27±0.88	12.17±0.72
40	13.58±0.54	11.54±0.23	11.06±0.48	12.76±1.10	12.18±1.28	12.74±3.33
55	13.27±0.13	11.61±0.76	14.72±4.65	14.25±0.40	12.53±0.40	12.59±2.41
100	13.95±0.69	11.63±1.10	12.84±0.69	15.52±0.23	13.72±0.74	12.88±0.49
150	11.53±0.53	9.15±0.08	10.76±0.81	11.49±0.05	10.85±0.56	11.02±0.88
200	11.73±0.29	12.46±4.08	10.82±0.02	11.23±0.06	10.96±0.18	11.15±0.69
250	10.49±0.04	11.00±0.03	10.87±0.35	11.29±0.02	11.41±0.47	10.92±0.37
300	10.71±0.62	11.51±0.18	11.40±0.33	11.36±0.08	11.46±0.30	10.09±0.34
Ketoconazol	25.99	25.99	25.99	25.99	25.99	25.99
Cicloheximida	12.79	12.79	12.79	12.79	12.79	12.79

<sup>a</sup>( $\bar{X} \pm s$ ) dos repeticiones.

### 3. MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1 Información general

Todos los productos químicos, reactivos y disolventes se obtuvieron de Sigma-Aldrich y se utilizaron sin purificación adicional. La hidrazina utilizada en la síntesis de los compuestos fue la 2,4-dinitrofenilhidrazina. Como disolventes de la reacción se emplearon etanol, etilenglicol y dimetilformamida (DMF), la elección dependió de la solubilidad de los reactivos. Las cetonas utilizadas se obtuvieron mediante condiciones suaves de oxidación de los correspondientes bencidroles sustituidos, éstas fueron purificadas por cromatografía de columna y recristalización; se verificó su identidad por RMN-<sup>1</sup>H. Se usó ácido clorhídrico concentrado, como catalizador de reacción. Los puntos de fusión fueron medidos en un aparato Fisher – Johns Melting-point de placa metálica.

Los espectros de IR se realizaron en un Thermo Scientific Nicolet iS5 y unidad de Reflectancia Total Atenuada (iD7 ATR). Los espectros de absorción UV-Vis se realizaron en un espectrofotómetro UV- Pharmaspec-1700 de la marca SHIMADZU. Los espectros de resonancia magnética nuclear (RMN) fueron realizados en el Centro de Investigación en Productos Naturales (CIPRONA) de la Universidad de Costa Rica en un instrumento Bruker

Ascend (600 MHz para los núcleos de <sup>1</sup>H). Los productos se disolvieron en cloroformo deuterado (CDCl<sub>3</sub>) que contiene tetrametilsilano (TMS) como referencia interna.

El procesamiento y el análisis de los espectros de RMN, se efectuaron utilizando los programas Mestre Nova (MestreLab Research). Los valores de desplazamiento químico ( $\delta$ ) se expresan en ppm y las constantes de acoplamiento ( $J$ ) en Hz. En los experimentos de RMN-<sup>1</sup>H, la multiplicidad de las señales se indica por las abreviaturas: (s) singulete, (d) doblete y (m) multiplete.

#### 3.2 Procedimiento general de obtención de bezofenonas sustituidas y fluorenonas a partir de bencidroles

La reacción de oxidación se realizó en un balón de fondo redondo equipado con un agitador magnético, se mezcló el alcohol correspondiente (bencidroles) e hipoclorito de sodio (de uso comercial) utilizando acetato de etilo como disolvente y agitación, posteriormente, se adicionó el bromuro de tetrabutamonio como reactivo de transferencia de fase, el tiempo de reacción fue de 30 minutos. El monitoreo de las reacciones se llevó a cabo mediante cromatografía de capa fina (TLC) empleando hexano-acetato de etilo 8:2 como fase móvil y fase estacionaria de gel de sílice HF254.

### 3.3 Procedimiento general de Síntesis de hidrazonas

La reacción se llevó a cabo en un balón de fondo redondo, donde se utilizó como disolvente, etanol, etilenglicol o DMF, según la solubilidad de los reactivos, 5 mL; ácido clorhídrico como catalizador, se adicionó la cetona de interés (las cantidades usadas fueron medidas en mmol, se usó entre 0.50 a 1.00 mmol), a continuación, la 2,4-dinitrofenilhidrazina se agregó a la mezcla de reacción. También, se adaptó un condensador para reflujo, al cual se le aplicó calor hasta ebullición y agitación constante al sistema de reacción. Las reacciones fueron monitoreadas mediante cromatografía de capa fina (TLC) empleando diclorometano como fase móvil. Para algunos productos de reacción se adicionó agua fría para dar por finalizada la reacción y precipitar el producto. Se filtró la mezcla al vacío y se realizaron lavados con etanol frío, agua y una mezcla de etanol y HCl diluido, a fin de garantizar la eliminación de posibles residuos de reactivos en el producto obtenido.

### 3.4 Actividad biológica

La actividad antifúngica de los compuestos sintetizados fue evaluada frente *C. albicans* y *A. niger* utilizando el método de pozos. Se prepararon en 8 concentraciones diferentes 25, 40, 55, 100, 150, 200, 250 y 300 µg/mL de cada hidrazona, empleando como disolvente DMF. El medio de cultivo fue agar Mueller-Hinton, las cajas Petri se pre-incubaron por 1 hora a temperatura ambiente para minimizar el efecto de la variación del tiempo entre la aplicación de las diferentes disoluciones, posteriormente, las cajas Petri fueron incubadas por 24 horas a 35 °C. El valor de inhibición se calculó igual al promedio de los diámetros de inhibición (mm) menos el diámetro del disco (en mm):  $C=A-B$ ; donde C es el valor de inhibición, A es el tamaño del halo más tamaño de disco y B es el tamaño del disco ( $\pm 6$  mm). Cada prueba se realizó por duplicado. Se estableció un control positivo constituido por las especies de hongos expuestas a los antifúngicos ketoconazol y cicloheximida que poseen una probada actividad biocida.

## 4. CONCLUSIONES

El procedimiento general de síntesis empleado para la obtención de la familia de hidrazonas mostró resultados positivos, sin embargo, se presentaron pequeñas variantes en su metodología, como consecuencia de la variada solubilidad de las diferentes benzofenonas sustituidas frente a los disolventes empleados en el proceso experimental. El compuesto 9 mostró mayor inhibición (18.54 mm y 17.60 mm a 250 y 200 µg/mL respectivamente) contra *C. albicans*, sin embargo, fue considerablemente menos efectivo que uno de los antifúngicos de referencia, ketoconazol, pero más efectivo en todas las concentraciones que el segundo antifúngico de referencia, cicloheximida.

La actividad antifúngica presentada por este compuesto se asocia a la presencia de los sustituyentes (grupo metoxi) en la estructura de la molécula, debido a que son grupos fuertemente donadores de electrones. El compuesto 10 mostró mayor inhibición selectiva (15.52 mm a 100 µg/mL) contra *A. niger*, sin embargo, fue considerablemente menos efectivo que ketoconazol, pero más efectivo en las concentraciones de 25, 55 y 100 µg/mL que el segundo antifúngico de referencia, cicloheximida. La actividad antifúngica presentada por este compuesto se asocia a la presencia de los sustituyentes (yodo) en la estructura de la molécula, debido a que son grupos atractores de electrones.

## 5. AGRADECIMIENTOS

Al Centro de Investigación en Productos Naturales (CIPRONA) de la Universidad de Costa Rica; y al Centro de Investigación y Desarrollo en Salud (CENSALUD).

## REFERENCIAS

- [1] M. Anton, N. Siret, T. Haljasorg, J. Jaak, "One-Pot Synthesis of Protected Benzylhydrazines from Acetals", *Org Prep Proced Int*, Vol. 50, no. 4, pp. 416–423, 2018, doi: doi.org/10.1080/00304948.2018.1468983

- [2] H.R. Sachin, J.C. Ashlesha, K.F. Neeraj, F. Shivkanya, "Synthesis and in vitro antimycobacterial potential of novel hydrazones of eugenol", Arab. J. Chem., Vol. 13, no. 2, pp. 4495–4504, 2020, doi: <https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2019.09.004>
- [3] B. Kumar, M. Kumari, R. Ranjana, N. Singh, "A Review on Biological Activities of Hydrazone Derivatives", Int. J. Pharm. Clin. Res, Vol. 8, no. 3, pp. 162–166, 2016. Disponible en: <http://impactfactor.org/PDF/IJPCR/8/IJPCR,Vol8,Issue3,Article2.pdf>
- [4] M. Vogel, A. Büldt, U. Karst, "Hydrazine reagents as derivatizing agents in environmental analysis – a critical review", Fresenius J Anal Chem, Vol. 366, pp. 781–791, 2000, doi: <https://doi.org/10.1007/s002160051572>
- [5] N. P. Belskaya, W. Dehaen, V.A. Bakulev, "Synthesis and properties of hydrazones bearing amide, thioamide and amidine functions", Arkivoc Vol. 10, no. i, pp. 275–332, 2010. doi: <https://doi.org/10.3998/ark.5550190.0011.108>
- [6] G. Verma, A. Marella, M. Shaquiquzzaman, M. Akhtar M, M.R. Ali, "A review exploring biological activities of hydrazones", J Pharm Bioallied Sci., Vol. 6, no. 2, pp. 69–80, 2014. doi: [10.4103/0975-7406.129170](https://doi.org/10.4103/0975-7406.129170)
- [7] E. V. Zahínos. F.J.G. Barros FJG, "Capacidad coordinante de ligandos derivados de 2-tiazolina e hidrazona frente a iones metálicos de transición", Universidad de Extremadura, España, 2007. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/oaites?codigo=1262>
- [8] E.T. Kool, D.H. Park, P. Crisalli, "Fast Hydrazone Reactants: Electronic and Acid/Base Effects Strongly Influence Rate at Biological pH", J. Am. Chem. Soc., Vol. 135, no. 47, pp. 17663–17666, 2013. doi: <https://doi.org/10.1021/ja407407h>
- [9] D. Larsen, A.M. Kietrys, S.A. Clark, H.S. Park, A. Ekebergh, E.T. Kool, "Exceptionally rapid oxime and hydrazone formation promoted by catalytic amine buffers with low toxicity" Chem. Sci. Vol. 9, pp. 5252–5259, 2018. doi: <https://doi.org/10.1039/C8SC01082J>
- [10] D.L. Muñoz, D.P. Cardona, A. Cardona, L.M. Carrillo, W. Quiñones, F. Echeverri, "Efecto de hidrazonas sobre amastigotes intracelulares de *Leishmania panamensis* y una proteasa de cisteína parasitaria" Vitae[online], Vol. 13, no. 2, pp. 5–12, 2006. [02-2022. Disponible en: [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0121-40042006000200001&lng=es&nrm=iso](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0121-40042006000200001&lng=es&nrm=iso)
- [11] S. Kauthale, S. Tekale, M. Damale, J. Sangshetti, R. Pawar, "Synthesis, antioxidant, antifungal, molecular docking and ADMET studies of some thiazolyl hydrazones", Bioorg Med Chem Lett., Vol. 27, no. 16, pp. 3891–3896, 2017. doi: <https://doi.org/10.1016/j.bmcl.2017.06.043>
- [12] E.B. Lindgren, M.A. de Brito, T.R.A. Vasconcelos, M.O. de Moraes, R.C. Montenegro, J.D. Yoneda, "Synthesis and anticancer activity of (E)-2-benzothiazole hydrazones", Eur. J. Med. Chem., Vol. 86, pp. 12–16, 2014. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ejmech.2014.08.039>
- [13] Y.M.S.A. Al-Kahraman, M. Yasinzai, G.S. Singh, "Evaluation of some classical hydrazones of ketones and 1, 2-diketones as antileishmanial, antibacterial and antifungal agents", Arch. Pharm. Res., Vol.35, pp. 1009–1013, 2012. doi: <https://doi.org/10.1007/s12272-012-0608-7>
- [14] B. Kandpal, J. Meshram, I. Mohanram, A. Shaikh, "Evaluation of newly synthesized quinazolinone derivatives of hydrazones as potent anti-inflammatory and antibacterial agents", Med Chem Res., Vol. 24, no. 4, pp. 1419–1426, 2015. doi: <https://doi.org/10.1007/s00044-014-1226-3>
- [15] O. Poralimardan, A.C. Chamayou, C. Janiak, H. Hosseini-Monfared, "Hydrazone Schiff base-manganese (II) complexes: Synthesis, crystal structure and catalytic reactivity", Inorganica Chim. Acta., Vol. 360, no. 5, pp. 1599–1608, 2007. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ica.2006.08.056>
- [16] F.V. Bagrov, "Synthesis and structure of N'-(2-phenylaminobenzoyl) hydrazones of aromatic aldehydes, ketones, and  $\alpha$ -dicarbonyl compounds" Russ. J. Electrochem., Vol. 36, no. 6, pp. 854–857, 2000. <https://doi.org/10.1007/BF02757444>

- [17] A. G. Tyrkov, M.A. Abdel'rakhim, L.T. Sukhenko, O.V. Degtyarev, "Synthesis and Antifungal Activity of Substituted Nitrotetrazole-5-Carbaldehyde Hydrazones", *Pharm. Chem. J.*, Vol. 47, no. 11, pp. 589–592, 2014. doi: <https://doi.org/10.1007/s11094-014-1013-y>
- [18] Field LD, Li HL, Magill AM. 2020. Organic structures from spectra. John Wiley & Sons Inc, USA
- [19] J.J. Rojas, A.M. García, A.J. López, "Evaluación de dos metodologías para determinar la actividad antimicrobiana de plantas medicinales", *B Latinoam Caribe Pl.*, Vol. 4, no. 2, pp. 28–32, 2005. [02-2022] Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=85640204>
- [20] M. Bernal, M. Guzmán, "El antibiograma de discos. Normalización de la técnica de Kirby-Bauer", *Biomédica*, Vol. 4, no. 3–4, pp. 112–121, 1984. doi: <https://doi.org/10.7705/biomedica.v4i3-4.1891>
- [21] CLSI, "M44 Method for Antifungal Disk Diffusion Susceptibility Testing of Yeast; Approved Guideline", Clinical and Laboratory Standards Institute, USA, 2009.

## ANÁLISIS COMPARATIVO DE ASERTIVIDAD PARA TRES ÍNDICES DE ZONAS CONSTRUIDAS APLICADOS A CIUDADES COLOMBIANAS

### Comparative analysis of assertiveness for three built-up zone indexes applied to Colombian cities

Julián Leal Villamil<sup>1</sup>, Mauricio Alejandro Perea Ardila<sup>2</sup>, Gabriel Alexis Santa Ramírez<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Universidad del Tolima, Departamento de Suelos y Aguas, Grupo Interdisciplinario de Investigación en Fruticultura Tropical, Colombia. <sup>2</sup> Centro de Investigaciones Oceanográficas e hidrográficas del Pacífico-CCCP, Área de Manejo Integrado de Zona Costera - AMIZC, Colombia. <sup>3</sup> Corporación Autónoma Regional del Tolima – CORTOLIMA, Colombia. Email: <sup>1</sup>[jlealv@ut.edu.co](mailto:jlealv@ut.edu.co), <sup>2</sup>[mapereaa@ut.edu.co](mailto:mapereaa@ut.edu.co), <sup>3</sup>[gasanta@ut.edu.co](mailto:gasanta@ut.edu.co)

(Recibido 02 de junio de 2022 y aceptado 28 de junio de 2022)

#### Resumen

La delimitación y caracterización espacio-temporal de las zonas construidas o urbanizadas en las ciudades es un insumo fundamental para la planificación territorial. Los Índices de Zonas Construidas son empleados para identificar las zonas urbanas utilizando sensores remotos. Este estudio tuvo por objetivo evaluar la asertividad multitemporal (1997, 2002, 2007 y 2018) de tres Índices de Zonas Construidas (NDBI, UI e IBI) calculados en imágenes Landsat para tres ciudades colombianas. Las imágenes fueron mejoradas a través de técnicas de Teledetección y se determinaron los Índices de Zonas Construidas teniendo en cuenta los parámetros establecidos por sus creadores. Se emplearon 700 puntos verdad terreno (350 para zonas construidas y 350 para zonas no construidas) para establecer la asertividad multitemporal usando el Índice de Kappa. Los resultados muestran que el índice con mejor asertividad multitemporal global fue el NDBI (Kappa = 0.382), el cual también fue el de mejor desempeño para la ciudad de mayor tamaño (Kappa = 0.566); para la ciudad de tamaño intermedio el índice más acertado correspondió al UI (Kappa = 0.545). Los Índices evaluados tuvieron valores nulos de Kappa en la ciudad de Espinal; descartando los resultados obtenidos en esta última ciudad, la asertividad global de los índices puede incrementarse hasta 0.573. Se infiere la necesidad de realizar nuevas investigaciones que permitan evaluar a mayor detalle la aplicabilidad y asertividad de estos índices en el contexto colombiano, al igual que los ajustes a los rangos de valores óptimos para cada ciudad en particular de acuerdo a sus características arquitectónicas.

**Palabras clave:** índice kappa, landsat 8, planificación urbana, teledetección, zona urbana.

#### Abstract

The delimitation and Spatio-temporal characterization of built-up or urbanized areas in cities is a fundamental input for territorial planning. Built-up Zone Indices are used to identify urban areas using remote sensing. The objective of this study was to evaluate the multitemporal assertiveness (1997, 2002, 2007 and 2018) of three Built-up Zone Indices (NDBI, UI and IBI) calculated in Landsat images for three Colombian cities. The images were enhanced through Remote Sensing techniques and the Built-up Zone Indices were determined by taking into account the parameters established by their creators. It means that 700 ground truth points (350 for the built-up zone and 350 for the non-built-up zone) were used to establish the multitemporal assertiveness using the Kappa Index. The results show that the index with the best overall multitemporal assertiveness was the NDBI (Kappa = 0.382), which was also the best performing for the largest city (Kappa = 0.566); for the intermediate size city, the most successful index was the UI (Kappa = 0.545). The evaluated indexes had null Kappa values in the city of Espinal; discarding the results obtained in the latter city, the global assertiveness of the indexes



can be increased to 0.573. Further research is needed to evaluate in detail the applicability and assertiveness of the indices in the Colombian context, as well as the adjustments to the optimal value range for each particular city according to its architectural characteristics.

**Key words:** *kappa index, landsat 8, urban planning, remote sensing, urban area.*

## 1. INTRODUCCIÓN

Las ciudades son asentamientos creados por los seres humanos, los cuales albergan comunidades que están en constante crecimiento y desarrollo [1]. Comprender la distribución espacial y el crecimiento de las áreas urbanas es esencial para la planificación del territorio, estudios de paisajes, desarrollo urbano y la gestión de recursos naturales [2,3]. Las imágenes de sensores remotos en conjunto con las técnicas de la Teledetección, proveen una alternativa eficiente y eficaz para identificar y clasificar las zonas urbanas o construidas (ZC, en adelante) frente a otros tipos de cobertura del suelo; lo anterior, es una información necesaria tanto para las comunidades locales como para los responsables de la toma de decisiones [3,4].

Diversos índices espectrales para detectar ZC (IZC, en adelante) han sido desarrollados a lo largo del tiempo, entre ellos puede mencionarse el Índice de Construcción de Diferencia Normalizada (NDBI, por sus siglas en inglés) propuesto por [5], el cual relaciona las bandas del infrarrojo cercano (0.76 – 0.90  $\mu\text{m}$ ) y el infrarrojo medio (2.11-2.29  $\mu\text{m}$ ) permitiéndole identificar las ZC; su escala de medición oscila entre -1 y +1 en donde los valores mayores a 0 corresponden directamente a la ZC. El Índice Urbano (UI, por sus siglas en inglés) postulado por [6], relaciona las bandas infrarrojas de espectro para la identificación de ZC, sin embargo, difiere respecto al NDBI pues emplea un rango espectral de infrarrojo medio (2.08 – 2.35  $\mu\text{m}$ ), permitiéndole discriminar ZC de otras coberturas [7]. Al igual que el NDBI, el UI presenta como resultado valores entre -1 y +1 siendo los valores positivos aquellos con ZC o urbanizadas.

El Índice de Construcción Basado en Índices (IBI, por sus siglas en inglés) fue formulado por [4], desarrollado a

partir de otros índices como el NDBI, Índice de Vegetación Ajustado al Suelo (SAVI, por sus siglas en inglés) y el Índice de Agua de Diferencia Normalizada Modificado (MNDWI, por sus siglas en inglés); se distingue por reducir en gran medida la dimensionalidad de los datos y la redundancia de la imagen multiespectral original, evitando la confusión espectral al usar directamente otros índices temáticos [8]. De igual manera, su escala de medición (al igual que los demás índices anteriormente mencionados) está comprendida en el rango de valores entre -1 y +1, las áreas correspondientes a ZC son representadas por los valores comprendidos entre +0.018 y +0.308.

Las principales ventajas de los IZC que no son basados en las bandas térmicas, radica en su relativa facilidad de estimación y practicidad en la identificación de ZC y ZNC empleando varias plataformas satelitales [5], Sin embargo, a pesar de que los IZC han sido utilizados en múltiples casos prácticos alrededor del mundo, son escasas las reseñas académicas sobre sus posibles limitaciones para su uso en diferentes sitios alrededor del mundo, tamaños de ciudades, materiales de construcción, tipos de sensores remotos, entre otras características [9,10].

Si bien, los IZC han sido empleados para determinar áreas de ZC, son pocos los ejemplos dedicados a evaluar su asertividad de los índices propiamente, en este sentido, algunos ejemplos son los mismos ratificados por los creadores. Tal es el caso de [4], quien validó la capacidad del IBI para discriminar ZC en imágenes Landsat ETM+ en la ciudad de Fuzhou en el sureste de China, donde utilizó 310 píxeles para la evaluación de la asertividad obtenido un Kappa de 0.930. Del mismo modo, [5] determinó la capacidad del NDBI en discriminar ZC en imágenes Landsat TM en la ciudad de Nanjing al Este de China, donde seleccionó al azar 68 píxeles para la validación del resultado, encontrando una precisión del 92,6%.

En Colombia, [11] utilizaron el IBI para determinar el crecimiento urbano de la zona norte de la Ciudad de Bogotá para el periodo 1989 y 2018 con imágenes Landsat, aunque en este estudio no se determinó la asertividad del método, lograron establecer el valor máximo del IBI para ambas fechas (0.229 y 0.170 respectivamente) y delimitar espacialmente el desarrollo urbano en ese sector de la ciudad.

Bajo este contexto, se generó el siguiente interrogante ¿Podemos emplear IZC en cualquier ciudad?, para ello se comparó el grado de asertividad multitemporal (1997, 2002, 2007 y 2018) de tres índices de clasificación de ZC (NDBI, UI e IBI) determinados en productos Landsat para tres ciudades colombianas que poseen diferentes tamaños y grados de desarrollo urbano (Bogotá D.C. – Cundinamarca, Ibagué – Tolima y Espinal – Tolima). Con los resultados obtenidos se espera aportar en gran medida al uso de productos satelitales y de Teledetección para la identificación de ZC en Colombia; asimismo, brindar información relevante para el uso de los tres índices en ciudades de varios tamaños, lo cual permitirá a otras investigaciones tener un punto de referencia para el uso de estos índices en otras ciudades colombianas de similar desarrollo.

## 2. METODOLOGÍA

### 2.1 Área de estudio

El área de estudio comprendió tres límites urbanos (polígonos) localizados en la región Andina, zona central de la República de Colombia (Figura 1), los cuales cuentan con una extensión total de 77.193.69 ha. El primer polígono se localiza entre las coordenadas geográficas 4°50'12.5" y 4°27'1.7" latitud norte y 74°13'24.9" y 73°59'10" longitud oeste y corresponde a la zona urbana de Bogotá D.C. - Cundinamarca (64.507.316 ha); Bogotá D.C. es la ciudad capital de Colombia y concentra el mayor desarrollo industrial y urbano del país. El segundo polígono pertenece a la ciudad de Ibagué (10.913.581 ha), se localiza entre las coordenadas geográficas 4°28'33.8" y 4°22'23" latitud norte y 75°16'57.6" y 75°6'28.5" longitud oeste; Ibagué es la capital del departamento del Tolima y

es un centro urbano de mediana densidad y desarrollo intermedio que puede ser definida como una ciudad de provincia.

La tercera área corresponde a la ciudad del Espinal, considerada la segunda ciudad de importancia en el departamento del Tolima, se localiza entre las coordenadas 4°9'51.7" y 4°7'55" latitud norte y 74°54'41" y 74°51'11.5" longitud oeste (1.772.801 ha); esta ciudad cuenta con vocación agropecuaria y es la que posee menor desarrollo urbano de entre las seleccionadas. Según el Departamento Administrativo Nacional de Estadística-DANE estas ciudades cuentan con poblaciones al año 2020 de 7.715.778, 501.991 y 51.211 habitantes respectivamente [12].

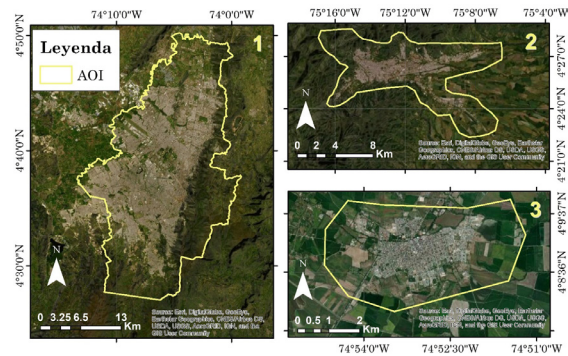


Figura 1. Localización del área de estudio.

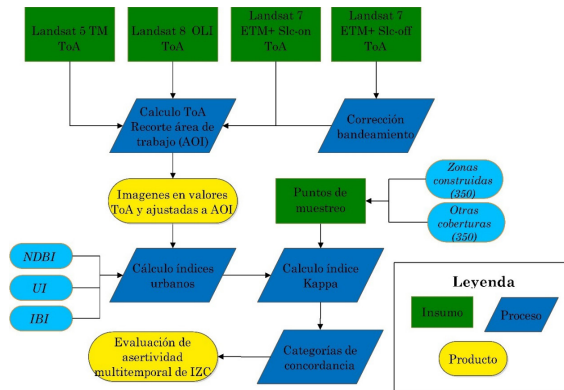
### 2.2 Datos empleados

Se utilizaron cuatro imágenes Landsat, una imagen Landsat 5 TM del año 1997, dos productos Landsat 7 ETM+ para los años 2002- 2007 y una imagen Landsat 8 OLI del año 2018 (Tabla 1).

Las imágenes fueron seleccionadas de acuerdo con los criterios de nubosidad (libres de nubes); además, se seleccionaron teniendo en cuenta cuatro años diferentes con lo cual se propendió por tener diferencias en el crecimiento perimetral y la variabilidad de cada producto como parte de la aplicabilidad de los índices. Las imágenes fueron adquiridas sin costo alguno por medio del repositorio de imágenes Landsat del USGS [13].

### 2.3 Métodos

El esquema metodológico general empleado en este estudio se muestra en la Figura 2.



**Figura 2.** Esquema metodológico empleado.

**Tabla 1.** Características generales de las imágenes Landsat empleadas.

Tipo	Landsat 5 TM
ID Producto	LT50080571997242XXX03
Fecha	1997/08/30
Columna/Fila	8- 56
Cobertura de nubes	9%
Ángulo solar	56.51°
Resolución radiométrica	8 bits
Longitud de onda	Banda 1- Azul (0.45-0.52), Banda 2 - Verde (0.52-0.60), Banda 3- Roja (0.63-0.69), Banda 4- NIR (0.77-0.90), Banda 5 – SWIR1 (1.55-1.75), Banda 7 – SWIR2 (2.09-2.35)
Tipo	Landsat 7 ETM+ Slc-on
ID Producto	LE70080572002056EDC00
Fecha	2002/02/25
Columna/Fila	8- 56
Cobertura de nubes	28%
Ángulo solar	55.07°
Resolución radiométrica	8 bits
Longitud de onda	Banda 1- Azul (0.45-0.52), Banda 2 - Verde (0.52-0.60), Banda 3- Roja (0.63-0.69), Banda 4- NIR (0.77-0.90), Banda 5 – SWIR1 (1.55-1.75), Banda 7 – SWIR2 (2.09-2.35)
Tipo	Landsat 7 ETM+ Slc-off
ID Producto	LE70080572007038EDC00

Fecha	2007/02/07
Columna/Fila	8- 56
Cobertura de nubes	8%
Ángulo solar	52.44°
Resolución radiométrica	8 bits
Longitud de onda	Banda 1- Azul (0.45-0.52), Banda 2 - Verde (0.52-0.60), Banda 3- Roja (0.63-0.69), Banda 4 - NIR (0.77-0.90), Banda 5 – SWIR1 (1.55-1.75), Banda 7 – SWIR2 (2.09-2.35)
Tipo	Landsat 8 OLI
ID Producto	LC80080572018076LGN00
Fecha	2018/03/17
Columna/Fila	8- 56
Cobertura de nubes	11.12%
Ángulo solar	61.03%
Resolución radiométrica	12 bits
Longitud de onda	Banda 2- Azul (0.45-0.51), Banda 3 - Verde (0.53-0.59), Banda 4- Roja (0.64-0.67), Banda 5 - NIR (0.85-0.88), Banda 6 – SWIR1 (1.57-1.65), Banda 7 – SWIR2 (2.11-2.29)

#### 2.3.1 Pre-procesamiento y cálculo de índices

Las imágenes fueron transformadas a unidades de reflectancia al Techo de la Atmosfera (ToA, por sus siglas en inglés) a través de los parámetros descritos por [14,15]. Las bandas del producto satelital del año 2007 presentaron vacíos debido a la desconfiguración del corrector de línea de exploración (SLC por sus siglas en inglés) sucedida en el año 2003 [15]. Debido a esta situación, se realizó el relleno de datos faltantes utilizando las bandas auxiliares “Gap\_Mask” con ayuda de la herramienta de rellenos de datos de QGIS versión 3.10 [16]. Adicionalmente, las imágenes ToA obtenidas fueron recortadas a la extensión del área de trabajo (AOI, en adelante). Para cada una de las imágenes seleccionadas, se calcularon los tres índices de detección de zonas urbanas propuestos (IBI, UI, NDBI) conforme las especificaciones técnicas de cálculo establecidas en la Tabla 2.

**Tabla 2.** Índices de detección de zonas construidas empleados.

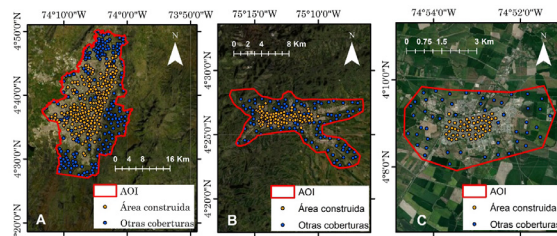
Índice	Ecuación / Rango / Autor
<b>Índice de construcción de diferencia normalizada (NDBI)</b>	$NDBI = \frac{SWIR1 - NIR}{SWIR1 + NIR}$ > 0 (Zona construida) < 0 (Otras coberturas) [5]
<b>Índice urbano (UI)</b>	$UI = \frac{SWIR2 - NIR}{SWIR2 + NIR}$ > 0 (Zona construida) < 0 (Otras coberturas) [6]
<b>Índice de construcción basado en índices (IBI)</b>	little is known about the optimal organization of care of these postacute facilities. This study examines the relationship of patient volume and service concentration with successful GR (short length of stay and discharge home)
	$IBI = \frac{NDBI - (SAVI + MNDWI) / 2}{NDBI + (SAVI + MNDWI) / 2}$
	$SAVI = \frac{(NIR + R)}{(NIR + R + I)}(R + I) *$
	$MNDWI = \frac{(V - NIR)}{(V + NIR)}$
	< 0.018 Zona no urbana. 0.018-0.308 Zona construida. > 0.308 Suelo desnudo. [4]

**Nota:** Para aplicación del SAVI se empleó el factor de ajuste (I) propuesto por [4] equivalente a 0.5. Abreviaciones: Infrarrojo cercano (NIR), infrarrojo de onda corta 1 (SWIR1), infrarrojo de onda corta 2 (SWIR2), Rojo (R), Verde (V), Índice de vegetación ajustado al suelo (SAVI), Índice de agua de diferencia normalizada modificada (MNDWI).

2.3.1 Evaluación de asertividad

Para la evaluación de calidad del proceso de clasificación de los tres índices estudiados (IBI, NDBI, UI), se emplearon 700 puntos de muestreo (verdad terreno) distribuidos en los tres AOI. Los puntos fueron localizados espacialmente empleando interpretación visual sobre la imagen Landsat 5 TM de 1997, de modo tal que, correspondieran a

zonas construidas y zonas no construidas (350 puntos para ZC y 350 puntos para ZNC); se eligieron puntos de muestreo que no presentaran cambios en todo el periodo comprendido por el estudio (1997- 2018), situación que fue validada visualmente con apoyo de imágenes en Google Earth al año 2018 (Figura 3).



**Figura 3.** Localización de los puntos de muestreo para evaluación de calidad de clasificación en las AOI empleadas. (A) Bogotá D.C. – Cundinamarca; (B) Ibagué – Tolima. (C) Espinal – Tolima.

Debido a la diferencia de extensión en las tres AOI empleadas, los puntos de muestreo fueron asignados en diferentes proporciones a cada de ellas, tal cual se presenta en la Tabla 3; siendo un número de puntos acorde con los criterios de muestreo establecidos por [17,18]. Posteriormente, se obtuvieron los valores de los índices calculados en cada uno de los puntos de muestreo (para cada índice y año evaluado) en las AOI mediante el algoritmo de extracción de valores por puntos. Para determinar la asertividad de los IZC analizados, se calculó el índice de concordancia Kappa propuesto por [19] empleando los valores obtenidos en cada punto de muestreo y se evaluó su respectiva categoría de asertividad conforme las reportadas en [20]. (Tabla 4).

**Tabla 3.** Índices de detección de zonas construidas empleados.

AOI	Bogotá D.C.	Ibagué	Espinal
<b>Extensión (ha)</b>	64.507.316	10.913.581	1.772.801
<b>Puntos de evaluación Categoría "zona construida"</b>	200	100	50

AOI	Bogotá D.C.	Ibagué	Espinal
Puntos de evaluación categoría "Otras coberturas" Total puntos empleados AOI	200	100	50
	400	200	100

Tabla 4. Índices de detección de zonas construidas empleados.

Valor Kappa	Concordancia
0	Nula
0.01 – 0.20	Leve
0.21 – 0.40	Aceptable
0.41 – 0.60	Moderada
0.61 – 0.80	Considerable
0.81 – 1.0	Casi perfecta

Fuente: [20]

### 3. RESULTADOS

Se obtuvieron cuatro imágenes radiométricamente corregidas correspondientes a los años 1997, 2002, 2007 y 2018 ajustadas a los polígonos AOI; así mismo, se realizó la corrección del bandeamiento presentado en el producto del 2007 (Landsat 7 ETM+ Slc-off). Se calcularon los índices de zonas construidas IBI, UI y NDBI para cada producto satelital, tal como se muestra en la Figura 4 y Tabla 5.

Tabla 5. Estadística descriptiva para los índices de zonas construidas obtenidos en los productos satelitales.

Índice	Estadístico	Landsat 5 TM (1997)	Landsat 7 ETM+ Slc-on (2002)
UI	Max	0.715	0.570
	Med	-0.241	-0.093
	Min	-0.937	-0.782
	Sd	0.241	0.220

Índice	Estadístico	Landsat 7	Landsat 8
		ETM+ Slc-off (2007)	OLI (2018)
IBI	Max	0.341	0.251
	Med	-0.02	0.033
	Min	-0.805	-0.668
	Sd	0.111	0.070
NDBI	Max	0.500	0.413
	Med	-0.080	-0.069
	Min	-0.846	-0.739
	Sd	0.151	0.138
UI	Max	0.665	0.798
	Med	-0.098	0.114
	Min	-0.958	-0.967
	Sd	0.236	0.107
IBI	Max	0.335	0.401
	Med	-0.024	-0.053
	Min	-0.828	-0.985
	Sd	0.111	0.107
NDBI	Max	0.456	0.777
	Med	-0.071	-0.106
	Min	-0.777	-0.988
	Sd	0.148	0.144

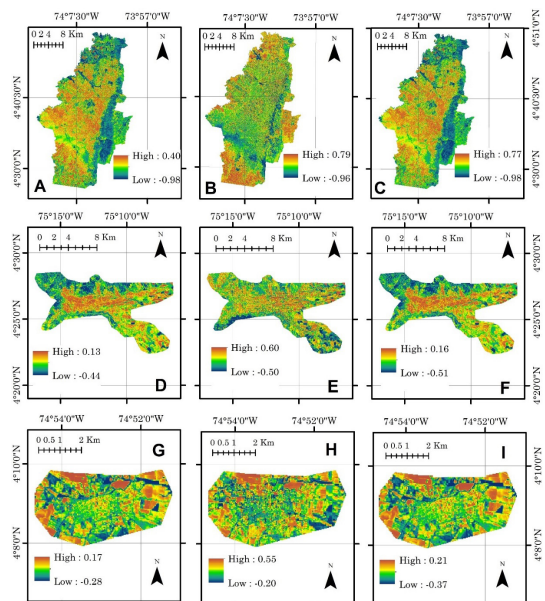


Figura 4. Mapas de índices de zonas construidas obtenidos para el 2018. (A) IBI Bogotá D.C.; (B) UI Bogotá D.C.; (C) NDBI Bogotá D.C.; (D) IBI Ibagué; (E) UI Ibagué; (F) NDBI Ibagué; (G) IBI Espinal; (H) UI Espinal; (I) NDBI Espinal.

