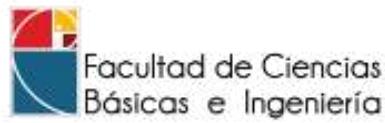




Unillanos. Cualificación Académica y Acción Social



Memorias - TOMO I CICI 2024



# V Congreso Internacional de Ciencias Básicas e Ingeniería - CICI 2024

## Comité Organizador:

Presidente: Elvis Miguel Perez Rodriguez – Decano FCBI  
 Vicepresidente: Santiago Sandoval Gutierrez – Dir. Centro de Investigación FCBI  
 Wilson Monroy Moyano – Dir. Centro de Proyección Social FCBI  
 Olga Lucero Vega Marquez – Dir. Escuela de Ingeniería FCBI  
 Beatriz Rojas García – Dir. Departamento de Matemáticas y Física FCBI  
 Jorge Jimenez Montoya – Dir. Departamento de Biología y Química  
 Karol Baquero Borda – Dir. Programa de Ingeniería Ambiental  
 Luis Antonio Gonzalez Montaña – Dir del Museo de Historia Natural Unillanos  
 Miguel Navarro Ramirez – Profesor Departamento de Biología y Química  
 Luis Machado Domínguez – Profesor Departamento Matemáticas y Física  
 Sara Cristina Guerrero – Profesor Departamento Matemáticas y Física  
 Cesar Díaz Celis – Profesor Escuela de Ingeniería

## Comité Científico:

Daniel Aguilera Bulla – Cergy París University – Francia  
 Carlos Alberto Niño Sandoval – University of Birmingham – Inglaterra  
 Jorge Luis Pimentel Jr – Universidade Federal do Rio Grande do Sur – Brasil  
 Adelhakim Elmouhawidi – Universidad de Granada – España  
 Paola Andrea Gómez Barreto – Schneider Electric and Capgemini – Francia  
 Carmen Elena Barragán – Universidade Federal do Goiás – Brasil  
 Rafael Gonzalez Martinez – Universidad del Norte – Colombia  
 Jaime Alberto Chavarriaga – Itempo SAS – Colombia  
 Ramiro Miguel Acevedo – Universidad el Cauca – Colombia  
 Oscar Orlando Melo – Universidad Nacional de Colombia

## Patrocinadores:

Universidad de los Llanos  
 Dirección General de Investigaciones – Unillanos  
 Dirección General de Proyección Social – Unillanos  
 OIRI – Unillanos  
 Facultad de Ciencias Básicas e Ingeniería – Unillanos  
 Cormacarena  
 Enciso Systems  
 Dotaequip LTDA  
 Sasoftco  
 Nuevos Recursos  
 Orinoquia Experiences

## EDITORIAL

A través de la presentación de este libro de memorias, culminamos con éxito el V Congreso Internacional de Ciencias Básicas e Ingeniería CICI-2024, esta edición especial se realiza con el apoyo de la revista Punto de Inflexión (ISSN 3028-6425) de la Facultad de Ciencias Básicas e Ingeniería (FCBI) de la Universidad de los Llanos.

La postulación de más de 150 trabajos y la presentación de reconocidos invitados internacionales en las áreas de INGENIERÍAS: Electrónica, Sistemas, Ambiental, Procesos y afines; CIENCIAS BÁSICAS: Biología, Matemáticas, Química, Física y Estadística y GESTIÓN AMBIENTAL Y ENERGÍA, permiten evidenciar la fortaleza y madurez con las que el congreso se ha desarrollado a través de estos años.

Los conferencistas invitados mostraron los avances en sus respectivos campos de conocimiento a través de talleres y conferencias magistrales. En el área de la física el Dr. Jorge Luiz Pimentel, a través de la conferencia “Introducción a la Espectroscopía Raman y sus aplicaciones” demostró la aplicación y puesta en práctica en temas como superconductividad, magnetismo y nanomateriales. A su vez el Dr. Rafael González con la conferencia “Danza Cuántica: Electrones rebeldes y los materiales del futuro”, desarrolló la relación y avances entre la teoría de la física de materia condensada y sus herramientas computacionales.

Por su parte el Dr. Burt Philip Kotler con el taller “A workshop on ecological and evolutionary models” y la conferencia “Disease ecology with the mycoplasma and the cancer mice” y la Dra. Carmen Elena Barragan con el taller “Prospección de marcadores para Biología Molecular” y la conferencia “Genómica de la Conservación: Estrategias para análisis de la Biodiversidad” presentaron los avances y proyecciones en el campo de la ecología, diversidad y evolución.

**4**

Asimismo, la Dra. Paola Andrea Gómez conectó su experiencia en los campos de la arquitectura empresarial, procesos de negocio, desarrollo de software y de consultoría, a través de los talleres “CV skill-based for effective enrollment” y “Ensuring software FCBI) modeling for success” y de la conferencia “Big enterprises, Little steps, Great results”. A la par, el Dr. Jaime Chavarriaga con la conferencia “Soportando múltiples opciones de despliegue Azure en GitHub Actions”, mostró su experiencia en Desarrollo de Software Basado en Modelos y Plataformas de Computación en la Nube.

El área de matemáticas y estadística, estuvo representada por los Doctores Oscar Orlando Melo con la conferencia “Análisis de superficies de respuesta” y Ramiro Miguel Acevedo con la conferencia “An adaptive finite element method for the quasi-stationary Maxwell equations”; quienes mostraron la relación del diseño experimental hacia los modelos lineales y sus aplicaciones en la resolución de problemas de electromagnetismo.

Por su parte el Profesor de física de la Universidad de los Llanos Davian Martínez B. con su conferencia “Identificación de fases cristalinas mediante ajuste de Refinamiento Rietveld en GSAS” conectó la cristalografía e identificación de fases cristalinas mediante el uso del software GSAS-II. Adicionalmente, realizó un Avistamiento de Aves en el campus Barcelona a cargo de la Profesora Andrea Morales Rozo McSi. lo cual constituye un aporte a la consolidación del congreso y conocimiento de la biodiversidad de la Universidad de los Llanos.

La jornada cerró con la presentación “Buscando la fase de la luz: de Maxwell al microscopio” del Estudiante de doctorado en física aplicada, Daniel Santiago Penagos, la cual se enfocó en la articulación de campos electromagnéticos para microscopía.

Es así como a través de las diferentes presentaciones, talleres y conferencias el V Congreso Internacional de Ciencias Básicas e Ingeniería CICI-2024, continúa aportando a la consolidación de los diferentes grupos de investigación; como espacio para la generación y difusión del conocimiento.



Lo anterior, representa los ideales con los que se propuso el I Congreso Internacional de Ciencias Básicas e Ingeniería CICI-2016 y genera un motivo más para continuar trabajando en la puesta en marcha del VI Congreso Internacional de Ciencias Básicas e Ingeniería CICI-2026, en el cual estaremos contentos de contar con su presencia.

**Santiago Sandoval Gutierrez**

Director

Centro de Investigaciones FCBI

**Miguel Navarro Ramírez**

Profesor

Departamento Biología y Química FCBI

Finalmente, la consolidación de este evento ha sido posible gracias a la participación de los patrocinadores, a los cuales les extendemos un efusivo agradecimiento.

# Contenido

<b>Síntesis De Fibras De Grafeno Oxidado De Cascarilla De Arroz Para Captura De Co2</b>	<b>11</b>
<b>Efecto Del Mg Y Zeolita X En La Estructura Del Ni-Mof-74 Para Adsorción De Co2</b>	<b>17</b>
<b>Híbridos Mof-Zeolita: Síntesis, Análisis Estructural Y Exploración De Potenciales Aplicaciones</b>	<b>22</b>
<b>Síntesis De Bases De Schiff Del Tipo(2s)-3-Sustituido-2-[(E)-(1-Feniletil En)Amino] Propanoato De Alquilo Derivadas De Acetofenona Y 2-Aminoacidos Y Su Potencial Uso Como Agentes Antifúngicos Frente A Fusarium Oxysporum</b>	<b>27</b>
<b>Influencia De La Temperatura Corporal En El Rendimiento Locomotor En Especies Del Grupo Anolis Fuscoauratus</b>	<b>34</b>
<b>Efectos De Exposición Del Lufenurón Sobre El Desarrollo Espermatogénico En Juveniles De Yamú Brycon Amazonicus</b>	<b>39</b>
<b>Modelación Del Uso De Refugios Urbanos Por Un Murciélagos Neotropical</b>	<b>44</b>
<b>Síntesis Verde De Tiosemicarbazonas (Tsc) Y Tiazolidinonas Asistida Por Microondas Y Evaluación De Su Actividad Antioxidante</b>	<b>49</b>
<b>Impacto De Algunos Factores Ambientales En La Actividad De Tres Especies De Saccopteryx (Chiroptera: Emballonuridae)</b>	<b>54</b>

<b>Mixed Degenerate Parabolic Problems With Application To Transient Eddy Current Problems With Source Data</b>	<b>59</b>
<b>Dinámica De Coberturas En La Amazonía Colombiana Mediante Un Modelo De Competencia</b>	<b>63</b>
<b>Percepción De <i>Didelphis Marsupialis</i> L. En Una Comunidad Rural De Villavicencio (Meta, Colombia)</b>	<b>72</b>
<b>Estudio De Infestación Y Daños Causados Por Moscas En Cultivos Frutales Urbanos De Villavicencio</b>	<b>77</b>
<b>Agentes Patógenos En La Sangre De Los Murciélagos En Un Área Exurbana De Villavicencio: Análisis Preliminar</b>	<b>84</b>
<b>Aproximación Numérica De Un Problema Mixto Proveniente Del Modelo De Corrientes Inducidas</b>	<b>89</b>
<b>Resultados Preliminares De Los Efectos De La Enrofloxacina Sobre Las Branquias De Alevinos De Tilapia Roja <i>Oreochromis</i> Sp.</b>	<b>92</b>
<b>Modelo No Supervisado Para Variables Fisicoquímicas En Estaciones Piscícolas En El Departamento Del Meta</b>	<b>97</b>
<b>Estudio Teórico De La Rectificación Óptica De Una Molécula De Puntos Cuánticos Inmersa En Un Campo Magnético Uniforme</b>	<b>103</b>
<b>Evaluación De Aceites Esenciales De <i>Piper</i> Contra <i>Fusarium Solani</i></b>	<b>106</b>
<b>Determinación De La Ingesta Semanal Recomendable De Bagre Del Río Meta En Personas Vulnerables</b>	<b>111</b>
<b>Hacia La Autonomía Energética Fotovoltaica: Un Estudio De Necesidad</b>	<b>116</b>

## El Diseño De Producto Desde Las Ciencias Básicas E Ingeniería 121

**Modelo De Enrutamiento Para La Recolección De Pedidos En Un Almacén Convencional Con Líneas De Dos Bloques Iguales, Mediante Los Algoritmos Heurísticos S-Shape Y La Brecha Más Grande** 126

**A Reconfigurable Partially Decoupled Parallel Robot For R-Stem Education** 144

**Starksw4bpmn Generador De Código Para Sistemas De Información Externos Integrados En Un Software Basado En Bpmn** 150

**Diseño De Un Sistema Automatizado En Granjas De Engorde De Cerdos** 155

**Formalismo Matricial Para La Identificación De Parámetros En Motores De Dc Con Escobillas** 160

**Diseño De Un Sistema De Prescripción De Riego Basado En La Medida De La Temperatura De Las Hojas** 165

**Sistema Inteligente Para La Detección Y Cosecha En Cultivos De Fresa Con Mantillo** 171

**Automatización De Procesos De Gestión Contable En Una Empresa Local Através De Herramientas De Microsoft Y Python** 177

**Digital Government Policy Assessment At Local Governments Of Colombia** 183

**Metodologías Para La Evaluación De La Sostenibilidad En Proyectos Viales** 189

---

 9

<b>Selecting A Bpm Platform: Beyond Traditional Evaluation Criteria</b>	<b>196</b>
<b>Una Mirada A La Sostenibilidad De Los Procesos Productivos En La Industria Alimentaria Desde La Dinámica De Sistemas</b>	<b>202</b>
<b>Monitoreo De Material Particulado Con Purple Air En La Universidad De Los Llanos</b>	<b>207</b>
<b>Mejorando El Rendimiento Y Experiencia De Usuario Del Sistema De Información Geográfica Online &amp; 3d De La Universidad De Los Llanos</b>	<b>213</b>
<b>Diseño De Una Plataforma Web Para Un Modelo De Medición Y Análisis De Resultados De Aprendizaje Del Programa Ingeniería De Sistemas De La Universidad De Los Llanos</b>	<b>219</b>
<b>Exploración De Métodos De Aprendizaje Profundo Para La Superresolución De Imágenes De Microscopía</b>	<b>226</b>
<b>Diseño De Una Plataforma De Monitoreo Y Análisis De La Dinámica De Murciélagos Insectívoros</b>	<b>232</b>

# SÍNTESIS DE FIBRAS DE GRAFENO OXIDADO DE CASCARILLA DE ARROZ PARA CAPTURA DE CO<sub>2</sub>

J.R. Castro-Ladino<sup>1,3</sup>[0000-0003-2961-2732],  
S. Mesa-Espinal<sup>2</sup>[0000-0002-0058-7193],  
C. Manrique Hernández<sup>32</sup>[0000-0002-7218-5804],  
D. Hoyos<sup>2</sup>[0002-5707-6677],  
L. Urán<sup>2</sup>[0000-0003-3269-8178]\*

1 Grupo de Investigación en Tecnologías Emergentes (GITEM), Universidad de los Llanos, Villavicencio, Colombia. 2 Grupo de Catalizadores y Adsorbentes, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia. 3 Instituto Interdisciplinario de las Ciencias, Programa de Doctorado en Ciencias Físicas, Universidad del Quindío, Armenia, Colombia.

[laura.uran@udea.edu.co](mailto:laura.uran@udea.edu.co)

**Resumen.** Fibras de grafeno oxidado (FGO) fueron obtenidas por descomposición térmica de cascarilla de arroz en un sistema de pirólisis con nitrógeno controlado, variando la temperatura de carbonización de 673 a 1273 K y se caracterizaron. Usando espectroscopía Raman y DRX, se identificó carbono grafitizado y el apilamiento de monocapas de GO en las muestras. XPS mostró la presencia de grupos funcionales C=O y C-OH. La microscopía electrónica reveló que las FGO presentaron mayor densidad de pared entre los poros con el aumento de la temperatura de pirólisis, incrementando así su área superficial. El material obtenido a 1173 K mostró una eficiencia de captura de CO<sub>2</sub> del 4.20% p/p, comparable con otros materiales porosos. Los resultados indican que las FGO de cascarilla de arroz son viables para la captura de CO<sub>2</sub>.

**11**

**Palabras clave:** Cascarilla de arroz, pirólisis, grafeno oxidado, captura de CO<sub>2</sub>.

## 1 Introducción

La cascarilla de arroz (CA) es un subproducto del proceso de trilla del arroz y contiene un 75% de materia orgánica y un 25% de cenizas [1]. En Colombia, la producción de arroz es de aproximadamente 3.3 millones de toneladas [2], lo que implica una buena disponibilidad de CA; la cual si no se maneja adecuadamente, puede afectar negativamente al medio ambiente debido a su quema al aire libre [3]. No obstante, sus propiedades composicionales la hacen un precursor atractivo para materiales basados en carbono, como el grafeno. El grafeno ha despertado gran interés en la comunidad científica por sus múltiples propiedades y se han investigado diversas aplicaciones, incluyendo adsorbentes de contaminantes emergentes, soporte catalítico y captura de CO<sub>2</sub> [4,5,6]. Algunos de los métodos para sintetizar grafenos, como grafeno oxidado (GO) y grafeno oxidado reducido (rGO), son complejos y usan químicos tóxicos. En consecuencia, la síntesis de materiales basados en grafeno a partir de CA, mediante descomposición térmica, se presenta como una alternativa interesante. De acuerdo a lo anterior, en este trabajo se sintetizaron y caracterizaron FGO a partir de CA, evaluando su potencial como adsorbente de CO<sub>2</sub>.

## 2 Metodología

Las FGO fueron sintetizadas a partir de CA usando pirólisis con atmósfera controlada de N<sub>2</sub>, variando la temperatura de carbonización (TCA) desde 673 a 1273 K cada 100 K. Los materiales obtenidos fueron caracterizados utilizando técnicas espectroscópicas, de superficie y estructurales. Se evaluó la capacidad de adsorción de CO<sub>2</sub> de una de las FGO utilizando un analizador termogravimétrico, realizando un pretratamiento a 273 K en N<sub>2</sub>, para luego introducir CO<sub>2</sub> hasta alcanzar 303 K, seguido por una isotermia. La cantidad de CO<sub>2</sub> adsorbida se determinó a través de la variación de peso.

12

## 3 Resultados y Discusión

Las muestras de FGO mostraron características vibracionales similares. El espectro Raman de la FGO sintetizada a 1073 K presenta una banda D en 1324 cm<sup>-1</sup>, indicando átomos sp<sup>3</sup> en la superficie, y una banda G en 1585 cm<sup>-1</sup> relacionada con vibraciones de átomos de carbono sp<sup>2</sup>, representando carbono grafitizado. Se observan bandas de sobretones D' (2D, D+G, 2D'), asociadas con el apilamiento de monocapas de grafeno oxidado y defectos [7]. El patrón DRX del grafito analítico y las FGO muestra picos en las direcciones

(002), (100) y (004), típicos de materiales basados en grafito. Otros picos corresponden a la fase estructural de los óxidos [7].

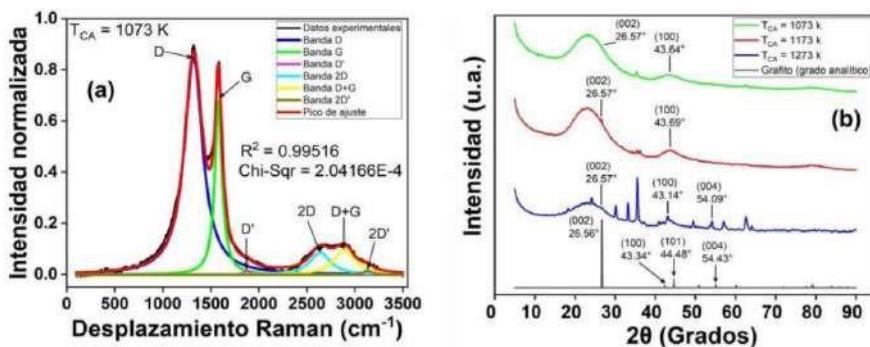


Fig. 1. (a) Espectros Raman de la muestra de FGO sintetizada a TCA=1073 K. (b) Patrones DRX muestras sintetizadas a 1073, 1173 y 1273 K y patrón DRX de grafito grado comercial.

El análisis SEM indicó que los materiales obtenidos presentaron estructura porosa, y por encima de 1123 K presentaron mayor densidad de pared de los poros. Así, los materiales obtenidos a altas temperaturas, presentan un incremento en su área superficial (Fig.2a). Se observa un incremento del área superficial y el volumen de poro con el aumento de la temperatura, encontrándose un plató para temperaturas entre 800–1100 K. Cuando la temperatura asciende a los 1173 K, el área se incrementa hasta los 490 m<sup>2</sup>/g, y el volumen de microporos a los 0.15 cm<sup>3</sup>/g a, superando los valores máximos reportados para sistemas con GO (0.10 cm<sup>3</sup>/g), usados en adsorción de CO<sub>2</sub> [8]. Los XPS mostraron dos picos principales: C1s (284 eV) y O1s (538 eV). La Fig. 4 presenta los espectros XPS de la muestra sintetizada a 1073 K. Los espectros C1s, muestran cinco bandas en el rango de energía de 280 a 290 eV, asociadas a la hibridación Csp<sub>2</sub> (284.5 eV) y Csp<sub>3</sub> (285.2 eV), a los grupos funcionales de C-OH (286.4 eV) [7], C-O-C (287.1 eV) y C=O (289.0 eV). Los espectros de O1s muestran cuatro bandas en el intervalo de 530 a 540 eV, asociadas a grupos funcionales de C=O (531.9 eV), C-OH (532.9 eV), C-O-C (533.1 eV), y C-O (534.2 eV) [7].