NDBI Bogotá D.C; (D) IBI Ibagué; (E) UI Ibagué; (F) NDBI Ibagué; (G) IBI Espinal (H) NDBI Espinal; (I) UI Espinal.

Una vez determinados los valores de los índices e interpretándolos de acuerdo con los rangos umbral para ZC y ZNC dispuestos en la (Tabla 2) se denotaron irregularidades en la tendencia de los datos (Tabla 6) en las tres ciudades; ya que, en algunos casos, existen serias sobreestimaciones y subestimaciones de la ZC obtenida especialmente en el año 2018.

**Tabla 6.** Frecuencia relativa de pixeles identificados como zonas construidas y no construidas para las ciudades objeto de estudio.

Ciudad	Año	Índice	Zona construida (%)	Zona no construida (%)
Bogotá D.C.	1997	IBI	41.50%	58.50%
	2002		72.80%	27.20%
	2007		50.80%	49.20%
	2018		36.30%	63.70%
	1997	NDBI	36.10%	63.90%
	2002		41.30%	58.70%
	2007		42.70%	57.30%
	2018		33.20%	66.80%
	1997	UI	21.00%	79.00%
	2002		47.00%	53.00%
	2007		45.80%	54.20%
	2018		91.90%	8.10%
Ibagué	1997	IBI	43.40%	56.60%
	2002		50.10%	49.90%
	2007		20.70%	79.30%
	2018		10.10%	89.90%
	1997	NDBI	38.60%	61.40%
	2002		14.90%	85.10%
	2007		17.90%	82.10%
	2018		10.40%	89.60%
	1997	UI	8.90%	91.10%
	2002		12.70%	87.30%
	2007		15.10%	84.90%
	2018		69.90%	30.10%
Espinal	1997	IBI	61.30%	38.70%
	2002		65.30%	34.70%
	2007		29.90%	70.10%
	2018		30.40%	69.60%
	1997	NDBI	52.60%	47.40%
	2002		30.00%	70.00%
	2007		26.90%	73.10%
	2018		29.90%	70.10%
	1997	UI	10.10%	89.90%
	2002		25.80%	74.20%
	2007		20.50%	79.50%
	2018		90.10%	9.90%

Los resultados de la validación mostraron que en la ciudad de Bogotá el mejor clasificador multitemporal de ZC correspondió al índice NDBI (Kappa promedio

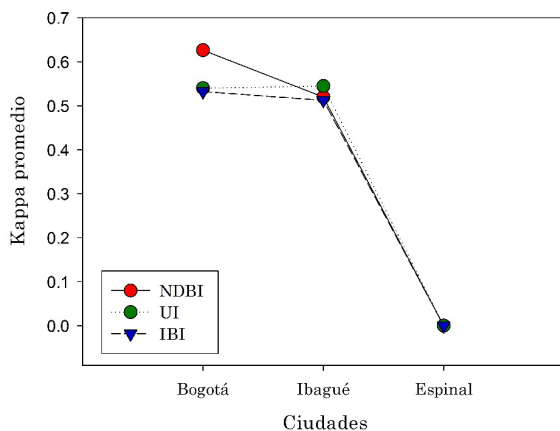
= 0.626) y el menos acertado al IBI (Kappa promedio = 0.533). De modo opuesto, en la ciudad de Ibagué el mejor índice de clasificación de ZC correspondió al UI (Kappa promedio = 0.545), mientras que el UI y el IBI tuvieron comportamientos inferiores muy similares (Kappas promedio = 0.520 y 0.513 respectivamente). En el caso de la ciudad del Espinal, el comportamiento general de los IZC evaluados no presentó un resultado positivo en el índice de Kappa, indicando que, bajo las condiciones de esta ciudad, ninguno de los índices empleados tuvo asertividad en la discriminación de ZC para los años establecidos (ver Tabla 7).

**Tabla 7.** Análisis de asertividad para los índices de zonas construidas evaluados en los diferentes años.

Ciudad	Año	Índice	Exactitud (%)	Kappa	Concordancia
Bogotá D.C.	1997	IBI	83.00	0.66	Considerable
	2002		77.25	0.54	Moderada
	2007		81.50	0.63	Considerable
	2018		79.00	0.58	Moderada
	1997	NDBI	89.50	0.79	Considerable
	2002		68.25	0.36	Aceptable
	2007		79.50	0.59	Moderada
	2018		91.25	0.82	Casi perfecta
	1997	UI	76.25	0.52	Moderada
	2002		83.75	0.67	Considerable
	2007		50.00	0.00	Nula
	2018		80.50	0.61	Considerable
Ibagué	1997	IBI	69.00	0.38	Aceptable
	2002		68.50	0.37	Aceptable
	2007		69.50	0.39	Aceptable
	2018		77.00	0.54	Moderada
	1997	NDBI	88.00	0.76	Considerable
	2002		76.50	0.53	Moderada
	2007		78.00	0.56	Moderada
	2018		86.00	0.72	Considerable
	1997	UI	76.50	0.53	Moderada
	2002		80.00	0.60	Moderada
	2007		66.50	0.33	Aceptable
	2018		80.00	0.60	Moderada

Espinal	IBI	1997	18.00	0.00	Nula	
		2002	45.00	0.00	Nula	
		2007	17.00	0.00	Nula	
	NDBI	2018	28.00	0.00	Nula	
		1997	34.00	0.00	Nula	
		2002	17.00	0.00	Nula	
	UI	2007	38.00	0.00	Nula	
		2018	53.00	0.06	Leve	
		1997	38.00	0.00	Nula	
		2002	30.00	0.00	Nula	
		UI	2007	44.00	0.00	Nula
			2018	26.00	0.00	Nula

El comportamiento del índice Kappa promedio multianual para cada IZC y ciudad se describe en la Figura 5. El índice con mejor comportamiento en asertividad a través de los años evaluados fue el NDBI (Kappa promedio de 0.382), el UI presentó un Kappa promedio de 0.362, mientras que el de menor asertividad fue el IBI con kappa promedio de 0.348. Sin embargo, cabe resaltar que estos datos (en el caso de la ciudad de Espinal) contemplan valores de Kappa iguales a 0, y si no se consideraran estos datos, los valores de Kappa pueden incrementarse a 0.573, 0.543 y 0.523 respectivamente para cada índice empleado.



**Figura 5.** Comportamiento de Kappa promedio para los diversos índices de zonas construidas evaluados en las tres ciudades.

#### 4. DISCUSIÓN

En esta investigación se realizó un análisis comparativo en el grado de asertividad multitemporal (1997, 2002, 2007 y 2018) de tres índices de clasificación de zonas construidas

(NDBI, UI e IBI) determinados en productos Landsat para tres ciudades colombianas de diverso tamaño y desarrollo urbano.

El uso de productos de sensores remotos para la determinación de ZC es una alternativa moderna y viable debido no solo a su practicidad sino que también ayuda a la disminución de casos comparando el método frente a labores directamente en campo [3,4]. Se puede resaltar que el uso de IZC permite realizar análisis multitemporales del crecimiento urbano, apoyando la toma de decisiones para la planeación territorial y otros procesos que requieran este tipo de información espacial [9-21].

Si bien, existen diversos IZC como los son el NDBI, el UI y el IBI, son pocas las recomendaciones brindadas por sus creadores respecto a las posibles limitaciones de uso y asertividad en la clasificación de estos en diferentes productos satelitales, tamaños de ciudades, materiales de construcción y niveles de desarrollo económico – arquitectónico.

Por otra parte, como destacan [9], el uso de IZC basados en bandas no térmicas (como los empleados en este estudio) poseen una menor asertividad respecto a aquellos que las involucran, lo cual limita aún más su uso. Otra problemática en la aplicación de los IZC usados, radica en que los rangos de valores umbral para la detección de ZC están previamente establecidos por sus autores (de acuerdo a los casos específicos bajo los cuales fueron creados), implicando la posibilidad de que dichos rangos de valores no sean óptimos para todas las regiones o ciudades del mundo [21]; ya que las otras ciudades pueden poseer características notoriamente diferentes a las empleadas en el desarrollo del índice, llevando posiblemente a la ocurrencia de generalizaciones que son inadecuadas en el uso de los IZC en diversas localidades. Por lo tanto, es recomendable ajustar los valores umbral de cada IZC a cada caso específico (ciudad) mediante el uso de técnicas exploratorias que incluyan las características espectrales del sitio en diversos productos satelitales.

A pesar de que se logró calcular exitosamente los IZC con base en las ecuaciones relacionadas en el apartado metodológico, estos presentaron serias inconsistencias en la tendencia multitemporal de los rangos de ZC o ZNC identificados en los píxeles de las imágenes. Se evidenciaron sobreestimaciones y subestimaciones de dichos porcentajes, lo cual se podría atribuir a varias situaciones como pueden ser: la capacidad de los algoritmos para distinguir los diversos tipos ZC presentes en las ciudades, las respuestas espectrales particulares de los variados tipos de materiales de construcción en cada ciudad, las diversas condiciones atmosféricas y características de los productos satelitales empleados y el tamaño de píxel en los productos satelitales en relación con el tamaño de las ciudades evaluadas.

El hecho de que en la ciudad del Espinal no se hayan obtenido valores positivos en el índice Kappa puede estar relacionado con la relación entre el tamaño de píxel empleado y el tamaño de la ciudad (ya que es la más pequeña del estudio); sumado a lo anterior, el hecho de que esta ciudad posea un entorno agrícola puede afectar el desempeño de los IZC a ese tamaño de píxel evaluado.

El estudio realizado por [21], destaca una excelente asertividad en la clasificación de ZC, ZNC y cuerpos de agua usando los índices NDBI, IBI y UI en imágenes Sentinel 2A y Landsat 8 OLI (Kappa > 0.94) en China; esta situación contrasta fuertemente con los resultados obtenidos en este estudio ya que los resultados de Kappa empleando los productos Landsat 8 en las 2 ciudades colombianas tuvo un máximo valor de 0.67.

Es importante resaltar que el estudio de [21] tuvo diferencias en el procesamiento de las imágenes Landsat 8 en comparación a la presente investigación, pues emplearon los datos del sensor transformados a niveles reflectancia sobre la superficie del terreno (en este estudio empleamos los valores ToA) en conjunto con el método de Otsu y máquinas de vectores (SMV) de soporte para la clasificación de los datos (en nuestro caso se aplicaron los valores de clasificación referidos por los autores de los algoritmos).

Es posible que el método empleado por [21] sea más eficiente en el análisis de la información espectral y clasificación de las ZC y ZNC con base en los tres índices debido a que los valores espectrales se relacionan mediante SVM para clasificar el territorio. Si bien, en nuestro caso, el IBI tuvo la menor asertividad en la clasificación de ZC, la investigación reportada por [11], destaca su buen comportamiento para la detección de zonas impermeables, siendo usado conjuntamente con datos térmicos en la ciudad de Bogotá.

De modo similar, [22,23] lograron obtener exactitudes generales de clasificación de 84% para detección de asentamientos urbanos usando el IBI en Indonesia; mientras que otros autores como [4,8] exponen el buen comportamiento del IBI para determinar ZC en ciudades de la China e India.

No obstante, es importante comentar que se requieren nuevas investigaciones en la aplicación de IZC con objeto de evaluar el comportamiento espectral de estos bajo diferentes materiales de construcción y diferentes desarrollos urbanos o arquitectónicos en las ciudades, tanto en Colombia como en el mundo.

## 5. CONCLUSIONES

Si bien, se ha reportado en la literatura que los IZC son adecuados para la detección de ZC, su aplicación no debe ser generalizada, ya que los resultados obtenidos mostraron inconsistencias multitemporales en los valores de cada índice para cada producto satelital empleado. Estas inconsistencias pueden deberse a situaciones como el tamaño de los píxeles empleados en relación al tamaño de las ciudades, los rangos de valor establecidos para los IZC, las características propias de cada sensor remoto y los materiales de construcción presentes en las ciudades.

A nivel de las tres ciudades evaluadas, el índice con mejor asertividad fue el NDBI (Kappa = 0.382 considerando resultados de la ciudad de Espinal y 0.573 sin considerarlos). Los resultados obtenidos en esta investigación pueden ser tomados como un punto de



referencia para otras investigaciones que usen los mismos IZC ciudades colombianas, resaltando que en cada caso se requiere realizar análisis particulares de desempeño dependiendo de las características propias de la ciudad como es su tamaño, materiales de construcción, grado de desarrollo, entre otros.

Es necesario realizar mayores esfuerzos investigativos en el campo de los IZC, su aplicación y evaluación de asertividad tanto en el contexto colombiano como internacional. Adicionalmente, se requieren estudios que permitan establecer rangos de valores de IZC ajustados a las condiciones propias de cada ciudad y que empleen diversas técnicas o algoritmos para determinar la asertividad de los mismos.

## 6. AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS, por sus siglas en inglés) por facilitar el acceso gratuito de los productos Landsat empleados.

## REFERENCIAS

- [1] W. Tu *et al.*, "Portraying Urban Functional Zones by Coupling Remote Sensing Imagery and Human Sensing Data", *Remote Sens.*, vol. 10, no. 1, pp. 1-20, Ene. 2018. <https://doi.org/10.3390/rs10010141>
- [2] S. S. Bhatti and N. K. Tripathi, "Built-up area extraction using Landsat 8 OLI imagery", *GIScience Remote Sens.*, vol. 51, no. 4, pp. 445-467, Jul. 2014. <https://doi.org/10.1080/15481603.2014.939539>
- [3] R. C. Estoque and Y. Murayama, "Classification and change detection of built-up lands from Landsat-7 ETM+ and Landsat-8 OLI/TIRS imageries: A comparative assessment of various spectral indices", *Ecol. Indic.*, vol. 56, pp. 205-217, Sep. 2015. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2015.03.037>
- [4] H. Xu, "A new index for delineating built-up land features in satellite imagery", *Int. J. Remote Sens.*, vol. 29, no. 14, pp. 4269-4276, Jul. 2008. <https://doi.org/10.1080/01431160802039957>
- [5] Y. Zha, J. Gao, and S. Ni, "Use of normalized difference built-up index in automatically mapping urban areas from TM imagery", *Int. J. Remote Sens.*, vol. 24, no. 3, pp. 583-594, Ene. 2003. <https://doi.org/10.1080/01431160304987>
- [6] M. Kawamura, S. Jayamanna, and Y. Tsujiko, "Relation between social and environmental conditions in Colombo Sri Lanka and the urban index estimated by satellite remote sensing data", *Int. Soc. Photogramm. Remote Sens.*, vol. 31, no. 7, pp. 321-326, 1996. Disponible en: <https://a-a-r-s.org/proceeding/ACRS1996/Papers/GLE96-3.htm>
- [7] M. Ichsan Ali, A. Hafid Hasim, and M. Raiz Abidin, "Monitoring the Built-up Area Transformation Using Urban Index and Normalized Difference Built-up Index Analysis", *Int. J. Eng.*, vol. 32, no. 5, May 2019. Disponible en: [http://eprints.unm.ac.id/13396/8/Turnitin\\_Monitoring%20the%20Built-up%20Area%20Transformation%20Using%20Urban%20Index%20and%20Normalized%20Difference%20Built-up%20Index%20Analysis.pdf](http://eprints.unm.ac.id/13396/8/Turnitin_Monitoring%20the%20Built-up%20Area%20Transformation%20Using%20Urban%20Index%20and%20Normalized%20Difference%20Built-up%20Index%20Analysis.pdf) DOI:10.5829/ije.2019.32.05b.04
- [8] Shahfahad *et al.*, "Indices based assessment of built-up density and urban expansion of fast growing Surat city using multi-temporal Landsat data sets", *GeoJournal*, vol. 86, no. 4, pp. 1607-1623, Ago. 2021. <https://doi.org/10.1007/s10708-020-10148-w>
- [9] P. Sinha, N. K. Verma, and E. Ayele, "Urban Built-up Area Extraction and Change Detection of Adama Municipal Area using Time-Series Landsat Images", *Int. J. Adv. Remote Sens. GIS*, vol. 5, no. 1, pp. 1886-1895, Ago. 2016. <https://doi.org/10.23953/cloud.ijarsg.67>
- [10] Abhishek Bhatt, S. K. Ghosh, and Anil Kumar, "Spectral Indices Based Change Detection in an Urban Area Using Landsat Data", en *Proceedings of Fifth International Conference on Soft Computing for Problem Solving. Advances in Intelligent Systems and Computing*, K. Pant, M., Deep, K., Bansal, J., Nagar, A., Das, Ed. Singapur: Springer, 2016, pp. 425-441. [https://doi.org/10.1007/978-981-10-0451-3\\_39](https://doi.org/10.1007/978-981-10-0451-3_39)

- [11] C. Salas Pérez, D. Coy Castro, K. Acuña Ramírez, L. Páez Cuervo, and E. Upegui, "Crecimiento urbano e impermeabilización del suelo alrededor de la Reserva Forestal Thomas van der Hammen, en la ciudad de Bogotá", *Ambient. y Desarro.*, vol. 23, no. 44, Feb. 2019. <https://doi.10.11144/Javeriana.ayd23-44.cuis>
- [12] Departamento Administrativo Nacional de Estadística, "Proyecciones de población municipal para el periodo 2018 – 2035 con base en el CNPV 2018", *Secretaría Distrital de Planeación*, 2019. Disponible en: <https://www.sdp.gov.co/gestion-estudios-estrategicos/estudios-macro/censo-2018/proyecciones-de-poblacion>.
- [13] USGS, "Landsat Collection 2 level-1", *EarthExplorer*, 2021. Disponible en: <https://earthexplorer.usgs.gov/>.
- [14] A. Ariza, "Descripción y Corrección de Productos Landsat 8 LDCM (Landsat Data Continuity Mission) Versión 1.0", 2013. Disponible en: <https://www.unspider.org/sites/default/files/LDCM-L8.R1.pdf>
- [15] G. Yin, G. Mariethoz, and M. McCabe, "Gap-Filling of Landsat 7 Imagery Using the Direct Sampling Method", *Remote Sens.*, vol. 9, no. 1, pp. 1-20, Dic. 2016. <https://doi.10.3390/rs9010012>
- [16] QGIS, "QGIS Development Team 'QGIS'", *Open Source Geospatial Foundation*, 2019. <https://qgis.org/es/site/>.
- [17] R. G. Congalton, "A review of assessing the accuracy of classifications of remotely sensed data", *Remote Sens. Environ.*, vol. 37, no. 1, pp. 35-46, Jul. 1991, [https://doi.10.1016/0034-4257\(91\)90048-B](https://doi.10.1016/0034-4257(91)90048-B)
- [18] S. V. Stehman, "Sampling designs for accuracy assessment of land cover", *Int. J. Remote Sens.*, vol. 30, no. 20, pp. 5243-5272, Sep. 2009. <https://doi.10.1080/01431160903131000>
- [19] J. Cohen, "A Coefficient of Agreement for Nominal Scales", *Educ. Psychol. Meas.*, vol. 20, no. 1, pp. 37-46, Abr. 1960. <https://doi.10.1177/001316446002000104>
- [20] J. R. Landis and G. G. Koch, "The Measurement of Observer Agreement for Categorical Data", *Biometrics*, vol. 33, no. 1, p. 159, Mar. 1977. <https://doi.10.2307/2529310>
- [21] Y. Xi, N. X. Thinh, and C. Li, "Preliminary comparative assessment of various spectral indices for built-up land derived from Landsat-8 OLI and Sentinel-2A MSI imageries", *Eur. J. Remote Sens.*, vol. 52, no. 1, pp. 240-252, Ene. 2019 <https://doi.10.1080/22797254.2019.1584737>
- [22] D. K. Ghosh, A. C. Mandal, R. Majumder, P. Patra, and G. S. Bhunia, "Analysis for Mapping of Built-Up Area Using Remotely Sensed Indices – A Case Study of Rajarhat Block in Barasat Sadar Sub-Division in West Bengal (India)", *J. Landsc. Ecol.*, vol. 11, no. 2, pp. 67-76, Nov. 2018. <https://doi.10.2478/jlecol-2018-0007>
- [23] F. Yulianto, B. Tjahjono, and S. Anwar, "Detection Settlements and Population Distribution Using GIS And Remotely Sensed Data, In The Surrounding Area of Merapi Volcano, Central Java, Indonesia", *Int. J. Emerg. Technol. Adv. Eng.*, vol. 4, no. 3, pp. 1-10, Mar. 2014. Disponible en: [https://ijetae.com/files/Volume4Issue3/IJETAE\\_0314\\_01.pdf](https://ijetae.com/files/Volume4Issue3/IJETAE_0314_01.pdf)

## REPENSANDO LA INGENIERÍA EN PROYECTOS SOCIALES: CONTRIBUCIONES DESDE LA ANTROPOLOGÍA A PARTIR DE LA EXPERIENCIA EN "INGENIERÍA SIN FRONTERAS-ARGENTINA"

Rethinking Engineering in Social Projects: Contributions from anthropology based on the experience of "Ingeniería Sin Fronteras – Argentina".

Natalia Zlachevsky

*Ingeniería Sin Fronteras Argentina, Buenos Aires, Argentina.*

*Email: nat.zlachevsky@gmail.com*

*(Recibido 06 de junio de 2022 y aceptado 06 de julio de 2022)*

### Resumen

En el mundo contemporáneo diversos proyectos sociales y de desarrollo demandan la participación de profesionales de la ingeniería. Sin embargo, las universidades no suelen formar a profesionales técnicos con un perfil integral para trabajar en equipos interdisciplinarios con perspectivas que beneficien la comprensión de los problemas sociales complejos. En este artículo buscamos cuestionar las representaciones y prácticas de la ingeniería desde los aportes de la antropología social y la perspectiva de género a partir de la experiencia de trabajo en Ingeniería Sin Fronteras- Argentina. Entendemos que en los proyectos sociales se ponen en tensión algunos paradigmas disciplinares como la verticalidad, la colonialidad y la supuesta neutralidad tecnológica. De esta manera, buscamos aportar al debate sobre el rol de la ingeniería en la sociedad y a la cuestión de encontrar otras formas de diseñar e implementar soluciones tecnológicas en contextos de alta vulnerabilidad social.

**Palabras clave:** *antropología, desarrollo, género, ingeniería, interdisciplina.*

### Abstract

In the contemporary world, several social and development projects demand the participation of engineering professionals. Although, universities do not usually train technical professionals with an integral profile to work in interdisciplinary teams with perspectives that benefit the understanding of complex social problems. In this article, we seek to question the representations and practices of engineering from the contributions of social anthropology and the gender perspective based on the work experience at "Ingeniería Sin fronteras- Argentina". We understand that in social projects some disciplinary paradigms such as verticality, coloniality and the supposed technological neutrality are put in tension. In this way, we look forward to contributing to the debate on the role of engineering in society and the question of finding other ways to design and implement technological solutions in contexts of high social vulnerability.

**Key words:** *anthropology, development, gender, engineering, interdiscipline.*

## 1. INTRODUCCIÓN

Un posible punto de partida para esta reflexión será poner sobre la mesa las motivaciones que orientan nuestro interés en la ingeniería, por sobre otras posibles prácticas sociales. Este interés tiene sus raíces en el lugar que ocupa esta disciplina en la sociedad, así como en una hipótesis subyacente acerca de que la transformación de una práctica hegemónica y con gran impacto, puede cambiar el mundo. De este modo, en la comprensión de las bases de la ingeniería y en el devenir dialógico entre teoría y práctica renovamos la confianza en su potencial transformador.

Distintos autores han trabajado acerca del carácter artificial de la separación de la tecnología de las dimensiones sociales y políticas que atraviesan sus procesos de producción y consumo. Cabe recordar aquí que la ingeniería no es externa a la sociedad, y que la sociedad no es simplemente el contexto de la tecnología, sino que, se producen mutuamente en una interacción que involucra procesos, personas, territorios, productos y representaciones sociales.

Desde la sociología, se ha atendido a las estructuras y modos de organización que involucra esta disciplina, tanto desde los estudios sobre la ética profesional, como desde los estudios sociales de la ciencia y la tecnología con sus cuestionamientos sobre la neutralidad, sus formas de producir conocimiento y los efectos de sus prácticas. Nos interesa aquí poner en juego los aportes de la antropología social, en tanto que pone el foco en la dimensión intercultural, entendiendo que toda práctica social es material y simbólica e involucra procesos dinámicos de producción cultural. Y lo haremos poniendo en juego experiencias vividas desde el pensamiento etnográfico, al reconocer como uno de sus rasgos principales una "genuina curiosidad por la interacción humana incluyendo cómo se forma y se moldea" [1].

En este sentido, nos interesa profundizar en la práctica de la ingeniería en proyectos sociales debido a la complejidad de los contextos en los que se desarrolla. Asimismo,

incorporamos la perspectiva de género, asumiendo que ofrece una mayor comprensión de los fundamentos de esta disciplina, concebida como productora de discursos, prácticas e interacciones que reproducen el orden desigual entre los géneros. Buscamos reflexionar a partir del trabajo realizado en Ingeniería Sin Fronteras Argentina (ISF-Ar), una asociación civil fundada en 2012 que implementa proyectos de ingeniería para el desarrollo comunitario en sectores urbanos y rurales de Argentina, principalmente, en las líneas de infraestructura comunitaria, puentes y accesos, derecho al agua y energías renovables.

Nuestra experiencia en la fundación de ISF-Ar desde sus inicios ha involucrado el trabajo sobre la identidad organizacional, el aporte a la construcción de un enfoque y un marco conceptual, el diseño y facilitación de espacios participativos de construcción interna, el análisis y sistematización de experiencias en proyectos sociales de base tecnológica y la coordinación de cursos que buscan incidir en la formación de profesionales técnicos.

Dado que el lugar desde el que estamos hilvanando estas ideas es América Latina, recuperaremos aquí los conceptos de interculturalidad y colonialidad como ejes que permiten repensar las prácticas de la ingeniería en contextos atravesados por la diversidad cultural y múltiples desigualdades.

## 2. EL PARADIGMA DE LA INGENIERÍA

Cuando hablamos del paradigma de la ingeniería, nos estamos refiriendo al *ethos* hegemónico de occidente, una expresión de la racionalidad moderna [2] que se inscribe en contextos mediados por tecnologías, es decir, por sistemas orientados por criterios como la eficiencia, utilidad y seguridad de los procesos y productos que genera. Asimismo, tiene un rol dominante en la sociedad por sus impactos, y por ser portavoz de la innovación, una de las fuerzas motoras de la sociedad globalizada hasta nuestros días.

Además, de estar enraizada en el pensamiento moderno, en la ingeniería existe una fuerte subrepresentación de las

mujeres. Por ejemplo, en Argentina del total de personas egresadas de carreras de sus distintas ramas, 21% son mujeres y 79% son varones<sup>1</sup>. Aunque este número poco a poco está cambiando, el llamado techo de cristal limita las posibilidades efectivas de que las mujeres puedan avanzar en sus carreras y brinda muy pocas oportunidades de conciliar la vida personal y laboral.

En la ingeniería encontramos una cultura fuertemente masculinizada donde las cualidades socialmente vinculadas a lo femenino como lo emocional, la atención a las personas, el cuidado y la sensibilidad, son desjerarquizadas y deben ser dejadas por fuera. Podemos decir también que se trata de una cultura masculinizante, en tanto reproduce lógicas patriarcales binarias de organización social y, de algún modo, fuerza a las mujeres a dejar por fuera las habilidades con las que fueron socializadas, a camuflarse y a compartir códigos asociados a los varones, así también, fuerza a los varones a destacar atributos ligados a la masculinidad hegemónica: razón, frialdad, competencia [3,4].

La racionalidad ingenieril presupone una situación de estabilidad, un procedimiento definido y predecible y un resultado medible. Desde allí, los aspectos sociales se leen como incertidumbre y se espera a que la realidad se comporte como se predijo en un inicio. La visión positivista de “lo social” y de las ciencias sociales como asignaturas complementarias, nos hablan de una separación entre tecnología y sociedad, construida históricamente en las instituciones y ámbitos de enseñanza y aplicación de la ingeniería. Sin embargo, existen ciertas formas de ejercer la ingeniería en las que esta separación se vuelve difusa y queda en evidencia su artificialidad.

### 3. INGENIERÍA EN PROYECTOS SOCIALES

La intervención técnica en contextos sociales complejos se ha realizado durante muchos años en el marco de los proyectos de desarrollo, caracterizados por un impulso de modernización de los países centrales hacia los

<sup>1</sup>Datos obtenidos de la Secretaría de Políticas universitarias, 2016.

países periféricos y en continuidad con las lógicas del imperialismo en sus distintas formas. Uno de los marcos en los que se inscribe esta práctica es el de la ayuda humanitaria, en el que se muestra el potencial técnico de la disciplina cuando se pone al servicio de la emergencia o las catástrofes de las regiones más empobrecidas del mundo.

De acuerdo con [5], el desarrollo humanitario surge como ideología alternativa al comunismo en las décadas del 50 y 60, de la mano del plan Marshall y de los organismos internacionales como OECD, UNHCR, UNESCO. La definición actual de ingeniería humanitaria que traen los autores recupera la idea de un diseño orientado a mejorar la calidad de vida de poblaciones vulnerables. Pensar en clave de catástrofe carga con una impronta asistencial, y sumado a esto, el foco en la mejora de la calidad de vida asume que los criterios de bienestar tienen un carácter universal.

Este tipo de proyectos suelen centrarse en la persecución de estos estándares, sin atender a las condiciones estructurales a largo plazo que han llevado a las poblaciones a esa situación, ni busca articular con el Estado para transformar estas condiciones a partir de políticas públicas.

Desde el enfoque humanitario se promueve que los y las ingenieras de países centrales desarrollen empatía, sensibilidad y responsabilidad, como condiciones para poder actuar en territorios permeados por grandes desigualdades atendiendo las consecuencias de sus acciones. Lejos de desmerecer la importancia de ambas habilidades, cabe destacar que esta perspectiva reproduce de algún modo la idea de que la comprensión de un territorio y sus problemáticas pueden alcanzarse afinando la sensibilidad.

Dadas sus particularidades, participar en proyectos sociales de ingeniería nos puede brindar la oportunidad de identificar las distintas dimensiones y sentidos de que atraviesan la práctica disciplinar, analizar sus potencialidades y vislumbrar posibles caminos de

transformación en la forma de diseñar e implementar este tipo de proyectos en un diálogo entre la acción, la reflexión y la experimentación.

#### **4. LA EXPERIENCIA EN INGENIERÍA SIN FRONTERAS ARGENTINA**

##### *4.1 El acercamiento al territorio*

Desde la antropología, para comprender las dinámicas sociales que suceden en un contexto determinado es necesario reconstruir procesos históricos, así como interpretar códigos y marcos de significación local. Una primera tensión que aparece en la etapa de relevamiento, es la que sucede cuando se produce una visita al campo con el objetivo de "buscar un proyecto" es decir, identificar necesidades que permitan ser resueltas desde la ingeniería con un enfoque en términos de problema-solución. El hecho de aproximarse desde los estándares del observador, con una valoración y una propuesta predefinida para resolver lo que se aparta de estos parámetros, muchas veces no permite comprender en profundidad el contexto.

Cabe señalar que, en las organizaciones sociales, no es sencillo conseguir fondos para la etapa de relevamiento y diagnóstico. Esto genera una dedicación más acotada de lo deseable y así la comprensión de las dinámicas locales muchas veces sucede una vez ha comenzado el proyecto, durante la etapa más prolongada de la ejecución. Si bien, una estrategia posible es la conformación de equipos interdisciplinarios para relevamientos más integrales y menos sesgados; una segunda tensión, es la que aparece entre los tiempos del trabajo de campo prolongado de la investigación social, y las visitas con foco en la factibilidad técnica. Estos abordajes no se complementan de manera espontánea ni fluida.

El ritmo de la visita se presenta para quienes gustamos del pensamiento etnográfico, contrario a como pensamos que se debe ingresar a un territorio; así como los tiempos de la investigación social aparecen desconectados de los tiempos de la gestión para quienes se dedican a la ingeniería. Esta tensión lleva a la necesidad de implementar

metodologías innovadoras que den respuesta a la necesidad de conocer el territorio en un marco temporal diferente al de la investigación académica.

En el año 2020 participamos en la realización de un análisis de errores que se habían tenido en los proyectos sociales de ISF-Ar. En esta revisión de experiencias se llegó a la conclusión de que los errores más frecuentes no tenían que ver con cuestiones tecnológicas sino con la construcción del problema, con no haber considerado los efectos que tiene el ingreso a un territorio, con la incomprensión de lógicas políticas locales o con tener la mirada puesta en el producto más que en el proceso o el impacto [6].

Respecto a la falla en la construcción del problema, una de las causas que puede provocarla es la dificultad para diferenciar los datos objetivos de las interpretaciones del mundo que hacen los distintos actores locales. Si bien los proyectos de ISF-Ar no se acercan al campo con una propuesta de solución, la definición del proyecto se suele consensuar con referentes locales que tienen un nivel relativo de representatividad de un colectivo o población determinada. A partir de la experiencia, se ha notado que la confianza en los referentes locales puede derivar en la confianza en sus descripciones y que puede ser difícil distinguir intenciones o sesgos en sus narrativas. Esto deriva en la necesidad de poder diseñar instrumentos que permitan recuperar representaciones locales a fin de contrastar los discursos de los referentes, así como observar interacciones en distintos contextos.

Otra tensión que podemos mencionar, ligada a la construcción del problema, es aquella que aparece entre la condición inasible del mundo social y la necesidad de control que requieren los proyectos tecnológicos. En diferentes cursos sobre gestión de proyectos sociales hemos encontrado que los y las profesionales técnicos se ven interesados por técnicas para el diagnóstico social con enfoque sistémico, a través de herramientas para la problematización que permiten reconstruir una trama de multicausalidades. Cabe reconocer que la atención a las conexiones entre fenómenos constituye un avance

para salir de simplificaciones, sin embargo, este tipo de metodologías apuntan a explicaciones sincrónicas, dejando por fuera el carácter procesual, dinámico, histórico en el que se construye una realidad determinada.

Cuando se intenta comprender o explicar una problemática social, las personas suelen recurrir al sentido común, entendido como aquel que se basa en información del saber cotidiano utilizado de manera acrítica, al usar valoraciones y generalizaciones con fines prácticos, concepto trabajado por Gramsci. Es así que, es un pensamiento que no se basa en la historización, el distanciamiento, la contrastación o fundamentación de las aseveraciones [7].

La quinta tensión sucede entre el sentido común que reproduce una visión esencialista de la comunidad, romantizando los lazos con los habitantes, en contraposición a su carácter contingente y heterogéneo. En este punto, el reconocimiento del conflicto como constitutivo de los grupos humanos, es un gran primer paso para evitar futuras frustraciones.

Cabe señalar que las distintas dificultades que surgieron en proyectos de ISF-Ar a lo largo de los años, no se tradujeron en una necesidad de buscar perfiles especializados en ciencias sociales. Esto podría relacionarse por un lado con la autosuficiencia y predominancia del saber técnico en nuestra sociedad, por otro lado, puede tener sus orígenes en el desconocimiento generalizado de las incumbencias y competencias de las ciencias sociales, producto también del confinamiento de estas a ámbitos separados de la intervención.

De esta manera, es interesante señalar que los y las ingenieras que coordinan proyectos de ISF-Ar capitalizan fuertemente las vivencias a lo largo de un proyecto, identifican, en muchos casos, los límites de sus herramientas y confían en los saberes que se construyen en la práctica. No obstante, aunque esto repercute en que los procesos de aprendizaje sean más largos y costosos, también permite una relación diferente con el error y la transformación de la experiencia en aprendizaje.

La apertura de las ingenierías a la incorporación de lógicas de cuidado, a la cooperación o la atención a la emocionalidad, habilidades asociadas a lo femenino desde la cultura patriarcal, de algún modo rompe con la cultura masculinizada que se enseña y practica tradicionalmente la disciplina. En este sentido, existen dos desafíos, la jerarquización de estas habilidades y el reconocimiento de que las relaciones sociales necesitan herramientas de interpretación y análisis, diferentes a las que se utilizan para entender el mundo material.

En tal sentido, y para que esto sea posible, es necesario generar espacios que permitan transformar de manera continua las metodologías de abordaje territorial. Se necesitan ingenieros e ingenieras con disposición para incorporar categorías que rompan con el sentido común y se requieren profesionales de las ciencias sociales que cuenten con experiencia en proyectos de intervención social, dado que la experiencia será el contexto común desde el cual podrá darse un diálogo interdisciplinario.

#### 4.2 El desafío del co-diseño

La colonialidad es un patrón mundial que “se funda en la imposición de una clasificación racial/étnica de la población del mundo como piedra angular de dicho patrón de poder y opera en cada uno de los planos, ámbitos y dimensiones, materiales y subjetivas, de la existencia social cotidiana y a escala social” [8]. Este patrón también genera una jerarquía de saberes en la que predominan aquellos de matriz eurocéntrica desde los cuales se generan soluciones que aparecen como vaciadas de determinaciones políticas y culturales. Esta supuesta neutralidad encubre relaciones desiguales de poder entre quienes diseñan los proyectos y sus destinatarios/as.

El convencimiento acerca de la relevancia de la participación de los y las destinatarias en proyectos de desarrollo surge de resultados no deseados como obras abandonadas, tecnologías que no son utilizadas por los destinatarios, inversiones que no son aprovechadas o conflictos sociales generados por los mismos proyectos [6]. Sin embargo, aunque ha pasado más de medio siglo

desde esta toma de conciencia, aún se sigue confundiendo la instancia informativa con la participación efectiva.