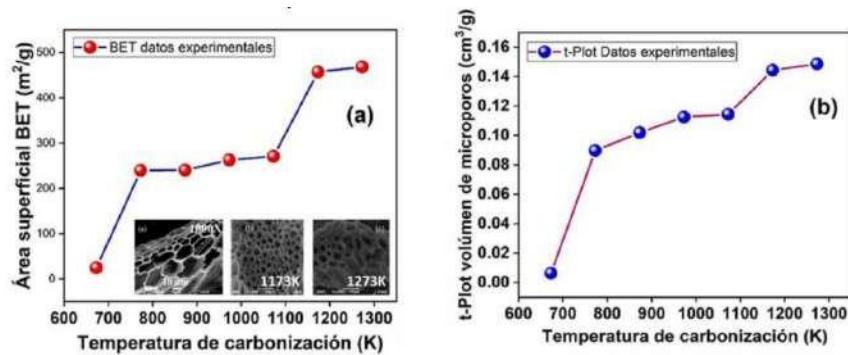


Fig. 2. (a) Área superficial, inset: SEM y (b) porosidad de las fibras de grafenos oxidados obtenidas a las diferentes temperaturas de carbonización.

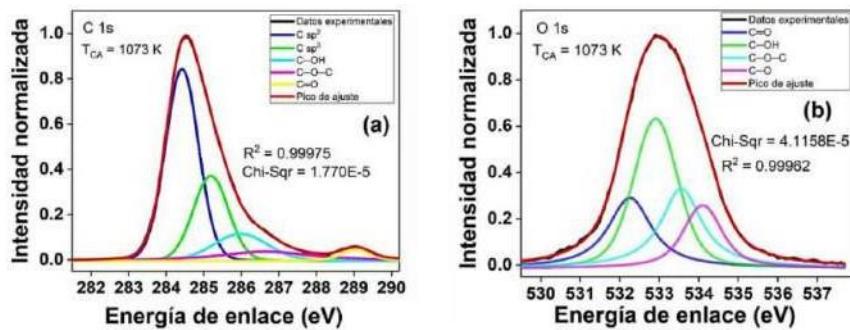
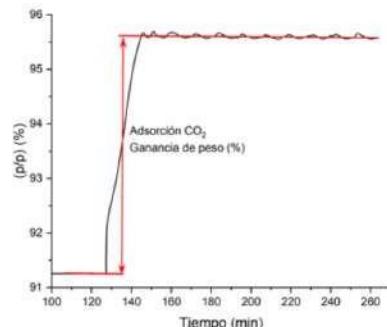


Fig 3. Espectros XPS de la muestra de FGO sintetizada a TCA=1073 K: (a) Espectro de alta resolución C1s, y (b) Espectro de alta resolución O1s.

Para la adsorción de CO<sub>2</sub> de la FGO se obtuvo un valor de 4.20 %p/p (Fig 5), comparable con otros materiales porosos previamente reportados en la literatura [9], así como con otros materiales.



Material	Adsorción CO <sub>2</sub> (%p/p)
GO	4.2
Zeolita Y	6.6
Cu/zeolita Y	9.7
Ni-MOF-74	11.0
MgNi-MOF-74	3.7
Zeolita X	3.0

Fig 4. Adsorción de CO<sub>2</sub> del grafeno oxidado determinado por TGA y su comparación.

## 4 Conclusiones

La CA puede derivar en FGO con propiedades fisicoquímicas y texturales útiles para la captura de CO<sub>2</sub>. Espectroscopía Raman y XRD identificaron carbono grafitizado y monocapas de grafeno oxidado, mientras que XPS reveló grupos funcionales C=O y C-OH. Microscopía electrónica mostró que al aumentar la temperatura de pirólisis, la densidad de pared entre los poros y el área superficial de las FGO incrementaron, alcanzando 500 m<sup>2</sup>/g, con un volumen de microporo de 0.15 cm<sup>3</sup>/g. Las pruebas de adsorción de CO<sub>2</sub> mostraron una eficiencia del 4.20 % p/p, comparable con otros sistemas. Este trabajo fue financiado por la convocatoria 890-2020 de Minciencias, proyecto 82349.

## References

- [1] T. Liou, P. Wang, Utilization of rice husk wastes in synthesis of graphene oxide-based carbonaceous nanocomposites, *Waste Manag.* 108 (2020) 51–61.
- [2] Departamento Nacional de Estadística–DANE, Encuesta Nacional de Arroz Mecanizado (ENAM), (2022) 1–31. [https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/boletines/arroz/boletin\\_ENAM\\_IIsem2.pdf](https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/boletines/arroz/boletin_ENAM_IIsem2.pdf).
- [3] S.K.S. Hossain, L. Mathur, P.K. Roy, Rice husk/rice husk ash as an alternative source of silica in ceramics: A review, *J. Asian Ceram. Soc.* 6 (2018) 299–313.
- [4] B. Xue, L. Jin, Z. Chen, Y. Zhu, Z. Wang, X. Liu, X. Wang, The template effect of silica in rice husk for efficient synthesis of the activated carbon based electrode material, *J. Alloys Compd.* 789 (2019) 777–784.
- [5] Inez A. Barbieri, Marcos L.S. Oliveira, Franciele S. Bruckmann, Theodoro R. Salles, Leonardo V. Zancanaro, Effective removal of hypnotic drug from the aqueous medium through adsorption on graphene oxide magnetic derivatives, *J. of Mol Liq.* 393, 2024.
- [6] Arango Hoyos, B.E., Osorio, H.F., Valencia Gómez, E.K. et al. Exploring the capture and desorption of CO<sub>2</sub> on graphene oxide foams supported by computational calculations. *Sci Rep* 13, 14476 (2023).
- [7] J. R. Castro-Ladino, J. J. Prías-Barragán, and C. A. Cuy-Hoyos, Basic physical properties and potential application of graphene oxide fibers synthesized from rice husk Basic physical properties and potential application of graphene oxide fibers synthesized from rice husk, *Sci. Rep.*, pp. 1–14, 2023.

- [8] S. Rodríguez-García, R. Santiago, D. López-Díaz, M. D. Merchán, M. M. Velázquez, J. L. G. Fierro, and J. Palomar. Role of the Structure of Graphene Oxide Sheets on the CO<sub>2</sub> Adsorption Properties of Nanocomposites Based on Graphene Oxide and Polyaniline or Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>-Nanoparticles. *ACS Sustainable Chemistry & Engineering* 2019 7 (14), 12464– 12473.
- [9] Shanshan Shang, Zeyu Tao, Chao Yang, Aamir Hanif, Liangchun Li, Daniel C.W. Tsang, Qinfen Gu, Jin Shang, Facile synthesis of CuBTC and its graphene oxide composites as efficient adsorbents for CO<sub>2</sub> capture, *Chemical Engineering Journal*, Volume 393, 2020, ISSN 1385-8947.

# EFECTO DEL MG Y ZEOLITA X EN LA ESTRUCTURA DEL NI-MOF-74 PARA ADSORCIÓN DE CO<sub>2</sub>

M. De la Rosa<sup>1[0009-0002-1701-8744]</sup>,  
 C. Manriquea<sup>1[0000-0002-7218-5804]</sup>,  
 L. Urán<sup>1[0000-0003-3269-8178]</sup>,  
 A. Echavarria<sup>1[0000-0002-1733-9583]</sup>

<sup>1</sup> Grupo Catalizadores y Adsorbentes, Instituto de Química, Universidad de Antioquia Medellín-Colombia

**Resumen.** Las redes metal orgánicas (MOFs) son materiales porosos cristalinos que actualmente ofrecen perspectivas prometedoras en el ámbito de la adsorción y separación de gases. Entre ellas, el MOF-74 se destaca por su alta área superficial, lo que lo convierte en un material organometálico de gran interés. En este trabajo, se sintetizaron MOFs mono y bimetálicos basados en NiMg y un híbrido tipo zeolita X / Ni-MOF utilizando el método solvotérmico. El propósito detrás de esta síntesis es investigar las propiedades de los materiales obtenidos y explorar su potencial aplicación en el tratamiento de contaminantes tales como en la adsorción de CO<sub>2</sub>. Los resultados mostraron que la combinación de NiMg y la funcionalización de la zeolita X con el material Ni-MOF presentaron una sinergia favorable, mejorando la estabilidad térmica y la eficacia en la captura de CO<sub>2</sub>.

**Palabras clave:** Redes metal orgánicas, materiales híbridos, adsorción CO<sub>2</sub>.

17

## 1 Introducción

Las redes metal orgánicas (MOFs), son materiales micro/mesoporosos utilizados en almacenamiento, catálisis y adsorción de gases, debido a su alta superficie específica, tamaño de poro uniforme y estructuras cristalinas bien definidas. Entre los diversos MOFs sintetizados, se encuentra el MOF-74, el cual ha mostrado aplicaciones en captura de dióxido de carbono y separaciones de CO<sub>2</sub>/CH<sub>4</sub>/H<sub>2</sub>. El estudio de nuevas estructuras y composiciones de MOFs busca mejorar su desempeño en catálisis

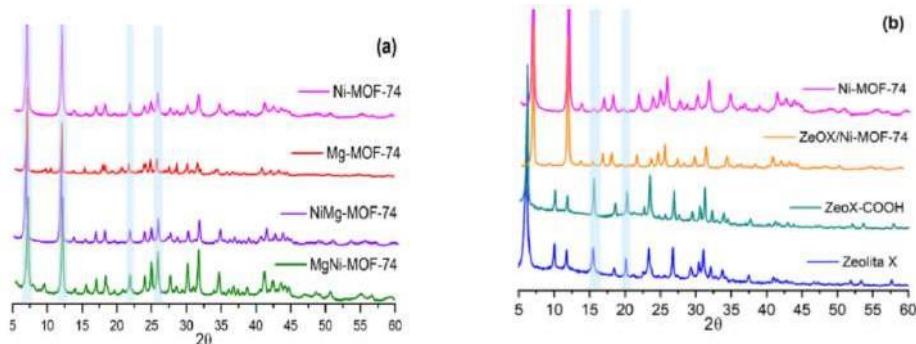
y separación de gases. Las zeolitas, son aluminosilicatos cristalinos cuya estructura porosa permite funcionalizar su superficie con materiales orgánicos e inorgánicos para obtener materiales compuestos. Las zeolitas y los MOF tienen características comunes, como una elevada área superficial y poros uniformes, pero, difieren en estabilidad térmica y flexibilidad estructural [1]. El presente estudio tiene como objetivo analizar el impacto de la adición de magnesio y zeolita X en la estructura de un compuesto MOF-74 que contiene níquel. La selección de este metal se fundamenta en su capacidad catalítica para la adsorción de contaminantes. Estas combinaciones posibilitarán el desarrollo de un material adsorbente, que aproveche las propiedades de ambos materiales con el fin de potenciar la eficiencia en la adsorción de contaminantes.

## 2 Metodología

Se sintetizaron materiales monometálicos (Mg-MOF-74 y Ni-MOF-74) y bimetálicos (Mg-Ni-MOF-74 y NiMg-MOF-74) usando ácido 2,5-dihidroxitereftálico (DHTA) como ligando. Para la obtención del compuesto zeolitaX/Ni-MOF-74, primero se modificó la zeolita X con grupos -COOH, (ZeoX-COOH) y luego se mezcló con Ni-MOF-74 en una relación metal: zeolita de 5. Se evaluó la capacidad de adsorción del CO<sub>2</sub> utilizando un analizador termogravimétrico TA Instruments. Los materiales se caracterizaron mediante difracción de rayos X (DRX), espectroscopía infrarroja (FT-IR), análisis termogravimétrico (TGA), microscopía electrónica de barrido (SEM-EDX).

## 3 Resultados

La Figura 1a muestra que el Ni-MOF-74 y Mg-MOF-74 presentan señales en 6.8° y 11.8° 2θ, características de un material tipo MOF-74 [2]. El material NiMg-MOF-74 tiene un difractograma similar al Ni-MOF-74, indicando la obtención de una estructura análoga. Por otro lado, el MgNi-MOF-74 presenta un desplazamiento en las señales debido a la sustitución del ion Ni<sup>2+</sup> por Mg<sup>2+</sup> en la estructura, resultando en la expansión de la red debido al mayor radio iónico del magnesio. La Figura 1b muestra el patrón de DRX de la zeolita X, donde se identifican picos con alta intensidad relativa a 2θ, específicamente a 6,08°, 10,19°, 11,87°, 15,54°, 23,43°, 26,79°, 30,90°, los cuales coinciden con lo reportado en la base de datos para zeolitas [3]. En el patrón de la zeolita con grupos -COOH, no se aprecian cambios sustanciales en las señales. El difractograma del compuesto ZeoX/Ni-MOF-74 muestra la presencia de picos correspondientes al MOF y a la zeolita con ligeros cambios en el rango de 15° a 20° 2θ, atribuidos a la presencia de zeolita. El desplazamiento de las señales en el patrón de DRX hacia ángulos 2θ más altos sugiere una posible funcionalización de la zeolita con el MOF.



**Figura 1.** (a) Patrones de difracción de los MOF-74 (b) Patrones de difracción de la Zeolita X y material ZeoX/Ni-MOF-74.

La Figura 2 muestra los espectros de FT-IR. Las señales a 1560 y 1411  $\text{cm}^{-1}$  en los materiales Ni-MOF-74 y Mg-MOF-74 corresponden a vibraciones C=O del DHTA, con desplazamientos en las señales en los MOFs bimetálicos. En la zeolita X y su combinación con Ni-MOF-74, se observan bandas a 982  $\text{cm}^{-1}$  correspondiente a las vibraciones de Si-O y Al-OH, además de observar señales a 1559 y 1404  $\text{cm}^{-1}$ , que sugieren funcionalización del Ni-MOF con la zeolita X.

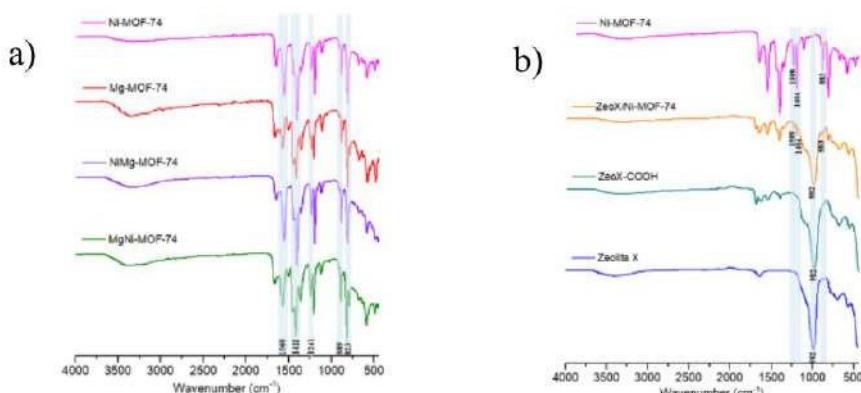
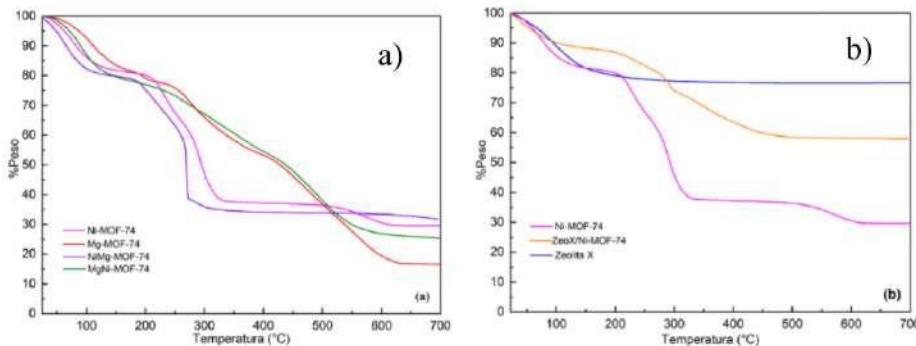


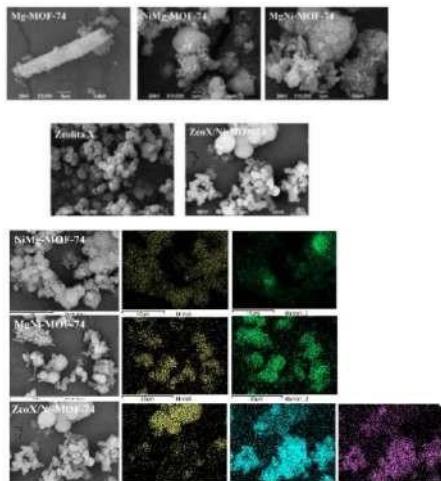
Figura 2. (a) Espectros FT-IR de los MOF-74 (b) Zeolita X y material ZeoX/Ni-MOF-74

sal araP .sadinetbo sartseum sal ed socirtémivargomret sisilána sol natneserp es 3 arugiF al nE ed adilas al a odiubirta C°051≤ arutarepmet anu a erruco otneve remirp le ,47-FOM sarutcurtse nu avresbo es ,47-FOM-gMiN y 47-FOM-iN selairetam sol araP .nóicataylos ed auga ed salucélom nartneucne es euq etnevlos ed salucélom ed adidrép al a sadiubirta C°004 – 051 ertne otneve odnuges y 47-FOM-gM le ne euq sartneim ,ATHD odicá led nóicadarged al a y (O2H y FMD) sadanidrooc sol ed acimrétdadilibatse ed saicnerefid saL .C°056-051 ertne erruco otneve etse 47-FOM-iNgM -idrooc ed aírtemoeg al natcefa euq ,selatem sol ed sacinói sagrac y soñamat sol a nebed es sFOM -rétdselbatse sám sol nos gMiN y iN ed sFOM sol ,AGT ed sotad sol núgeS .dadilibatse al y nóican dadilibatse rojem atneserp FOM/tiloed odirbíh otseupmoc le euq artseum b3 arugfi aL .etnemacim .selaudividni selairetam sol noc adarapmoc acimrétd



**Figura 3.** (a) TGA de los materiales sintetizados MOF-74 (b) TGA de los materiales Zeolita X y material ZeoX/Ni-MOF-74.

El análisis por SEM muestra que el MOF de Mg tiene una morfología hexagonal con puntas, mientras que el MOF de níquel presenta esferas redondas aglomeradas de láminas. La mezcla NiMg y MgNi exhibe co-cristalización con la morfología de los materiales individuales, cuya composición fue confirmada por EDX. El compuesto híbrido muestra una morfología granular asociada a la zeolita-X y otra similar al Ni-MOF-74, indicando la presencia de ambos materiales. La distribución homogénea de los metales sugiere una interacción significativa entre la zeolita y el MOF. Los materiales obtenidos se evaluaron en la captura de CO<sub>2</sub>. Los resultados obtenidos mostraron que el Ni-MOF 74 tiene una capacidad de adsorción de 2.6 mmol/g (Tabla 1), un valor comparable con otros materiales porosos reportados en la literatura [4]. Las evaluaciones preliminares de MOFs y zeolita X para la adsorción de CO<sub>2</sub> muestran potencial para la captura de gases. La inclusión de níquel en la estructura del MOF mejoró la capacidad de adsorción de CO<sub>2</sub> del Mg-MOF-74, así como la combinación zeolita/MOF indicando una sinergia beneficiosa para estos materiales compuestos.