La primera instancia en la que existe un mínimo de participación es la consulta, y la condición para que sea genuina es que la voz de los destinatarios y destinatarias pueda torcer la propuesta que se les presenta. Un ejemplo de este tipo ocurrió en uno de los primeros proyectos de ISF-Ar. Se trataba de la construcción de un puente vehicular en un paraje rural aislado. En ese marco se hizo una reunión para mostrar los planos del puente a la población. Los y las vecinas tomaron la palabra para remarcar que el diseño no había considerado el hecho de que las motos podrían tener un accidente si se construía en la orientación elegida. Esta devolución implicó un rediseño total de la obra. Otro hubiera sido el resultado si se hubiese esperado que los vecinos cambiaran sus costumbres para adaptarse a la orientación del puente que tenían los coordinadores en sus mentes.

La participación no es espontánea, ni necesariamente deseada de antemano por las comunidades, aunque genera mayores condiciones para la sostenibilidad del proyecto, para su apropiación por parte de la comunidad y sobre todo tiene un enorme potencial democratizador. Entendemos como co-diseño "la creatividad de los diseñadores y de las personas sin formación en diseño que trabajan juntos en el proceso de desarrollo del diseño" [9]. Este trabajo conjunto implica la creación de espacios de toma de decisión entre destinatarios y diseñadores.

Los procesos de co-diseño en proyectos de infraestructura requieren de metodologías adaptadas a cada contexto de manera situada, no se trata de la aplicación de técnicas estandarizadas. En el caso de ISF-Ar existe un pequeño equipo desde el que se estudian y experimentan técnicas para facilitar procesos de diseño centrados en la comunidad. Cada proyecto requiere de estrategias distintas, basadas en una comprensión inicial de las dinámicas locales.

En los procesos participativos de diseño es necesario que existan facilitadores con herramientas para interpretar en el momento las interacciones que se dan entre las personas, eso significa atender a cómo se distribuye el poder, la autoridad que se le da a los y las profesionales técnicos/as, la tendencia al consenso o al disenso, la distancia entre lo que se representa a nivel discursivo y lo que ocurre en la práctica. Atender a todo esto al mismo tiempo en que se piensa de manera proyectual el futuro diseño, no es fácil y por eso el trabajo interdisciplinario se hace necesario.

Lo que significa que, al generar un diseño participativo no se requiere solamente pensar una actividad que nos dé información que luego pueda ser pensada por los expertos, sino que requiere oficiar la traducción entre el lenguaje técnico y el lenguaje cotidiano, así también, es vital la interpretación de los sentidos locales, complejos y diversos.

Respecto a la participación efectiva de las poblaciones, vale mencionar que la inteligencia democrática exige *insights* éticos para ayudar a tomar decisiones informadas sobre la aceptación, modificación o el rechazo de una tecnología [10]. Este punto es de gran relevancia, en tanto las asimetrías son reproducidas también por parte de los y las destinatarias de los proyectos que ven en los ingenieros e ingenieras los portadores de un saber con mayor legitimidad.

Uno de los grandes desafíos en un proyecto de infraestructura comunitaria se relaciona con el hecho de que el producto resultante es una estructura fija, mientras que las intenciones y necesidades originales sobre el espacio pueden variar constantemente. En lugar de percibir los cambios, como fallas en la apropiación comunitaria del espacio, es conveniente reconocer desde el principio la capacidad de agencia de los actores; es decir, su capacidad de resignificar constantemente los objetos y los usos de manera diferente a la pensada en el momento del diseño [11], y a partir de este reconocimiento poder imaginar el diseño con altos niveles de flexibilidad.



En este marco, cabe recuperar los aportes de la antropología del diseño, una especialidad que pone en primer plano la autonomía de los destinatarios y su derecho a decidir sobre los proyectos que incidirán en su vida cotidiana, buscando que esos procesos no reproduzcan la colonialidad del saber. Asimismo, si bien aporta metodologías que pueden colaborar en el diseño de edificios, salones, puentes, escuelas, sistemas de acceso al agua, etc., lo que significa que “los resultados no son solo productos sino una mayor comprensión de la naturaleza humana” [12].

#### 4.3 La ejecución de proyectos

La unidad proyecto con sus lógicas por etapas delimita el conocimiento sobre un territorio y busca esquematizar una realidad en movimiento. En el caso de ISF-Ar a lo largo de los años se ha tendido a permanecer en los territorios donde se trabaja, una vez finalizado un proyecto. Esta opción por la permanencia surge de la importancia de las alianzas que se desarrollan durante una ejecución y la creencia en que el compromiso con una población a largo plazo puede traducirse en mayor impacto en el desarrollo local, aunque, esto implica tener en cuenta que no se generen vínculos de dependencia.

Si pensamos las dinámicas que se dan en los proyectos de ingeniería en territorios periféricos a las grandes ciudades, rurales e indígenas, es interesante hacerlo en clave de interculturalidad. Esto requiere atender a los procesos de producción cultural que suceden en la intersección entre marcos de significación diversos y desiguales: los de la población destinataria del proyecto, los de otros actores involucrados, como pueden ser instituciones y organismos, y los profesionales técnicos con poder de decisión en el proyecto.

Es decir que, la posibilidad de trasponer el lenguaje científico a códigos locales no se aprende en ninguna formación universitaria sino en la práctica con apertura y receptividad al reconocimiento de los otros, así también, es efectiva cuando se renuncia a ciertos privilegios epistémicos, para abrirse a otros saberes y ser interpelados por estos en un diálogo intercultural. De

esta manera, se trasciende en la práctica y se convierte en conocimiento, en donde, también son importantes los espacios para el intercambio de experiencia.

En ISF-Ar la creación de cursos de extensión universitaria en gestión de proyectos sociales, presenciales y online, ha funcionado como una usina para la reflexión, así como un ámbito para la deconstrucción profesional de quienes han optado por otras formas de ejercer profesiones tecnológicas. Desde el constructivismo, se concibe los procesos identitarios como dinámicos y relacionales entre quienes se identifican de manera similar, y por oposición a quienes no lo hacen.

La identidad profesional se construye entre la mirada desde el interior de la ingeniería y la mirada externa, y conjuntamente reproducen mandatos específicos para sus profesionales como el de la confiabilidad de las soluciones, derivando en que los esfuerzos deben estar puestos al servicio de la seguridad y la mitigación de riesgos.

Generalmente, los y las destinatarias suelen respetar la autoridad de los profesionales técnicos aun cuando puede contrastar con las formas locales. Sin embargo, la incorporación de políticas y elementos de higiene y seguridad en las obras en construcción ha sido probablemente una de las mayores tensiones entre dos formas totalmente distintas de construir. Por un lado, la rigurosidad que los y las profesionales técnicos plantean en las obras de ISF-Ar, asegurándose de que los y las voluntarios tanto locales como externos a la comunidad utilicen los elementos y respeten las normas. Por otro lado, trabajadores de la construcción con lógicas y códigos culturales opuestos, en los que la medición de riesgos es menor y las normas son vistas como ajenas o incluso arbitrarias.

Otro mandato es el de innovación ya que se espera de la ingeniería soluciones novedosas y superadoras desde lo técnico y no así la articulación de redes, la resolución de conflictos y la creación de condiciones para la viabilidad. ISF-Ar busca una forma de hacer ingeniería

donde muchas veces lo novedoso es la manera en la que se generan alianzas socio técnicas y las estrategias para el aprovechamiento de recursos y saberes locales, no siempre la investigación y desarrollo. No obstante, aunque se comunique este enfoque, la organización sigue siendo interpelada para que realice innovación tecnológica.

Los y las ingenieras que se ven atraídas por este tipo de desafíos suelen verse enfrentados a la necesidad de desaprender muchas de las nociones que fueron enseñadas en su vida universitaria y confirmadas en su paso por proyectos de otro tipo en el mundo corporativo. Sin embargo, la racionalidad y escalabilidad de las soluciones ingenieriles no refleja sus orígenes disciplinares. Penelope Harvey menciona que en los inicios "las nociones de "experimentación" y "artesanía" aún no habían sido ocultadas bajo el peso de los planteamientos analíticos racionales y aún no se había efectuado de forma aparentemente decisiva la separación de lo social y lo técnico que más adelante caracterizó el advenimiento de la ciencia moderna" [13].

En la ejecución de proyectos sociales los y las ingenieras muchas veces ponen en juego estos impulsos "prehistóricos" de la disciplina, apelando más a la creatividad, que a una planificación basada en variables sobre las que se tiene algún tipo de control. En este sentido, si bien el territorio desafía el paradigma disciplinar ligado a la racionalidad positivista, también reconecta a los y las profesionales con prácticas previas a su sedimentación.

Fuera de estos casos, la colonialidad del saber provoca que el conocimiento de base científica sea percibido como autoridad. Incluso es llamativo que, en poblaciones fuertemente patriarcales, como ha ocurrido en comunidades rurales dispersas del norte del país, en los que las mujeres no suelen participan de la toma de decisión sobre cuestiones técnicas, las ingenieras logren vencer la barrera de la desigualdad de género, debido a que su título profesional que las jerarquiza y les confiere la posibilidad de tomar la palabra.

Los efectos que genera en la comunidad el hecho de ver a mujeres dirigiendo una obra o construyendo y manejando herramientas, dan cuenta de la desigualdad de género que existe en ambos rubros: la ingeniería y la construcción. Es notable cuánto les llama la atención a los vecinos y vecinas, la paridad del 50% mujeres y 50% varones en las obras, la igualdad en el reparto de tareas y la posibilidad de las mujeres de ocupar roles de toma de decisión en temas técnicos.

En un estudio realizado en 2016 con voluntarias de ISF-Ar, en su mayoría ingenieras, se llegó a la conclusión de que la experiencia prolongada de estas mujeres en contextos igualitarios en la organización, provocaba un efecto desnaturalizador, en tanto ellas se volvían más conscientes de las desigualdades que sufrían en otros ámbitos como el académico y el profesional. Sin embargo, las tensiones respecto a los estereotipos de género aparecen generalmente en el vínculo con vecinos y proveedores, que suelen resistirse a que las mujeres realicen este tipo de tareas a la par e incluso pueden llegar a desautorizar a una mujer si está al mando de una obra.

Uno de los puntos críticos en la gestión de proyectos sociales se relaciona con el manejo de conflictos que se dan, especialmente, cuando las hipótesis iniciales fallan. Tal es el caso cuando se propuso un proyecto de participación comunitaria en un paraje rural y la fragmentación que existía entre los vecinos era muy distinta a la expectativa de que existieran lazos de reciprocidad, incluso la desconfianza de la comunidad se traduce en sospechas sobre las motivaciones del proyecto.

Esto es notorio también, cuando se hacen acuerdos con vecinos para que participen voluntariamente de una obra comunitaria y después no asisten porque tienen oportunidades de trabajo pago o cuando ocurre el robo de herramientas o materiales que iban a utilizarse en beneficio de una comunidad. Estas situaciones requieren poner en juego habilidades que no tienen relación con ninguna formación académica, sino que son paralelas y puede desarrollarlas una persona que conozca y gestione desde la diversidad.

La frustración surge cuando se le pide al mundo social que se comporte como el mundo de los objetos. En los casos en los que la realidad no responde a lo planificado, una tentación es pensar que en el futuro los desvíos podrán evitarse afinando instrumentos diagnósticos, para minimizar variaciones; la otra tentación es diferir la responsabilidad a un profesional especializado en “lo social” quien resolverá todos los “obstáculos” vinculares para que los proyectos puedan desarrollarse como se esperaba.

### CONCLUSIONES

Cuando hablamos de transformación social nos encontramos en el terreno de la incertidumbre y la complejidad. Hemos visto que cuando la ingeniería es aplicada a proyectos sociales se ponen en tensión su paradigma, los mandatos disciplinares y los fundamentos positivistas que los sostienen. El objetivo de visibilizar estas tensiones no es resolverlas, sino identificar desafíos que convocan al trabajo articulado y a la innovación.

Apartarse de la colonialidad presente en los proyectos de desarrollo implica deconstruir sus orígenes. A pesar de su impronta modernizadora, también la ingeniería puede ser aliada en procesos de transformación social a nivel comunitario. Para hacerlo es necesario revisar los supuestos con los que se aproxima al territorio, imaginar nuevas metodologías de co-diseño y revisar algunos principios rectores que provienen de la racionalidad burocrática y la cultura masculinizada.

Si bien el sentido social de la ingeniería no está reconocido como el económico, menos aún es reconocido su sentido cultural quizás debido a su carácter situado y diverso [2]. En este sentido, pensar la práctica de la ingeniería en proyectos sociales en clave de interculturalidad permite desnaturalizar los efectos de la colonialidad del saber reconociendo en la disciplina formas de construir sentido.

Cabe señalar que nuestra participación en ISF-Ar desde su fundación nos ha permitido también poner en tensión las competencias y supuestos de la antropología, llevándonos

a reconocer las potencialidades y limitaciones de la formación para la investigación etnográfica, cuando trabajamos en proyectos sociales de base tecnológica. Este tipo de tarea nos demanda otra clase de herramientas para la toma de decisión y la gestión, así como, a comprender que la ingeniería se apoya en otras fuentes de legitimación del saber y que para esta los aportes de las ciencias sociales aparecen difusos. En este camino los aportes de la antropología del diseño y la perspectiva de género han sido fundamentales.

Si buscamos procesos y resultados superadores a la hora de hacer proyectos de ingeniería en contextos de alta complejidad social, será necesario articular la reflexividad y la gestión, el análisis cultural, la recuperación de saberes locales y el pensamiento proyectual, así como trabajar desde abordajes interculturales e interdisciplinarios innovadores situados al contexto local.

### REFERENCIAS

- [1] J. Hasbrouck, "Ethnographic Thinking: From Method to Mindset", New York. Routledge. 2017, p.11
- [2] A. Jamison, "The Historiography of Engineering Contexts" en Delahousse, Hyldgaard Christensen, Meganck *Engineering in Context*, Academica, Denmark, 2009. Disponible en: <https://studylib.net/doc/7779298/the-historiography-of-engineering-contexts>
- [3] W. Faulkner, "Women in engineering: Gender dynamics and engineering – how to attract and retain women in engineering" *Engineering: issues, challenges and opportunities for development, UNESCO report*, 2010 pp. 196-199.
- [4] C.L. Baird, "Male-dominated stem disciplines: How do we make them more attractive to women?" *IEEE Instrumentation & Measurement Magazine*, 21, 2018.
- [5] C. Mitcham & D. Muñoz, "Humanitarian engineering". San Rafael, CA: Morgan & Claypool, 2010.
- [6] N. Zlachevsky, "Derechos humanos, Sostenibilidad y Perspectiva de género: desafiando paradigmas"

desde Ingeniería Sin Fronteras Argentina" En ALVEAR, C. A. S. CRUZ, C. C. KLEBA, J. B. *Tecnologías engajadas: Redes e Movimientos de tecnología e engenharia engajada*. Campina Grande, PB: EDUEPB. 2021. Disponible en: [https://www.academia.edu/49191521/Derechos\\_humanos\\_sostenibilidad\\_perspectiva\\_de\\_g%C3%A9nero\\_desafiando\\_paradigmas\\_desde\\_Ingenier%C3%ADa\\_Sin\\_Fronteras\\_Argentina](https://www.academia.edu/49191521/Derechos_humanos_sostenibilidad_perspectiva_de_g%C3%A9nero_desafiando_paradigmas_desde_Ingenier%C3%ADa_Sin_Fronteras_Argentina)

- [7] S. M. Abate, "Una mirada desde el territorio. Ingeniería y saberes sociales. Diálogos posibles" La Plata, EDULP, 2017. DOI10.35537/10915/61860
- [8] A. Quijano, "Colonialidad del poder y clasificación social" En *El giro decolonial: reflexiones para una diversidad epistémica más allá del capitalismo global*. Bogotá: Siglo del hombre. 2007, p.93.
- [9] E. B.-N. Sanders & P. J. Stappers, "Co-creation and the new landscapes of design, Co-Design" *International Journal of CoCreation in Design and the Arts*, Vol. 4, num. 1, pp. 5-18, junio, 2008. <https://doi.org/10.1080/15710880701875068>
- [10] C. Mitcham, "Technology and Ethics", en Colin A. Hempstead (ed.), *Encyclopedia of 20th-Century Technology*, vol. 2, Nueva York, Routledge, 2005. pp.785-789.
- [11] M. De Certeau, *La Invención de lo cotidiano*. Universidad Iberoamericana, Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Occidente, Centro Francés de Estudios Mexicanos y Centroamericanos, México, D.F, 1996.
- [12] E. Tunstall, "Decolonizing Design innovation: Design Anthropology, Critical Anthropology, and Indigenous Knowledge", in Gunn, W., Otto, T. & Smith, R. C. (eds.), *Design Anthropology: Theory and Practice*. Bloomsbury, 2013, p 289.
- [13] P. Harvey, "Relaciones experimentales: La antropología y la ciencia imprecisa de la ingeniería" en, Bullen, M. (ed.) & Mintegui, C. D. (ed.), *Retos Teóricos y Nuevas Prácticas*. Donostia: ANKULEGI Antropología Elkartea, 2008. p.36.

## COMPARACIÓN MORFOMÉTRICA EN POBLACIONES DE *MELIPONA BEECHEII* DEL MUNICIPIO DE CIENFUEGOS

### Morphometric comparison in populations of *Melipona Beecheii* of the municipality of Cienfuegos

José Andrés Martínez Machado<sup>1</sup>, Brandon García Rodríguez<sup>2</sup>, Reina Dayamí Reyna Reyes<sup>3</sup>

<sup>1-3</sup> Universidad de Cienfuegos (UCF), Facultad de Ciencias Agrarias, Departamento de Ciencias Biológicas Aplicadas, Cuba. <sup>2</sup> Universidad de Cienfuegos (UCF), Facultad de Ciencias Agrarias, Centro de Estudio para la Transformación Agraria Sostenible, Cuba. Email: <sup>1</sup>joseamdres1712@gmail.com, <sup>2</sup>bgrodriguez@ucf.edu.cu, <sup>3</sup>rdreyes@ucf.edu.cu

(Recibido 25 de mayo de 2022 y aceptado 29 de junio de 2022)

#### Resumen

El estudio de los caracteres morfométricos permitió identificar las similitudes y diferencias poblacionales de abeja *Melipona beecheii* en el municipio de Cienfuegos. Para estudiar las afinidades morfométricas se seleccionaron de 10 obreras jóvenes directamente de la cámara de cría y se preservaron en etanol absoluto a -20°C para su posterior análisis morfométrico. La evaluación de 12 caracteres morfológicos, 8 no presentaron diferencias significativas, excepto para el ancho de la cabeza (AC)  $5,016 \pm 0,014$ , largo de la cabeza ( $4,311 \pm 0,024$ ) y largo del fémur ( $4,398 \pm 0,022$ ) que fueron ligeramente mayores para muestras del meliponario ubicado en Pepe Rivas en comparación con las muestras de Reina, donde solo se mostró diferencia en el largo de la tibia ( $4,075 \pm 0,028$ ). El grado de maculación cefálica de las poblaciones de abejas estudiadas mostraron un grado de coloración en la media, rango en el cual las marcas amarillas cubren entre el 10- 50% del clypeus y del área supraclypeal y se extienden como delgadas líneas en el área malar alrededor de los ojos. Los resultados sugieren que las poblaciones de abejas *Melipona* estudiadas en Cienfuegos son similares a las estudiadas en el occidente de Cuba y Yucatán.

**Palabras clave:** *melipona beecheii*, caracteres morfométricos, maculación cefálica.

#### Abstract

The study of the morphometric characters allowed to identify the similarities and differences between two populations of stingless bee *Melipona beecheii* of the municipality of Cienfuegos. To study the morphometric affinities, 15 to 20 young workers from the breeding chamber were selected and preserved in absolute ethanol at -20°C for subsequent analysis in the microbiology laboratory of the Faculty of Agricultural Sciences of the University of Cienfuegos. The evaluation of 12 morphological characters, 8 did not present significant differences, except for the width of the head (CA)  $5.016 \pm 0.014$ , the length of the head ( $4.311 \pm 0.024$ ) and length of the femur ( $4.398 \pm 0.022$ ) which were slightly greater for samples of the meliponary located in Pepe Rivas compared to the samples of Reina, where only difference was shown in the length of the tibia ( $4.075 \pm 0.028$ ). The degree of cephalic maculation of two populations of bees studied shown a degree of coloration in the middle, range in which yellow markings cover between 10- 50% of the clypeus and supraclypeal area and extend as thin lines in the malar area around the eyes. The results of the morphological analysis and the degree of cephalic maculation suggest that the populations of *Melipona beecheii* of Cienfuegos are similar to those studied in western Cuba and Yucatan.

**Keywords:** *melipona beecheii*, morphometric characters, cephalic maculatio.

## 1. INTRODUCCIÓN

Según los estudios realizados por [1], *Melipona beecheii* Bennett y *Apis mellifera* Linnaeus son las únicas especies de abejas sociales identificadas en Cuba. En este contexto son manejadas por el hombre para el aprovechamiento de sus productos o servicios en la polinización de cultivos agrícolas. La meliponicultura en la isla no ha alcanzado el desarrollo que ha experimentado la apicultura.

En Cuba existe escasa investigación científica debido al poco interés que se le ha prestado al manejo de la especie de abejas *M. beecheii*. Los estudios que existen deben ser sustentados con datos tan básicos como la diferenciación y determinación correcta de especies [2].

Para lograr el desarrollo sustentable de la meliponicultura, los servicios de polinización y mejor aprovechamiento de sus producciones, es necesario realizar estudios sobre la biología de los meliponinos, así como de su comportamiento en condiciones naturales [3].

La implementación de técnicas morfométricas en las abejas sin aguijón ha sido constatada recientemente por [5,6]. El empleo de la morfometría ha hecho posible de proveer a la taxonomía tradicional de información adicional para la definición de especies propuesta por [4].

Para hacer una evaluación a mayor escala que permita determinar la diversidad genética de la especie es preciso incrementar el número de muestras e incluir a las regiones central y oriental. El estudio de los caracteres morfométricos tiene como objetivo establecer si existe diferencia por medio de parámetros morfométricos de *M. beecheii* del municipio de Cienfuegos con respecto a otras poblaciones de la abeja sin aguijón en Cuba.

## 2. METODOLOGÍA

Las colectas de abejas fueron realizadas en dos meliponarios del municipio de Cienfuegos. Las muestras de abejas se tomaron directamente de la cámara de cría, se seleccionaron de 10 a 20 obreras jóvenes y se

preservaron en etanol absoluto a -20°C para su posterior análisis morfométrico.

El análisis morfométrico de alas y patas se realizó siguiendo la metodología de [7,8]. Adicionalmente, se evaluaron: ancho de la cabeza (AC), largo de la cabeza (LC), ancho del clypeus (ACL), largo del ala anterior derecha (LAA), ancho del ala anterior derecha (AAA), longitud del ala posterior derecha (LAP), ancho del ala posterior derecha (AAP), longitud del fémur (LFE), longitud de la tibia (LTI), ancho de la tibia (ATI), ancho del basitarso (ABA) y la distancia intertegular (DI). Las mediciones se realizaron en 10 abejas obreras por colonia mediante la metodología propuesta por [6].

Los datos morfométricos fueron analizados por medio de un ANOVA para comparar las medias poblacionales. Posteriormente, se realizó un Análisis de Componentes Principales (ACP) para determinar la distribución espacial de las tres poblaciones [9], con el paquete estadístico SPSS 15.0 para Windows.

El grado de maculación cefálica fue calculado determinando el área cubierta por marcas amarillas en la región del clypeus y las áreas supraclypeal y malar, empleando la escala de tres grados (escasa, media e intensa) propuesta por [6], donde:

- Escasa: las marcas amarillas cubren menos del 10% del clypeus y el área supraclypeal, apenas visible en el área malar alrededor de los ojos.
- Media: las marcas amarillas cubren entre el 10 - 50% del clypeus y del área supraclypeal y se extienden como delgadas líneas en el área malar alrededor de los ojos.
- Intensa: las marcas amarillas cubren más del 50% del clypeus y del área supraclypeal y se extienden en forma de anchas líneas en el área malar alrededor de los ojos.

Las imágenes para morfometría y maculaciones se tomaron con una cámara, Canon EOS 60D, conectada a un microscopio Leica S8APO y el software Scope Image 9.0.

### 3. RESULTADOS

El análisis del tamaño corporal de abejas *M. beecheii* para los dos meliponarios estudiados en el municipio de Cienfuegos mostró que no presentaron diferencias significativas para 8 caracteres morfométricos, excepto para el ancho de la cabeza (AC)  $5,016 \pm 0,014$ , largo de la cabeza  $4,311 \pm 0,024$  y largo del fémur  $4,398 \pm 0,022$  fueron ligeramente mayores para muestras del meliponario ubicado en Pepe Rivas en comparación con las muestras de Reina, donde solo se mostró diferencia en el largo de la tibia  $4,075 \pm 0,028$  (Tabla 1).

**Tabla 1.** Caracteres morfométricos de abejas *M. beecheii* pertenecientes a los meliponarios de los consejos populares Pepe Rivas y Reina respectivamente.

Caracteres ( $\mu\text{m}$ )	P. Rivas (n=30)	Reina (n=30)
Ancho de la cabeza (AC)	$5,016 \pm 0,014$	$0,752 \pm 0,481$
Largo de la cabeza (LC)	$4,311 \pm 0,024$	$0,530 \pm 0,594$
Ancho del clypeus (ACL)	$0,281 \pm 0,758$	$0,292 \pm 0,749$
Largo del ala anterior (LAA)	$0,317 \pm 0,731$	$0,908 \pm 0,415$
Ancho del ala anterior (AAA)	$2,981 \pm 0,068$	$1,844 \pm 0,178$
Largo del ala posterior (LAP)	$0,529 \pm 0,595$	$1,343 \pm 0,278$
Ancho del ala posterior (AAP)	$0,021 \pm 0,979$	$0,649 \pm 0,531$
Largo del fémur (LFE)	$4,398 \pm 0,022$	$1,861 \pm 0,175$
Largo de la tibia (LTI)	$0,676 \pm 0,517$	$4,075 \pm 0,028$
Ancho de la tibia (ATI)	$0,547 \pm 0,585$	$1,344 \pm 0,278$
Ancho del basitarso (ABA)	$1,627 \pm 0,215$	$0,367 \pm 0,696$
Distancia intertegular (DI)	$1,759 \pm 0,191$	$2,995 \pm 0,067$

Nota. Diferencias cuando  $P < 0,05$

Las afinidades de los 12 caracteres morfométricos de muestras obtenidas en el meliponario ubicado en el consejo popular Pepe Rivas mostraron que existe diferencia estadísticamente significativa para cuatro caracteres de abejas *Meliponas beecheii* de las tres colmenas.

Así también, las abejas de la Colmena 1 y la Colmena 2 mostraron marcadas diferencias en cuanto al largo del ala anterior (LAA), mientras que existen ligeras diferencias en cuanto al largo del fémur (LFE) y ancho de la tibia (ATI). En tanto las muestras pertenecientes de la colmena 3 se obtuvieron evidentes diferencias para el ancho del ala anterior (AAA) y diferencias poco significativas para el largo del ala anterior (LAA), y el largo del fémur (LFE) en comparación a las muestras de las colmenas 1 y 2 (Tabla 2).

**Tabla 2.** Caracteres morfométricos de abejas *M. beecheii* pertenecientes al meliponario del consejo popular Pepe Rivas,

Caracteres ( $\mu\text{m}$ )	Colmena 1	Colmena 2	Colmena 3
Ancho de la cabeza (AC)	$0,522 \pm 0,200$	$0,170 \pm 0,200$	$0,170 \pm 0,200$
Largo de la cabeza (LC)	$0,237 \pm 0,118$	$0,495 \pm 0,200$	$0,169 \pm 0,200$
Ancho de clypeus (ACL)	$0,234 \pm 0,130$	$0,157 \pm 0,200$	$0,232 \pm 0,135$
Largo del ala anterior (LAA)	$0,377 \pm 0,000$	$0,182 \pm 0,200$	$0,294 \pm 0,014$
Ancho del ala anterior (AAA)	$0,222 \pm 0,177$	$0,150 \pm 0,200$	$0,460 \pm 0,000$
Largo del ala posterior (LAP)	$0,215 \pm 0,200$	$0,134 \pm 0,200$	$0,142 \pm 0,200$
Ancho del ala posterior (AAP)	$0,176 \pm 0,200$	$0,196 \pm 0,200$	$0,129 \pm 0,200$
Largo del fémur (LFE)	$0,123 \pm 0,200$	$0,241 \pm 0,004$	$0,501 \pm 0,000$

Largo de la tibia (LTI)	0,188 ± 0,200	0,216 ± 0,200	0,166 ± 0,200
Ancho de la tibia (ATI)	0,187 ± 0,200	0,328 ± 0,003	0,187 ± 0,200
Ancho de basitarso (ABA)	0,146 ± 0,200	0,108 ± 0,200	0,203 ± 0,200
Distancia intertegular (DI)	0,220 ± 0,186	0,161 ± 0,200	0,182 ± 0,200

Nota. Diferencias cuando  $P < 0,05$

Los 12 caracteres morfométricos de las muestras obtenidas en el meliponario ubicado en Reina mostraron normalidad en 9 caracteres y solo se evidencio diferencia estadísticamente significativa para (LAP), (AAA) y (LTI) entre las abejas de la colmena 1 y 3 existe una significativa diferencia (Tabla 3).

**Tabla 3.** Caracteres morfométricos de abejas *M. beecheii* pertenecientes al meliponario del consejo popular Reina.

Caracteres (µm)	Colmena 1	Colmena 2	Colmena 3
Ancho de la cabeza (AC)	0,114 ± 0,200	0,218 ± 0,197	0,223 ± 0,174
Largo de la cabeza (LC)	0,184 ± 0,200	0,189 ± 0,200	0,193 ± 0,200
Ancho de cypeus (ACL)	0,125 ± 0,200	0,172 ± 0,200	0,210 ± 0,200
Largo del ala anterior (LAA)	0,238 ± 0,113	0,209 ± 0,200	0,110 ± 0,200
Ancho del ala anterior (AAA)	0,284 ± 0,022	0,203 ± 0,200	0,205 ± 0,200
Largo del ala posterior (LAP)	0,314 ± 0,006	0,135 ± 0,200	0,136 ± 0,200
Ancho del ala posterior (AAP)	0,154 ± 0,200	0,150 ± 0,200	0,102 ± 0,200
Largo del femur (LFE)	0,192 ± 0,200	0,166 ± 0,200	0,237 ± 0,117
Largo de la tibia (LTI)	0,300 ± 0,011	0,142 ± 0,200	0,483 ± 0,000

Ancho de la tibia (ATI)	0,170 ± 0,200	0,138 ± 0,200	0,171 ± 0,200
Ancho de basitarso (ABA)	0,139 ± 0,200	0,185 ± 0,200	0,129 ± 0,200
Distancia intertegular (DI)	0,159 ± 0,200	0,236 ± 0,121	0,134 ± 0,200

Nota. Diferencias cuando  $P < 0,05$

Según el análisis de componentes principales (ACP), los tres primeros componentes incluyeron el 72.45% de la variación total, mientras que los componentes 1 y 2 solo comprendieron el 60.96% de los caracteres morfométricos (Tabla 4).

**Tabla 4.** Autovalores y porcentajes de variancias explicados por los primeros tres componentes en un Análisis de Componentes Principales (PCA) de poblaciones de *M. beecheii* de dos meliponarios en el municipio de Cienfuegos.

Componentes	Auto valores	Porcentaje de Varianza (%)	Porcentaje de Acumulado (%)
1	5.101	42.51	42.51
2	2.213	18.44	60.96
3	1.380	11.50	72.46

Según el grado de la coloración cefálica, las abejas del meliponario de Reina y del meliponario de Pepe Rivas mostraron una gran similitud en la maculación cefálica amarilla, ya que en ambos casos esta marca cubría medianamente la parte del área malar con delgadas líneas alrededor de los ojos, área periocular, área supraclípear y clípeo (Figura 1).



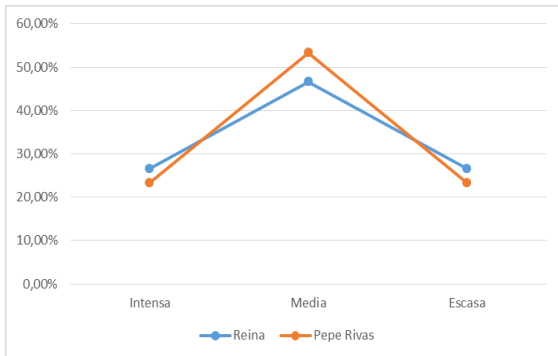


Figura 1. Porcentaje de coloración cefálica

#### 4. DISCUSIÓN

En Cuba son pocos los trabajos enfocados a la taxonomía del género *Melipona*. Los resultados de estos análisis podrán emplearse para determinar las causas que provocan las variaciones morfológicas en las poblaciones de las abejas sin aguijón *M. beecheii* criada en el país o la existencia de otras especies aún no reportadas. Según [1], las poblaciones de *M. beecheii* de Cuba, están en aislamiento geográfico, por la insularidad del país, y solo se han realizado estudios que confirmen su origen en áreas de la región occidental del país.

El estudio de caracteres métricos en poblaciones de abejas del género *Melipona* pertenecientes al municipio de Cienfuegos, en el centro sur de Cuba. La Tabla 1 coincide con las muestras de abejas evaluadas dentro de la Península de Yucatán, las cuales alcanzaron diferencias significativas para 10 caracteres morfométricos a excepción de la longitud del fémur, que fue más larga en muestras de Quintana Roo ( $2.419 \pm 0.032$ ) en comparación con Yucatán ( $2.335 \pm 0.036$ ) y Campeche ( $2.313 \pm 0.053$ ) [10].

De acuerdo con la Tabla 4 en el Análisis de Componentes Principales, se puede destacar que existe coincidencia entre los resultados analizados para las poblaciones de abejas de *Melipona beecheii* del municipio de Cienfuegos y lo reportado por [11] en su investigación, quienes declaran que los dos primeros componentes reunieron 68.56 % de la variación total de los caracteres

morfométricos.

De esta misma forma, el Análisis de Componentes Principales de abejas de *Melipona beecheii* del municipio de Cienfuegos son similares a los expuestos por [8] con un 75,9% de la varianza en los caracteres morfométricos de los cuatro primeros componentes principales para su estudio.

Las diferencias morfométricas en el tamaño corporal pueden estar asociadas a una respuesta adaptativa al entorno local, como se observa en varios grupos de insectos estudiados por [12, 13, 14] y otras especies de abejas sin aguijón [15, 16, 17].

Las colmenas del meliponario de Reina, consejo popular de Cienfuegos, presentaron un rango similar de maculación, por la escala de tres grados empleada por [14], el 46.6% de las abejas se concentraron en la media. De igual manera ocurrió con las abejas evaluadas en el meliponario del consejo popular Pepe Rivas con un 53.3%.

En relación a la maculación facial (ver Figura 1), las abejas estudiadas en Cienfuegos mostraron diferencias respecto a estudios genéticos y morfométricos realizados por [18], donde las abejas de Mayabeque (Cuba) y Yucatán mostraron un grado similar de maculación facial intensa (muy extendida y más del 50% en el clípeo y gran parte del área malar en todas las abejas de Yucatán y Cuba), en comparación con los de Costa Rica que tenían un menor grado de maculación facial (marcas amarillas ausentes en la cara o escasas, con las marcas amarillas cubriendo menos del 10% del clípeo).

En investigaciones realizadas por [19], [6] se afirma que existe gran variabilidad para este rasgo entre poblaciones de *M. beecheii* y plantean que este pudiera ser utilizado para determinar el origen geográfico de la especie. La concordancia existente entre este rasgo y la poca separación morfológica que existe entre las poblaciones de Cuba y Yucatán, son elementos que se vinculan con la hipótesis de que esta especie pudo llegar a Cuba desde la península.

## 5. CONCLUSIONES

Los resultados del análisis morfológico no presentaron diferencias significativas para 8 caracteres morfométricos, fueron ligeramente mayores para muestras del meliponario ubicado en Pepe Rivas en comparación con las muestras de Reina, donde solo se mostró diferencia en el largo de la tibia ( $4,075 \pm 0,028$ ).

## REFERENCIAS

- [1] W. Loriga Peña, D. Álvarez López, L. Fonte Carballo & J. Demedio Lorenzo, "Población inmadura y reservas de alimentos en colonias naturales de *Melipona beecheii* Bennett (Apidae: Meliponini) como factores básicos para su salud". *Revista De Salud Animal*, 37(1), 47. pp. 47-51, Mayo, 2015. Disponible en: <http://revistas.censa.edu.cu/index.php/RSA/article/view/537/492>
- [2] G. Armas, E. Solórzano, M. García & C. Monroy, "Diferenciación genética y fenética de *Melipona beecheii*, *Melipona yucatanica* y *Melipona solanypor* por medio de RAPD SPCR y Morfometría en Guatemala". *Memorias VII Seminario Mesoamericano sobre abejas nativas. Apidae* (66), pp. 67-89, Mayo, 2011.
- [3] M. Cortopassi-Laurino, et al. "Global meliponiculture: challenges and opportunities". *Apidologie*, vol. 37, no 2, pp. 275-292. 2006. <https://doi.org/10.1051/apido:2006027>
- [4] P. D. Hebert, E. H. Penton, J. M. Burns, D. H. Janzen & W. Hallwachs "Ten species in one: DNA barcoding reveals cryptic species in the neotropical skipper butterfly *Astrartes fulgerator*". *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 101(41), pp. 14812-14817, Octubre, 2004. <https://doi.org/10.1073/pnas.0406166101>
- [5] F. O. Francisco, P. Nunes-Silva, T. M. Francoy, D. Wittmann, V. L. Imperatriz-Fonseca, M. C. Arias, & E. D. Morgan, "Morphometrical, biochemical and molecular tools for assessing biodiversity. An example in *Plebeia remota* (Holmberg, 1903) (Apidae, Meliponini)". *Insectes Sociaux*, 55(3), pp. 231-237, Abril, 2008. <https://doi.org/10.1007/s00040-008-0992-7>
- [6] J. Quezada Euán, R. Paxton, W. May Itzá, W. Tek-Tay & B. Oldroyd, "Morphological and molecular characters reveal differentiation in a Neotropical social bee, *Melipona beecheii* (Apidae: Meliponini)". *Apidologie*, vol. 38, no 3, pp. 247-258. 2007. <https://doi.org/10.1051/apido:2007006>
- [7] K. Hartfelder & W. Engels, "Allometric and multivariate analysis of sex and caste polymorphism in the neotropical stingless bee *Scaptotrigona postica*". *Insectes Sociaux* vol. 39, pp. 251-266, Marzo, 1992. <https://doi.org/10.1007/BF01323946>
- [8] J. Diniz-Filho, & M. Pignata, "Quantitative genetics of multivariate morphometric variation in the neotropical stingless bee *Scaptotrigona postica* (Hymenoptera: Meliponini)". *Apidae*, pp. 259-265. 1994.
- [9] E. Wiley, "Phylogenetics". *Apidae*, 1981, pp. 64-89.
- [10] J. J. Quezada-Eguán, W. J. May-Itza, & J. A. González-Acereto, "Meliponeculture in Mexico: problems and perspective for development". *Bee World* Vol. 82 (4) pp. 160-167. Abril, 2001. <https://doi.org/10.1080/0005772X.2001.11099523>
- [11] W. Loriga-Peña & J.J.G. Quezada-Euán "Afinidades morfométricas de *Melipona beecheii* B. de la Isla de Cuba y poblaciones del continente". *Memorias VI Congreso mesoamericano sobre abejas nativas*. Antigua, Guatemala. pp. 197- 205. 2009.
- [12] A. E. Arnett & N. J. Gotelli, "Geographic variation in life history traits of the ant lion, *Myrmeleon immaculatus*: evolutionary implications of Bergmann's rule". *Evolution* Vol. 53 (4) , pp. 1180-1188. 1999. Disponible en: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1111/j.1558-5646.1999.tb04531.x>
- [13] R. Stillwell, G. Morse & C. Fox, "Geographic variation in body size and sexual size dimorphism of a seed-feeding Beetle". *The American Naturalist* Vol. 170 (3) pp. 358-69. Septiembre, 2007. <https://doi.org/10.1086/520118>

- [14] R. Abbasi, M. Mashhadikhan, M. Abbasi, & B. Kiabi, "Geometric morphometric study of populations of the social wasp, *Polistes dominulus* (Christ, 1791) from Zanzan province, north-west Iran" *New Zealand Journal of Zoology* Vol. 36, (1), pp. 41-46, Febrero, 2010. <https://doi.org/10.1080/03014220909510138>
- [15] T. Rinderer, J. Stelzer, B. Oldroyd, S. Buco, & W. Rubik, "Hybridization between European and Africanized honey bees in the neotropical Yucatán peninsula". *Science* Vol. 253 (5017), pp. 309-311, Julio, 1991. DOI: 10.1126/science.253.5017.309
- [16] H. Batalha-Filho, A. Waldschmidt, L. Campos, M. Tavares & T. Fernandes-Salomão, "Phylogeography and historical demography of the neotropical stingless bee *Melipona quadrifasciata* (Hymenoptera, Apidae: incongruence between morphology and mitochondrial DNA" *Apidologie* Vol. (41), pp. 112-135. 2010. <https://doi.org/10.1051/apido/2010001>
- [17] K. Tan, Y. Qu, Z. Wang, Z. Liu & M. Engel, "Haplotype diversity and genetic similarity among populations of the eastern honey bee from Himalaya Southwest China and Nepal (Hymenoptera: Apidae)". *Apidologie* (47), pp. 197-205. 2016. <https://doi.org/10.1007/s13592-015-0390-x>
- [18] W. May-Itza, W. Loriga & P. De la Rúa, "A genetic and morphological survey to trace the origin of *Melipona beecheii* (Apidae: Meliponini) from Cuba". *Apidologie*. Vol. 50, pp. 859–870, Octubre, 2019. <https://doi.org/10.1007/s13592-019-00696-7>
- [19] A. Carrillo, J. Quezada-Euán, & J. amp; Moo-Valle, "Estudio preliminar sobre la R variabilidad morfológica de *Melipona beecheii* (Apidae: Meliponini) en su rango de distribución de México, América Central y el Caribe". *Memorias del II Seminario Mexicano sobre Abejas sin Aguijón*, pp. 73-78, 2001, Mérida, Yucatán.

## OXIDACIÓN BIOCATALÍTICA DE CONTAMINANTES AROMÁTICOS POR LA PEROXIDASA PROVENIENTE DE LA SOYA

### Bio-catalytic oxidation of aromatic pollutants caused by peroxidase deriving from soybean

María Ixel Hernández Hernández<sup>1</sup>, Cynthia Romero Guido<sup>2</sup>, Eduardo Torres Ramírez<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, Facultad de Biología, México.

<sup>2-3</sup> Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, Instituto de Ciencias, México.

Email: <sup>1</sup>maria.hernandezhernandez@viep.com.mx, <sup>2</sup>cynthia.romerogui@correo.buap.mx, <sup>3</sup>eduardo.torres@correo.buap.mx

(Recibido 20 de mayo de 2022 y aceptado 20 de junio de 2022)

#### Resumen

El presente artículo describe el desempeño biocatalítico de la enzima peroxidasa de la soya para oxidar contaminantes acuosos del tipo aromáticos como plaguicidas organofosforados, hidrocarburos policíclicos aromáticos (HPAs), y flavonoides provenientes de residuos agroindustriales. Los ensayos se realizaron en muestras modelo y también en muestras simuladas de efluentes contaminados. El análisis se hizo por cromatografía de líquidos de alta resolución (HPLC) y por espectrofotometría UV-vis. Las conversiones alcanzadas fueron para los plaguicidas terbufos (14%) y dimetoato (30% de conversión); para los HPAs como azuleno (32%), 9-metil antraceno (22%); antraceno y pireno (29% cada uno), y carbazol (18%); y los flavonoides como ácido ferúlico (99%), quercetina (98%), rutina (50%) y naringina (10%). Se estudió el efecto del cambio de pH y de temperatura en la actividad de la enzima, siendo activa desde un pH de 3 hasta 6, y desde los 25 °C hasta los 80 °C. Lo anterior permite concluir que la peroxidasa de soya es un buen candidato para estudios más completos para su posible aplicación en la descontaminación de efluentes que contienen contaminantes aromáticos.

**Palabras clave:** biocatálisis, contaminantes aromáticos, peroxidasa de soya.

#### Abstract

This paper describes the biocatalytic performance of soybean peroxidase enzyme to oxidize aqueous aromatic pollutants such as organophosphorus pesticides and polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs), and flavonoids from agro-industrial wastes. The conversions were achieved for the pesticides terbufos (14%) and dimethoate (30% conversion); for HPAs such as azulene (32%), 9-methyl anthracene (22%); anthracene, pyrene (29% each), and carbazole (18%); and for flavonoids such as ferulic acid (99%), quercetin (98%), rutin (50%) and naringin (10%). The tests were carried out on model samples and on simulated samples of contaminated effluents. In addition, the effect of pH and temperature on the enzyme activity was studied, being active from pH 3 to 6, and from 25 °C to 80 °C. The above concludes that soybean peroxidase is a good candidate for more comprehensive studies for possible application in effluents treatment containing aromatic pollutants.

**Key words:** biocatalysis, aromatic pollutants, soybean peroxidase.

## 1. INTRODUCCIÓN

La contaminación por productos orgánicos aromáticos es cada vez mayor debido a la producción continua y el uso frecuente de compuestos en la industria química, la agricultura, los alimentos, así como en el uso de combustibles derivados del petróleo [1, 2]. Los productos químicos que son fácilmente biodegradables presentan un bajo impacto ambiental comparado con aquellos que son recalcitrantes o de difícil degradación como los plaguicidas, colorantes, hidrocarburos policíclicos y heterocíclicos derivados de la combustión incompleta de combustibles fósiles. La presencia de los contaminantes aromáticos en agua, suelo y aire trae consigo un impacto en la salud de los ecosistemas, incluida la salud humana [3]. Se sabe que algunos contaminantes aromáticos son mutagénicos, carcinógenos, disruptores endocrinos, etc. [4, 5].

Para su eliminación, se han desarrollado e implementado tecnologías fisicoquímicas y biológicas con resultados variados [6, 7]. Sin duda, la implementación de tecnologías sustentables es lo más deseable, pues permiten minimizar el impacto ambiental de su propia implementación. Una de estas tecnologías en desarrollo es la biocatálisis ambiental, que implica la detección, la cuantificación y el tratamiento de contaminantes orgánicos mediante enzimas [8].

La oxidación catalizada por enzimas se realiza a altas velocidades, en condiciones suaves de reacción, no genera lodos residuales, no requiere reactivos tóxicos, produce compuestos con reducida toxicidad y alta biodegradabilidad. Una candidata interesante es la peroxidasa de soya, la cual es una enzima que utiliza peróxido de hidrógeno para catalizar la oxidación de numerosos sustratos aromáticos, convirtiéndolos a sus derivados cetónicos o hidroxilados [9].

Dada su disponibilidad comercial y su capacidad probada para oxidar compuestos fenólicos, la peroxidasa de soya se propone como una enzima potencial para su desarrollo y eventual aplicación en tratamiento ambiental. Por

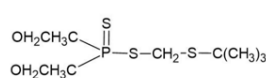
lo anterior, el objetivo de este trabajo fue determinar la capacidad oxidativa de la peroxidasa de soya para transformar algunos plaguicidas organofosforados, HPAs y flavonoides, contaminantes de la industria agrícola, del petróleo y de alimentos respectivamente.

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

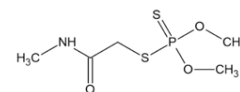
La peroxidasa de soya, con actividad catalítica estándar de 25-100 unidades / mg de proteína, así como los compuestos aromáticos descritos en la Figura 1, fueron adquiridos de Sigma-Aldrich (Milwaukee, WI). Los disolventes orgánicos como acetonitrilo e isopropanol grado HPLC, el peróxido de hidrógeno, asimismo las sales fosfato de sodio monobásico y dibásico grados reactivo analítico fueron obtenidos de JT Baker.

Los ensayos de oxidación se realizaron en una mezcla de reacción (1 mL) que contenía 100  $\mu$ M del compuesto aromático a ensayar con 10% de acetonitrilo (para favorecer la solvatación de compuesto), en amortiguador de fosfatos 60 mM a un pH 6.1, con 250 nM de peroxidasa de soya y se inició la reacción adicionando 260  $\mu$ M de peróxido de hidrógeno. La reacción se detuvo con la adición de 1 mL de disolvente ACN (Acetonitrilo) después de 10 minutos. El control consistió en el mismo medio de reacción en ausencia de la enzima.

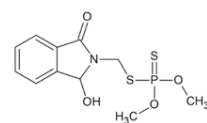
### Plaguicidas



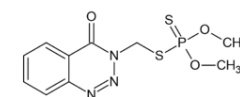
Terbufos



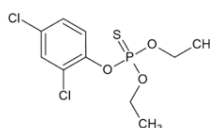
Dimetoato



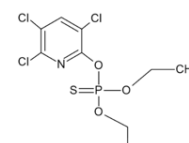
Fosmet



Azinfos-metil

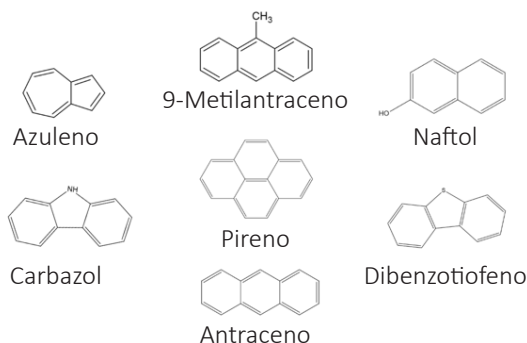


Diclofentión

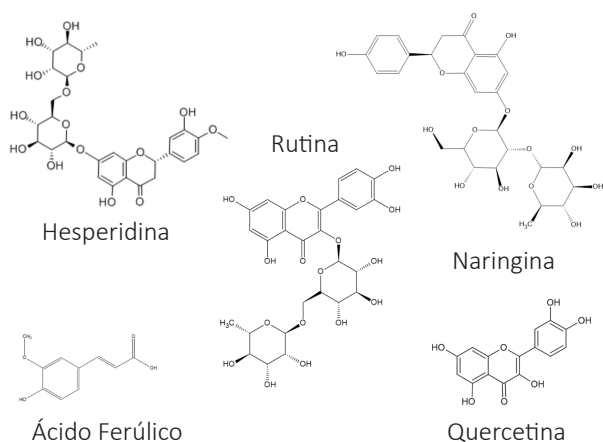


Clorpirifos

Hidrocarburos aromáticos policíclicos



Flavonoides



**Figura 1.** Estructuras químicas de los compuestos químicos ensayados.

Se utilizó un HPLC marca Perkin-Elmer equipado con un detector UV 785 A, y una bomba binaria serie 200; se usó una columna fase reversa C18 (Spheri-5 RP-18), con tamaño de partícula de 5 micras, de 100 mm de largo x 4.6 mm de ancho. El progreso de la reacción se monitoreó por cambios en el área del pico de elución del compuesto, eluyendo con una fase isocrática de 80% acetonitrilo, 20% agua, a 1 mL/min. La conversión se determinó por el cambio de área de los picos de HPLC de cada compuesto (antes y después de la reacción).

Para el caso de los flavonoides, la reacción se monitoreó por espectrofotometría en el rango de 200 a 600 nm en un espectrofotómetro UV-Vis marca Varían modelo Cary

50. De igual manera, la conversión se determinó por el cambio de absorbancia de las bandas de transición antes y después de la reacción.

Para conocer el efecto del pH y la temperatura sobre la actividad catalítica de la peroxidasa de soya se calculó la actividad catalítica de la enzima en la oxidación del ácido ferúlico como el cambio de absorbancia por unidad de tiempo, a 320 nm (DAbs/min), en un intervalo de pH de 3 a 9, y en el rango de temperatura de 25-80 °C, en las condiciones de reacción descritas anteriormente.

Finalmente, el ensayo de oxidación utilizado como muestra de reacción un efluente de la industria alimenticia se llevó a cabo de la siguiente manera: 20 mL de una muestra proveniente de una industria de nixtamalización del maíz, con altos contenidos de ácido ferúlico y otros ácidos fenólicos, se sometieron a oxidación enzimática con la aplicación de 250 nmoles de peroxidasa y 1 mmol de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>. No realizó un ajuste de pH, ni de fuerza iónica. La reacción se llevó cabo a temperatura ambiente bajo agitación constante. Se monitoreó la oxidación espectrofotométricamente en el rango de 200-800 nm.

**3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

La peroxidasa de soya logró oxidar 11 de los 18 compuestos ensayados. Entre ellos, dos plaguicidas organofosforados, 5 HPAs y 4 flavonoides, a diferentes conversiones bajo condiciones idénticas de reacción (Tabla 1). Los plaguicidas organofosforados representan una clase de compuestos recalcitrantes, de alta toxicidad, por lo que su oxidación es deseable siempre y cuando esa oxidación lleve a compuestos más biodegradables o menos tóxicos.

En un reporte previo, otra peroxidasa, la cloroperoxidasa del hongo *Caldaromyces fumago*, catalizó la oxidación de este tipo de plaguicidas; sin embargo, los productos identificados fueron compuestos oxones, en donde el azufre fue sustituido por un oxígeno, esta sustitución hace más reactivo y tóxico al producto que el compuesto parental [10].

Por otro lado, la oxidación de HAPs por peroxidases está más documentado; los productos de reacción son compuestos cetónicos, lo cuales son más biodegradables y miles de veces menos tóxicos, por lo que la oxidación con la peroxidasa de soya resulta de interés al catalizar la reacción rápidamente (10 minutos de reacción) y en condiciones suaves de reacción (pH neutro, temperatura ambiente). Sin embargo, es necesario optimizar las condiciones de reacción para lograr una mayor conversión.

Por otra parte, los flavonoides son compuestos antioxidantes benéficos para la salud humana que terminan siendo contaminantes debido a la alta descarga de desechos de alimentos a las corrientes de agua. Por ejemplo, los efluentes de la industria del maíz tienen una demanda química de oxígeno mayor a los 15 000 mg O<sub>2</sub>/L, lo que lo hace altamente contaminante, aunque un porcentaje de esa demanda está generada por proteínas, vitaminas, antioxidantes, etc. [11].

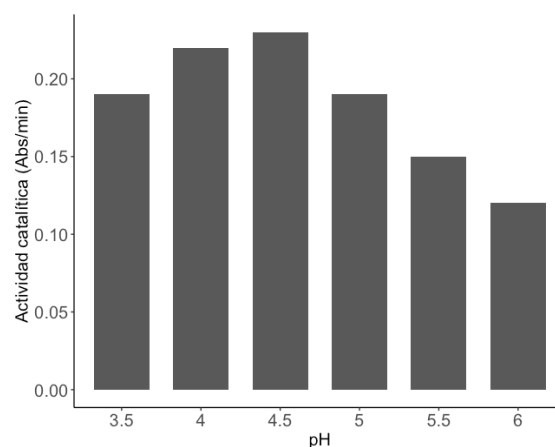
La oxidación de flavonoides con peroxidases produce de manera general dímeros o trímeros, o incluso polímeros, con actividades biológicas interesantes, potencialmente útiles como productos biotecnológicos [12]. De esta manera, la oxidación de efluentes conteniendo flavonoides puede ser vista como un proceso de tratamiento, pero también un proceso de recuperación de productos de interés comercial, esto ayudaría a incrementar la sustentabilidad de un proceso enzimático [13].

Una característica importante de los efluentes contaminados es su variabilidad en pH y temperatura, por lo que las tecnologías de tratamiento propuestas deberán ser suficientemente robustas y no disminuir su desempeño con la variación de estos parámetros [14]. Por lo anterior, se determinó el perfil de actividad catalítica de la peroxidasa a diferentes valores de pH y temperatura; se usó al ácido ferúlico como compuesto modelo para este estudio debido a su facilidad de manejo y de análisis por espectrofotometría UV-vis.

**Tabla 1.** Porcentaje de remoción en los compuestos ensayados.

Compuesto	Porcentaje de remoción (%)
Terbufos	14.23
Dimetoato	30.26
Azuleno	31.89
9-Metil-Antraceno	21.96
Pireno	29.45
Naftol	29.50
Dibenzotiofeno	18.84
Ácido ferulico	99.00
Quercetina	98.00
Rutina	50.00
Narangina	10.00

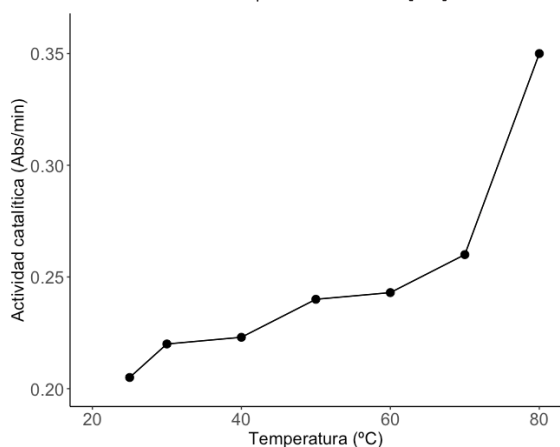
La Figura 2 muestra el efecto del cambio de pH en la actividad catalítica de la peroxidasa; al igual que otras enzimas, el perfil muestra una campana; el máximo de actividad para esta enzima sucedió a pH 4.5 un valor relativamente ácido; sin embargo, la enzima es activa desde un pH 3.5 hasta un valor neutro de 6. Lo anterior significa una ventaja operativa, ya que la enzima podría mantenerse activa si el pH del efluente se cambiará en ese intervalo.



**Figura 2.** Actividad de la peroxidasa de soya en reacciones con diferente pH.

Por otro lado, el comportamiento a los cambios de temperatura mostró un resultado inesperado; en lugar

de la típica campana de comportamiento de actividad, la peroxidasa de soya incrementó su actividad al incrementarse la temperatura, hasta 80 °C; por cuestiones técnicas del manejo de muestra, no se pudo realizar el ensayo a temperaturas mayores. Ambos perfiles muestran que la peroxidasa de soya puede ser aplicable en efluentes con variaciones de los valores de pH y temperatura. Aunque una temperatura de 80 °C es excesiva, puede ser atractiva su aplicación en otras áreas como la de la síntesis de químicos finos [15].

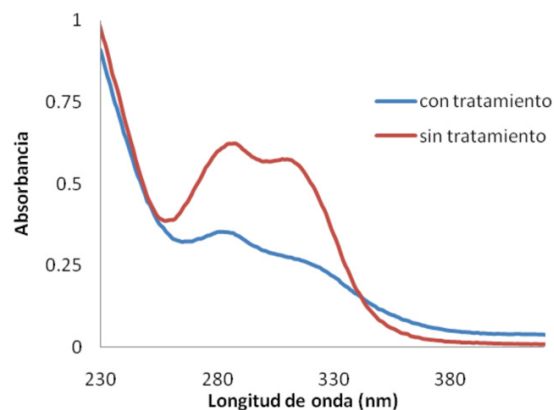


**Figura 3.** Efecto de la temperatura sobre la actividad catalítica de la peroxidasa de soya

Como un ensayo preliminar para la aplicación de la enzima peroxidasa de soya en el tratamiento de efluentes de la industria alimenticia, se llevó a cabo la metodología de oxidación de una muestra proveniente de la industria de la nixtamalización del maíz. Los espectros de absorción electrónica antes y después de la oxidación con la peroxidasa de soya presentados en la Figura 4 muestran claramente que la enzima tiene la capacidad de oxidar a los compuestos aromáticos presentes. Este efluente es rico en ácido ferúlico y otros ácidos fenólicos, y la banda de transición observada es muy similar a la del ácido ferúlico puro. Al ser oxidada la muestra por la peroxidasa, el espectro de absorción cambia, mostrando una menor absorbancia. La medición de los ácidos fenólicos totales, antes y después de la reacción, indica que se oxidó el 50% de los fenoles presentes.

#### 4. CONCLUSIONES

La peroxidasa de soya se presenta como una enzima con capacidad de reconocer y catalizar la oxidación de un conjunto de compuestos aromáticos contaminantes, detectados frecuentemente en los compartimentos ambientales.



**Figura 4.** Espectros de absorción electrónica de las muestras tomadas de una industria alimenticia antes (Rojo) y después (Azul) de la oxidación con la peroxidasa de soya

La oxidación ocurrió en tiempos cortos, y en condiciones suaves de pH y temperatura. La enzima presentó adaptabilidad a los cambios de pH y temperatura dos parámetros importantes de operación en las plantas de tratamiento de aguas residuales, aunque su mejor desempeño fue a un pH cercano al neutro. Respecto a la temperatura, la mejor actividad biocatalítica se presentó a altas temperaturas, pero operacionalmente no es recomendable incrementar este valor para el tratamiento de aguas residuales.

Por lo tanto, es necesario aun profundizar en los estudios para mejorar el desempeño de la peroxidasa como biocatalizador, por un lado, optimizando las condiciones de reacción; y por otro, entendiendo mejor el efecto de las condiciones de reacción no controlables. Además, es imprescindible desarrollar procedimientos de inmovilización de la enzima en materiales sólidos que permitan su reciclabilidad, y con ello, abaratar el costo que



representa el consumo del biocatalizador. Finalmente, también es necesario identificar la naturaleza de los productos de reacción, y determinar su biodegradabilidad y toxicidad, para conocer el posible impacto ambiental de la tecnología.

## REFERENCIAS

- [1] H. I. Abdel-Shafy, M.S.M. Mansou, "A review on polycyclic aromatic hydrocarbons: Source, environmental impact, effect on human health and remediation", *Egyptian Journal of Petroleum*, vol 25, num. 1, pp. 107-123, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.ejpe.2015.03.011>
- [2] W.W.Anku, M.A. Mamo, and P.P. Govender, "Phenolic Compounds in Water: Sources, Reactivity, Toxicity and Treatment Methods", In *Phenolic Compounds - Natural Sources, Importance and Applications*. M. Soto-Hernandez, M. Palma-Tenango, and M. d. R. Garcia-Mateos, Ed. IntechOpen, 2017.
- [3] L. Wang, A.G. Asimakopoulos, K. Kannan, "Accumulation of 19 environmental phenolic and xenobiotic heterocyclic aromatic compounds in human adipose tissue". *Environmental International*, vol. 78, pp. 45-50, 2015. DOI: 10.1016/j.envint.2015.02.015
- [4] J. Michałowicz, W. Duda, "Phenols – Sources and Toxicity", *Polish Journal of Environmental Studies*, vol. 16, num. 3, pp. 347-362, 2007. Disponible en: [http://www.pjoes.com/pdf-87995-21854?filename=Phenols%20\\_%20Sources%20and.pdf](http://www.pjoes.com/pdf-87995-21854?filename=Phenols%20_%20Sources%20and.pdf)
- [5] Y. Guo, K. Wu, X. Huo, and X. Xu, "Sources, Distribution, and Toxicity of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons" *Journal of Environmental Health*, vol. 73 (9), pp. 22–25, mayo, 2011. Disponible en: <https://www.jstor.org/stable/26329217>
- [6] L.G.C Villegas, N. Mashhadi, M. Chen, I. "A Short Review of Techniques for Phenol Removal from Wastewater" *Current Pollution Repots*, vol. 2, pp. 157–167, Septiembre, 2016. <https://doi.org/10.1007/s40726-016-0035-3>
- [7] I.A. Saleh, N. Zouari, M.A. Al-Ghouti, "Removal of pesticides from water and wastewater: Chemical, physical and biological treatment approaches", *Environmental Technology & Innovation*, vol. 9, num. 101026, Agosto, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.eti.2020.101026>
- [8] M. Alcalde, M. Ferrer, F.J. Plou, A. Ballesteros "Environmental biocatalysis: from remediation with enzymes to novel green processes", *Trends in Biotechnology*, vol. 24, num. 6, pp. 281-287, Junio, 2006. DOI: 10.1016/j.tibtech.2006.04.002
- [9] S. Aaron, L.G. Cordova Villegas, W. Feng, K.E. Taylor, J.K. Bewtra, and N. Biswas, "Soybean peroxidase for industrial wastewater treatment: a mini review", *Journal of Environmental Engineering and Science*, vol. 9 (3), pp. 181-186, Septiembre, 2014. <https://doi.org/10.1680/jees.13.00013>
- [10] J. Hernandez, N.R. Robledo, L. Velasco, R. Quintero, M.A. Pickard, R. Vazquez-Duhalt, "Chloroperoxidase-Mediated Oxidation of Organophosphorus Pesticides", *Pesticide Biochemistry and Physiology*, vol. 61, (2), pp. 87-98, 1998. <https://doi.org/10.1006/pest.1998.2351>
- [11] J.L. García-Zamora, M. Sánchez-González, J.A. Lozano, J. Jáuregui, T. Zayas, V. Santacruz, F. Hernández, E. Torres, "Enzymatic treatment of wastewater from the corn tortilla industry using chitosan as an adsorbent reduces the chemical oxygen demand and ferulic acid content", *Process Biochemistry*, vol. 50, (1), pp. 125-133, Enero, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.procbio.2014.10.012>
- [12] S. Nagarajan, R. Nagarajan, J. Kumar, A. Salemme, A.R. Togna, L. Saso, and F. Bruno, "Antioxidant Activity of Synthetic Polymers of Phenolic Compounds", *Polymers*, vol. 12 (8) 1646, Julio, 2020. <https://doi.org/10.3390/polym12081646>
- [13] L. F. Rojas, P. Zapata, L. Ruiz-Tirado, "Agro-industrial waste enzymes: Perspectives in circular economy", *Current Opinion in Green and Sustainable Chemistry*, vol. 34, (100585), Abril, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.cogsc.2021.100585>
- [14] G. Bairán, G. Rebollar-Pérez, E. Chávez-Bravo, E. Torres, "Treatment Processes for Microbial

Resistance Mitigation: The Technological Contribution to Tackle the Problem of Antibiotic Resistance", *International Journal of Environmental Research and Public Health*, vol. 17, (8866), Noviembre, 2020. DOI: 10.3390/ijerph17238866

- [15] L. Casella, E. Monzani, S. Nicolis, "Potential Applications of Peroxidases in the Fine Chemical Industries", in *Biocatalysis Based on Heme Peroxidases*, E. Torres and M. Ayala, Ed. Springer, Berlin, Heidelberg, 2010.

## PREDICCIÓN DE PROBLEMAS REFERENTES A TIC EN ORGANIZACIONES DE SERVICIOS GENERALES UTILIZANDO REDES NEURONALES

### Prediction of problems related to TIC in general service organizations using a neural network

Christian Jesús Pinzón Casas<sup>1</sup>, Adriana Marcela Vega Escobar<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Estudiante Maestría en las Ciencias de Información y Comunicaciones, Grupo de Investigación GESETIC. <sup>2</sup>Docente de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Grupo de Investigación GESETIC. Email: <sup>1</sup>[cjpinzonc@correo.udistrital.edu.co](mailto:cjpinzonc@correo.udistrital.edu.co), <sup>2</sup>[avegae@udistrital.edu.co](mailto:avegae@udistrital.edu.co)

(Recibido 23 de junio de 2022 y aceptado 15 de julio de 2022)

#### Resumen

Este artículo muestra la eficiencia de implementar una aplicación de mesa de ayuda con un modelo predictivo mediante redes neuronales para definir un catálogo de los servicios, con la ejecución de buenas prácticas para la gestión de servicios tecnológicos mediante un estándar de calidad para garantizar dichos servicios. Por ello, la empresa de servicios generales pretende resolver las solicitudes y requerimientos de los usuarios por medio de dicha aplicación, manteniendo centralizado el ciclo de vida de cada incidente. Este sistema de *Help Desk* se desarrolló mediante el lenguaje de programación PHP, con la estructura HTML5, sus estilos CSS por Bootstrap y con su motor de bases de datos MySQL. Con la creación de un modelo entidad – relación adecuada para las necesidades de la empresa, un módulo de gestión de tickets, módulo de usuarios, módulo de manuales y un módulo de análisis descriptivo de los tickets de la base.

**Palabras clave:** mesa de ayuda, ITIL, tecnologías de la información y comunicaciones (TIC), ISO 20000, PQRSD, redes neuronales.

#### Abstract

This article shows the efficiency of implementing a Help Desk Application with a predictive model for the definition of a catalog of services, with the execution of good practices for the management of technological services through a quality standard to guarantee these services. Based on that, the general services company attempts to resolve the requests and requirements of users through application, keeping the life cycle of each incident centralized. This Help Desk system was developed using the PHP programming language, with the HTML5 structure, its CSS styles defined by Bootstrap and its MySQL database engine. Thanks to the creation of an entity-relationship model suitable for the needs of the company, a ticket management module, user module, manual module and a descriptive analysis module of the tickets found in the base.

**Key words:** help desk, ITIL, information and communication technology (ICT), ISO 20000, HPCC, neural networks.

## 1. INTRODUCCIÓN

La propuesta se fundamenta en aplicar una metodología basada en *Help Desk* para la solución de los diferentes inconvenientes que se presentan en las Tecnologías de Información y Comunicaciones (TIC), al realizar una estructura que tome las mejores prácticas y procedimientos que definen las políticas de la Biblioteca de Infraestructura de Tecnologías de Información (ITIL) en su versión actualizada (V4) en conjunto con los procesos que se realizan en las Peticiones, Quejas, Reclamos, Sugerencias y Denuncias (PQRSD); basados en la normatividad ISO 20000 para que se brinde un servicio con altos estándares de calidad.

Lo anterior, con la finalidad de realizar un soporte de una manera organizada que permita la solución oportuna de los incidentes que se reportan mediante un proceso estandarizado, dando un diagnóstico asertivo con la ayuda de un modelo de análisis estadístico de la información que se recibe de las diferentes problemáticas reportadas, para la ayuda de la toma de decisiones [1] por parte del personal de sistemas, de manera que, se implemente la mejor solución a los incidentes que se les presenta a los usuarios.

Para ello, se pretende centralizar la información de las diferentes solicitudes realizadas por los usuarios para cuantificar y catalogar los inconvenientes presentados mediante un modelo de Procesamiento de Lenguaje Natural (PLN) mediante la librería spaCy [2]. De esta manera, permitirá mejorar los tiempos de respuesta y facilitar la gestión tanto para el área de sistemas, como centralizar las solicitudes que involucren otras áreas; al implementar consigo el proceso de PQRSD. En seguida, con la clasificación de eventos se procede a realizar un desarrollo de mesa de servicio conforme a los requerimientos funcionales y no funcionales enfocados a las necesidades de la empresa y al cumplimiento de los estándares de calidad basados en las buenas prácticas definidas.

Además, es importante llevar un seguimiento a las solicitudes que se reciben mediante un tablero de control que contenga el proceso realizado para su solución en donde se detalle el comportamiento de estos casos para proceder de manera óptima gracias a una medida preventiva de solución, la cual estará establecida en manuales de usuario, de tal manera que, se pueda autogestionar. Como consecuencia, la finalidad de contar con un repositorio de problemas solucionados permitirá la predicción de los mismos y así ofrecer un servicio adecuado para cada trámite.

## 2. METODOLOGÍA

La calidad de los Sistemas de Gestión del Servicio (SGS) es un factor que tiene gran importancia para atender los diferentes incidentes presentados tanto en las empresas de servicios generales como en las empresas en general. Para alcanzar dicha calidad se debe implementar los principios descritos en las ITIL, en su versión 4, con la normatividad ISO 20000:2018, de esta manera, se podrá crear una estructura con las mejores prácticas para la gestión de servicios de tecnologías de la información [3] todo esto alineado con los objetivos y metas de la organización.

La empresa utiliza herramientas para gestionar sus procesos con mayor eficiencia mediante las Tecnologías de la Información y Comunicaciones (TIC), como lo son: los servidores, una red interna con enrutamiento y control de firewall, estaciones de trabajo con su respectivo computador, impresoras, aplicaciones para el control de acceso, software especializado ERP para el manejo modular de las áreas de la empresa, etc. Es así que, estas herramientas deben tener un seguimiento para su funcionamiento adecuado, en otras palabras, se crea la necesidad de contar con un software capaz de manejar y gestionar los incidentes de una manera ágil [4], como resultado, se evitarán los tiempos muertos y la ineficiencia de los procesos, al no poder realizar/ejecutar las funciones que se deben realizar en el quehacer organizacional.

### 2. 1. Panorama Inicial

Es necesario establecer cuáles son los usuarios que van a interactuar con el sistema de mesa de servicio para la identificación de sus necesidades; el primer grupo se compone por los usuarios internos, que son el personal de todas las áreas articuladas al organigrama de la empresa; el otro grupo de usuarios, son los clientes y el personal operario encargado de realizar el aseo general que tiene la empresa, tal y como se refleja en la Tabla 1.

**Tabla 1.** Usuarios que componen el organigrama de la empresa.

Área	Tipo_Usuario	#_Personas
Auditoría	Interno	2
Ciente	Externo	9
Contabilidad	Interno	6
Contratación y Licitación	Interno	3
Gerencia	Interno	2
Inventario	Interno	3
Nómina	Interno	4
Operario	Externo	25
Recursos Humanos	Interno	4
Seguimiento	Interno	5
Sistemas	Interno	2
Tesorería	Interno	4

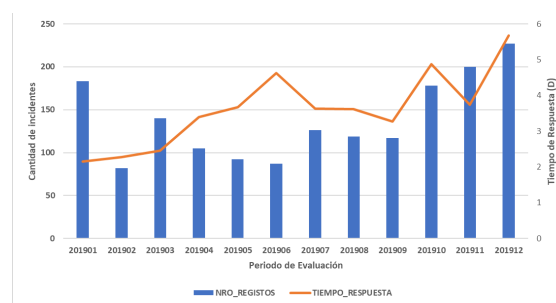
Los usuarios realizan sus actividades utilizando las TIC implementadas en la empresa, con la finalidad de lograr más eficiencia en los procesos al realizar seguimiento de sus actividades, de esta manera, la gerencia controla el manejo de su negocio. No obstante, en algunas ocasiones, se pueden presentar inconvenientes por diferentes motivos que encierra el ambiente tecnológico y humano, lo que ocasiona incidentes en el área de sistemas, asunto que requiere una solución oportuna.

Gracias a la observación realizada en la organización, los incidentes no tenían ningún seguimiento, se notó que algunas veces, se daba solución yendo al lugar donde se encontraba el usuario. Con base en lo anteriormente planteado, para este estudio se tomarán los datos de los

incidentes reportados durante el año 2019, los cuales se consolidan y se les agrega características importantes que servirán como primer análisis de cómo se encuentra la empresa del servicio en la gestión de sus incidentes y qué tan oportuna es su respuesta frente al tiempo de respuesta [5].

En consecuencia, los datos muestran que hay un incremento entre el primer y segundo semestre de más del 40% de la demanda de las solicitudes realizadas por los usuarios con un tiempo promedio de respuesta a la solicitud de 3,7 días aproximadamente, una respuesta muy demorada en comparación de los estándares que manejan la mesa de ayuda *Help Desk*.