**Tabla 1.** Capacidad de adsorción de CO<sub>2</sub>.

Material	mmol/g	Ref.
Ni-MOF-74	2.6	-
NiMg-MOF-74	1.1	-
Mg-MOF-74	0.7	-
MgNi-MOF-74	0.8	-
Zeolite X	0.6	-
ZeoX/Ni-MOF-74	1.6	-
SIFSIX-3-Ni	2.6	[4]
Ni <sub>2</sub> (dobdc)	7.0	[4]

**Figura 4.** Micrografía SEM y EDX para los sólidos

La síntesis solvotérmica de MOFs del tipo Ni-MOF-74, junto con la incorporación de metales como Mg, ha demostrado ser efectiva para la captura de CO<sub>2</sub>. La combinación de NiMg presenta una sinergia favorable en la captura de CO<sub>2</sub> y para mejorar su estabilidad térmica, comparada con los materiales individuales. Se logró la funcionalización de la zeolita X con el material Ni-MOF-74, manteniendo la identidad de ambos materiales, lo que representa un logro significativo en este estudio.

## 4 Conclusiones

Los resultados preliminares mostraron una mayor efectividad al usar una concentración de 0,05% del extracto de uva, retardando la oxidación hasta las 24 horas. En la figura 1 se evidencia que el mayor intervalo de inhibición fue a las 8 y 16 horas, donde la inhibición alcanzó un valor de 25% y 16% respectivamente. Esto demuestra que la adición de extractos de uva, permite la disminución de la velocidad de oxidación del aceite por un mayor tiempo.

## References

- [1] J. Liu *et al.*, "Highly water-stable bimetallic organic framework MgCu-MOF74 for inhibiting bacterial infection and promoting bone regeneration," *Biomed. Mater.*, vol. 17, no. 6, p. 065026, Nov. 2022.
- [2] D. Taherinia, H. Hatami, and F. Mirzaee Valadi, "Trimetallic Co-Ni-Mn metal-organic framework as an efficient electrocatalyst for alkaline oxygen evolution reaction," *J. Electroanal. Chem.*, vol. 922, p. 116720, Oct. 2022.
- [3] "<https://www.iza-structure.org/databases/>."
- [4] S. Mahajan and M. Lahtinen, "Recent progress in metal-organic frameworks (MOFs) for CO<sub>2</sub> capture at different pressures," *J. Environ. Chem. Eng.*, vol. 10, no. 6, p. 108930, Dec. 2022.

# HÍBRIDOS MOF-ZEOLITA: SÍNTESIS, ANÁLISIS ESTRUCTURAL Y EXPLORACIÓN DE POTENCIALES APLICACIONES

Cecilia Manrique<sup>1</sup>[0000-0002-7218-5804]  
Juan Carlos Muñoz Acevedo<sup>2</sup> [0000-0001-7543-0644],  
Adriana Echavarría<sup>1</sup>[0000-0002-1733-9583]

<sup>1</sup> Grupo Catalizadores y Adsorbentes, Instituto de Química, Universidad de Antioquia Medellín-Colombia, <sup>2</sup> Grupo Síntesis Inorgánica y Catálisis, Instituto de Química, Universidad de Antioquia Medellín-Colombia

[alba.manrique@udea.edu.co](mailto:alba.manrique@udea.edu.co)

**Resumen.** Se sintetizó materiales híbridos tipo zeolita Y @ Ag-MOF utilizando el método de reflujo. El propósito detrás de esta síntesis es investigar las propiedades de los materiales obtenidos y explorar posibles aplicaciones en el tratamiento de contaminantes. Los resultados mostraron que los materiales obtenidos a través de estos métodos exhibieron un comportamiento térmico favorable y presentaron buenas características cristalinas. Los sólidos mostraron capacidad antibacteriana con respecto a las dos cepas analizadas, *E. coli* y *Staphylococcus*. El material híbrido presenta mayor porcentaje de inhibición en comparación con el Ag-MOF(R) en ambas cepas. Todos los materiales presentan un porcentaje mayor de inhibición para bacterias Gram (+).

**Palabras clave:** Redes metal orgánicas, zeolitas, adsorción, contaminación aguas.

# 1 Introducción

Las redes metal orgánicas, MOF, han sido ampliamente estudiados desde su desarrollo al final de la década de los 90. Estos materiales, caracterizados por su notable estabilidad y su estructura de poros regular y ajustable, han emergido como un campo de investigación en rápido crecimiento, con aplicaciones que abarcan desde la separación de gases hasta el tratamiento de la contaminación en aguas residuales. Por su parte, las zeolitas presentan una configuración microporosa que le confieren propiedades deseables para la adsorción de contaminantes, tales como una alta relación entre área superficial y volumen, así como capacidad de intercambio iónico. La funcionalización de ambos adsorbentes supone el desarrollo de un nuevo material híbrido zeolita@MOF con un rendimiento mejorado comparado con los adsorbentes disponibles comercialmente [1]. Este trabajo busca la implementación de la funcionalización de la superficie de la zeolita-Y con MOF de plata. La elección de este metal se basa en su capacidad para catalizar reacciones de adsorción y por su conocida capacidad antimicrobiana. Esta combinación permitirá el desarrollo de un material adsorbente híbrido tipo zeolita@Ag-MOF que aprovecha las propiedades de ambos materiales para mejorar la eficacia en la adsorción de contaminantes.

# 2 Metodología

El material Ag-MOF se sintetizó por reflujo usando ácido itacónico como ligando. Para crear el compuesto zeolita Y-Ag-MOF, primero se sintetizó y modificó la zeolita Y con grupos -COOH, denominándola ZY-COOH y luego, se mezcló Ag-MOF con ZY-COOH en proporciones del 25, 50 y 75% para obtener los materiales ZY n@Ag-MOF(R) n= 25, 50 y 75%. Los materiales se caracterizaron mediante DRX, espectroscopía infrarroja (FT-IR), TGA, SEM y EDX.

# 3 Resultados y Discusión

23

La confirmación de la formación de las estructuras MOF a través de DRX (Fig. 1a)) se basa en la identificación de una señal intensa y bien definida entre 5 y 10° 2θ en el patrón de difracción del material [2]. En los difractogramas, se observa claramente la presencia de estas señales en el rango mencionado. Este resultado evidencia la formación exitosa de las estructuras MOF. El análisis DRX antes y después del tratamiento mostró que la estructura cristalina

de la zeolita Y no se vió afectada. Los patrones de difracción de la zeolita-Y y ZY-COOH fueron idénticos, confirmando que la incorporación de grupos -COOH no deterioró la fase cristalina. Los difractogramas de los materiales funcionalizados con MOF de Ag, no presentan picos evidentes de la zeolita. Esto sugiere dos posibilidades: i) el MOF puede estar solapando a la zeolita, impidiendo su detección por DRX, o ii) la zeolita podría haberse amorfizado, lo que explicaría la variación en la intensidad de los picos del Ag-MOF y la formación de agregados no cristalinos debido a la degradación de su estructura. Para determinar cuál hipótesis es la correcta, se debe complementar este análisis con otras técnicas de caracterización como SEM y composición química, las cuales se presentan más adelante.

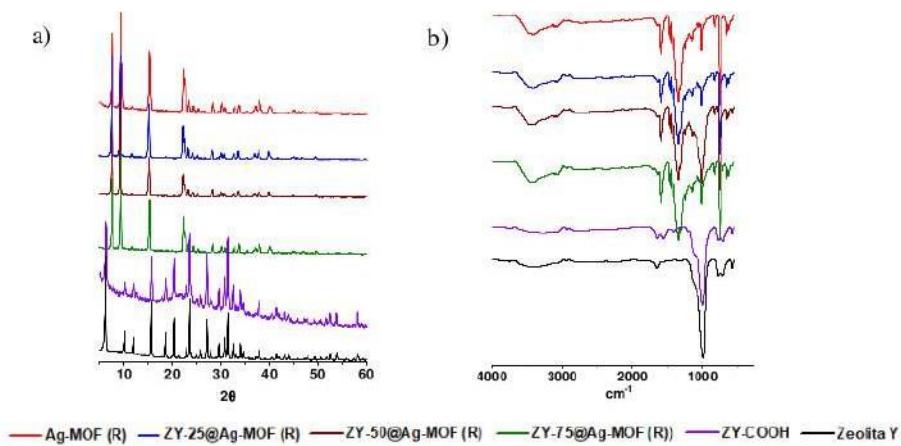


Fig 1. a) DRX y b) FT-IR del Ag-MOF, zeolita Y y funcionalizaciones de la zeolita modificada con el MOF de plata.

Los espectros de FT-IR (Fig. 1b) muestran la presencia de picos distintivos correspondientes al MOF de Ag y a la zeolita-Y, así como señales adicionales en la zeolita modificada que sugieren la existencia de grupos funcionales. La existencia de picos de absorción de MOF y zeolita en los materiales híbridos indica que la zeolita Y y el Ag-MOF coexisten en un mismo material. Los termogramas de los materiales ZY-n@Ag-MOF (R) (figura no mostrada), no presentan grandes diferencias al incorporar la zeolita en sus diferentes porcentajes, resultados que coinciden con las observaciones realizadas en DRX. Sin embargo, puede resaltarse que después de 300°C no se observa perdida de peso comparada con el material Ag-MOF, lo que podría indicar que si hay zeolita en los materiales ZY-n@Ag-MOF(R) y que esta estaría aportando a la mayor estabilidad térmica de los materiales [1]. La Fig. 2a) muestra imágenes SEM de zeolita Y, la cual presenta aglomerados con superficie lisa y tamaño primario de  $\sim 0.5 \mu\text{m}$ . El material Ag-MOF (R), (Fig. 2b) exhibe fibras fracturadas con longitudes promedio de  $13.04 \pm 6.81 \mu\text{m}$  y anchos de  $0.62 \pm 0.36 \mu\text{m}$ , indicando una estructura fibrilar variable en tamaño. En el híbrido ZY-50@

Ag-MOF (Fig. 3), las fibras del MOF son considerablemente más grandes que las partículas de zeolita-Y, justificando la falta de picos característicos de zeolita en DRX y FTIR. El análisis EDX confirma una concentración atómica de Ag del 8.24%, destacando su presencia dominante en el compuesto híbrido. La Fig. 4 muestra un mapeo elemental que sugiere la posible inclusión de Si dentro de las fibras del MOF. Además, se observa una alteración en la estructura de las fibras del MOF debido a la interacción con zeolita-Y, indicando un impacto significativo en la morfología del material resultante.