Ahora bien, en el segundo semestre se implementó un plan piloto para las PQRSD [6], donde se quería hacer un seguimiento sobre cómo se sentían sus clientes con respecto a la prestación del servicio de la empresa; de este modo, evaluar las posibilidades de mejora y dar el plus de la realimentación que hace el cliente con la compañía. Para ilustrar lo mencionado, se muestra el comportamiento de los incidentes en la Figura 1:



**Figura 1.** Incidentes reportados con sus tiempos de respuesta para el año 2019.

### 2. 2. Metodología de selección de buenas prácticas de gestión de servicios

En razón a la necesidad encontrada en la organización, se diagnóstica la implementación de un sistema de gestión de servicio para el trámite de los problemas que se presentan en la compañía, principalmente, aquellos orientados a las TIC. Con base en la historia de la gestión que tuvo el incidente, también se tienen en cuenta elementos como

la solución que se va a aplicar, la respuesta en el menor tiempo posible y la satisfacción de los usuarios frente a las problemáticas expuestas.

En este sentido, implementar un software capaz de gestionar el servicio de la administración de incidentes, permitirá tramitar adecuadamente el problema y llegar a la solución para evitar tiempos muertos para los usuarios que presentan dichos inconvenientes. Para ello, es necesario incorporar el ciclo de vida definido por ITIL enfocado a las necesidades de la compañía, a continuación, se exponen:

### 2. 2. 1. Estrategia

Para definir la estrategia, es necesario saber lo que espera y requiere la empresa para la implementación del *Help Desk* con la gestión de incidentes de sus usuarios; por esta razón, se identifican las necesidades mediante el levantamiento de requerimientos [7], al establecer un contrato de desarrollo para una aplicación a la medida, como se muestra en la Figura 2:



**Figura 2.** Fases de procesos de la ingeniería de requerimientos.

Además, se define el rol principal de seguimiento administrado por el área de sistemas; dicha área es la encargada de liderar el estado de las TIC de la empresa y corroborar que estas se encuentren en óptimas condiciones para prestar el servicio, con la creación de un control de gestión para realizar procesos de mantenimiento y evitar tiempos muertos prolongados para los usuarios.

### 2. 2. 2. Diseño

La creación del diseño de servicio define un catálogo que es el encargado de realizar la oferta a los usuarios internos y externos sobre lo que va a atender el software especializado para la gestión de incidentes; este catálogo se va a crear con base a los problemas reportados durante el año 2019 y de algunas proyecciones que se realizarán

en el modelo analítico. La mesa de ayuda implementará diferentes servicios para cumplir los estándares de calidad, según lo muestra la Figura 3:



**Figura 3.** Diseño del servicio que ofrece el aplicativo *Help Desk*.

Los valores de entrada son los incidentes que generan los usuarios, quienes deberán clasificar su problema con un catálogo establecido para etiquetar los tipos de servicios que ofrecerá el aplicativo para así mejorar los tiempos de respuesta gracias a la claridad de la solicitud que se va a recibir.

### 2. 2. 3. Transición

La aplicación *Help Desk* pretende mejorar los tiempos de respuesta un 40% más eficiente, con el seguimiento de inicio a fin cada solicitud, en este sentido, se involucran en él las áreas asociadas para cada incidente para que se guarde el ciclo de vida de estas solicitudes en el sistema y se pueda utilizar posteriormente para mejorar la precisión y personalizar las soluciones para la satisfacción de los usuarios internos y externos.

Estos usuarios deben tener una plataforma donde puedan acceder por cualquier medio y dispositivo dependiendo de su rol y la urgencia que se tiene para las solicitudes; de tal manera que, se mantenga la integridad de la aplicación [8] mediante la autenticación que permita relacionar el rol específico para acceder a las funciones relacionadas en dichos roles.

### 2. 2. 4. Operación

La mesa de ayuda heredará las solicitudes realizadas durante el 2019, ya previamente analizadas y estandarizadas con la nueva estructura. Con ello, el servicio que prestará el aplicativo se realizará en un host en la nube para que esté disponible para los usuarios las 24 horas.

La necesidad latente, propia de esta aplicación, radica en la disponibilidad [9], para ello el área de sistemas deberá estar monitoreando el sitio en la nube y mantener los servicios en estados óptimos para el trámite de la mesa de ayuda.

### 2. 2. 5. Mejora continua

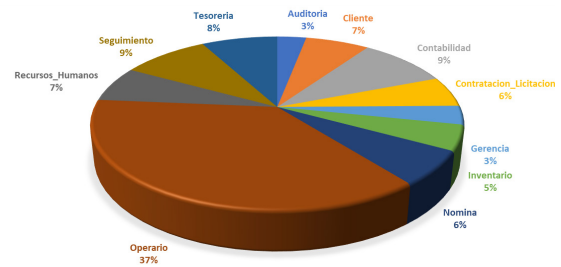
El catálogo que entraría a clasificar los incidentes de los usuarios es definido mediante un análisis descriptivo que empieza a categorizar los problemas registrados en el año 2019; con esto, se refinan las etiquetas mediante el modelo de predicción que dejará en evidencia los atributos con más afinidad del catálogo de servicios.

Los incidentes reportados contienen una tendencia de crecimiento, debido a que la compañía ha estado incrementando sus clientes en el último semestre del año 2019 y se requiere con urgencia la gestión óptima de los problemas de los usuarios. Además, es necesario que la aplicación contenga la historia del trámite de la solución al inconveniente; este *back up*, permitirá calcular nuevos servicios del catálogo, de esta manera, se volverá a actualizar con el modelo predictivo que se desarrolló.

### 2. 3. Modelamiento predictivo de incidentes

El proceso de manejo de incidentes, descrito en el panorama inicial, ilustró que había una pérdida de información del trámite del inconveniente, esto impedía el mejoramiento de la gestión del servicio. Una vez se reconoció el problema, el área de sistemas procedía a dar solución rápidamente y no prestaba atención a la relación de los casos reportados; concurriendo en procesos repetitivos en solicitudes con características similares de solución.

Por lo anterior, se procedió al levantamiento de toda la información de las solicitudes realizadas por los usuarios durante el 2019 y se comenzó a hacer un análisis descriptivo de cómo se encontraba la compañía con respecto a los tramites realizados para la solución de problemas. Esto se refleja en la distribución de solicitudes (ver Figura 4).



**Figura 4.** Distribución de solicitudes por áreas de la compañía.

La anterior figura ilustra que el área de Operarios fue la que realizó más solicitudes, debido a que son los empleados encargados de hacer labores de aseo directamente con los clientes. Al realizar esta prestación del servicio, se expone al empleado y este queda sin la atención directa o la solución a los posibles inconvenientes que se les pueda presentar. Con lo anterior, se puede observar que los operarios presentaban un problema en su ciclo de vida, ya que eran solicitudes que escalaban al área de Seguimiento sin que se hiciera control de la solución aplicada.

Otro elemento importante que debe tomarse en cuenta, son los tiempos de respuesta, considerados muy altos, de 3,7 días promedio por solicitud, dichos tiempos se encuentran fuera de los estándares de respuesta que se espera de una mesa de servicio [10]. Esto debido a que no se tiene implementado un atributo que permita medir el impacto que tiene esa solicitud con la continuidad del trabajo. Los tiempos se estipulan, según el estándar y la importancia que se tiene para el trámite de los incidentes, se definen en la Tabla 2.

**Tabla 2.** Tiempos de impactos para atender incidentes.

Tiempo atención incidentes		
Impacto	1° Respuesta	Max Tiempo
Alto	2H	24H
Medio	4H	60H
Bajo	4H	96H

En primer lugar, el impacto alto es aquel incidente que compromete TIC críticos y hace que las actividades en varias áreas sean interrumpidas por este, con una probabilidad de pérdida de información; En segundo lugar, el impacto medio es aquel que se compromete TIC que hacen que una o varias personas en algún área se encuentren comprometidas en la realización de sus actividades. Por último, el impacto bajo, compete a aquellos incidentes que compromete TIC no críticos hasta máximo un área donde evita la funcionalidad de un proceso interno de información.

Para la creación del catálogo de servicios que va a prestar la mesa de ayuda, se utilizará el Procesamiento de Lenguaje Natural (PNL), la cual hace parte del campo de conocimiento de la inteligencia artificial para predecir el tipo de inconveniente de los incidentes reportados en el año 2019 y así categorizarlos para que los usuarios puedan especificar el problema presentando; en consecuencia, se puede mejorar los pasos a seguir en la solución y mejora de los tiempos de respuesta.

Se utilizó la arquitectura de la librería open-source spaCy, desarrollada en un paquete de Python para el PNL [11], ya que proporciona funciones con modelos pre-entrenados que permite realizar el procesamiento del lenguaje mediante diferentes técnicas a través de la inteligencia artificial, como lo son las redes neuronales.

Para ello, esta librería interpreta un texto dependiendo del lenguaje seleccionado que en este caso es español con la referencia es\_core\_news\_lg [12] que son vectores de palabras con similitud y contiene grandes dimensiones de llaves y vectores únicos.

El primer paso es generar el texto para integrar al tubo de procesamiento de PNL, allí se debe seleccionar la información que se va a ingresar para empezar, en la base de consolidación de incidentes se carga en un DataFrame, utilizando las columnas CONSECUTIVO que permitirá identificar a que incidente hace referencia, con la combinación de campos OBSERVACIONES\_ENCARGADO que contiene el dictamen del problema que reportó el

usuario y SOLUCION\_APLICADA que hace referencia al proceso ejecutado para solucionar el problema.

El otro texto con el cual se quiere comparar es el borrador del catálogo que se preseleccionó analizando los casos que se encontraban en los consecutivos y se creó 20 categorías con 79 subcategorías, esto para realizar el primer análisis de los incidentes con respecto a este catálogo. Donde se realizó una asociación de palabras propias que caracterizan cada subcategoría; teniendo en cuenta la composición de la funcionalidad que contiene la tubería descrita en la Figura 5.

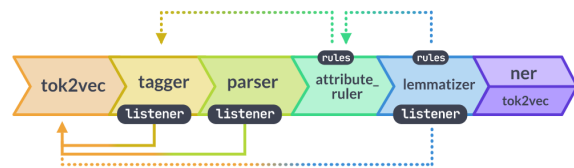


Figura 5. Diseño tubería CNN/CPU [13].

El primer paso que se realiza es tokenizar el texto, es decir, es la función de la tubería tok2vec capaz transformar en vectores cada una de las palabras para crear un etiquetado que contenga el texto y agregue atributos propios de cada palabra para poderlo identificar; este proceso lo realiza la funcionalidad que tiene la tubería de reglas de atributos, el cual describe cada una de las palabras del vector si es un adjetivo, adverbio, pronombre, verbo, sustantivo, conector, etc [14]. Este proceso de tokenizar se deberá aplicar para el texto creado de los incidentes y el texto creado con el catálogo propuesto.

El siguiente paso es uno de los más importantes, luego de realizar una limpieza en los vectores, donde las palabras irrelevantes se van a eliminar como lo son los conectores utilizando la función de attribute\_ruler; también se debe contar con los adverbios, términos numerales, eliminar signos de puntuación y listas de exclusión. Además, volver las palabras mayúsculas y aplicar la derivación regresiva, que hace referencia a la lematización de las palabras, es decir, dejándolas sin conjugar.

Después de seleccionar el método para realizar la comparación y evaluación de los textos para ver la



relación entre los incidentes reportados con el catálogo que se propone; el cual es la funcionalidad *similarity* que calcula la afinidad de un texto con el otro, comparando los documentos, intervalos y tokens que resultaron del tubo de procesamiento, ponderándolo de un número del 0 al 1, donde el 1 equivale el 100% de afinidad entre ambos textos.

Además, se utiliza incrustaciones de palabras con significados multidimensionales de una palabra generados por el algoritmo word2vec, el cual representa un grupo de modelos para producir *Word embeddings*, el cual vectoriza una palabra guardando información semántica de esta, este proceso permite realizar la asociación o disociación entre otros vectores dependiendo de sus contextos gramaticales; dichos vectores tienen como característica una longitud y una orientación, ubicados en planos multidimensionales [15].

Con ello, son ingresados para su entrenamiento en diferentes redes neuronales para su aprendizaje con asociación de relaciones complejas entre las palabras por conocer entre ellas su semántica; utilizando para estas asociaciones, un corpus de texto pre-entrenado con aproximaciones de verosimilitud logarítmica condicional [16].

A continuación, el paso a seguir, es unir la información generada en una tabla para poder seleccionar los cinco casos más propensos a asignarse a una subcategoría, para analizarlos y poderlos perfilar a la categoría que es la adecuada [17]. Además, se evidencia si se requiere agregar o eliminar etiquetas en el catálogo para refinar el resultado esperado.

#### 2. 4. Prototipo de aplicativo Help Desk

La importancia que tiene un *Help Desk* para una empresa es que centraliza todo el proceso de gestión de los incidentes, para mantener un control de la calidad de servicio con el fin de satisfacer de manera óptima la solución de los problemas con respuestas ágiles para que los usuarios retomen sus actividades en el menor tiempo posible. Con esto, es importante mantener el desarrollo

con un diseño estructurado para que este no haga perder el servicio de calidad que se espera.

Con lo anterior, se realizó un prototipo de software para la gestión de incidentes y documentación de manuales para soporte. Accesible a través de internet y con diseño para móviles.

#### 2. 4. 1. Requerimientos funcionales y no funcionales del sistema

Los Requerimientos Funcionales (RF) son aquellas descripciones explícitas del comportamiento, las cuales deben tener una solución de software, además, el conocimiento de la información que debe manejar según la necesidad planteada por el cliente [18]. De otro lado, los requerimientos no funcionales (RNF) son aquellas propiedades que va a tener el sistema, como lo son la disponibilidad y el rendimiento; realizando este proceso según las necesidades de la empresa, se genera las siguientes funcionalidades:

- RF01: Disponibilidad de servidor para alojar contenedores Docker. Prioridad- primario.
- RF02: Garantizar el acceso a la página desde cualquier dispositivo (Responsive Design). Prioridad – primario.
- RF03: Permitir la consulta de manuales de usuario en cualquier momento. Prioridad – primario.
- RF04: Asegurar la integridad de los incidentes abiertos, así como su gestión en todas sus etapas. Prioridad – primario.
- RF05: Garantizar la seguridad de las sesiones de los usuarios, así como el cifrado de sus datos sensibles. Prioridad – primario.
- RF06: Garantizar la escalabilidad del programa (tanto horizontal como vertical) en caso de ser requerido. Prioridad – primario.
- RNF01: Elaborar una interfaz amigable al usuario cumpliendo requisitos de UI/UX. Prioridad – secundario.
- RNF02: Mantener la imagen institucional en el diseño del programa. Prioridad – secundario.

### 2. 4. 2. Diagrama general de caso de uso

De acuerdo con las definiciones y especificaciones de los requerimientos, el paso a seguir es reflejar estas funcionalidades requeridas mediante los casos de uso con la interacción que se va a tener con los usuarios y el sistema en general, como se observa en la Figura 6.

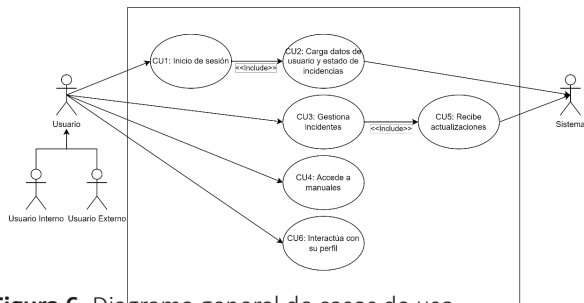


Figura 6. Diagrama general de casos de uso.

### 2. 4. 3. Modelo de Persistencia

Para la definición del modelo de persistencia se tuvieron en cuenta criterios de *Open Source* [19] y con una documentación de implementación ágil; dicho sistema de gestión de base de datos fue el motor MySQL. En la Figura 7 se puede observar el modelo entidad relación utilizado para la base de datos.

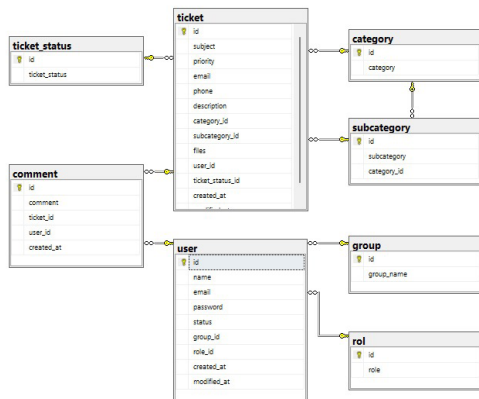


Figura 7. Diagrama entidad relación para el modelo de persistencia.

### 2. 4. 4. Arquitectura del Help Desk

Como se requiere que la aplicación este accesible a través de internet, se implementó una solución basada en servicios distribuidos en contenedores usando Docker; teniendo como sistema operativo base Ubuntu 20.04

(Focal Fossa) alojado en un servidor virtual Droplet de *Digital Ocean* [20].

Para mejorar su rendimiento, se utiliza un balanceador para optimizar el consumo de red, así como, para controlar las peticiones y configuración de servicio para denegar o permitir accesos. Como gestor de contenedores se implementa *Docker-compose* [21] para su redistribución y escalamiento.

Además, se separan los servicios de la APP (PHP/Apache), del SGBD (MySQL) y del administrador de base de datos (PHPMyAdmin) en los puertos 80, 3306 y 8000 respectivamente.

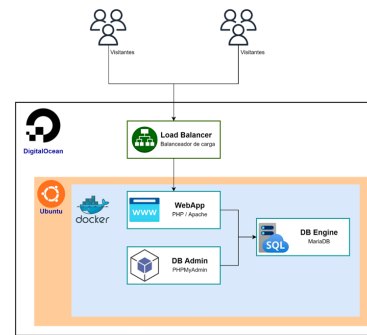


Figura 8. Arquitectura de implementación.

### 2. 4. 5. Implementación del Software - GUI

La interfaz de usuario (GUI) utilizado en la aplicación está definido con la utilización de estilos definidos en el CSS que nos ofrece el *framework Bootstrap* en su versión 5 como diseño y Javascript VanillaJS basado en ecmaScript en su versión 6 para interacción con el usuario. La plataforma está diseñada bajo el concepto *mobile-first*, optimizando la experiencia en dispositivos móviles.

### 2. 4. 6. Desarrollo de Software

El lenguaje de programación utilizada para el desarrollo *backend* de la mesa de ayuda fue PHP en su versión 7.4, por su versatilidad, orientado a aplicaciones web y el uso del paradigma de Programación Orientado a Objetos (POO). Además, seleccionar el patrón de arquitectura MVC (Modelo Vista Controlador) y TDD (*Test Driven Development*). Con el fin de facilitar el manejo de pruebas

unitarias, despliegues continuos y escalabilidad para nuevas funciones.

El diagrama UML del MVC de la aplicación, como se muestra en la Figura 9 se compone de las siguientes partes:

- Clase Database: Crea la conexión a la base de datos (indiferente al motor de base de datos a través del parámetro engine).
- Clase Modelo: Recibe los parámetros de consulta a través de la implementación de PDO de PHP en forma nativa, usando los métodos Query y Prepare para ejecución directa y ejecución con sentencias preparadas a fin de evitar problemas de inyección SQL y rendimiento.
- Clase Controlador:
  - Recibe parámetros desde la URL para asignar a cada uno de los controladores del módulo, carga el modelo de cada módulo para su interacción con la vista y el controlador.
  - Valida los datos enviados a través de POST y GET, así como implementación de archivos a través de \$\_FILES.
  - Gestiona la sesión del usuario a través de sesiones del sistema con \$\_SESSION.
- Clase Vista: Muestra la información proveniente del controlador, así como genera los formularios necesarios para la interacción con el modelo.

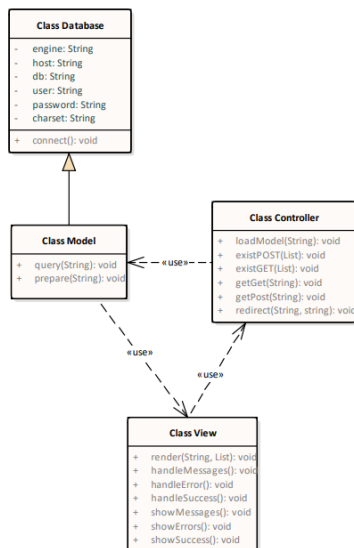


Figura 9. Diagrama UML de APP bajo MVC.

La clase de usuario, la cual se evidencia en la Figura 10, extiende de la clase modelo para usar sus métodos implementando una interface IModel para usar los métodos *Save*, *Get*, *GetAll*, *Delete* con el fin de asegurar la integridad del módulo Usuario. La clase modelo implementa a su vez los métodos de la clase nativa de PHP PDO para lenguaje estructurado en consultas a bases de datos.

```

class UserModel extends Model implements IModel{

    private $id;
    private $employeeId;
    private $name;
    private $email;
    private $password;
    private $status;
    private $groupId;
    private $groupName;
    private $roleId;
    private $roleName;
    private $createdAt;
    private $modifiedAt;

    public function __construct(){
        parent::__construct();
        $this->employeeId=0;
        $this->name='';
        $this->email='';

        $this->password='';
        $this->status=false;
        $this->groupId=0;
        $this->roleId=0;
        $this->createdAt='';
        $this->modifiedAt='';
    }
}
    
```

Figura 10. Clase de Usuarios con implementación Constructor POO PHP.

#### 2. 4. 7. Control de Versiones

Para el Sistema de Control de Versiones (VCS) se implementa GIT bajo la plataforma Gitlab, por su concepto de eficiencia y la confiabilidad, utilizando *gitflow* para el correcto manejo de las ramas dentro del repositorio. Se usó la rama *develop* para salida a master una vez aprobados los PR de los *features* realizados; todo esto basado en entregables asociados por *Sprint*. La funcionalidad de las ramas se representa en la Figura 11 y se encargan de lo siguiente:

- Rama *master*: una de las ramas principales y obligatorias, son las versiones estables del desarrollo, donde mediante comando *commit* realizada en la rama *develop*, se

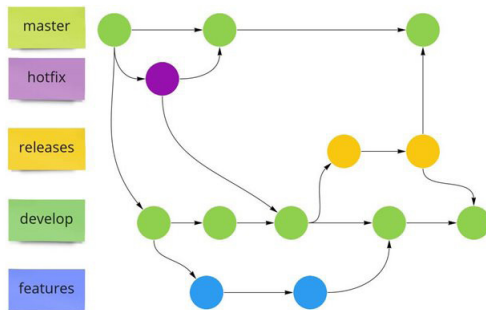
procederá a subir a producción.

- Rama *hotfix*: rama secundaria o de función que no es obligatoria, basada en la rama *master* que se encarga de reparar o corregir funcionalidades de las versiones publicadas. Cuando cumple su objetivo se fusiona con la rama *master*.

- Rama *releases*: rama secundaria o de función que no es obligatorio, basada en la rama *develop*, donde contiene el código desarrollado que se encuentra estable y está próximo a salir en algún despliegue a producción. Cuando cumple su objetivo se fusiona con la rama *master* y *develop*.

- Rama *develop*: una de las ramas principales y obligatorias, contiene el histórico de los desarrollos realizados. Creada a partir de la rama *master*.

Rama *feature*: rama secundaria o de función que no es obligatoria, basada en la rama *develop*, donde se encuentra nuevas características de desarrollo. Cuando cumple su objetivo se fusiona con la rama *develop*.



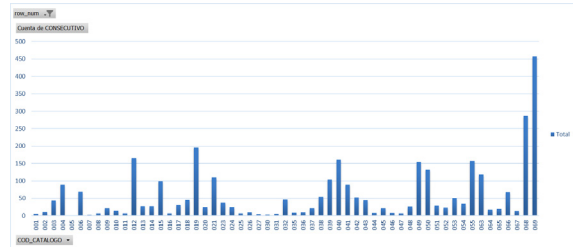
**Figura 11.** Ramas implementadas durante el desarrollo de un proyecto [22].

### 3. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

La importancia de un control en el servicio de la mesa de ayuda, es fundamental para alcanzar objetivos de eficiencia que espera la empresa; con la implementación de un software que se encargue de inicio a fin la gestión realizada por los incidentes reportados de los usuarios, permitiendo mejorar el tiempo y el tipo de solución de estos.

En primera instancia, el modelo predictivo permitió generar el catálogo para la organización de incidentes,

mostrando en sus análisis ver la tendencia de los problemas que presentan los usuarios. Dicho modelo será más efectivo si se tiene la historia de la gestión y muchos más casos guardados en el repositorio de datos. El modelo arrojó la afinidad que se tenía en cada subcategoría, se emuló varias veces y se acortó a 18 categorías y 69 subcategorías, que son las más relevantes.



**Figura 12.** Distribución de similitud de los incidentes con el catálogo refinado.

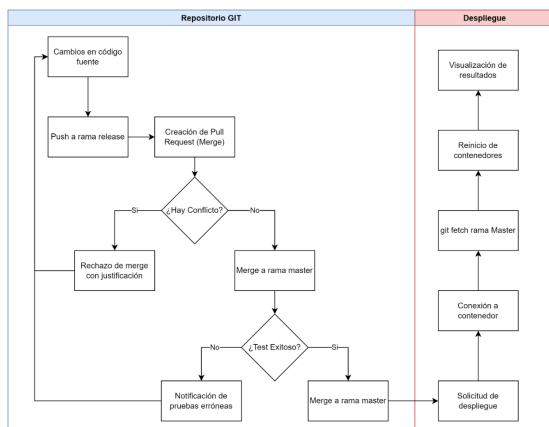
Además, gracias a la implementación del aplicativo y la asignación de impactos en los tiempos de respuesta, se espera reducir del 3,7 a 2,2 ~ 2 días, teniendo presente que el 21% de los incidentes se demoraron su trámite entre 6 o más días (con base a la tabla impacto). También por la accesibilidad que tiene la aplicación, que independientemente donde se encuentre (usuarios externos) se puede acceder por medio de un dispositivo móvil sin perder tiempo hasta tener a la mano un ordenador.

Con la definición de los servicios que se van a presentar, se procede a realizar una aplicación de mesa de ayuda enfocada a la calidad de servicio con regulación ITIL y control con la ISO 20000 para la estructuración de los módulos con la gestión adecuada para la demanda de la empresa; centralizando la gestión de dichos servicios con el soporte detallado de cada una de las categorías, con ello, establecer unos manuales de usuario capaz de describir algunos servicios para que haya una posibilidad de que el mismo pueda solucionar su inconveniente y descongestionar el área de sistemas.

Con la implementación del control de versiones se evidenció entregas conforme con los tiempos estipulados, los cuales fueron seis (6), manejando en el desarrollo

las ramas de main, develop y releases. En cada entrega se pretende proporcionar cada uno de los módulos desarrollados, según los *sprint*.

A partir de los *sprint* se tuvo interacciones de aproximadamente 2 semanas, basándose en su metodología y demanda de la empresa. En total fueron 4 *sprint*, teniendo en cuenta que para los despliegues continuos no se usó herramientas de automatización CI/CD como Jenkins por temas de tiempo y programadores asignados, todo basado en flujo de despliegue que se muestra en la Figura 13.



**Figura 13.** Modelo de despliegue continuo a través de git.

#### 4. CONCLUSIONES

El cambio de las condiciones y control de gestión de servicio, son elementos de gran impacto para las mediciones de calidad que espera el área de sistemas y la empresa en general. En donde se le dio importancia al servicio cuando los tiempos de respuesta empezaron a aumentar por la falta de control, como se evidenció en el análisis de levantamiento y perfilación del catálogo.

Al implementar un aplicativo que contiene en su estructura un control de gestión de los incidentes, permite que se instaure una administración de calidad de los trámites que se tienen pendientes para no sobrepasar los tiempos límite que se establecieron con base en los requerimientos funcionales.

Con la organización de la información que se realizó conforme a las necesidades del modelo, se evidenció falencias en toda la gestión de los incidentes, de lo cual no se tenía un control específico en el ciclo de vida, en alguno de sus casos. Dicha situación ocasionó que se perdiera la gestión en alguna parte del ciclo de vida del incidente. Para ello, el modelo entró a organizar todos estos incidentes con la propuesta de un catálogo de servicios que se encargaría de organizar mediante una predicción del problema planteado con la solución que se espera.

Las métricas levantadas en la ejecución del todo el proceso que contiene el Procesamiento de Lenguaje Natural donde se evidencia que el consumo de recursos informativos (16 GB RAM, 512 GB SSD, Intel i7-9750H 2.60 GHz) es realmente demandante, teniendo presente la cantidad de información procesada se demora en promedio 20 min en su ejecución, donde el 86,8% de este tiempo únicamente se utiliza para la preparación y ejecución de la red neuronal.

La combinación del control de calidad de servicio, implementación de una estructura enfocada al servicio, el modelo predictivo para establecer los servicios prestados y la aplicación que permite la gestión de los incidentes de los usuarios permitirá organizar tanto el área de sistemas como las áreas involucradas para que tengan una solución basada en estándares de calidad, para solventar los problemas y evitar tiempos muertos en la empresa.

#### 5. AGRADECIMIENTOS

Los autores desean agradecer a la Universidad Distrital Francisco José de Caldas y al Grupo de Investigación GESETIC, que hicieron posible este estudio y, consigo, llegar al resultado para mejorar un proceso tan importante para la empresa.

## REFERENCIAS

- [1] G. Villegas, "Modelo estadístico pedagógico para la toma de decisiones administrativas y académicas con impacto en el mejoramiento continuo del rendimiento de los estudiantes universitarios, basado en los métodos de selección CUR", Tesis doctoral, Departamento de Estadística, Universidad de Salamanca, Salamanca, España, 2018.
- [2] M. Honnibal (2022, June 10). Library Architecture - Processing pipeline [Online]. Available: <https://spacy.io/api>.
- [3] J. Rubio & M. Arcilla, "How to Optimize the Implementation of ITIL through a Process Ordering Algorithm", MDPI, *Applied Sciences*, 10(1), 34, pp. 1-4, December, 2019. <https://doi.org/10.3390/app10010034>
- [4] G. Garzón, J. Merchán y K. Morea, "Implementación de buenas prácticas basadas en ITIL 4 e ISO 20000 para la gestión de incidentes y reducción de riesgos del service desk de la empresa INGEAL S.A", Tesis pregrado, Facultad de Ingeniería, Universidad Cooperativa de Colombia, Bogotá, Colombia, 2020.
- [5] F. AL-Hawari & H. Barham, "A machine learning based help desk system for IT service management", *Journal of King Saud University - Computer and Information Sciences*, Vol. 33 (6), July 2021. <https://doi.org/10.1016/j.jksuci.2019.04.001>
- [6] A. Vargas y C. González, "Diseño del módulo de PQRS para la recepción de inquietudes del portal orientación de la Empresa Universia Colombia", Tesis pregrado, Facultad de Ingeniería, Universidad Católica de Colombia, Bogotá, Colombia, 2021.
- [7] A. Bonilla, L. Cortés y M. Cortés, "Diseño y elaboración de una Guía Metodológica para el levantamiento de requerimientos en proyectos de implementación de Sistemas de Gestión Financiera para empresas en Colombia", Tesis maestría, Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito, Bogotá, Colombia, 2022.
- [8] F. Novello y P. Forcart, "Implementación de Mejores Prácticas ITIL", Tesis Licenciatura, Universidad Nacional del Noroeste de la Provincia de Buenos Aires, Buenos Aires, Argentina, 2020.
- [9] S. Chisco, J. Gutiérrez, N. Guzmán y C. Santiago, "Gestión de Servicios de Tecnología de Información usando ITIL en MYPIME", 16th LACCEI International Multi-Conference for Engineering, Education, and Technology, Lima, Perú, 2018, p. 11.
- [10] S. Becerra, "Implementación del proceso de gestión de incidentes y su influencia en el servicio de atención y soporte de tecnología de información en el área de help desk del proyecto gold fields salares norte, 2018", Universidad Nacional de Cajamarca, Escuela de Posgrado, Perú, 2021.
- [11] N. Colic & F. Rinaldi, "Improving spaCy dependency annotation and PoS tagging web service using independent NER services", *Genomics & Informatics*, 17(2): e21, 2019. <https://doi.org/10.5808/GI.2019.17.2.e21>
- [12] D. Sammy, "Reconocimiento y clasificación de entidades nombradas en textos legales en español", Sociedad Española para el Procesamiento del Lenguaje Natural, España, 2021.
- [13] M. Honnibal (2022, June 09). Industrial- Strength Natural Language Processing [Online]. Available: <https://swatimeena989.medium.com/training-word2vec-using-gensim-14433890e8e4>.
- [14] A. Fardeen (2021, Agosto 13), Tutorial on Spacy Part of Speech (POS) Tagging [Online], Machine Learning Knowledge – MLK, Available: <https://machinelearningknowledge.ai/tutorial-on-spacy-part-of-speech-pos-tagging/>.
- [15] Enzyme advising group (2019, agosto 16), Natural Language Processing: ¿cómo es la técnica Word Embeddings? [Online], Available: <https://blog.enzymeadvisinggroup.com/natural-language-processing>.
- [16] M. Gregoryev, "Generación de textos en ruso mediante técnicas de Aprendizaje Automático para la industria del lenguaje", Tesis pregrado, Universitat Politècnica de València, 2022
- [17] B. Jang, I. Kim and J. W. Kim, "Word2vec convolutional neural networks for classification of news articles and tweets". *PloS one*, 2019.

- [18] IIBA, "A Guide to the Business Analysis Body of Knowledge (BABOK)", Vol. 3, International Institute of Business Analysis, 2015.
- [19] Red Hat (2019, October 24), ¿Qué es el open source?, [Online], Available: <https://www.redhat.com/es/topics/open-source/what-is-open-source>
- [20] DigitalOcean (2022, June 14), Simpler cloud, Happier devs, Better results [Online], Available: <https://www.digitalocean.com/>.
- [21] Docker docs (2022, June 10), Overview of Docker Compose [Online], Available: <https://docs.docker.com/compose/>.
- [22] P. Borja (2021, abril 30), Cinco Git Workflows para mejorar nuestros proyectos, BabelGroup [Online], Available: <https://www.babelgroup.com/es/Media/Blog/Abril-2021/Cinco-Git-Workflows-para-mejores-proyectos>.

## EVALUATION OF THE STRUCTURAL, MORPHOLOGICAL MAGNETIC PROPERTIES OF THE $\text{Bi}_{1-x}\text{Sm}_x\text{FeO}_3$ SYSTEM

### Evaluación de las propiedades estructurales, morfológicas y magnéticas del sistema $\text{Bi}_{1-x}\text{Sm}_x\text{FeO}_3$

Iván Fernando Betancourt Montañez<sup>1</sup>, Christian Fabián Varela Olivera<sup>2</sup>, Julián A. Munevar Cagigas<sup>3</sup>, Santiago Sandoval Gutiérrez<sup>4</sup>, César Armando Ortiz Otálora<sup>5</sup>, Carlos A. Parra Vargas<sup>6</sup>, Claudia Liliana Sánchez Sáenz<sup>7</sup>

<sup>1-2-6</sup> Grupo GFM, Facultad de Ciencias, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, Tunja, Boyacá, Colombia. <sup>1-4</sup> Grupo de Sistemas Dinámicos, Universidad de los Llanos, km 12 Vía a Puerto López, Villavicencio, Meta Villavicencio, Colombia. <sup>3</sup>CCNH, Universidade Federal do ABC (UFABC), Santo André, SP 09210-580, Brasil. <sup>5</sup> Grupo GSEC, Facultad de Ciencias, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, Tunja, Boyacá, Colombia. <sup>7</sup> Grupo de Investigación en Telemática y TIC aplicada a la Educación, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, Tunja, Boyacá, Colombia. Email: <sup>1</sup>ivanbetancourt5@gmail.com, <sup>2</sup>christian.varela@uptc.edu.co, <sup>3</sup>julian.munevar@ufabc.edu.br, <sup>4</sup>ssandoval@unillanos.edu.co, <sup>5</sup>cesar.ortiz@uptc.edu.co, <sup>6</sup>carlos.parra@uptc.edu.co, <sup>7</sup>claudialiliana.sanchez1@uptc.edu.co

(Recibido 01 de julio de 2022 y aceptado 05 de agosto de 2022)

#### Resumen

Este artículo reporta la síntesis del sistema  $\text{Bi}_{1-x}\text{Sm}_x\text{FeO}_3$  ( $x = 0.00, 0.02, 0.04, 0.06, 0.08$  y  $0.10$ ) obtenido por el método de reacción en estado sólido a 1073.15 K durante 15 h. La caracterización permitió evaluar el efecto de la inserción de  $\text{Sm}^{3+}$  sobre las propiedades estructurales, morfológicas y magnéticas de la ferrita de bismuto. La caracterización estructural se realizó mediante Difracción de Rayos X (XRD) y refinamiento de Rietveld, lo que indica la formación de una fase romboédrica mayoritaria del grupo espacial R3c (161) con una proporción superior a la reportada hasta ahora. La caracterización morfológica mediante microscopía electrónica de barrido (SEM) permitió concluir que la inserción de samario disminuye el tamaño de partícula de 7.5  $\mu\text{m}$  a 2.5  $\mu\text{m}$ , gracias al menor radio iónico, que también condujo a la contracción de los parámetros reticulares. El análisis magnético mostró un comportamiento ferromagnético típico en todas las muestras sintetizadas, con la presencia de una transición PM-AFM a 260 K.