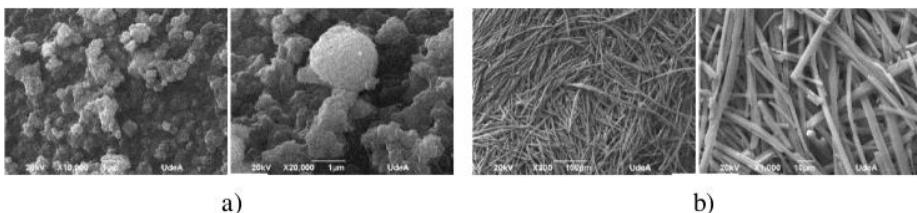


Fig 2. Micrografía SEM de a) zeolita y b) Ag-MOF (R).

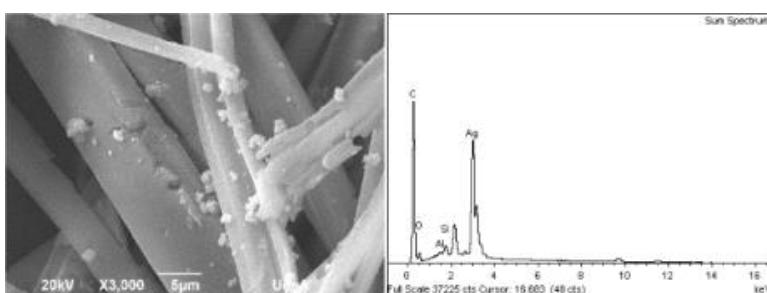


Fig 3. Micrografías SEM para ZY-50@Ag-MOF y EDX.

Las imágenes presentadas en la Fig. 5 se presentan las pruebas de la capacidad antibacteriana realizadas a los MOF de Ag, al cabo de 48 horas de incubación. En cada imagen, la cepa E. Coli se encuentra a la izquierda, mientras que a la derecha se observa la cepa Staphylococcus. Se destaca también el rendimiento mejorado del material híbrido ZY-50@Ag-MOF en comparación con su homólogo sin funcionalizar.

Esta mejora puede atribuirse posiblemente a efectos sinérgicos [3] entre ambos materiales, resultando en una mejora del 15.4 % en la eficacia de inhibición contra cepa bacteriana Staphylococcus. Es importante destacar que en todos los casos se logró una mayor inhibición frente a la cepa bacteriana Staphylococcus, indicando que los materiales sintetizados exhiben un comportamiento selectivo hacia las bacterias Gram (+) en comparación con las Gram (-).

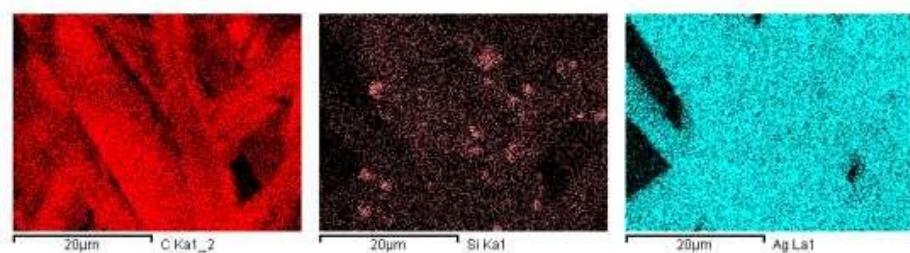


Fig 4. Mapeo elemental para la Figura 3.

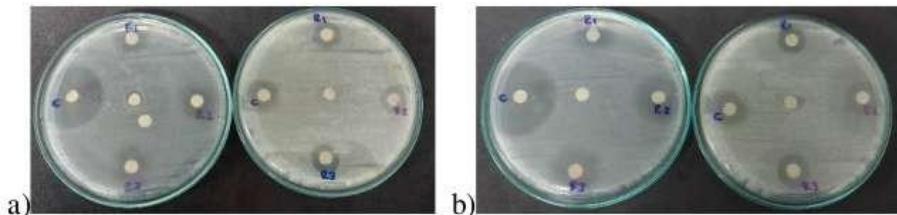


Fig 5. Pruebas antibacterianas para a) Ag-MOF, b) ZY-50@Ag-MOF. A la izquierda E. Coli y a la derecha Staphylococcus.

## 4 Conclusiones

Los materiales con estructura tipo MOF fueron confirmados por DRX y FTIR, mientras que el SEM mostró una morfología policristalina. La homogeneidad en composición y funcionalización se verificó con EDX-MAPEO. El híbrido zeolita@MOF mostró una mayor estabilidad térmica que el MOF precursor y presentó mejor actividad antibacteriana frente a *E. coli* y *Staphylococcus*, con un aumento en la acción bactericida debido a la funcionalización con zeolita, especialmente contra bacterias Gram (+).

## References

- 26
- [1] Q. Al-Naddaf, H. Thakkar, and F. Rezaei, "Novel Zeolite-5A@MOF-74 Composite Adsorbents with Core-Shell Structure for H<sub>2</sub> Purification," *ACS Appl. Mater. Interfaces*, vol. 10, no. 35, pp. 29656–29666, Sep. 2018, doi: 10.1021/acsami.8b10494.
  - [2] Collection of Simulated XRD Powder Patterns for Zeolites. Elsevier, 2007. doi: 10.1016/B978-0-444-53067-7.X5470-7.
  - [3] Y. Wan et al., "Antibacterial Zeolite Imidazole Frameworks with Manganese Doping for Immunomodulation to Accelerate Infected Wound Healing," *Adv. Healthc. Mater.*, vol. 10, no. 22, Nov. 2021, doi: 10.1002/adhm.202101515.

# **SÍNTESIS DE BASES DE SCHIFF DEL TIPO(2S)-3-SUSTITUIDO-2-[(E)-(1-FENILETIL EN)AMINO] PROPANOATO DE ALQUILO DERIVADAS DE ACETOFENONA Y 2-AMINOACIDOS Y SU POTENCIAL USO COMO AGENTES ANTIFÚNGICOS**

## **FRENTE A *Fusarium oxysporum***

Ivan Camargo-Marquez y Diego Quiroga

<sup>1</sup> Laboratorio de Química Bioorgánica, Facultad de Ciencias Básicas y Aplicadas, Campus Nueva Granada, Universidad Militar Nueva Granada, Cajicá 250247, Colombia  
[diego.quiroga@unimilitar.edu.co](mailto:diego.quiroga@unimilitar.edu.co)

**27**

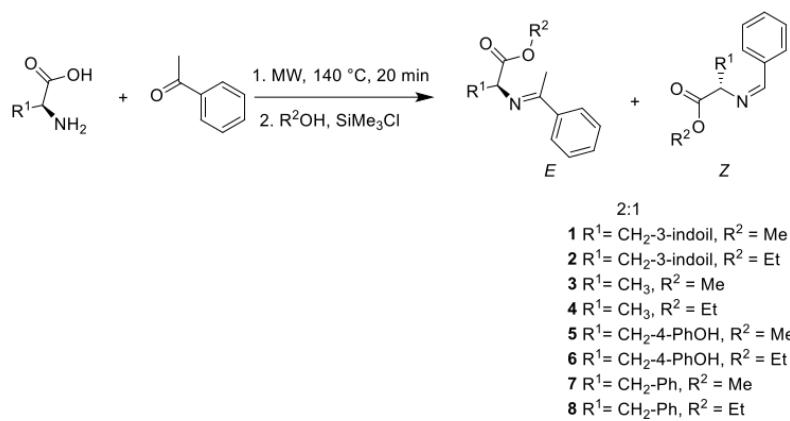
**Resumen.** El control de *Fusarium oxysporum* (Fox) es esencial en la agricultura para prevenir enfermedades de marchitamiento que amenazan la seguridad alimentaria global. Las bases de Schiff han emergido como agentes antifúngicos prometedores, ofreciendo una alternativa sostenible a los tratamientos químicos tradicionales. Este estudio presenta la síntesis de una serie de bases de Schiff derivadas de 2-aminoácidos y acetofenona, utilizando métodos de irradiación de microondas y esterificación de Fischer. Los compuestos sintetizados fueron caracterizados mediante técnicas de GC-EM y espectroscopía

FTIR, y evaluados *in vitro* como agentes antifúngicos. Se encontró que la base de Schiff derivada de L-triptófano 1 mostró un potencial significativo contra *Fox*, con un valor de IC<sub>50</sub> de 1,09 mM, mientras que otras bases requirieron concentraciones mayores para inhibir el crecimiento micelial. Estos resultados destacan la efectividad de las bases de Schiff derivadas de L-triptófano en la protección de cultivos como la uchuva.

Palabras clave: *Fusarium oxysporum*, *Physalis peruviana*, agentes antifúngicos, 2-aminoácidos, bases de Schiff.

## 1 Introducción

El control químico de *Fusarium oxysporum* (*Fox*) es crucial en agricultura debido a su devastador efecto en cultivos, causando enfermedades de marchitamiento. La gestión eficaz de este patógeno es vital para la seguridad alimentaria global. Las bases de Schiff han surgido como prometedores agentes antifúngicos [1–4]. Su diversidad estructural y propiedades fungicidas ofrecen una potente herramienta contra las infecciones por *Fox*. El uso de estos compuestos en prácticas agrícolas es sostenible, mitigando las pérdidas de cultivos y minimizando el impacto ambiental frente a tratamientos químicos tradicionales. El grupo InQuiBio ha demostrado la eficacia de derivados sintéticos de 2-aminoácidos como agentes antifúngicos potenciales [5]. En dicho trabajo, un conjunto de bases de Schiff del tipo enamina obtenidas por reacción entre ésteres de alquilo de 2-aminoácidos y acetilacetona, ciclohexano-1,3-diona y acetoacetato de etilo, respectivamente, fueron evaluadas frente al fitopatógeno *Fusarium oxysporum* tanto en condiciones *in vitro* como en condiciones de invernadero. Los valores de IC<sub>50</sub> de estas bases de Schiff mostraron una variabilidad significativa, que oscila entre 0,29 y 40,23 mM. Los autores sugirieron que el tamaño del sustituyente y el carácter electrónico y los grupos alquilo más grandes en la fracción éster influyeron en la actividad, lo que podría permitir la interacción con las paredes celulares del fitopatógeno. El modelo QSAR-3D basado en átomos (enfoque basado en átomos), mostró que los grupos donores de puente de hidrógeno cerca del NH de las enaminas, los grupos hidrófobos y los aceptores de electrones en la parte aromática de los aminoácidos son cruciales para la actividad antifúngica. En este trabajo, se presenta la síntesis y evaluación de actividad antifúngica frente a *Fusarium oxysporum* de una serie de bases de Schiff del tipo (2S)-3-sustituido-2-[(*E*)-(1-feniletiliden)amino]propanoato de alquilo (R = Me, Et) **1-8** derivadas de acetofenona y 2-aminoácidos diferentes (*L*-triptófano, *L*-alanina, *L*-tirosina y *L*-fenilalanina) (Es quema 1). Los resultados se discuten a continuación.