**Palabras clave:** estado sólido, ferrita de bismuto, samario, dopaje.

#### Abstract

This paper reports the synthesis of the  $\text{Bi}_{1-x}\text{Sm}_x\text{FeO}_3$  system ( $x = 0.00, 0.02, 0.04, 0.06, 0.08$  and  $0.10$ ) obtained by the solid-state reaction method at 1073.15 K for 15 h. Characterization allowed evaluating the effect of  $\text{Sm}^{3+}$  insertion on the structural, morphological and magnetic properties of the bismuth ferrite. Structural characterization was made by X-ray Diffraction (XRD) and Rietveld refinement, indicating the formation of a rhombohedral majority phase of the space group R3c (161) with a proportion higher than the reported up to now. The morphological characterization through scanning electron microscopy (SEM) allowed concluding that the insertion of samarium decreases the particle size from 7.5  $\mu\text{m}$  to 2.5  $\mu\text{m}$ , thanks to the smaller ionic radius, which also led to the contraction of the lattice parameters. The magnetic analysis showed a typical ferromagnetic behaviour in all of the synthesized samples, with the presence of a PM-AFM transition at 260 K.

**Key words:** solid-state, bismuth ferrite, samarium, doping.



## 1. INTRODUCTION

Bismuth ferrite ( $\text{BiFeO}_3$ ) is a multiferroic material that exhibits multiferroic properties dependent on its electrical polarization, magnetization, and elasticity. Among the properties are ferroelectricity, ferromagnetism, ferroelasticity at room temperature, high Curie and Neel temperature ( $T_C \sim 1103\text{K}$ ,  $T_N \sim 643\text{K}$ ) [1].  $\text{BiFeO}_3$ -type materials are distorted perovskites with a rhombohedral space group  $R3c$  (167) [2]. Moreover, they are antiferromagnetic at room temperature and are arranged with a G-type spin configuration along the (1 1 1) or (0 0 1) direction in the rhombohedral structure.

Despite its relevant properties,  $\text{BiFeO}_3$ -type materials present secondary crystalline phases due to the Bi/Fe imbalance or loss of Bi [3]. Doping with rare earth elements from the lanthanide group in  $\text{BiFeO}_3$  leads to structural distortions, which can improve the ferromagnetic or ferroelectric properties. This allows for technological applications such as: magnetic sensors, energy conversion, devices used in spintronics, magnetoelectric random access memories (MERAM) and other types of sensors [4].

In this work, the  $\text{Bi}_{1-x}\text{Sm}_x\text{FeO}_3$  system (0.00, 0.02, 0.04, 0.06, 0.08 and 0.10) was produced by the solid-state reaction method and then characterized, in order to study the effect of samarium doping on the morphological, structural and magnetic properties.

## 2. EXPERIMENTAL CONDITIONS

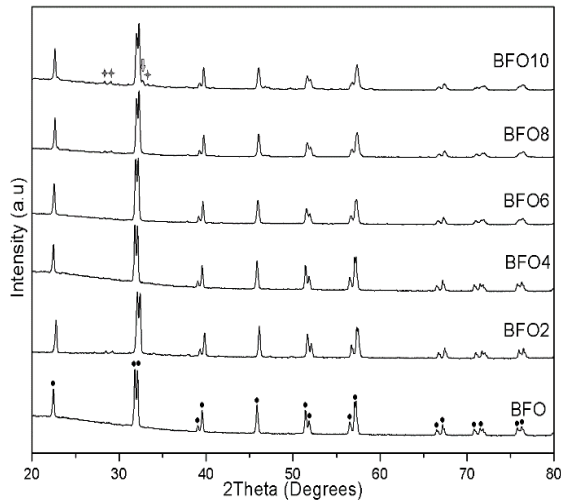
All of the materials were prepared through the solid-state reaction method, using the following precursors:  $\text{Bi}_2\text{O}_3$  (99.999%),  $\text{Sm}_2\text{O}_3$  (99.99%) y del  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  (98.9%). Stoichiometric mixtures according to chemical formula  $\text{Bi}_{1-x}\text{Sm}_x\text{FeO}_3$  with  $x = 0, 0.02, 0.04, 0.06, 0.08$  and  $0.1$  were ground for 2 hours, pressed into pellets under axial pressure of 5.0 MPa and sintered at 1063.15 K for 15 hours.

Structural analysis was performed by X-ray Diffraction using a Panalytical X'Pert Pro equipment, with  $\text{CuK}\alpha$  radiation ( $\lambda = 1.5406 \text{ \AA}$ ), and a scanning step of  $2.0^\circ$  in the  $2\theta$  range  $20-80^\circ$ . GSAS [5] and PCW [6] software suites were used to make a structural refinement by the Rietveld method, and VESTA [7] software package allowed the 3D representation of the unit cell.

Morphological study of the samples was carried out by Scanning Electron Microscopy (SEM) at 2000x, using a JEOL JSM 6490-LV equipment at 20 kV. Finally, magnetic analysis of the samples was made with a vibrating sample magnetometer VersaLab model from Quantum Design, measurements were made as a function of the applied field at room temperature with a field range between 30 kOe and -30 kOe, and magnetization as a function of temperature (from 2 to 340 K) at constant fields of 5000 kOe.

## 3. RESULTS AND DISCUSSION

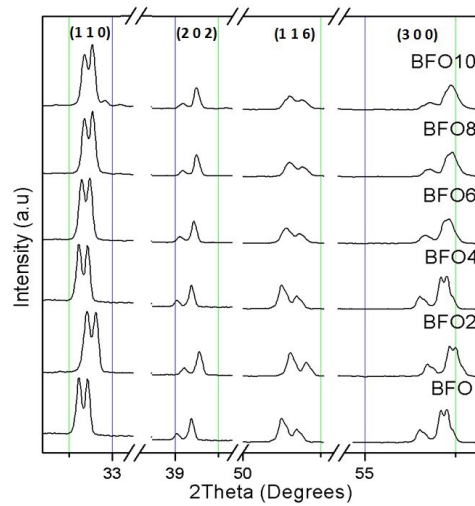
Obtained diffractograms for the  $\text{Bi}_{1-x}\text{Sm}_x\text{FeO}_3$  system are shown in Fig. 1. Samples were labelled as a function of the value of  $x$  as BFO, BFO2, BFO3, BFO4, BFO6, BFO8 and BFO10 for 0.00, 0.02, 0.04, 0.06, 0.08 and 0.10, respectively. Except for the BFO sample, the others exhibited a predominant crystal phase corresponding to bismuth ferrite ( $\text{BiFeO}_3$ , JCPDS 01-073-0548) with a rhombohedral structure of space group  $R3c$  (161), and a secondary crystal phase corresponding to  $\text{Bi}_2\text{Fe}_4\text{O}_9$  with orthorhombic structure of space group  $\text{Pbam}$  (55). Formation of secondary crystal phase can be attributed to low thermal stability of  $\text{BiFeO}_3$  crystal phase, and bismuth volatilization [8].



**Figure 1.** X-ray diffractograms of the  $\text{Bi}_{1-x}\text{Sm}_x\text{FeO}_3$  samples: • main phase ( $\text{BiFeO}_3$ ), •  $\text{Bi}_2\text{Fe}_4\text{O}_9$  phase.

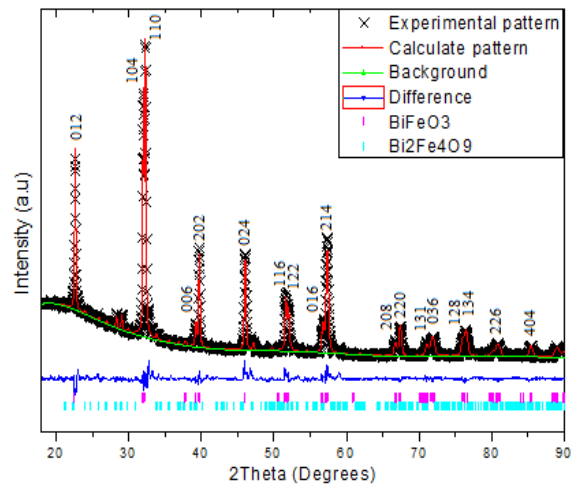
In addition, doublet peaks are characteristic of the  $\text{BiFeO}_3$  crystal phase. Therefore, by increasing the  $\text{Sm}^{3+}$  concentration, the peak intensity decreased. This confirms the suitable  $\text{Sm}^{3+}$  insertion in the host structure and a change in the crystal structure from a rhombohedral phase to an orthorhombic phase [9].

Fig. 2 shows enlarged XRD peaks located at  $2\theta$  values about 32, 39, 52 and  $57^\circ$ , matching with the (1 1 0), (2 0 2), (1 1 6) and (3 0 0) crystalline planes of the face rhombohedral structure, respectively. By increasing the  $\text{Sm}^{3+}$  concentration, the XRD peaks were shifted toward higher  $2\theta$  angles, which indicate that the unit cell was contracted. This behaviour is attributable to the smaller ionic radius of  $\text{Sm}^{3+}$  ( $r = 1.08 \text{ \AA}$ ) regarding  $\text{Bi}^{3+}$  ( $r = 1.40 \text{ \AA}$ ) [10].



**Figure 2.** Enlarged XRD peaks located at  $2\theta$  values about 32, 39, 52 and  $57^\circ$ .

Fig. 3 shows the refined XRD patterns for BFO10 sample. x symbols identify the experimental diffractogram, bars are the Bragg positions of identified crystal phases; green, red and blue lines are the calculated pattern, experimental difference and background, respectively. The increase in the  $\text{Sm}^{3+}$  concentration led to a contraction of the lattice parameters (Table 1), which is consistent with the shift of the XRD peaks and confirms the suitable  $\text{Sm}^{3+}$  insertion in the host structure. On the other hand, the residual factors are considerably low, indicating a high reliability of the data obtained.

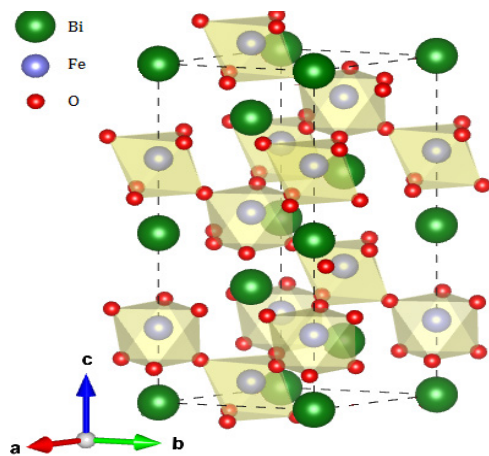


**Figure 3.** Refined XRD patterns for BFO10 sample.

**Table 1.** Lattice parameters and residual factors obtained from the Rietveld refinement.

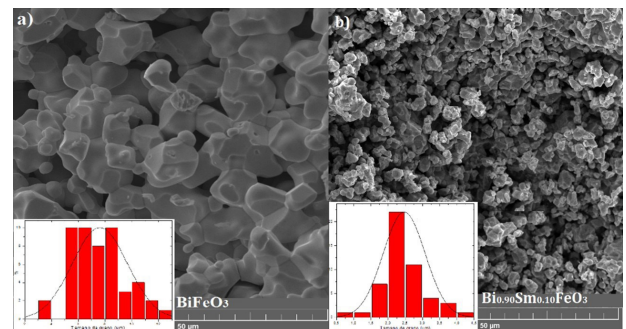
$x$	Fase	$a$ (Å)	$b$ (Å)	$c$ (Å)	$R$ (%)	$\chi^2$
0.00	<i>R3c</i>	5.5690	5.5690	13.846	0.065	2.292
0.02	<i>R3c</i> (88%)	5.5704	5.5704	13.845	0.095	2.548
	<i>Pbam</i> (12%)	7.9586	8.4516	6.001		
0.04	<i>R3c</i> (85%)	5.5678	5.5678	13.830	0.075	2.655
	<i>Pbam</i> (15%)	7.9673	8.4285	6.0209		
0.06	<i>R3c</i> (95%)	5.5626	5.5626	13.805	0.071	2.794
	<i>Pbam</i> (5%)	7.9219	8.4127	5.9866		
0.08	<i>R3c</i> (92%)	5.5650	5.5650	13.812	0.066	3.721
	<i>Pbam</i> (8%)	7.8668	8.3355	5.9180		
0.10	<i>R3c</i> (90%)	5.5635	5.5635	13.806	0.098	4.360
	<i>Pbam</i> (10%)	7.9550	8.4322	5.9913		

Fig. 4 displays the schematic crystal structure of  $\text{BiFeO}_3$  unit cell. The (0 0 1) crystal orientation is equivalent to (1 1 1) of the cubic structure [11]. According to the representation,  $\text{BiFeO}_3$  unit cell volume and lattice parameters are depending on the molar ratio of  $\text{Sm}^{3+}$  in the host material

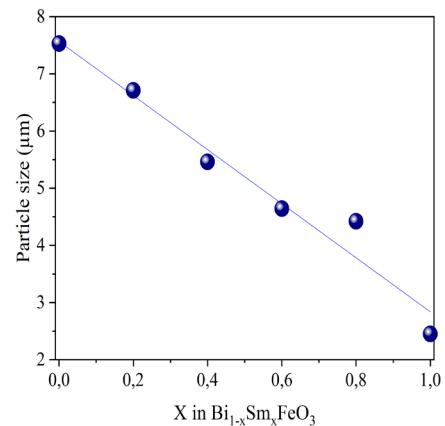


**Figure 4.** Schematic crystal structure of  $\text{BiFeO}_3$  unit cell.

SEM images at 2000x of the BFO and BFO10 samples are shown in Figs 5a) and 5b), respectively. The SEM images show interconnected particles with well-defined edges, irregular shapes and sizes. This morphology is characteristic of  $\text{BiFeO}_3$ -type materials [8]. Particle size distribution was analysed using Image J software, being between 2.5 and 7.5 nm. By increasing  $\text{Sm}^{3+}$  the size of the particles decreased proportionally (see Fig. 6). This behaviour is attributable to the insertion of  $\text{Sm}^{3+}$  into the host structure and it can be correlated with the structural analysis.



**Figure 5.** Images and particle size distribution of a) BFO and b) BFO10 samples.



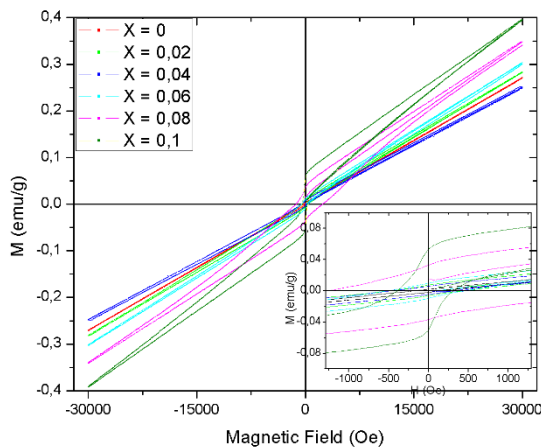
**Figure 6.** Particle size as a function of  $x$  in the  $\text{Bi}_{1-x}\text{Sm}_x\text{FeO}_3$  system.

Fig. 7 shows the magnetic hysteresis loops at room temperature for the  $\text{Bi}_{1-x}\text{Sm}_x\text{FeO}_3$  samples, with  $x = 0, 0.02, 0.04, 0.06, 0.08$  and  $0.1$ . Samples showed a linear increase in magnetization by increasing the applied field,

which is characteristic of the bismuth ferrite systems. Moreover, they did not exhibit a magnetic saturation, which is attributed to antiferromagnetic ordering and spin structure in the material [12].

The zoom-in section of hysteresis loops shows that the host structure ( $\text{BiFeO}_3$ ) had a remanent magnetization  $\sim 2,02 \times 10^{-3}$  emu/g and a coercive field  $\sim 178.8$ . This bismuth ferrite exhibits a G-type antiferromagnetic ordering, with a magnetic moment caused by a cycloid-type spatial spin of size  $\sim 620 \text{ \AA}$  [13-15]. On the other hand, the weak ferromagnetism at room temperature observed in the samples is mainly due to a distribution  $\text{Fe}^{2+}$  and  $\text{Fe}^{3+}$  ions to achieve compensation of oxygen vacancies and whose interaction leads to the observed spontaneous magnetization [16].

In addition, remanent magnetization and coercive field increased regarding  $\text{Sm}^{3+}$  proportion in the system (see Table 2). This increase may be explained by the collapse of the space-modulated spin structure leading to a high-range inclined antiferromagnetic order and possibly a higher degree of inclination [17].



**Figure 7.** Magnetization as a function of magnetic field at room temperature of the  $\text{Bi}_{1-x}\text{Sm}_x\text{FeO}_3$  samples.

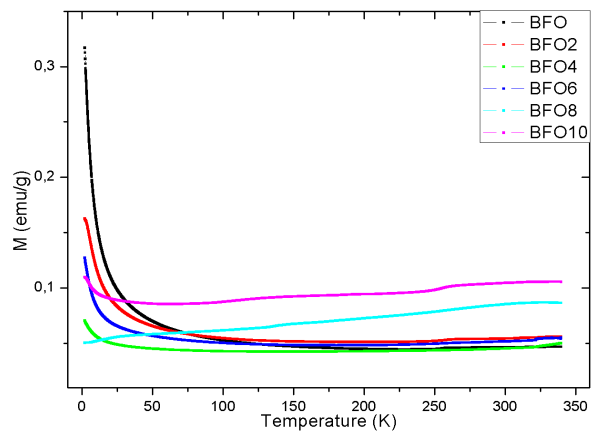
**Table 2.** Remnant magnetization and cohesive field the  $\text{Bi}_{1-x}\text{Sm}_x\text{FeO}_3$  samples.

Samples	$M_r$ (emu/g)	$H_c$ (Oe)
$\text{BiFeO}_3$	$2,02 \times 10^{-3}$	178,8
$\text{Bi}_{0,98}\text{Sm}_{0,02}\text{FeO}_3$	$7,63 \times 10^{-3}$	491,0
$\text{Bi}_{0,96}\text{Sm}_{0,04}\text{FeO}_3$	$6,22 \times 10^{-3}$	475,7
$\text{Bi}_{0,94}\text{Sm}_{0,06}\text{FeO}_3$	$1,01 \times 10^{-2}$	502,1
$\text{Bi}_{0,92}\text{Sm}_{0,08}\text{FeO}_3$	$3,34 \times 10^{-2}$	1285,2
$\text{Bi}_{0,90}\text{Sm}_{0,10}\text{FeO}_3$	$5,33 \times 10^{-2}$	397,3

Source: The authors

Magnetization as a function of temperature is shown in Fig. 8. Samples exhibited a PM-AFM transition characteristic of bismuth ferrite systems, which is observable at about 260 K and agree with that reported by other authors [18-20]. This behaviour is due to the effects of domain wall fixation by the random distribution of oxygen vacancies.

Magnetization at temperatures below 260 K is characteristic of AFM materials. All of the samples exhibited the AFM behaviour. However, BFO8 and BFO10 samples showed a progressive increase in magnetization by increasing the temperature. This can be attributed to the size particle reduction, leading to favouring the uncompensated antiferromagnetic spins in the material surface [8].



**Figure 8.** Magnetization as a function of temperature from 2 to 340 K for the  $\text{Bi}_{1-x}\text{Sm}_x\text{FeO}_3$  system under 5000 Oe magnetic field.

#### 4. CONCLUSIONS

Samarium-doped bismuth ferrites were successfully synthesized by the solid-state reaction method, with the higher obtention of the rhombohedral structure phase than those reported in the literature. The Rietveld refinement results confirmed the suitable insertion of the samarium in the host structure, which generated a favourable modification of the structural, morphological and magnetic properties. The morphological results showed a reduction of the particle size attributed to the difference in ionic radius that led to different nucleation phenomena. The magnetization results showed the typical ferromagnetic behaviour in the samples obtained, and the  $\text{Sm}^{3+}$  insertion generated an increase in the remanent magnetization and coercive field of the materials.

#### REFERENCES

- [1] K. S. Nalwa & A. Garg, "Phase evolution, magnetic and electrical properties in Sm-doped bismuth ferrite". *Journal of Applied Physics*, 2008, vol. 103(4), pp. 044101. <https://doi.org/10.1063/1.2838483>
- [2] P. Uniyal, K. L. Yadav, "Pr doped bismuth ferrite ceramics with enhanced multiferroic properties". *Journal of Physics: Condensed Matter*, 2009, vol. 21 (40), pp. 405901. <https://doi.org/10.1088/0953-8984/21/40/405901>
- [3] P. C. Sati, P. C. Sati, M. Arora, S. Chauhan, M. Kumar, S. Chhoker, "Structural, magnetic, vibrational and impedance properties of Pr and Ti codoped BiFeO3 multiferroic ceramics". *Ceramics International*, vol. 40(6), pp. 7805-7816, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2013.12.124>
- [4] J. M. Hu, L. Q. Chen, C. W. Nan, "Multiferroic heterostructures integrating ferroelectric and magnetic materials". *Advanced materials*, vol. 28(1), pp. 15-39, 2016. <https://doi.org/10.1002/adma.201502824>
- [5] B. H. Toby & R. B. Von Dreele, "GSAS-II: the genesis of a modern open-source all-purpose crystallography software package". *Journal of Applied Crystallography*, 2013, vol. 46, no 2, pp. 544-549. <https://doi.org/10.1107/S0021889813003531>
- [6] W. Kraus & G. Nolze, "POWDER CELL—a program for the representation and manipulation of crystal structures and calculation of the resulting X-ray powder patterns". *Journal of applied Crystallography*, 1996, vol. 29, no 3, pp. 301-303. <https://doi.org/10.1107/S0021889895014920>
- [7] K. Momma & F. Izumi, "VESTA 3 for three-dimensional visualization of crystal, volumetric and morphology data". *Journal of applied crystallography*, 2011, vol. 44, no 6, pp. 1272-1276. <https://doi.org/10.1107/S0021889811038970>
- [8] A. M. Morales-Rivera, I. F. Betancourt-Montañez, S. A. Martínez-Ovalle, Ó. H. Pardo-Cuervo, J. A. Mejía-Gómez, S. Segura-Peña, C. A. Parra-Vargas, "Structural and magnetic properties of the Bi<sub>1-x</sub>LuxFeO<sub>3</sub> (x= 0.00, 0.02 and 0.04) system". *Dyna*, 2020, vol. 87, no 215, pp. 84-89. <https://doi.org/10.15446/dyna.v87n215.83538>
- [9] J. Bielecki, P. Svedlindh, D. T. Tibebe, S. Cai, S. G. Eriksson, L. Börjesson, C. S. Knee, "Structural and magnetic properties of isovalently substituted multiferroic BiFeO<sub>3</sub>: insights from Raman spectroscopy". *Physical Review B*, 2012, vol. 86, no 18, pp. 184422. DOI: <https://doi.org/10.1103/PhysRevB.86.184422>
- [10] N. Zhang, J. Q. Ding, Y. P. Wang, X. N. Liu, Y. Q. Li, M. F. Liu, Z. M. Fu, Y. W. Yang, J. Su, G. L. Song, F. Yang, Y. Y. Guo and J-M Liu, "Enhanced high temperature ferromagnetism in Bi<sub>1-x</sub>RxFeO<sub>3</sub> (R= Dy, Y) compounds". *Journal of Physics: Condensed Matter*, 2021, vol. 33, no 13, pp. 135803. <https://doi.org/10.1088/1361-648X/abdb10>
- [11] J. G. Park, M. D. Le, J. Jeong and S. Lee, "Structure and spin dynamics of multiferroic BiFeO<sub>3</sub>". *Journal of Physics: Condensed Matter*, 2014, vol. 26, no 43, pp. 433202. <https://doi.org/10.1088/0953-8984/26/43/433202>
- [12] R. Köferstein, "Synthesis, phase evolution and properties of phase-pure nanocrystalline BiFeO<sub>3</sub> prepared by a starch-based combustion method". *Journal of alloys and compounds*, 2014, vol. 590, pp. 324-330. <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2013.12.120>

- [13] T. J. Park, G. C. Papaefthymiou, A. J. Viescas, A. R. Moodenbaugh and S. S. Wong, "Size-dependent magnetic properties of single-crystalline multiferroic  $\text{BiFeO}_3$  nanoparticles". *Nano letters*, 2007, vol. 7, no 3, pp. 766-772. <https://doi.org/10.1021/nl063039w>
- [14] E. R. Ochoa-Burgos, C. A. Parra-Vargas, J. A. Mejía-Gómez & E. de Grave, "Study of the structural and magnetic properties of the system  $\text{Bi}_{1-x}\text{Y}_x\text{FeO}_3$   $x= 0$  and  $0.07$  using Mössbauer spectroscopy". *Dyna*, 2018, vol. 85, no 207, pp. 22-28. <https://doi.org/10.15446/dyna.v85n207.68421>
- [15] D. V. Karpinsky, A. Pakalniškis, G. Niaura, D. V. Zhaludkevich, A. L. Zhaludkevich, S. I. Latushka, A. Kareiva, "Evolution of the crystal structure and magnetic properties of Sm-doped  $\text{BiFeO}_3$  ceramics across the phase boundary region". *Ceramics International*, 2021, vol. 47, no 4, pp. 5399-5406. <https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2020.10.120>
- [16] C. A. Narváez, C. F. Vilaquirán-Raigoza, A. P. González-Nieva, "Modificación de las propiedades estructurales, eléctricas y magnéticas del  $\text{BiFeO}_3$  por la incorporación de Ba y Nb". *Química Nova*, 2017, vol. 40, no.2, p. 182-191. <http://dx.doi.org/10.21577/0100-4042.20160185>
- [17] D. Maurya, H. Thota, A. Garg, B. Pandey, P. Chand and H. C. Verma, "Magnetic studies of multiferroic  $\text{Bi}_{1-x}\text{Sm}_x\text{FeO}_3$  ceramics synthesized by mechanical activation assisted processes". *Journal of Physics: Condensed Matter*, 2008, vol. 21, no 2, pp. 026007. <https://doi.org/10.1088/0953-8984/21/2/026007>
- [18] M. A. Basith, A. Billah, M. A. Jalil, N. Yesmin, M. A. Sakib, E. K. Ashik, B. Ahmmad, "The 10% Gd and Ti co-doped  $\text{BiFeO}_3$ : a promising multiferroic material". *Journal of Alloys and Compounds*, 2017, vol. 694, pp. 792-799. <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2016.10.018>
- [19] T. Durga Rao & S. Asthana, "Evidence of improved ferroelectric phase stabilization in Nd and Sc co-substituted  $\text{BiFeO}_3$ ". *Journal of Applied Physics*, 2014, vol. 116, no 16, p. 164102. <https://doi.org/10.1063/1.4898805>
- [20] L. M. Ramirez-Guzmán, A. F. Cruz-Pacheco, J. A. Gómez-Cuaspud & C. A. Parra-Vargas, "Structural and magnetic properties of gadolinium modified  $\text{BiFeO}_3$ ". *Materials Science Poland*, 2020, vol. 38. <https://doi.org/10.2478/msp-2020-0075>

## CALIDAD AMEBOLÓGICA DEL AGUA EMBOTELLADA EN GARRAFÓN DEL ÁREA METROPOLITANA DE LA CIUDAD DE MÉXICO

### Amoeba quality of bottled water in carboy of the metropolitan area of Mexico City

Elizabeth Ramírez Flores<sup>1</sup>, Esperanza del Socorro Robles Valderrama<sup>2</sup>, María de Guadalupe Sáinz Morales<sup>3</sup>, Blanca Nieves Martínez Rodríguez<sup>4</sup>, Brian Guadalupe Vargas Cerón<sup>5</sup>, Miguel Ángel Ramírez Flores<sup>6</sup>

<sup>1-6</sup>Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Estudios Superiores Iztacala, Grupo de Investigación CyMA, México. Email: <sup>1</sup>erf@unam.mx, <sup>2</sup>erobles@unam.mx, <sup>3</sup>biologa\_agua1@yahoo.com, <sup>4</sup>bnmartinez@unam.mx, <sup>5</sup>brian.vargascer@nube.unadmexico.mx, <sup>6</sup>mikee2@comunidad.unam.mx

(Recibido 19 de mayo de 2022 y aceptado 29 de junio de 2022)

#### Resumen

México ocupa el primer lugar a nivel mundial en consumo de agua embotellada per cápita. Esto se debe a la desconfianza que existe en la población acerca de la calidad del agua de grifo y el acceso desigual e intermitente a los sistemas de agua potable. La contaminación del agua embotellada por bacterias se ha reportado alrededor del mundo, pero no se ha investigado la presencia de otros microorganismos, como las amibas de vida libre patógenas, que pueden estar en el ambiente, pero también pueden causar infecciones en el humano. El objetivo de la presente investigación fue determinar la presencia de las amibas de vida libre patógenas en agua embotellada. Se analizó el agua de 47 garrafones de 20 litros que se venden en el Área Metropolitana de la Ciudad de México. Se analizaron 2 muestras de cada garrafón, una al abrirlo y otra a la mitad del volumen. Las amibas se determinaron por cultivo en el medio agar no nutritivo y se identificaron por morfología. Treinta y un garrafones fueron positivos para la presencia de las amibas, de estos 21 fueron de purificadoras locales y 10 de purificadoras grandes. Se encontraron 15 especies de amibas, la mayoría de ellas no son patógenas, solamente del género *Acanthamoeba* han reportado como patógenas oportunistas, lo que representa un riesgo para la salud de las personas con defensas bajas. Por lo que además de la calidad bacteriológica y fisicoquímica, también se debería de tomar en cuenta la calidad amebológica del agua embotellada.

**Palabras clave:** agua embotellada, amibas de vida libre patógenas, calidad amebológica.

#### Abstract

Mexico stands on the first position in the world about the consumption of bottled water *per cápita*. The consumption has been increased due to the bad quality of the water given by the supply network and the unequal and intermittent access to it. The contamination of the bottled water by bacteria has been reported all around the world, but it has not been investigated the presence of other microorganisms, like pathogenic free-living amoebae, which can be present in the environment, furthermore they can cause infections to humans. The objective of this investigation was to determine the presence of free-living amoebae in bottled water. Water of 47 twenty-liter carboys sold in the metropolitan area of Mexico City was analyzed. Two samples from each carboy were taken, one immediately after opening it and the other when it had reached the half of its volume. The amoebae were determined by cultivation in nonnutritive agar and were identified by morphology. Thirty-one carboys were positive for the presence of amoeba, of these, twenty-one were from local water purifiers and ten were from big water purifiers. Fifteen species were found, most of them have not been reported as pathogenic. Only *Acanthamoeba* has been reported as an opportunistic pathogen. The presence of this amoeba

represents a health risk for the people with a weakened immune system. Because of this, not only the bacteriological and physicochemical quality but also amoeba quality must be considered.

**Key words:** bottled water, pathogenic free-living amoebae, amoeba quality.

## 1. INTRODUCCIÓN

El agua es esencial para la vida, cumple con varias funciones en nuestro cuerpo, mantiene el volumen sanguíneo, transporta nutrientes y oxígeno, sirve como solvente en muchos procesos metabólicos y participa en forma activa en las reacciones químicas [1].

El consumo de agua embotellada en el mundo se ha favorecido por diferentes factores, principalmente, por el aumento de la contaminación de los suministros de agua por las actividades antropogénicas. Así tenemos que en los países en desarrollo el consumo del agua embotellada se ha favorecido por la mala calidad del agua suministrada por la red pública y la carencia de este líquido vital. Mientras que, en países desarrollados el consumo se ha debido a que cuentan con fuentes de agua mineral natural de excelente calidad [2-6].

México tiene el primer lugar a nivel mundial en consumo de agua embotellada per cápita, a pesar de que sus fuentes de suministro son cada vez más escasas. En la década de los ochenta se conjugaron varios acontecimientos que incidieron en la forma de consumo de agua en México, entre ellos la afectación de las redes de distribución de agua potable por un movimiento telúrico de gran magnitud. En esta década las compañías embotelladoras europeas llegaron a nuestro país y a principio de la década de los noventa llegaron las compañías americanas [3-4]. A finales de la década de los ochenta salió a la venta agua en recipientes de vidrio de 20 litros (garrafones o botellones), que reforzó el consumo de agua embotellada. Esto dio como resultado que el 81% de la población del país de todos los niveles socioeconómicos consumiera agua de garrafón [4, 7].

El agua embotellada es considerada como un negocio millonario, debido al dramático incremento en su

consumo a nivel mundial. Esto se atribuye a la preocupación de la gente de consumir agua de buena calidad [2-3, 7]. En México no se tiene el conocimiento si el agua que llega a los hogares se puede considerar potable.

El término agua potable se refiere al agua que tiene las características para que su consumo sea seguro. Varios factores pueden alterar la potabilidad del agua, como la fuente de la cual proviene, el tratamiento de potabilización que se le aplica, cómo se almacena y cómo se distribuye [1].

En el agua se encuentran diferentes microorganismos que pueden causar enfermedades al humano, tales como bacterias, virus, protozoos y helmintos, por lo que se le tiene que someter a procesos de desinfección para eliminar los microorganismos y así distribuirla por la red pública o embotellarla sin riesgo para la salud [1]. El agua embotellada puede no estar libre de microorganismos, estos pueden tener su origen de la fuente de extracción o pueden ser introducidos durante el proceso de tratamiento y/o embotellamiento. La calidad del agua se puede afectar por diversos factores, presentándose contaminación microbológica, esto representa un peligro para la salud. Por lo que el agua debe tratarse para poder catalogarla como agua apta para el consumo [8].

La contaminación del agua embotellada por bacterias se ha reportado alrededor del mundo, en países de América Latina [9-14]; en otras partes del mundo como Polonia, Bangladesh, Trinidad, Nepal, Etiopía y Arabia Saudita [15-20]. En algunas de estas investigaciones se evaluó el contenido microbológico en el agua únicamente por el análisis de las bacterias coliformes, mientras que en otras también se determinó la presencia de bacterias patógenas (*Pseudomonas* y *Salmonella* spp). Además de la calidad bacteriológica también se ha determinado la



calidad fisicoquímica del agua embotellada [10-11, 14, 21-22].

La normatividad mexicana para agua embotellada solo contempla el análisis de bacterias [23], motivo por el que no se ha analizado la presencia de otros microorganismos para monitorear la calidad del agua. Este es el caso de las amibas de vida libre patógenas (AVL). Estas amibas tienen la característica que pueden vivir libremente en el ambiente, agua y suelo, pero algunas pueden causar infecciones en el humano, por lo que también se les conoce como amibas anfitriónicas por su capacidad de existir como organismos de vida libre y como endoparásitos en el humano y animales.

Así también, estas amibas pueden causar infecciones del cerebro, ojos y piel. *Naegleria fowleri* causa meningoencefalitis amibiana primaria y algunas especies de *Acanthamoeba*, *Balamuthia mandrillaris* y *Sapinea pedata* causan encefalitis amibiana granulomatosa. *Balamuthia mandrillaris* y *Acanthamoeba* causan infecciones de la piel y *Acanthamoeba* causa infección del ojo [24-25]. Por otro lado, se ha demostrado que las AVL, pueden ser vectores de bacterias patógenas, algunas de estas bacterias son *Legionella pneumophila*, *Vibrio cholerae* y *Mycobacterium avium*, que pueden vivir como endosimbiontes dentro de las amibas [26].

Se han realizado pocas investigaciones de la presencia de amibas de vida libre patógenas en agua mineral embotellada [27-28], pero ninguna en agua embotellada no carbonatada. Considerando esta situación el objetivo de la presente investigación fue determinar la presencia de las amibas de vida libre patógenas en agua embotellada de garrafones de 20 litros de capacidad.

## 2. METODOLOGÍA

### 2.1. Toma de muestra

Se analizó el agua embotellada de 47 garrafones de 20 litros de marcas comerciales que se venden en el Área Metropolitana de la Ciudad de México, esta región comprende alcaldías de la Ciudad de México y municipios

del Estado de México. Se analizaron 25 garrafones de purificadoras grandes (PG) y 22 de purificadoras locales (PL). Se colectaron dos muestras de agua de cada garrafón, una muestra se tomó directamente al abrir el garrafón (M1) y otra muestra se tomó cuando el garrafón estaba a la mitad de su capacidad con el accesorio que el usuario utilizaba para servir el agua (M2).

Las muestras de agua para el análisis de las amibas de vida libre patógenas se tomaron en envases de plástico de 1 litro previamente esterilizados, las muestras se transportaron al laboratorio a temperatura ambiente y se procesaron inmediatamente. Se tomaron muestras de agua de 1.5 litros para el análisis en el laboratorio de los parámetros fisicoquímicos: pH, conductividad, cloro libre residual y sólidos disueltos. Las muestras se transportaron en refrigeración al laboratorio.

### 2.2. Trabajo de laboratorio

La muestra de agua para el análisis de las amibas de vida libre patógenas se filtró a través de una membrana de 1.2  $\mu\text{m}$  de poro de la marca Millipore en condiciones estériles con la ayuda de vacío para favorecer la filtración. La membrana se colocó con la superficie donde quedaron los microorganismos en contacto con el medio de cultivo Agar no nutritivo con la bacteria *Enterobacter aerogenes* (NNE). Las cajas se incubaron a 30° C y se revisaron con un microscopio invertido a partir del primer día y hasta 15 días para detectar el crecimiento amibiano. Las placas que no presentaron crecimiento después de 15 días se consideraron negativas.

Las amibas aisladas se identificaron observando las características morfológicas de la forma vegetativa o trofozoito y de la forma quística [29-30]. Se realizaron preparaciones en fresco para observar el movimiento de las amibas y el tipo de pseudópodos. La observación de las amibas se realizó con un microscopio óptico Zeiss con la microscopía de contraste de fases a 40x y 100x.

Las amibas del género *Naegleria* presentan una fase flagelada, por lo que, a las amibas sospechosas de pertenecer a este género, se les realizó la prueba de

flagelación. Al cultivo de la amiba se le agregó agua destilada estéril, se incubó a la temperatura de aislamiento (30 °C) y se observó con el microscopio invertido cada media hora, durante cuatro horas para detectar la fase flagelada.