**Esquema 1.** Síntesis de bases de Schiff 1-8.

## 2 Metodología

### 2.1 Síntesis de bases de Schiff

La síntesis de los compuestos tipo base de Schiff 1-8 involucró dos etapas: en un tubo reactor de vidrio se mezclaron el aminoácido (1 mmol), trietilamina (1 mmol) y acetofenona (1 mmol). Después de homogenizar la mezcla empleando una varilla de vidrio y adicionar un agitador magnético, se aplicó irradiación de microondas (MW) a 140 °C durante 20 min. Después de este tiempo, las bases de Schiff formadas fueron purificadas realizando lavados con cloroformo (67-92% de rendimiento); la segunda etapa correspondió a una esterificación de Fischer a temperatura ambiente durante 24 h, empleando cloruro de trimetilsilano ( $\text{SiMe}_3\text{Cl}$ ), metanol ó etanol, de tal forma que el sólido obtenido tras la irradiación de microondas y los lavados fue suspendido en 5 mL del respectivo alcohol, y luego fue adicionado cloruro de trimetilsilano (5 mmol).

Después de 10 min en agitación, se evidenció que la mezcla adquirió un color naranja cuya intensidad aumento progresivamente. Después de 24 h de reacción, la mezcla fue concentrada hasta sequedad, se redissolvió en acetato de etilo-hexano. Después de realizar cromatografía en columna, los compuestos 1-8 fueron purificados mediante cromatografía en columna clásica y posteriormente identificados usando GC-EM y FT-IR. Los resultados se presentan en la sección 3.

## 2.2 Ensayos de actividad antifúngica *in vitro* frente a *Fusarium oxysporum*

Para llevar a cabo el estudio de la actividad antifúngica de los compuestos sintetizados frente a *Fusarium oxysporum*, se utilizó el protocolo previamente publicado por Marentes y colaboradores [6], que se describe a continuación: Una vez obtenidos los compuestos 1–8, se evaluó el efecto de cada uno de ellos en cinco dosis diferentes (con concentraciones entre 1 y 500 µg/mL) en medio de cultivo Papa–Dextrosa–Agar (PDA). Para facilitar la disolución de los extractos en el medio PDA, los compuestos se pre-disolvieron utilizando una pequeña cantidad de Tween 20 (300 µL) y luego se dispersaron mediante agitación mecánica en el medio PDA. Una vez que el medio con el tratamiento fue colocado en la caja, se dejó gelificar y reposar durante 12 horas. Transcurrido este tiempo, se realizó la siembra del patógeno (*Fusarium oxysporum* sp, cepa proveniente de la colección del Laboratorio de InQuibio de la UMNG) y se mantuvo a temperatura ambiente durante 72 horas para permitir el desarrollo del hongo. El crecimiento micelial radial de las colonias de hongos se midió en comparación con el control, utilizando el software ImageJ. La inhibición del crecimiento micelial por los compuestos de prueba se calculó mediante la fórmula: inhibición del crecimiento (%) = (C – T) × (100 / C), donde C representa el diámetro del crecimiento fúngico en PDA no tratada y T representa el diámetro del crecimiento fúngico en PDA tratada. Los datos de inhibición del crecimiento (%) se utilizaron para construir las curvas dosis–respuesta correspondientes, con el fin de calcular las concentraciones inhibitorias semimáximas (IC<sub>50</sub>, expresadas en mM) para cada compuesto, utilizando una regresión no lineal en el programa GraphPad Prism versión 5.00 (GraphPad Software, San Diego, CA, EE. UU.) para Windows.

## 3 Resultados

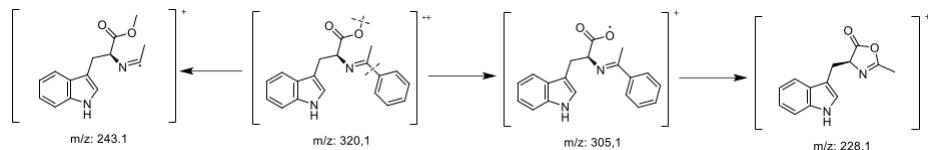
Los experimentos de CG-EM y espectroscopía FTIR permitieron la caracterización de bases de Schiff 1–8. A modo de ejemplo se discutirá la caracterización del producto 1, realizando un análisis de dichos resultados. Para los compuestos restantes, se presenta los datos espectroscópicos característicos en la tabla 1. Con respecto al espectro FT-IR (Fig. 1), se evidencian señales características de los grupos funcionales presentes en la base de Schiff 1. Por un lado, se evidencian las vibraciones de estiramiento C=C del anillo aromático alrededor de 1600 cm<sup>-1</sup>, estiramiento C=N del grupo imina formado alrededor de 1674 cm<sup>-1</sup>. Respecto al grupo indol, se evidencian las típicas bandas de estiramiento C–H del sistema aromático alrededor de 3052 cm<sup>-1</sup> y el estiramiento N–H en 3413 cm<sup>-1</sup>. En la región de huella dactilar, es

possible evidenciar bandas de estiramiento de los enlaces C–O y C–N entre 1200–1450 cm<sup>–1</sup>.

Tabla 1. Resultados de caracterización de los compuestos 1–8 empleando espectroscopía FT–IR y CG–EM.

Compuesto	Vibraciones asignadas en el espectro FT–IR / cm <sup>–1</sup>	Tiempo de retención/ min; m/z ion molecular
1	Est. C=C 1600 cm <sup>–1</sup> , est. C=N 1674 cm <sup>–1</sup> , est. C–H del sistema aromático 3052 cm <sup>–1</sup> , est. N–H 3413 cm <sup>–1</sup> , est. de los enlaces C–O 1232 y C–N 1449 cm <sup>–1</sup>	Isómero E: 15,87 min; 320,1 Isómero Z: 16,14 min; 320,1
2	Est. C=C 1602 cm <sup>–1</sup> , est. C=N 1681 cm <sup>–1</sup> , est. C–H del sistema aromático 3050 cm <sup>–1</sup> , est. N–H 3411 cm <sup>–1</sup> , est. de los enlaces C–O 1231 y C–N 1454 cm <sup>–1</sup>	Isómero E: 14,44 min; 334,2 Isómero Z: 15,27 min; 334,2
3	Est. C=C 1604 cm <sup>–1</sup> , est. C=N 1672 cm <sup>–1</sup> , est. C–H del sistema aromático 3049 cm <sup>–1</sup> , est. N–H 3417 cm <sup>–1</sup> , est. de los enlaces C–O 1227 y C–N 1445 cm <sup>–1</sup>	Isómero E: 12,31 min; 205,1 Isómero Z: 12,44 min; 205,1
4	Est. C=C 1603 cm <sup>–1</sup> , est. C=N 1678 cm <sup>–1</sup> , est. C–H del sistema aromático 3052 cm <sup>–1</sup> , est. N–H 3411 cm <sup>–1</sup> , est. de los enlaces C–O 1229 y C–N 1453 cm <sup>–1</sup>	Isómero E: 13,47 min; 219,1 Isómero Z: 13,64 min; 219,1
5	Est. C=C 1603 cm <sup>–1</sup> , est. C=N 1677 cm <sup>–1</sup> , est. C–H del sistema aromático 3052 cm <sup>–1</sup> , est. N–H 3413 cm <sup>–1</sup> , est. de los enlaces C–O 1234 y C–N 1456 cm <sup>–1</sup>	Isómero E: 15,91 min; 297,1 Isómero Z: 16,23 min; 297,1
6	Est. C=C 1600 cm <sup>–1</sup> , est. C=N 1678 cm <sup>–1</sup> , est. C–H del sistema aromático 3052 cm <sup>–1</sup> , est. N–H 3413 cm <sup>–1</sup> , est. de los enlaces C–O 1232 y C–N 1449 cm <sup>–1</sup>	Isómero E: 16,27 min; 311,2 Isómero Z: 16,77 min; 311,2
7	Est. C=C 1600 cm <sup>–1</sup> , est. C=N 1675 cm <sup>–1</sup> , est. C–H del sistema aromático 3052 cm <sup>–1</sup> , est. N–H 3411 cm <sup>–1</sup> , est. de los enlaces C–O 1232 y C–N 1451 cm <sup>–1</sup>	Isómero E: 15,12 min; 281,1 Isómero Z: 15,53 min; 281,1
8	Est. C=C 1611 cm <sup>–1</sup> , est. C=N 1676 cm <sup>–1</sup> , est. C–H del sistema aromático 3051 cm <sup>–1</sup> , est. N–H 3413 cm <sup>–1</sup> , est. de los enlaces C–O 1237 y C–N 1449 cm <sup>–1</sup>	Isómero E: 15,44 min; 295,2 Isómero Z: 16,01 min; 295,2