Los parámetros fisicoquímicos: pH, conductividad, cloro libre residual y sólidos disueltos totales se analizaron de acuerdo con las técnicas estándar [31].

Con el fin de conocer si había alguna tendencia o comportamiento de las amibas de vida libre patógenas con relación a los parámetros fisicoquímicos, se realizaron histogramas con los valores de los parámetros de los garrafones que fueron positivos para la presencia de las amibas [32].

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 3.1. Amibas de vida libre patógenas

Más de la mitad de los garrafones analizados (65%) fueron positivos para la presencia de las amibas de vida libre patógenas desde la apertura del garrafón (Figura 1). Las amibas pueden provenir de la fuente de donde se tomó el agua, debido a que estas amibas pueden vivir libremente en el ambiente [24-25]. Su presencia en el agua embotellada puede indicar deficiencias en los procesos de desinfección y/o embotellamiento [8].

La presencia de las amibas en la muestra a mitad de uso del garrafón (M2) (Figura 1), puede tener dos explicaciones. Por un lado, se ha reportado que puede haber contenido de materia orgánica en el agua que se embotella, lo que favorece la proliferación de los microorganismos, esto tiende ser mayor en aguas sin dióxido de carbono y en envases de plástico [8]. Por otro lado, los accesorios que se utilizan en las casas para servir el agua del garrafón, pueden ser una fuente de contaminación debido a que no se limpian frecuentemente.

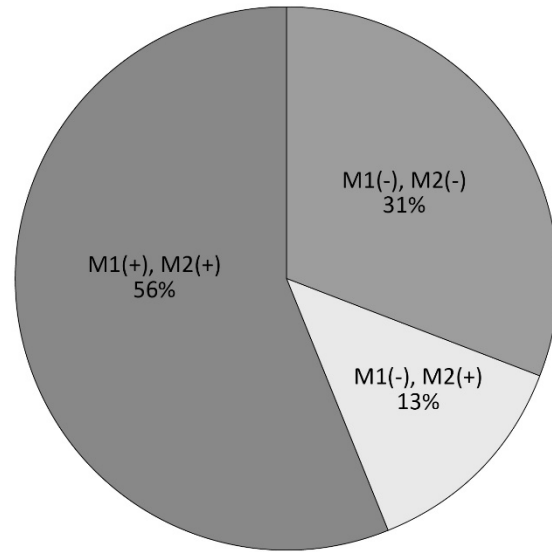
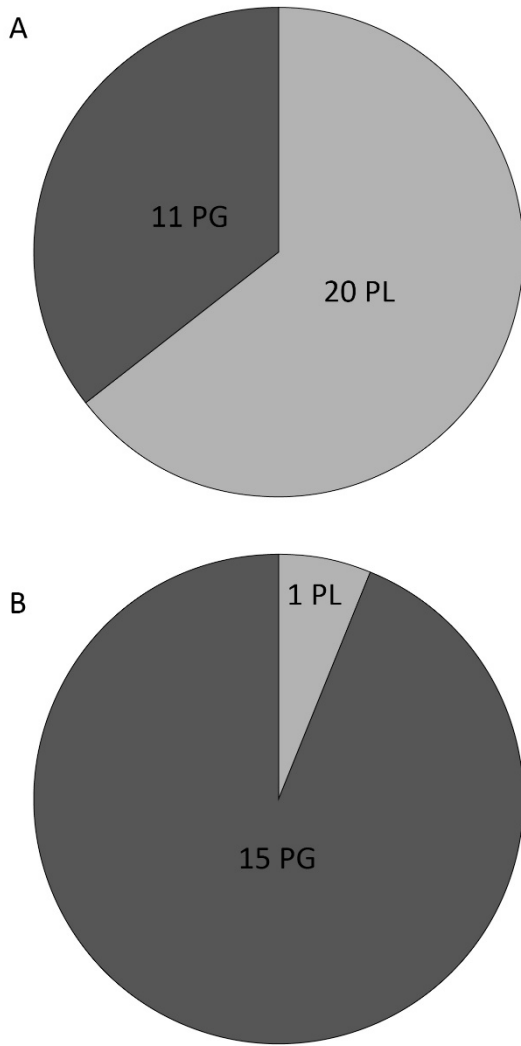


Figura 1. Presencia de AVL en las muestras (M1 y M2).

De los 31 garrafones que fueron positivos para la presencia de las amibas de vida libre patógenas, 21 fueron de purificadoras locales (PL) y 10 de purificadoras grandes (PG). De los 16 garrafones negativos, 15 correspondieron a purificadoras grandes y solo uno a purificadoras locales (Figura 2).

En México más del 80% del mercado del agua embotellada está dominado por las grandes empresas purificadoras (PG), que son empresas transnacionales. Sin embargo, a pesar del dominio de las grandes empresas, han surgido y proliferado purificadoras locales pequeñas (PL), debido a que venden el agua embotellada a un precio más bajo, por lo que se ubican principalmente en zonas de bajos ingresos. Pero no existe una vigilancia sanitaria constante de las autoridades correspondientes para cuidar que el agua embotellada cumpla con la calidad requerida para ser considerada apta para el consumo [3-4].



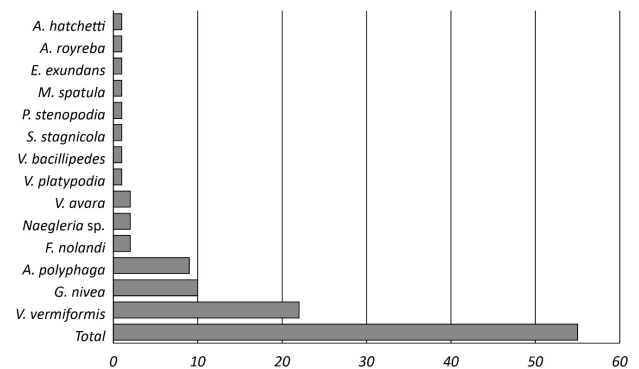
**Figura 2.** Distribución de las muestras positivas y negativas en PG y PL. (A) Muestras positivas. (B) Muestras negativas.

En el agua embotellada se encontraron 14 especies de amebas de vida libre patógenas (Tabla 1), esta es una variedad importante, ya que el agua embotellada se clasifica como apta para el consumo humano y no debería haber presencia de ningún organismo [5].

**Tabla 1.** Especies de AVL encontradas en el agua embotellada.

Género	Especie
	<i>A. hatchetti</i>
Acanthamoeba	<i>A. polyphaga</i>
	<i>A. royreba</i>
Echinamoeba	<i>E. exundans</i>
Filamoeba	<i>F. nolandi</i>
Guttulinopsis	<i>G. nivea</i>
Mayorella	<i>M. spatula</i>
Naegleria	<i>Naegleria sp.</i>
Platyamoeba	<i>P. stenopodia</i>
Saccamoeba	<i>S. stagnicola</i>
Vahlkampfia	<i>V. avara</i>
Vexillifera	<i>V. bacillipedes</i>
Vannella	<i>V. platypodia</i>
Vermamoeba	<i>V. vermiformis</i>

En la Figura 3, se muestra la frecuencia con la que se presentaron las amebas de vida libre patógenas en el agua embotellada. La especie que se encontró con más frecuencia fue *Vermamoeba vermiformis*.



**Figura 3.** Frecuencia de aparición de las AVL en los garrafones.

La mayoría de las especies que se encontraron en el agua embotellada, no se han retribuido como patógenas y se han reportado en diversos cuerpos de agua natural, estas especies son *Vahlkampfia avara*, *Vannella platypodia*, *Mayorella spatula*, *Vexillifera bacillipedes*, *Saccamoeba stagnicola*, *Echinamoeba exundans*, *Platyamoeba*

*stenopodia* y *Filamoeba nolandii* [33-36]. Por lo que es probable que estas amibas estuvieran presentes en el sitio de donde se tomó el agua y que hubiera deficiencias en los procesos de desinfección en las purificadoras [8].

*Guttulinopsis nivea* es una amiba que en su ciclo de vida presenta una fase de hongo. *G. nivea* es considerada como una amiba coprófila y es muy común en lugares donde se encuentran bacterias como *Klebsiella pneumoniae* y *Escherichia coli*, la presencia de esta amiba en el agua embotellada indica una posible contaminación con bacterias coliformes [37].

Se ha reportado que las amibas patógenas del género *Naegleria* son termófilas, es decir, que proliferan mejor a temperaturas por arriba de 30°C, incluso pueden crecer a 45°C [24-25]. La especie de este género que se encontró en el agua embotellada solamente creció a 30°C, por lo que se puede pensar que no es patógena.

*Vermamoeba vermiformis* fue la especie amibiana que se encontró con más frecuencia en el agua embotellada, detectándose en 22 garrafones. Esta amiba reportada se ha asociado a infecciones cerebrales y del ojo, pero no se sabe si es el agente etiológico de las infecciones. Además, se ha reportado que puede ser vector de microorganismos endosimbiontes patógenos, especialmente de bacterias [24, 38-39].

De las especies del género *Acanthamoeba* encontradas en el agua embotellada, *A. royreba* no se ha reportada como patógena, pero en estudios *in vitro* se ha observado que causa daño en cultivo de tejidos [40]. *A. hatchetti* se ha reportado como patógena en animales de laboratorio [29]. *A. polyphaga* se ha reportado como patógena, pero se ha observado que los diferentes aislamientos, pueden presentar diferente grado de patogenicidad e inclusive puede no ser patógena [41].

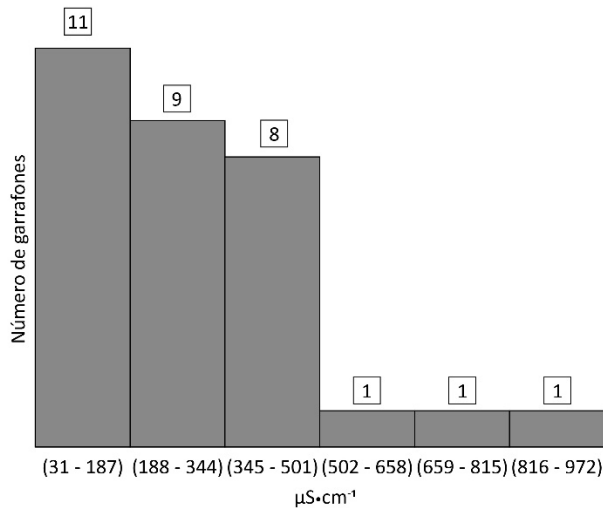
Las especies del género *Acanthamoeba* pueden tener endosimbiontes patógenos [26]. La principal vía de entrada de las amibas de vida libre al humano es por las fosas nasales, pero *Acanthamoeba* puede entrar por heridas y

diseminarse a todo el cuerpo por vía hematológica. Aunque no se ha reportado que las amibas de vida libre patógenas puedan causar daño por vía oral, las personas que tengan úlceras estomacales e intestinales, pueden presentar una vía de entrada para las amibas. Es importante mencionar que *Acanthamoeba* es un patógeno oportunista que puede causar enfermedades a pacientes con defensas bajas [24-25, 42].

### 3.2. Parámetros fisicoquímicos

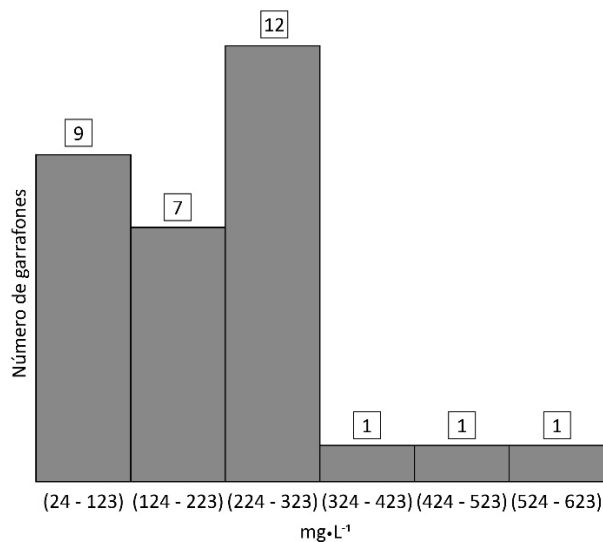
El pH estuvo en un intervalo de 4.8 - 7.9 con un valor promedio de 6.6; la conductividad estuvo en un amplio intervalo de 7.9 - 964  $\mu\text{S cm}^{-1}$  con un valor promedio de 264.2  $\mu\text{S cm}^{-1}$ ; los sólidos disueltos totales estuvieron en un intervalo amplio de 10 - 615  $\text{mg L}^{-1}$  con un valor promedio de 177.3  $\text{mg L}^{-1}$  y el cloro libre residual en un intervalo de 0 - 1.7  $\text{mg L}^{-1}$  con un valor promedio de 0.1  $\text{mg L}^{-1}$ .

De los 31 garrafones que fueron positivos para la presencia de las AVL, la mayoría de las amibas se agruparon en 3 intervalos de conductividad, en el de 31 - 187  $\mu\text{Scm}^{-1}$  estuvieron 11 garrafones, en el de 188 - 344  $\mu\text{Scm}^{-1}$  estuvieron 9 garrafones y en el de 345 - 501  $\mu\text{Scm}^{-1}$  estuvieron 8 garrafones (Figura 4). En un estudio realizado en agua de canales de riego se reportó la presencia de AVL en valores de conductividad de 1400 - 1800  $\mu\text{S cm}^{-1}$  [35]. La presencia de las amibas en un intervalo amplio de conductividad indica que pueden soportar diversas condiciones de salinidad.



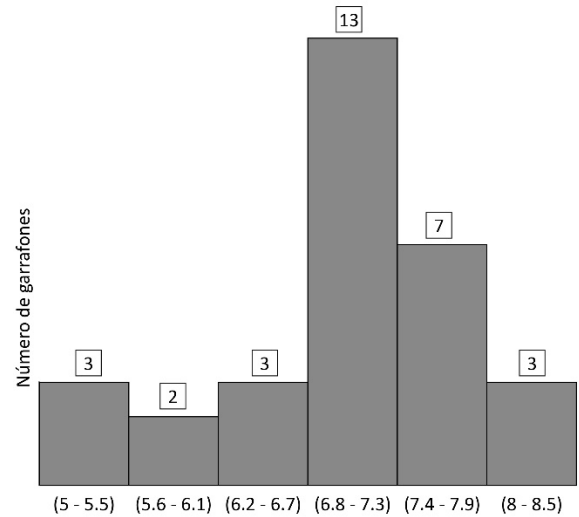
**Figura 4.** Distribución de las AVL de acuerdo con la conductividad.

De los 31 garrafondes positivos para la presencia de las AVL, la mayoría de las amibas se agruparon en 3 intervalos de sólidos disueltos, en el de 94 - 123 mg L<sup>-1</sup> estuvieron 9 garrafondes, en el de 124 - 223 mg L<sup>-1</sup> estuvieron 7 garrafondes y en el de 224 - 323 estuvieron 12 garrafondes (Figura 5). Los sólidos disueltos indican la concentración de sales en el agua, por lo que están muy relacionados con la conductividad.



**Figura 5.** Distribución de las AVL de acuerdo con los sólidos disueltos.

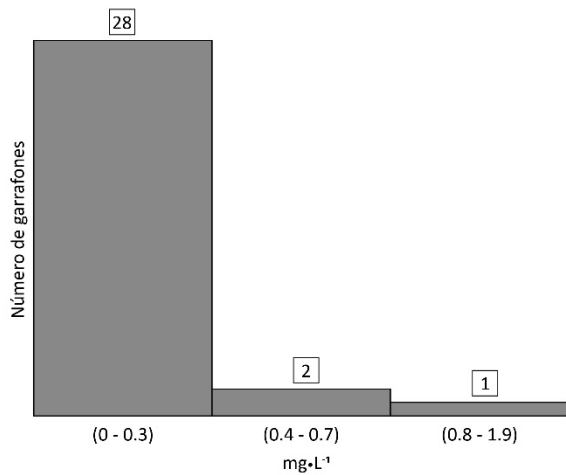
De los 31 garrafondes que fueron positivos para la presencia de las AVL, la mayoría de las amibas se agruparon en 2 intervalos de pH, en el de 6.8- 7.3 estuvieron 13 garrafondes y en el de 7.4 - 7.9 estuvieron 7 garrafondes (Figura 6). Lo que está en concordancia con lo que se ha reportado en la literatura, que las amibas de vida libre patógenas proliferan mejor en valores cercanos a la neutralidad [24].



**Figura 6.** Distribución de las AVL de acuerdo con el pH.

De los 31 garrafondes que fueron positivos para la presencia de AVL, la gran mayoría de las amibas se presentaron en el intervalo de 0 - 0.3 mg L<sup>-1</sup> de cloro libre residual, y solamente un garrafón estuvo en la concentración de 1.71 mg L<sup>-1</sup>, que fue la más alta (Figura 7). Es importante mencionar que el agua de garrafón no debería contener cloro, porque este químico no se utiliza para la purificación del agua embotellada. Su procedencia puede deberse a que, muchas purificadoras (principalmente locales) toman el agua de la red pública que se desinfecta con este químico, o que cuando se lavan los garrafondes no se enjuagan bien y quedan restos de cloro.

En la concentración de 1.71mg L<sup>-1</sup> se encontró la especie *Acanthamoeba polyphaga*, sin duda, no causa sorpresa, porque esta especie y, en general, todas las del género *Acanthamoeba* tienen gran resistencia a condiciones ambientales extremas, esto se debe a la presencia de celulosa en la pared de su quiste [24].



**Figura 7.** Distribución de las AVL de acuerdo con el cloro libre residual.

#### 4. CONCLUSIONES

Más de la mitad de los garrafones analizados (65%) fueron positivos para la presencia de las amibas de vida libre patógenas. La mayoría de los garrafones positivos fueron de purificadoras locales.

Casi todos los garrafones (95%) procedentes de las purificadoras locales presentaron contaminación por amibas de vida libre patógenas, lo que indica que los procesos de desinfección y embotellado del agua no se realizan adecuadamente y/o que falta mantenimiento a los equipos.

La presencia de amibas de vida libre patógenas en el agua de los garrafones es de llamar la atención, porque el agua embotellada se publicita como agua "pura", libre de microorganismos y adecuada para el consumo humano. En el agua embotellada se encontraron especies de amibas que son reportadas como potencialmente patógenas, lo que puede constituir un peligro a la salud, especialmente, de las personas con defensas bajas.

En vista de los resultados obtenidos se debería de tomar en cuenta la calidad amebológica del agua embotellada en la Normatividad, no solamente la calidad bacteriológica y fisicoquímica.

#### REFERENCIAS

- [1] WHO, *Guidelines for drinking-water Quality*, fourth edition incorporating the first and second addenda. Geneva: World Health Organization, 2022.
- [2] J. da Cruz, "Agua embotellada: Signo de nuestro tiempo." *Observatorio de la Globalización*, no. 5, pp. 1-5, Mayo 2006. <http://globalizacion.org/wp-content/uploads/2016/01/ODG5DaCruzAguaEmbotellada.pdf>
- [3] R. Pacheco-Vega, "Agua embotellada en México: de la privatización del suministro a la mercantilización de los recursos hídricos", *Espiral*. vol. XXII, no. 63, pp. 221-263, Mayo-Agosto, 2015. [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S1665-05652015000200007&script=sci\\_abstract&lng=pt](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S1665-05652015000200007&script=sci_abstract&lng=pt)
- [4] D. P. Montero-Contreras, "El consumo de agua embotellada en la Ciudad de México desde una perspectiva institucional", *Agua y Territorio*, vol.7, pp. 35-49, Enero-Junio, 2016. <https://doi.org/10.17561/at.v0i7.2961>
- [5] A. Arellano y V. Lindao, "Efectos de la gestión y la calidad del agua potable en el consumo del agua embotellada", *Novasinergia*, vol. 2, no. 1, pp. 15-23, Diciembre-Mayo, 2019. <https://doi.org/10.37135/unach.ns.001.03.02>
- [6] R. Geerts, *et al* "Bottle or tap? Toward an integrated approach to water type consumption", *Water research*, vol. 173, pp. 115578, April, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2020.115578>
- [7] G.C. Delgado Ramos, "El negocio de bebidas y agua embotellada" En *Apropiación de agua, medio ambiente y obesidad: Los impactos del negocio de bebidas embotelladas en México*, Universidad Nacional Autónoma de México, Centro de Investigaciones Interdisciplinarias en Ciencias y Humanidades, México, 2014, pp. 21-53.
- [8] J. Díaz, *et al* "¿El agua embotellada es adecuada para nuestro consumo?", *Academia*, vol. VI, no. 11, pp. 2-12, 2007. Disponible en: <http://www.saber.ula.ve/bitstream/handle/123456789/27715/articulo1.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

- [9] B.M. Benítez Payares, K.F. Ferrer Villasmil, L.C. Rangel Matos, A.G. Ávila Larreal, Y. Barboza y A. Levy, "Calidad microbiológica del agua potable envasada en bolsas y botellas que se venden en la ciudad de Maracaibo, estado Zulia-Venezuela", *Multiciencias*, vol. 13, no.1, pp. 16-22, 2013. <https://www.redalyc.org/pdf/904/90428348002.pdf>
- [10] B.M. Benítez Payares, *et al.*, "Evaluación fisicoquímica y microbiológica del agua potable envasada en bolsas que se venden en la zona céntrica de la ciudad de Maracaibo-Venezuela", *Archivos Venezolanos de Farmacología y Terapéutica*, vol. 35, no. 4, pp. 107-113, 2016. [http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0798-02642016000400005](http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0798-02642016000400005)
- [11] J.C. Marín, E. Behling, S. Carrasquero, G. Colina, A. Díaz y N. Rincón, "Calidad sanitaria de agua envasada expendida en la ciudad de Maracaibo (Venezuela)", *Boletín de Malariología y Salud Ambiental*, vol. LVII, no. 1, pp.26-35, Enero-Julio, 2017. Disponible en: [http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1690-46482017000100003#:~:text=CONCLUSIONES-,El%20agua%20envasada%20expendida%20en%20la%20ciudad%20de%20Maracaibo%20representa,%25\)%20y%20fecales%20\(24%25\)](http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1690-46482017000100003#:~:text=CONCLUSIONES-,El%20agua%20envasada%20expendida%20en%20la%20ciudad%20de%20Maracaibo%20representa,%25)%20y%20fecales%20(24%25))
- [12] J. Arango Meza y E. Yangali Vergara, *Calidad del agua embotellada en diferentes marcas en la localidad de Huancavelica*, 2018. Disponible en: <http://repositorio.unh.edu.pe/handle/UNH/2138>
- [13] A.M. Barbosa Méndez, *Evaluación de la calidad microbiológica del agua envasada que se comercializa por parte de algunas empresas en la ciudad de Villavicencio-Meta*, Colombia: Universidad de los Llanos Villavicencio. Colombia. 2019. Disponible en: <https://repositorio.unillanos.edu.co/handle/001/1341>
- [14] D.E. Santana Quiroz y S.P. Medrano García, *Incidencia del consumo de agua envasada en la salud pública de la ciudad de Calceta, Manabí- Ecuador, Ecuador*, Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí, 2021, pp.74. Disponible en: <https://repositorio.espam.edu.ec/handle/42000/1452>
- [15] J. Bharath, *et al.*, "Microbial quality of domestic and imported brands of bottled water in Trinidad", *International Journal of Food Microbiology*, vol. 81, no. 1, pp. 53-62, February, 2003. [https://doi.org/10.1016/S0168-1605\(02\)00193-9](https://doi.org/10.1016/S0168-1605(02)00193-9)
- [16] A.A. Hazzani, L.W. Al Farra, A. Asran, A. I. Shehata and N. M. S. Moubayed, "Bacterial quality control of domestic and imported brands of bottled water in Saudi Arabia", *Journal of Toxicology*, vol. 5, no. 10, pp. 178-184, December, 2013. <https://doi.org/10.5897/JTEHS2013.0286>
- [17] M. Diduch, Ž. Polkowska and J. Namieśnik, "The role of heterotrophic plate count bacteria in bottled water quality assessment", *Food Control*, vol. 61, pp. 188-195, March 2016. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2015.09.024>
- [18] N.D. Pant, N. Poudyal and S.K. Bhattacharya, "Bacteriological quality of bottled drinking water versus municipal tap water in Dharan Municipality Nepal", *Journal of Health Population and Nutrition*, vol. 35, no.17, pp. 1-6, 2016. <https://doi.org/10.1186/s41043-016-0054-0>
- [19] I.M.M. Rahman, *et al.*, "Quality assessment of the non-carbonated bottled drinking water marketed in Bangladesh and comparison with tap water", *Food Control*, vol. 73, part. B, pp. 1149-1158, March, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2016.10.032>
- [20] A. Keleb, A. Ademas, T. Sisay, M. Lingerew and M. Adane, "Bacteriological Quality of Bottled Drinking Water and Municipal Tap Water in Northeastern Ethiopia", *Frontiers in Environmental Science*, vol. 10, March, 2022. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2022.828335>
- [21] J.C. Marín, L.E. Behling, S. Carrasquero, G. Colina, A. Díaz y N. Rincón, "Calidad sanitaria de agua envasada expendida en la ciudad de Maracaibo (Venezuela)", *Boletín de Malariología y Salud Ambiental*, vol. LVII, no. 1, pp. 26-35, Enero-Julio, 2017. Disponible en: [http://ve.scielo.org/scielo.php?pid=S1690-46482017000100003&script=sci\\_arttext](http://ve.scielo.org/scielo.php?pid=S1690-46482017000100003&script=sci_arttext)
- [22] M.G. Sáinz, *et al.*, "Quality of Water in Carboys in Greater Mexico City", *International Research*

- Journal of Advanced Engineering and Science*, vol. 6, no. 4, pp. 67-71, 2021. Disponible en: <http://irjaes.com/wp-content/uploads/2021/10/IRJAES-V6N4P73Y21.pdf>
- [23] Secretaría de Salud, "Norma Oficial Mexicana NOM-201-SSA1-2002. Productos y Servicios, Agua y hielo para consumo humano, envasados y a granel. Especificaciones sanitarias"
- [24] P. Bonilla y E. Ramírez, "Amibas de vida libre patógenas y oportunistas", En *Parasitología médica*, M. A. Becerril, Ed. McGraw-Hill/Interamericana Editores, S.A. De C.V.: México, 2014, pp. 37-50.
- [25] G.S. Visvesvara, "Pathogenic and Opportunistic Free-living Amoebae: Agents of Human and Animal Disease", In: J. Farrar, N. J.White, P. J. Hotez, T. Junghans, Lallod, G Kang, Ed. China, 2014, pp. 683-691, 2014. <https://doi.org/10.1016/B978-0-7020-5101-2.00051-0>
- [26] B. Rayamajhee, D. Subedi, H.K. Peguda, M.D. Willcox, F.L. Henriquez and N. Carnt, "A Systematic Review of Intracellular Microorganisms within *Acanthamoeba* to Understand Potential Impact for Infection", *Pathogens*, vol. 10 no. 225, pp. 2021. <https://doi.org/10.3390/pathogens10020225>
- [27] F. Rivera, M. Galván, E. Robles, P. Leal, L. González and A.M. Lacy, "Bottled mineral waters polluted by protozoa in Mexico", *Journal of Protozoology*, vol. 28 no. 1, pp. 54-56, February, 1981. <https://doi.org/10.1111/j.1550-7408.1981.tb02803.x>
- [28] V.J. Maschio, *et al.*, "*Acanthamoeba* T4, T5 and T11 isolated from mineral water bottles in Southern Brazil", *Current Microbiology*, vol. 70, pp. 6-9, 2015. <https://doi.org/10.1007/s00284-014-0676-7>
- [29] F.C. Page, *A new key to Freshwater and soil Gymnamoebae with instructions for culture*, Cumbria: *Ambleside: Freshwater Biological Association*, 1988. [https://doi.org/10.1016/S0003-9365\(89\)80039-9](https://doi.org/10.1016/S0003-9365(89)80039-9)
- [30] J.J. Lee, S.H. Huntner, and E.C. Bovee, Eds., *An Illustrated guide to the protozoa*, 2nd ed. Vol. 1–2. Society of Protozoologists, 2000.
- [31] APHA, AWWA, WPCF, *Standard Methods for the examination of water and wastewater*. 22<sup>a</sup>. Joint Editorial Board. Washington, DC. 2012.
- [32] A.M Gutiérrez-Álvarez, Y.L. Babativa y I. Lozano, "Presentación de datos", *Revista Ciencias de la Salud*, vol. 2 no. 1 pp. 65-73, Enero/Junio, 2004. Disponible en: [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1692-72732004000100011&lng=en&tlng=es](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1692-72732004000100011&lng=en&tlng=es)
- [33] E. Ramírez, E. Robles, M.G. Sainz, R. Ayala, y E. Campoy, "Calidad Microbiológica del Acuífero de Zacatepec", *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, vol. 25, no.4, pp. 247–255, 2009. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=37012013005>
- [34] E. Ramírez, E. Robles, M.E. González, M.E. Martínez, "Microbiological and Physicochemical Quality of Well Water Used as a Source of Public Supply", *Air, Soil and Water Research*, vol. 3, pp. 105–112, December, 2010. <https://doi.org/10.4137/aswr.s4823>
- [35] P. Bonilla-Lemus, A.S. Caballero-Villegas, J. Carmona-Jiménez and A. Lugo-Vázquez, "Occurrence of free-living amoebae in streams of the Mexico Basin", *Experimental Parasitology*, vol. 145, pp. 28-33, November, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.exppara.2014.07.001>
- [36] E. Ramírez, E. Robles, M.E. Martinez, M.G. Sáinz, B. Martinez, B. Rivas and A. Rocha, "Distribution of free-living amoebae in springs in Morelos, Mexico", *Global Advanced Research Journal of Microbiology*, vol. 5, no. 5, pp. 57- 67, August, 2016.
- [37] D. Bass, *et al.*, "Coprophilic amoebae and flagellates, including *Guttulinopsis*, *Rosculus* and *Helkesimastix*, characterize a divergent and diverse rhizarian radiation and contribute to a large diversity of faecal-associated protists", *Environmental Microbiology*, vol. 18, no. 5, pp. 1604–1619, 2016. <https://doi.org/10.1111/1462-2920.13235>
- [38] J. Lorenzo-Morales, *et al.*, "Early diagnosis of amoebic keratitis due to a mixed infection with *Acanthamoeba* and *Hartmannella*", *Parasitology Research*, vol. 102, no. 1, pp. 167–169, September, 2007. <https://doi.org/10.1007/s00436-007-0754-x>
- [39] P. Scheid, "*Vermamoeba vermiformis*- A Free-Living



Amoeba with Public Health and Environmental Health Significance", *The Open Parasitology Journal*, vol. 7 no. 1, pp. 6-14, April, 2019. DOI: 10.2174/1874421401907010040

- [40] A. González-Robles, L. Salazar-Villatoro, M. Omaña-Molina, J. Lorenzo-Morales and A. Martínez-Palomo, "Acanthamoeba royreba: Morphological features and in vitro cytopathic effect", *Experimental Parasitology*, vol. 133, no. 4, pp. 369–375, 2013. <https://doi.org/10.1016/j.exppara.2013.01.011>
- [41] E. Robles, *et al.*, "Microbiological and Physico-chemical Study of Swimming Pool Water", *International Research Journal of Advanced Engineering and Science*, vol. 4, no. 4, pp. 15–20, 2019. Disponible en: <http://irjaes.com/wp-content/uploads/2020/10/IRJAES-V4N3P396Y19.pdf>
- [42] M. Cabello-Vílchez, "Acanthamoeba spp. un agente oportunista en infecciones humanas", *Revista de Investigación de la Universidad Norbert Wiener*, vol. 4, no.1, pp. 11–32, Septiembre, 2019. <https://doi.org/10.37768/unw.rinv.04.01.002>

## ANTIMICROBIAL EFFECT OF BIOLOGICAL AND CHEMICAL SILVER NANOPARTICLES IN ENVIRONMENTAL SAMPLES

### Efecto antimicrobiano de las nanopartículas de plata biológicas y químicas en muestras ambientales

Diana Alexandra Calvo Olvera<sup>1</sup>, Luz Irene Rojas Avelizapa<sup>2</sup>, Norma Gabriela Rojas Avelizapa<sup>3</sup>

<sup>1-3</sup>Department of Environmental Biotechnology, Instituto Politécnico Nacional, CICATA-QRO, Querétaro, México. <sup>2</sup>Laboratory of Microbial Biotechnology, Universidad Veracruzana, Peñuela Veracruz, México. Querétaro, México. Email: <sup>1</sup>dcalvoo1500@alumno.ipn.mx, <sup>2</sup>luzirenerojas@gmail.com, <sup>3</sup>nrojasa@ipn.mx

#### Abstract

The resistance of bacterial strains to antimicrobial agents and biofilm-associated infections causes considerable economic losses and worldwide deaths. If this problem continues it is estimated that in 2050, about 10 million human deaths could occur per year and the costs would reach 1 trillion USD globally. Most of the studies evaluating the antimicrobial effect of an antimicrobial agent focus on pure bacterial cultures, even when it is known that microorganisms live in communities interacting with each other, causing a less efficient antimicrobial effect on target compounds. Because of previous data, it is necessary the search for alternative and effective methods that, at the same time, do not generate bacterial resistance; silver nanoparticles (AgNPs) can be an excellent alternative; moreover, the evaluation of these antimicrobial agents on microbial communities from environmental samples are needed. In this paper, we synthesized spherical AgNPs by biological and chemical methods with an average diameter of 10.32 and 9.53 nm respectively; we evaluated the antimicrobial effect of both in microbial populations that came from three different environmental samples (computer keyboard, tap water, and pharyngeal exudate). Results showed that both AgNPs are excellent antimicrobial agents obtaining for both inhibition percentages higher than 90%.

**Keywords:** antimicrobial effect, biological nanoparticles, chemical nanoparticles, environmental samples, silver nanoparticles.

#### Resumen

La resistencia de las cepas bacterianas a los agentes antimicrobianos y las infecciones asociadas a biopelículas provoca pérdidas económicas considerables y muertes en todo el mundo. De continuar este problema, se estima que en el año 2050 podrían ocurrir alrededor de 10 millones de muertes humanas y los costos alcanzarían 1 billón de dólares a nivel mundial. La mayoría de los estudios de evaluación del efecto antimicrobiano se han enfocado en el estudio de cultivos puros, aun cuando se sabe que los microorganismos viven en comunidades que interactúan entre sí, lo anterior ocasiona que el efecto antimicrobiano de los compuestos objetivo sea menos eficiente. Debido a esto, es necesaria la búsqueda de métodos alternativos que sean efectivos y no generen resistencia bacteriana; las nanopartículas de plata (AgNPs) pueden ser una excelente alternativa, así también es muy importante la evaluación de estos agentes antimicrobianos en comunidades microbianas provenientes de muestras ambientales. En este estudio se reporta la síntesis de AgNPs esféricas por métodos biológicos y químicos con un diámetro promedio de 10,32 y 9,53 nm respectivamente; se evalúa el efecto antimicrobiano de ambos tipos de nanopartículas en la población microbiana proveniente de tres muestras ambientales diferentes (teclado de computadora, agua del grifo y un exudado faríngeo). Los resultados mostraron que ambos tipos de AgNPs son excelentes agentes antimicrobianos obteniendo en ambos casos porcentajes de inhibición mayores al 90%.

**Palabras clave:** efecto antimicrobiano, nanopartículas biológicas, nanopartículas químicas, muestras ambientales, nanopartículas de plata

## 1. INTRODUCTION

Bacterial resistance is a problem observed around the world since the appearance of antibiotics because microorganisms have genetic mechanisms that allow them to adapt to environmental pressures; resistance to antimicrobial agents is a natural evolution process; however, some factors increase the expression and dissemination of resistance genes such as the inadequate use of antibiotics, incorrect and interrupted supply in the human population and their indiscriminate use in non-health sectors such as agriculture, aquaculture and livestock [1]. Stated factors have caused the emergence of resistant bacterial strains, a situation that has generated a serious public health concern worldwide causing considerable economic losses, morbidity, and mortality [2].

Most studies report that antimicrobial agents are tested in pure bacterial cultures; however, in nature, bacteria are present in consortia formed by different species of bacteria which interact with each other; it has also been observed that these bacterial groups have greater resistance to antimicrobial agents; some bacterial species are even capable of forming biofilms, which are characterized by colonies of agglomerated microorganisms that are adhered to a substrate through the secretion of binding-molecules as adhesion proteins in addition to secreting peptidoglycans that create a covering that protects the microorganisms, making them more difficult to eliminate. Most of the studies explore environmental samples to isolate the bacteria and then evaluate antimicrobials on each one [3,4].

Currently, new alternatives to the use of antimicrobial agents have been assessed, such as the use of nanocomposites and metal nanoparticles, with a greater increase in silver nanoparticles (AgNPs) due to their well-known antimicrobial effect [5]. The specific toxicity mechanisms of AgNPs on microorganisms are not fully

elucidated; however, they can act as follows; 1) they interact and destabilize the cell wall and membrane by disrupting cell permeability and respiration, 2) nanoparticles inside the cell alter the functions of proteins and DNA, 3) producing oxidative stress by the ROS production [6,7].

Therefore, it is more difficult for them to generate bacterial resistance due to the nanoparticles' non-specific action mechanisms [8], so they could be used against multi-resistant bacteria in the biofilm. The antimicrobial effect of AgNPs will depend on several factors such as size (greater toxicity for smaller AgNPs), shape, surface (smaller size, greater surface area more exposed atoms) surface charge, solubility, exposure time, and concentration [9,10]; thus, the antimicrobial effect of AgNPs could be different depending on synthesis parameters.

Calvo et al. [11], reported the antimicrobial effect of the biological AgNPs synthesized by extracellular filtrate of fungus *Paecilomyces variotii* on pure bacterial cultures demonstrating that the antimicrobial effect varied according to the type of microorganism, even between strains of the same species. The inhibition percentages obtained for all the analyzed strains were greater than 89%; the most sensitive strain was *Proteus vulgaris* with a minimum inhibitory concentration (MIC) of 99.8%. The most resistant was *Staphylococcus aureus* ATCC 25923 with 89.9% [11]. Based on the previous information (11), the objective of the present study was to evaluate the antimicrobial effect of both AgNPs synthesized chemically and biologically on the microbial populations present in three environmental samples and to determine if there is different inhibition behavior between both types of nanoparticles.

## 2. MATERIALS AND METHODS

### 2.1. Materials

The fungus *Paecilomyces variotii* was obtained from the microbial collection of the Environmental Biotechnology Laboratory at CICATA-QRO. The fungus was obtained and isolated from a wet spent catalyst (TiO) which contained SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, S and SO. Three different types of samples of microbial origin were studied, which were taken using a sterile swab covered with a culture medium, the first sample was taken from a computer keyboard, the second sample was taken from a biofilm found in tap water, and the third sample was taken from a 58 years old patient with a diagnosis of cholangiocarcinoma (bile duct cancer), liver and diabetic abscess at the ISSSTE hospital in San Luis Potosi, México.

Nutrient broth, nutritive agar, and D- glucose were purchased from Bioxon (México). Cadmium nitrate and sodium sulfide were obtained from Fermont (México), and Potato dextrose agar and Starch were purchased from Becton Dickinson and Company (Belgium). Malt dextrose broth was obtained from Dibico (México). AgNO<sub>3</sub> was purchased from Sigma Aldrich (Germany).

### 2.2. Methods

#### 2.2.1. Biological Synthesis

The biological synthesis of AgNPs was carried out using the extracellular filtrate (EF) of the fungus *Paecilomyces variotii*. The fungus was cultured in potato dextrose agar (PDA) for 72 h at 30°C, after that, a solution of 3.3x10<sup>5</sup> spores/mL was inoculated in 120 mL flasks with 30 mL of malt dextrose broth at 30°C, 140 rpm for 5 days. Afterward, the mycelium was separated by vacuum filtration, and 2 gr of mycelium was weighed and incubated with 30 mL of distilled water at 30°C, 140 rpm for 72 h; later, the EF was recovered by vacuum filtration. The EF was incubated with 1 mL of 30 mM AgNO<sub>3</sub> at 45°C, 180 rpm for 48 h under dark conditions. The inorganic negative control (NC) contained 30 mL of 1 mM AgNO<sub>3</sub> and the enzymatic activity control (EAC) consisted of 30 mL of the extracellular filtrate and 1 mL of sterile distilled water.

#### 2.2.2. Chemical synthesis

The AgNPs were prepared by the methodology reported by Aguilar et al. [10], where 200 mL of starch at 0.17% was heated at 80°C until gelatinization, and then 3.33 mL of AgNO<sub>3</sub> 0.1 M and 5 mL of D-glucose were added; finally, the pH was adjusted at 10 by adding NaOH at 12%; the AgNPs synthesis was evidenced by the color change from yellow to brown. The NC consisted of 30 mL of 0.1 M AgNO<sub>3</sub>.

#### 2.2.3. Nanoparticles characterization

The AgNPs synthesized by both methods were analyzed by UV-Vis measurement at 200 to 800 nm in a spectrophotometer (Genesys 10S, Thermo Scientific, Spain), and data were plotted with the Origin Pro v8 program. The shape, size, and dispersion of the NPs were observed in an electronic transmission microscope (JEOL J2000FX, USA) with a resolution of 200000x. The ImageJ program was used to analyze the NPs images.

#### 2.2.4. Assessment of antimicrobial activity

Three different types of environmental samples were under study (computer keyboard, tap water, and pharyngeal exudate), each sample was taken using a sterile cotton swab impregnated with nutrient broth, incubating in 10 mL of nutrient broth at 30°C for 24 h.

The MIC (Minimum Inhibitory Concentration) was determined, this value is defined as the lowest concentration of antimicrobial agent that inhibits microbial growth (12). The tests were performed with different nanoparticle concentrations in nutrient broth (5, 10, and 15 ppm) and inoculated with 1x10<sup>6</sup> CFU/mL of each sample, this concentration was determined according to literature (3). All experimentation was done in triplicate using as control the sole inoculum of each sample in nutrient broth without nanoparticles. Finally, the tubes were incubated at 30°C for 24 h. Treatments, where the lowest AgNPs concentration had a negative effect on the microbial culture, were reported as the MIC.

The MBC (Minimum Bactericidal Concentration) is defined as the lowest concentration of antimicrobial

agent needed to kill 99.9% of the final inoculum after incubation for 24 h (12). For this assay, after 24 h of incubation, serial dilutions of the samples in which no visible bacterial growth were observed were prepared and inoculated (100  $\mu$ L) in nutritive agar and incubated at 30°C for 24 h, afterwards, colonies were counted to determine the MBC and the microbial inhibition percent. The assays were performed in triplicate and the negative control consisted of nutrient broth without AgNPs.

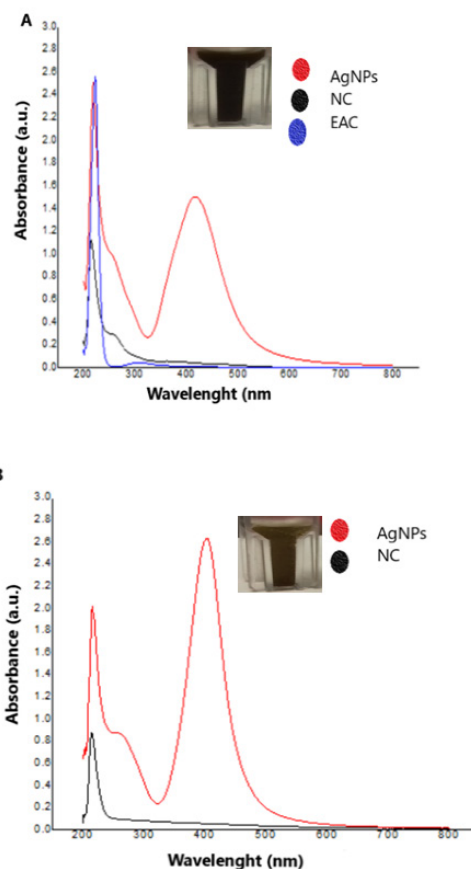
#### 2.2.4. Statistical analyses

The statistical analyses were carried out with an analysis of variance (ANOVA) and Tukey test ( $P < 0.05$ ) using the Minitab software.

### 3. RESULTS

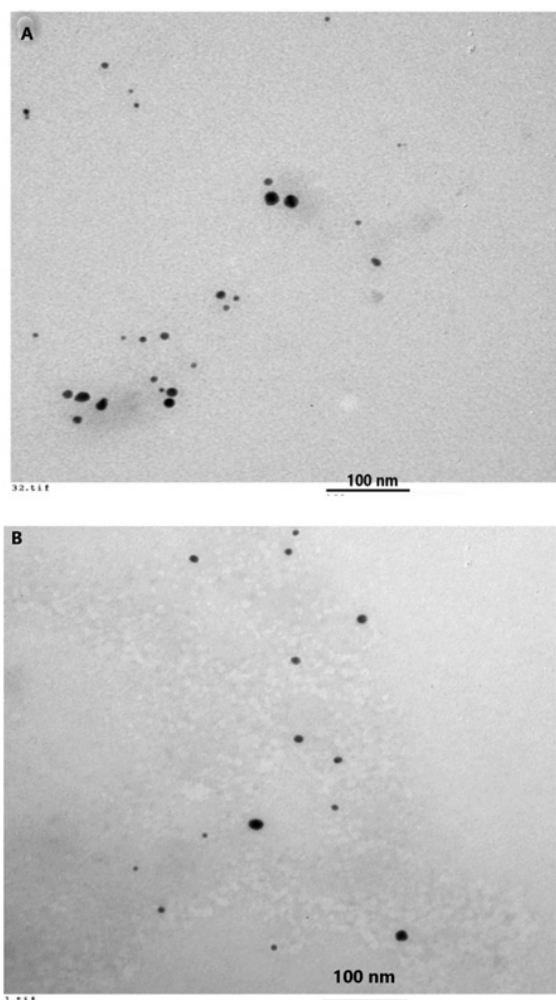
#### 3.1. Synthesis and characterization of AgNPs

The synthesis of both types of AgNPs was evidenced by the change in the color from colorless to dark brown for biological AgNPs and brown for the chemical AgNPs, this color is indicative of the AgNPs formation due to the excitation of the vibrations of the surface plasmon resonance of silver nanoparticles that produce a characteristic absorption band around 400 to 450 nm [13]. The absorption spectrum for biological AgNPs showed a band around 420 nm (Figure 1 A) while the chemical AgNPs showed a band around 400 nm (Figure 1 B), this blue shift may be due to the different sizes of the nanoparticles, smaller NPs are blueshifted [13], which is consistent with the size difference determined by TEM.



**Figure 1.** Optical absorption spectra of AgNPs. A) AgNPs synthesized by biological methods, red line (AgNPs), black line (negative control, NC), and the blue line (enzymatic activity control, EAC). B) AgNPs synthesized by chemical method, red line (AgNPs), black line (negative control, NC).

The analysis by transmission electron microscopy (TEM) confirmed the synthesis of spherical AgNPs by both chemical and biological methods. The micrographs were analyzed in the ImageJ program, it was determined that the average diameter for biological AgNPs was 10.32 nm (Figure 2 A) and the average diameter for chemical AgNPs was 9.53 nm (Figure 2 B).



**Figure 2.** TEM micrographs show spherically shaped of AgNPs. A) Biological AgNPs with an average size of 10.32 nm B) Chemical AgNPs with an average size of 9.53 nm.

### 3.2. Antimicrobial effect of AgNPs

#### 3.2.1. Determination of the minimum inhibitory concentration

To determine the bacteriostatic effect (bacterial growth is only transiently inhibited) an inoculum of  $1 \times 10^6$  CFU/mL of each sample was exposed to 5, 10, and 15 ppm of AgNPs solutions diluted in nutrient broth for 24 h as it was mentioned in the materials and methods section. Table 1 shows the results, the most resistant inoculum was the one obtained from the pharyngeal exudate with a MIC

of 10 ppm for chemical AgNPs and 15 ppm for biological AgNPs. The chemical AgNPs allowed lower MIC values for all treatments.

**Table 1.** The minimum inhibitory concentration of AgNPs

Sample	MIC Chemical AgNPs (ppm)	MIC Biological AgNPs (ppm)
Computer keyboard	<5	10
Tap water	<5	10
Pharyngeal exudate	10	15

#### 3.2.2. Determination of the minimum bactericidal concentration

The bactericidal effect (lethal action on the bacteria), was only observed with the concentration of 15 ppm with the biological AgNPs on the sample of pharyngeal exudate (Table 2), because it is necessary to kill 99.9% of the bacterial population, which was only achieved for this sample.

For the other samples, a few bacterial growth was observed, however, it did not kill 99.9% of the population, the results obtained are shown in the following table. The percentages obtained for the undetermined samples are shown in the following section as microbial inhibition percentages.

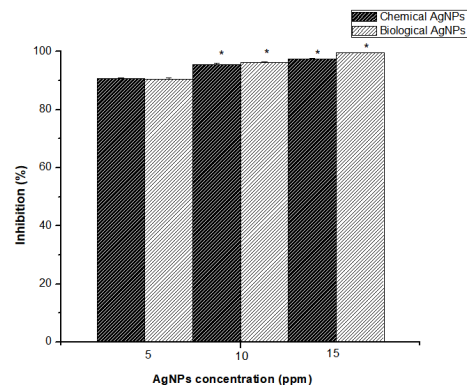
**Table 2.** The minimum bactericidal concentration of AgNPs

Sample	Concentration (ppm)	Chemical AgNPs	Biological AgNPs
Computer keyboard	5	+	+
	10	+	+
	15	+	+
Tap water	5	+	+
	10	+	+
	15	+	+
Pharyngeal exudate	5	+	+
	10	+	+
	15	+	-

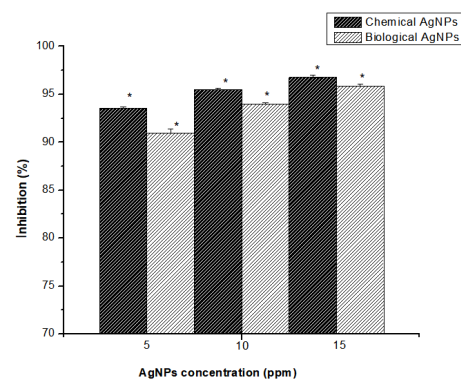
*\*Positive (+):* Indicating growth; *Negative (-):* Indicating absence of growth.

### 3.2.3. Determination of the microbial inhibition percent

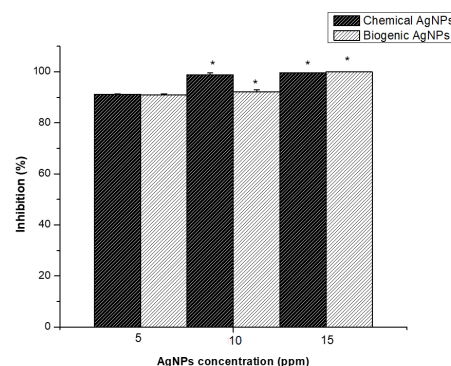
The inhibition percent obtained for all samples were above 90% and increased as the concentration increased for both types of NPs; the data are shown in figures 3 to 5. For the sample of a computer keyboard (Figure 3), the percentage of inhibition at 5 ppm was similar for both types of NPs, obtaining 90.6% for the biological and 90.8% for the chemical ones, although there was not significant difference; but the highest inhibition effect was observed for biological AgNPs at concentrations of 10 and 15 ppm. For microorganisms from the tap water samples (Figure 4), the chemical NPs were more efficient as they achieved higher inhibition percentages than the biogenic NPs for all concentrations, the difference between treatments was significant. For the pharyngeal exudate sample (Figure 5), inhibition percentages were similar for both types of NPs at all evaluated concentrations.



**Figure 3.** Inhibition percentages of microbial growth from a sample taken from a computer keyboard. (\*) treatments with a significant difference, p-value <0.05.



**Figure 4.** Inhibition percentages of microbial growth from a tap water sample. (\*) treatments with a significant difference, p-value <0.05.



**Figure 5.** Inhibition percentages of microbial growth from pharyngeal exudate. (\*) treatments with a significant difference, p-value <0.05.

#### 4. DISCUSSION

The antimicrobial effect of AgNPs depends on several factors such as size, shape, surface charge, and concentration of silver ions, among others, that is the reason why it is difficult to compare their effectiveness even more with other studies or samples. Additionally, each study uses different bacterial strains which complicates the comparison. There are few studies on the evaluation of the AgNPs effect on microbial populations from environmental samples, most of them have been focused on evaluating the environmental impact of NPs or inhibiting the biofilm formation.

Colman et al. [14] evaluated AgNPs in the microbial population of stream water and sediment and they found that microbial respiration after exposure to 75 mg AgNPs was 39% lower than the control (untreated microorganisms) in the stream water microbes, and in the sediment microbes, there was no significant change in the measurement of biomass or respiration with respect to the control. On the other hand, Bhattacharyya et al. [15] synthesized ZnONPs and evaluated their effect on the inhibition of *Streptococcus pneumoniae* biofilm formation and they found a MIC of 40 µg/ml on *S. pneumoniae*.

As observed in the present study, the effect varies depending on the microbial population present in each sample. Results of this study showed a greater resistance for inoculum from pharyngeal exudate, which probably is due to the sample coming from an immunocompromised patient exposed constantly to antibiotics. Most of these types of samples have infectious agents and often present resistance to antibiotics that have intrinsic or acquired characteristics that could generate resistance to AgNPs, in comparison with those samples that came from the computer keyboard and tap water where mainly enterobacteria could be observed; these bacteria do not have a high selection pressure as bacteria in hospitals or patients. Although there are no available studies to compare the present results.

Leid et al [16], reported the MIC for N-heterocyclic silver carbene complexes (SCCs) encapsulated into L-tyrosine polyphosphate (LTP) nanoparticles on bacteria isolated from patient samples; *E. coli* was found and isolated from a sputum sample with a MIC of 22.7 ppm, *S. aureus* isolated from blood with a MIC of 22.7 ppm and *P. aeruginosa* isolated from sputum with a MIC of 2.9 ppm. On the other hand, Abdalhamed et al. [17], evaluated AuNPs on *Escherichia coli* and *Salmonella* species isolated from fecal ruminants' samples and they determined a MIC of 3.125 g/ml for *E. coli* and 5.5 g/ml for *Salmonella*.

The MIC determined in the past study [11] was lower for all strains except for *P. aeruginosa* where we obtained a MIC of 10 ppm; even though our samples were analyzed without isolating the microorganisms. In general, the antimicrobial effect of NPs is difficult to compare among reports because the effect depends on the characteristics of the NPs, which vary greatly, and on the microorganism under study. Nevertheless, silver nanoparticles have proven to be an effective antimicrobial (3).

Based on the results, we can propose that both types of nanoparticles are efficient antimicrobial agents since they reached inhibition percentages higher than 90%. The antimicrobial effect strongly depends on the origin/type of the sample and the microbial population present in each sample.

#### 5. CONCLUSION

The results showed inhibition percentages higher than 90% for both types of AgNPs which is a good indicator of their effectiveness especially if they were evaluated on environmental samples. Biological nanoparticles synthesized by *P. variotti* are outstanding candidates to inhibit microbial growth, so they would be an excellent alternative to the antimicrobials commonly used.



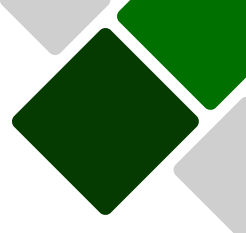
## REFERENCES

- [1] C.E. Cabrera, R.F. Gómez y A. E. Zúniga, "La resistencia de bacterias a antibióticos, antisépticos y desinfectantes una manifestación de los mecanismos de supervivencia y adaptación". *Colomb. Med.* [online]. 2007, vol.38, n.2, pp.149-158. ISSN 1657-9534. Disponible en: [http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S1657-953420070002000008&script=sci\\_abstract&lng=es](http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S1657-953420070002000008&script=sci_abstract&lng=es)
- [2] W. K. Jung, H. C. Koo, K. W. Kim, S. Shim, S. H. Kim and Y.H. Park, "Antibacterial activity and mechanism of action of the silver ion in *Staphylococcus aureus* and *Escherichia coli*" *Applied and Environmental Microbiology*. 2008 Apr;74(7):2171-8. DOI: 10.1128/AEM.02001-07
- [3] N. Beyth, Y. Hourri-Haddad, A. Domb, W. Khan and R. Hazan, "Alternative antimicrobial approach: Nano-antimicrobial materials". *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine*. Vol. 2015. pp. 1-17 <https://doi.org/10.1155/2015/246012>
- [4] A. Ortega, et al "SP477QUATERNARY AMMONIUM POLYETHYLENEIMINE NANOPARTICLES: ANTIMICROBIAL EVALUATION AGAINST BACTERIA FROM PERITONEAL DIALYSIS RELATED PERITONITIS". *Nephrology Dialysis Transplantation*. 2015 / 05 Vol. 30; Iss. suppl\_3 DOI:10.1093/ndt/gfv196.03
- [5] A. Rodríguez, "Estudio del efecto antimicrobiano de nanopartículas de FeAg funcionalizadas con lectinas sobre *Escherichia coli* O157:H7 Y *Staphylococcus aureus*". Tesis de Maestría, Universidad Industrial Santander, Bucaramanga, Colombia. 2012.
- [6] C. Flores, "Nanopartículas de plata con potenciales aplicaciones en materiales implantables: síntesis, caracterización fisicoquímica y actividad bactericida". Tesis de Doctorado no publicada, Universidad Nacional de la plata, Facultad de ciencias exactas, La Plata, Argentina. 2014.
- [7] Sánchez-López E, Gomes D, Esteruelas G, Bonilla L, Lopez-Machado A, Galindo R, Cano A, Espina M, Ettcheto M, Camins A, Silva A, Durazzo A, Santini A, Garcia M, Souto E "Metal-based nanoparticles as antimicrobial agents: An overview". *Nanomaterials*, Vol. 10, núm. 2, pp. 1–39, febrero, 2020. <https://doi.org/10.3390/nano10020292>
- [8] A. Ávalos, Al. Haza and D. Mateo, "Nanopartículas de Plata: Aplicaciones y Riesgos Tóxicos para la Salud Humana y El Medio Ambiente". *Revista Complutense de Ciencias Veterinarias*, Vol. 7, núm. 2, 2013, págs. 1-23. [http://dx.doi.org/10.5209/rev\\_RCCV.2013.v7.n2.43408](http://dx.doi.org/10.5209/rev_RCCV.2013.v7.n2.43408)
- [9] S. Pal, J. K. Tak and J. M. Song, "Does the antibacterial activity of silver nanoparticles depend on the shape of the nanoparticle? A study of the gram-negative bacterium *Escherichia coli*". *Applied and Environmental Microbiology*, Vol. 73, núm. 6, 2007, pp. 1712–1720. <https://doi.org/10.1128/AEM.02218-06>
- [10] M.A. Aguilar-Méndez, E. San Martín-Martínez, L. Ortega-Arroyo, G. Gobián-Portillo and E. Sánchez-Espíndola "Synthesis and characterization of silver nanoparticles: effect on phytopathogen *Colletotrichum gloeosporioides*". *Journal of Nanoparticles Research*, Vol. 13, 2011, pp. 2525-2532. <https://doi.org/10.1007/s11051-010-0145-6>
- [11] A. Calvo and N. Rojas "Antimicrobial effect of silver nanoparticles synthesized by *Paecilomyces*". *2019 IEEE International Conference on Applied Science and Advanced Technology (iCASAT)*, Queretaro, Mexico, 2019, pp. 1-6. DOI: 10.1109/iCASAT48251.2019.9069536.
- [12] M. Balouiri, M. Sadiki and S. K. Ibnsouda, "Methods for in vitro evaluating antimicrobial activity: A review". *Journal of pharmaceutical analysis*, vol. 6, no. 2, 2016, pp. 71-79. <https://doi.org/10.1016/j.jpha.2015.11.005>
- [13] E. Saion, E. Gharibshahi and K. Naghavi, "Size-Controlled and Optical Properties of Monodispersed Silver Nanoparticles Synthesized by the Radiolytic Reduction Method". *International Journal of Molecular Sciences*, Vol. 14(4), 2013, pp. 7880-7896. <https://doi.org/10.3390/ijms14047880>
- [14] B.P. Colman, S.-Y. Wang, M. Auffan, M. R. Wiesner and E. S. Bernhardt, "Antimicrobial effects of commercial silver nanoparticles are attenuated in natural streamwater and sediment", *Ecotoxicology*,

vol. 21, no. 7, 2012, pp. 1867-1877. <https://doi.org/10.1007/s10646-012-0920-5>

P. Bhattacharyya, B. Agarwal, M. Goswami D, D. Maiti,

- [15] S. Baruah and P. Tribedi "Zinc oxide nanoparticle inhibits the biofilm formation of *Streptococcus pneumoniae*", *Antonie Van Leeuwenhoek*, vol. 111, no. 1, 2018, pp. 89-99. doi: 10.1007/s10482-017-0930-7
- [16] A. M. Abdalhamed, A. A. Ghazy, E.S. Ibrahim, A.A. Arafa and G.S.G. Zeedan, "Therapeutic effect of biosynthetic gold nanoparticles on multidrug-resistant *Escherichia coli* and *Salmonella* species isolated from ruminants", *Veterinary World*, Vol. 14, núm. 12, 2021, pp. 3200-3210. doi: [www.doi.org/10.14202/vetworld.2021.3200-3210](http://www.doi.org/10.14202/vetworld.2021.3200-3210)
- [17] J. G. Leid, A. J. Ditto, A. Knapp, P. N. Shah, B. D. Wright, R. Blust, L. Christensen, C. B. Clemons, J. P. Wilbert, G. W. Ypung, et al. "In vitro antimicrobial studies of silver carbene complexes: activity of free and nanoparticle carbene formulations against clinical isolates of pathogenic bacteria". *Journal of Antimicrobial Chemotherapy*, Vol. 67, Issue 1, January 2012, pp. 138–148. <https://doi.org/10.1093/jac/dkr408>



## **CRITERIOS GENERALES PARA LA PRESENTACIÓN DE ARTÍCULOS REVISTA INGENIERÍA, INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA Y TECNOLÓGICA DE COLOMBIA, SECCIONAL SOGAMOSO**

La Revista Ingeniería, Investigación y Desarrollo I2+D, es una publicación que se edita semestralmente y maneja una convocatoria permanente, financiada por la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, Seccional Sogamoso-Boyacá, Colombia, creada en el año 2005. Tiene como misión publicar y divulgar artículos científicos, productos de una investigación, en todos los campos de la ingeniería y tecnología: Industrial, electrónica y comunicaciones, ciencias de la tierra, sistemas y computación, ingeniería de los materiales, ingeniería electromecánica, ambiental, transporte y vías, y otras afines.

Ingeniería, Investigación y Desarrollo invita a toda la comunidad académica e investigativa de instituciones públicas y privadas, regionales, nacionales e internacionales, tales como investigadores, grupos y semilleros de investigación, docentes, estudiantes, directivos de ingeniería y demás interesados en temáticas relacionadas con las diferentes áreas de la Ingeniería, para que presenten sus contribuciones y trabajos inéditos, en español o inglés. Podrán publicarse artículos originales, de investigación y/o innovación tecnológica.

Los artículos sometidos serán evaluados previamente por el comité editorial, y por pares evaluadores externos o internos antes de su publicación, que se reservan el derecho de decidir sobre su publicación. Los pares revisores emitirán un concepto sobre el contenido del artículo desde la calidad y el rigor científico, en el formato de evaluación establecido por la revista. Las observaciones y sugerencias manifestadas por los evaluadores serán enviadas a los autores para que realicen los respectivos ajustes, con el fin de decidir si el artículo cumple con las condiciones para ser publicable o no. La Revista siempre utilizará el sistema de “par doble ciego” En este proceso se da un espacio de correspondencia entre el editor y los autores para los ajustes necesarios. Los tiempos de publicación de un artículo dependerán en gran medida de la oportuna respuesta que los autores den a cada requerimiento del editor, los trabajos enviados a “Ingeniería, Investigación y Desarrollo” no podrán ser sometidos simultáneamente a evaluación por otro medio de publicación. La aceptación de un artículo por parte del comité editorial, no implica que vaya a ser publicado, el contenido de los trabajos es responsabilidad exclusiva de sus autores. No se devolverán los originales de los trabajos.

Todos los artículos deben matricularse en la plataforma OJS, accesible desde el sitio web [https://revistas.uptc.edu.co/index.php/ingenieria\\_sogamoso/about/submissions#submission\\_checklist](https://revistas.uptc.edu.co/index.php/ingenieria_sogamoso/about/submissions#submission_checklist), or, junto con la carta de presentación, firmada por los autores, para realizar el proceso de matrícula del manuscrito el autor debe compilar previamente un formulario de registro, escogiendo la opción de autor, donde le será asignado un usuario y contraseña para que pueda realizar el envío del documento. Por medio de este mismo enlace podrá ser consultada y descargada la plantilla de presentación de artículos y el modelo de la carta de cesión de derechos de autores estipulado por la revista.

**Extensión del artículo:** Los artículos se presentan en hojas tamaño carta con márgenes superior: 3 cm, derecho: 2 cm, izquierdo: 3 cm e inferior: 2 cm, a espacio sencillo, doble columna, letra calibri y un contenido de máximo 10 páginas.

**Estructura:** Secciones: título, resumen, palabras clave, introducción, materiales y métodos, resultados, discusión, conclusiones, agradecimiento (si procede) y referencias. Para las tres primeras secciones se requiere, además, su traducción al inglés (title, abstract and keywords), que se colocará inmediatamente debajo de la versión en español.

**Título:** se sugiere no exceder de 15 palabras.

**Resumen:** máximo 250 palabras, el propósito del trabajo, los métodos empleados, resultados más significativos y conclusiones más importantes. Se redactará en un solo párrafo, en tiempo presente y modo impersonal. No incluirá abreviaturas, siglas, citas bibliográficas ni referencias a tablas o figuras.

**Palabras clave:** en orden alfabético, 4 o 5 términos relacionados con el contenido del artículo.

**Introducción:** tratará el tema específico del trabajo e informará sobre el propósito, importancia, aplicación práctica de la investigación y conocimiento actual del tema.

**Materiales y métodos:** proveerá suficiente información para que el experimento pueda repetirse bajo las mismas condiciones. Cuando los métodos, técnicas y procedimientos empleados sean muy conocidos, bastará con mencionarlos. Si se modifica un método de otro investigador deberá aportarse la cita y explicar detalladamente la modificación; pero si el método es nuevo, se describirá en detalle. Cuando se trate de investigaciones de campo, deberán aparecer las características del área de estudio y del muestreo.

**Resultados:** se expondrán mediante texto, figuras, tablas, cuidando no repetir una misma información en más de una forma, en esta sección se deben presentar los resultados hallados en la investigación.

**Discusión:** se explicarán los datos experimentales y se compararán con los resultados obtenidos por otros investigadores. Las secciones de Resultados y Discusión podrán presentarse de forma independiente o combinada, según preferencia del autor.

**Agradecimientos:** será el lugar para reconocer la ayuda de personas e instituciones que aportaron significativamente al desarrollo de la investigación.

**Referencias:** Las referencias bibliográficas y citas, deben atender al estilo IEEE, se registrarán solamente los trabajos citados en el texto, que deberán tener un nivel adecuado de actualización, las referencias deben hacerse por orden de aparición en el artículo. Téngase en cuenta que la actualidad de las referencias es un elemento de gran peso en la evaluación de la calidad de los artículos, se debe adicionar el DOI a las referencias bibliográficas que lo tengan.

Para obtener la plantilla de presentación de artículos, por favor diríjase al correo: [revistaid@uptc.edu.co](mailto:revistaid@uptc.edu.co) o al enlace: [https://revistas.uptc.edu.co/index.php/ingenieria\\_sogamoso/about/submissions](https://revistas.uptc.edu.co/index.php/ingenieria_sogamoso/about/submissions) en la sección Acerca de.



**GENERAL REQUIRMENTS TO SUBMIT  
PAPERS TO “REVISTA INGENIERÍA, INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO”  
UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA Y TECNOLÓGICA DE COLOMBIA, SOGAMOSO BRANCH**

The Journal of Ingeniería, Investigación y Desarrollo I2+D, is a Biannual Publication, it is supported and edited by the Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, of Sogamoso Branch. It was created in 2005; this is a place to submit and inform about all academic papers related to topics as technology and engineering. Authors can publish papers related to topics of Engineering Fields as: Industrial, Electronic and Communication, Earth sciences and Computation, at the same time, Materials, Electro-mechanic, Environmental, Transport and Roads, and related areas.

Ingeniería, Investigación y Desarrollo invites all academic and community researchers, research groups, professors, students and Chiefs from Public and Private institutions to submit unpublished works on engineering and technology, they would be in Spanish and English. They are going to involve research papers of innovation and technology who presents original results of projects and research; also it includes, review papers and reflecting ones. Once papers were assessed and approved by external peers – reviewers, they had belonged a bank of papers to be published based on received and accepted deadlines. The Editor Committee in charged reserve the rights of publishing.

Peers – reviewers emit a definite concept about the content of the paper based on quality and scientific rigour, following the Assessment Template established by this journal. Observations and suggestions leading by the jurors (peers – reviewers) will be sent to the authors, they have to adjust it with the purpose to make a decision taking into consideration the suggestions to be published or not. This Journal submits all articles received to a process of “double-blind peer” review. During this process Editor and Authors are accomplishing all requirements and necessary adjustments being made.

The turnaround times needed to publish a paper depend on the authors acknowledge that response to double-blind peer’s and Editor Committee suggestions; It is relevant to mention that works had been sent to “Ingeniería, Investigación y Desarrollo” cannot be submitted simultaneously to other Journal or mass media. Moreover, approved of the paper does not mean they are going to be published. The articles represent the authors' opinions; the latter is therefore solely responsible and liable for his/her works. This Journal will not be returned original file of papers.

Papers have to be send it by using OJS Platform of this Journal following the link: [https://revistas.uptc.edu.co/index.php/ingenieria\\_sogamoso/about/submissions#submission\\_checklist](https://revistas.uptc.edu.co/index.php/ingenieria_sogamoso/about/submissions#submission_checklist), or to the institutional e-mail of the journal (revistaiid@uptc.edu.co). In this place, authors can find the Template and Cover Letter to Publish that have to be signed by the authors. In the OPS Platform author/user has to register its personal information, in order to send the manuscript.

**Length of article:** All papers should be presented in letter sheets with the following margins: the top margin 3cm, top right 2cm, top left 3cm and the bottom 2cm, the manuscript has 12pt of Calibri font, single spacing, maximum 10 pages including Abstract, Figures and References.

**Body:** sections: title, abstract, key words, introduction, materials and methods, results, discussion, conclusions, acknowledgments (if it is necessary) and references. The three sections entitled: title, abstract and keywords have to be in English and Spanish too following the Template of this Journal.

**Title:** We suggest; it must not exceed 15 words.

**Abstract:** Minimum of 250 words. This section refers to be concise with its content; its clarity is pretty relevant, because it allows to identify the topic developed along the journal. This section involves the most important point of views, goals of the research, basic procedures (places, research places or zones, analytic and observation methods), the most relevant results (based on the presentation of concrete data) and the main observations and conclusions that show originality and innovation of the research. Author/s write one paragraph in an impersonal way, using present simple. It does not include abbreviation, acronyms, references or citations of tables or figures.

**Key words:** Authors can identify three or five simple concepts or composed nouns related to the content of the paper. If you want, you can consider the Thesaurus Platform to write on them.

**Introduction:** It is going to develop a specific topic and inform purpose, reliability, practice or application of the research based on current knowledge of the topic.

**Materials and methods:** Provide enough information that allow experiments are going to be reproducible under the same conditions. When methods, techniques and procedures implemented are well-known, just it is enough mention them. If any authors 'method is modified, it should be right cited and thoroughly explained. But if the method is new, it should be thoroughly described. About field research, it should be appeared characteristics of area and sampling study.

**Results:** Authors report achievements made by using experimentation, analysis, contrasting, diagnosis, contextual studies using arguments, figures, tables taking into account do not repeat the information at the same way, this section shows results found in the investigation.

**Discussion:** In this section, the author establishes sections and titles that are going to be used to defend main objective of this research which is explained along the paper. It explains experimental data and compare results obtained from others researchers. Sections of Results and Discussion can be presented in independent way or combined, based on authors' preferences.

**Acknowledgments:** This section allows the authors to emphasize what is the relevant support of people and institutions to develop the research.

**References:** According to the IEEE style, all references consulted are going to be signed with a number into the text in parenthesis/bracket [] in correlation with the bibliography data. This list is going to be full of references and presented in the end of the manuscript and organized in the order of appearance on the citations along the text. Citations need to be updated and correspond to guarantee quality in the manuscripts. It is important to add DOIs of references, if they content it.

To get Template and Cover Letter to Publish, please contact us writing an e-mail to: [revistaid@uptc.edu.co](mailto:revistaid@uptc.edu.co) or following the link: [https://revistas.uptc.edu.co/index.php/ingenieria\\_sogamoso/about/submissions](https://revistas.uptc.edu.co/index.php/ingenieria_sogamoso/about/submissions) to section About us.



**REVISTA INGENIERÍA, INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO  
UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA Y TECNOLÓGICA DE COLOMBIA  
SECCIONAL SOGAMOSO  
SUSCRIPCIÓN / SUBSCRIPTIONS**

Nombre/Name: \_\_\_\_\_ C.C. \_\_\_\_\_

Apellidos/Last Name: \_\_\_\_\_

Profesión/Profession: \_\_\_\_\_

Departamento académico/Academic department: \_\_\_\_\_

Dirección de Envío/Address: \_\_\_\_\_

Teléfono/Telephone Number: \_\_\_\_\_ ext: \_\_\_\_\_ Fax: \_\_\_\_\_

Oficina/: \_\_\_\_\_

Ciudad/City: \_\_\_\_\_

País/Country: \_\_\_\_\_

Correo Electrónico/Email: \_\_\_\_\_

Suscripción a partir del número/ Subscription from number : \_\_\_\_\_

Firma: \_\_\_\_\_

Envíe este formato totalmente diligenciado a: [revistaiid@uptc.edu.co](mailto:revistaiid@uptc.edu.co); a vuelta de correo recibirá el ejemplar solicitado de la revista I2+D. La suscripción a la Revista I2+D es totalmente gratuita.

## **Correspondencia, Canje y Suscripciones**

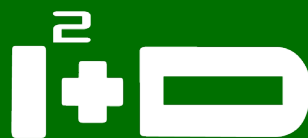
**REVISTA INGENIERÍA, INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO I2+D  
Calle 4 Sur N° 15-134 Tels.: (57+8) 7705450, 770 6896, 770 7721  
Ext. 2606**

**Uptc Sogamoso-Boyacá, Colombia**

**E-mail: [revistaiid@uptc.edu.co](mailto:revistaiid@uptc.edu.co)**

**[www.uptc.edu.co/enlaces/ringinvedesa](http://www.uptc.edu.co/enlaces/ringinvedesa)**

**DOI: <http://dx.doi.org/10.19053/issn.1900-771X>**



**Ingeniería, Investigación y Desarrollo**

ISSN: 1900-771X Impreso

ISSN: 2422-4324 En línea