raroborroc ótiimrep euq ay etneyulcnoc se ME–GC rop odazilaer sisilána IE –otamorc lfirep le ,ragul remirp nE .RI–TF aípocsortcepse rop odaicnedive ol ,(2 .giF) nim 78,51 ed nóicneter ed opmeti nu ne lañes anu aicnedive ocfiárg ed rodederla ocip odnugres nu ecerapa euq raton etnaseretni se ,ograbme nis –se le sámeda ,1:2 ed euf selañes satse ed saerá sal ed nóicaler aL .nim 41,61 euq aicnedive otseupmoc adac ed ocinórtcele otcapmi rop sasam ed ortcep nereigus sodatluser sotsE .1,023 z/m a ralucelom noi omsim le natneserp sod sol ed nóicamrof al ad es sadaidutse nóiccaer ed senoicidnoc sal ne euq led dadilibatse al núgeS .avtcepser animi al ed E y Z socirtémoeg soremóni lañes al a ednopserrroc oremóni etse euq ereigus es ,[7] Z le erbos E oremóni euq a eseP .nim 41,61 ne ecerapa Z oremóni le euq sartneim nim 78,51 ne sotse rrapes elbisop euf on ,socfiárgotamorc sametsis soirav norayasne es sasam ed ortcepse le otnaT .acísalc anmuloc ne afiárgotamorc rop soremóni 1,023 z/m ed ralucelom noi ed ocip nu naicnedive Z led omoc E oremóni led lañes al a ednopserrroc ortcepse led erdap ocip IE .%02 ed dadisnetni anu noc sal euq sartneim ,[3HC–M] ed ad idrép anu a ednopserrroc euq 2,503 ed z/m a adidrép al a naicosa es (%83) 2,542 y (% 04) 2,342 z/m a setneserp selañes ne amrfinoc es opurg etsE .(2 ameuqsE) animi otnemgarf led olinef opurg led la ednopserrroc euq ,1,77 z/m a etneserp ocip led rtirap a 1 ed arutcurtse al .soctiámora sametsis ed esalc atse ne octisíretcarac ,+[5H6C] olinef noi



Esquema 2. Fragmentaciones interpretadas para el compuesto 1.

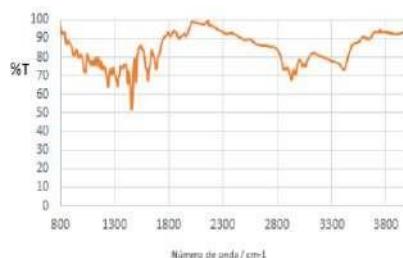


Fig. 1. Espectro FT-IR del compuesto 1.

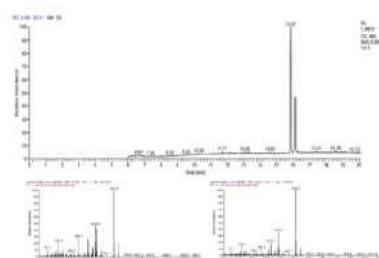


Fig. 2. Perfil cromatográfico del compuesto 1; Espectro de masas por impacto electrónico del isómero E (t.r. 15,87 min) como del isómero Z (t.r. 16,14 min)

-nega omoc sodaulave noreuf ,8-1 sotseupmoc sol sodaziretcarac zev anU -elpus oidem ne alacseorcim a ortiv ni oyasne nu etnaidem socignúftina set le euq norartsom ,2 albat al ne natneserp es euq ,sodatluser soL .odatnem omoc otneimatropmoc laicnetop órtsom onafóptirt-L odavired ,1 otseupmoc -ser saL .Mm 90,1 ed 05Cl ed rolav nu noc ,xoF a etnerf ocignúftina etnega otneimicerc led nóbihni ed sejatnecrop norartsom ffihcS ed sesab setnat .mpp 0001 euq seroyam senoicartnecnec a railecim

Tabla 2. Resultados de ensayos antifúngicos frente a *Fusarium oxysporum*.

Compuesto	% inhibición					IC <sub>50</sub> / mM
	1000	300	200	100	50	
1	51,1	37,9	25,9	12,7	9,4	1,09
2	33,5	37,0	42,2	46,4	47,6	>5,00
3	34,9	42,0	30,9	44,8	40,6	>5,00
4	29,0	34,1	41,4	40,8	39,2	>5,00
5	40,8	40,1	47,2	47,9	49,3	>5,00
6	33,1	35,9	40,2	39,8	49,3	>5,00
7	25,1	35,6	39,4	42,6	39,0	>5,00
8	27,8	40,1	30,8	37,3	46,1	>5,00

32

## 4 Conclusiones

La caracterización de las bases de Schiff 1–8 mediante CG-EM y espectroscopía FTIR permitió identificar los grupos funcionales presentes y confirmar la existencia de isómeros geométricos Z y E empleando las condiciones de reacción descritas. En particular, el compuesto 1, derivado de L-triptófano, mostró un comportamiento prometedor como agente antifúngico frente

a *Fusarium oxysporum*, con un valor de  $IC_{50}$  de 1,09 mM. Estos resultados sugieren que la base de Schiff 1 podría tener aplicaciones en el desarrollo de tratamientos antifúngicos, mientras que los demás compuestos también demostraron actividad, aunque a concentraciones más elevadas.

Producto derivado del proyecto PIC-CIAS-3857 financiado por la Vicerrectoría de Investigaciones de la UMNG—Valdez 2024.

## References

- [1] S. S. Ali et al., 'Pharmaceutical Potential of a Novel Chitosan Derivative Schiff Base with Special Reference to Antibacterial, Anti-Biofilm, Antioxidant, Anti-Inflammatory, Hemocompatibility and Cytotoxic Activities', *Pharm. Res.*, vol. 36, no. 1, p. 5, Jan. 2019, doi: 10.1007/s11095-018-2535-x.
- [2] M. Aslantaş, E. Kendi, N. Demir, A. E. Şabık, M. Tümer, and M. Kertmen, 'Synthesis, spectroscopic, structural characterization, electrochemical and antimicrobial activity studies of the Schiff base ligand and its transition metal complexes', *Spectrochim. Acta. A. Mol. Biomol. Spectrosc.*, vol. 74, no. 3, pp. 617–624, Oct. 2009, doi: 10.1016/j.saa.2009.07.006.
- [3] S. K. Bharti, G. Nath, R. Tilak, and S. K. Singh, 'Synthesis, anti-bacterial and anti-fungal activities of some novel Schiff bases containing 2,4-disubstituted thiazole ring', *Eur. J. Med. Chem.*, vol. 45, no. 2, pp. 651–660, Feb. 2010, doi: 10.1016/j.ejmech.2009.11.008.
- [4] L. Wei et al., 'Synthesis, Characterization, and Antifungal Activity of Schiff Bases of Inulin Bearing Pyridine ring', *Polymers*, vol. 11, no. 2, p. 371, Feb. 2019, doi: 10.3390/polym11020371.
- [5] P. Borrego-Muñoz, D. Cardenas, F. Ospina, E. Coy-Barrera, and D. Quiroga, 'Second Generation Enamine-Type Schiff Bases as 2-Amino Acid-Derived Antifungals against *Fusarium oxysporum*: Microwave-Assisted Synthesis, In Vitro Activity, 3D-QSAR, and In Vivo Effect', *J. Fungi*, vol. 9, no. 1, p. 113, Jan. 2023, doi: 10.3390/jof9010113.
- [6] R. Marentes-Culma, L. Orduz-Díaz, and E. Coy-Barrera, 'Targeted Metabolite Profiling Based Identification of Antifungal 5-n-Alkylresorcinols Occurring in Different Cereals against *Fusarium oxysporum*', *Molecules*, vol. 24, no. 4, p. 770, Feb. 2019, doi: 10.3390/molecules24040770.
- [7] A. Shaabani and M. Zahedi, 'Semiempirical molecular orbital calculation of azobenzene: stability study of isomers and mechanism of E / Z isomerization', *J. Mol. Struct. THEOCHEM*, vol. 506, no. 1–3, pp. 257–261, Jul. 2000, doi: 10.1016/S0166-1280(00)00417-6.

# INFLUENCIA DE LA TEMPERATURA CORPORAL EN EL RENDIMIENTO LOCOMOTOR EN ESPECIES DEL GRUPO *Anolis* *fuscoauratus*

Acosta-Lugo Estefany<sup>[0000-0002-5687-8280]</sup> y Pinto-Sánchez Nelsy<sup>[0000-0001-7561-2982]</sup>

<sup>1</sup>Semillero de Evolución y conservación, Universidad Militar Nueva Granada, Colombia  
[est.estefany.acosta@unimilitar.edu.co](mailto:est.estefany.acosta@unimilitar.edu.co)

**Resumen.** La temperatura es una de las variables climáticas que más influye en los ectotermos, afectando significativamente su rendimiento locomotor. En lagartos, se espera que la altitud modifique cómo la temperatura influye en su velocidad de carrera. Para investigar esto, se colectaron 20 individuos de siete localidades y se expusieron a dos rangos de temperatura. La temperatura corporal de los lagartos se incrementó mediante lámparas hasta alcanzar los niveles deseados, tras lo cual se realizaron pruebas de velocidad en un cilindro de madera inclinado, y se aplicó un modelo lineal generalizado para analizar los resultados. Los hallazgos confirmaron que la temperatura final influye significativamente en la velocidad de carrera. En localidades de baja altitud (600 msnm), la velocidad aumentó hasta alcanzar un máximo a 29°C, pero disminuyó después de ese punto. En altitudes más altas (2000-2200 msnm), la velocidad disminuyó entre 20 y 26°C, pero mejoró a temperaturas superiores, lo que se atribuye a la adaptación térmica de estas especies. En altitudes intermedias (1600-1871 msnm), la velocidad no mostró un patrón claro. El estudio concluye que la temperatura es un factor crítico en el rendimiento locomotor, con especies de altitudes bajas mostrando mayor sensibilidad térmica, mientras que las de mayores altitudes poseen mecanismos de endurecimiento térmico que les permiten mantener un rendimiento óptimo a temperaturas extremas. Estos resultados subrayan la importancia de estudiar la interacción entre temperatura y rendimiento locomotor en el contexto del cambio climático y su impacto en estas especies.

**Palabras clave:** Altitud, endurecimiento térmico, sensibilidad térmica, velocidad.

# 1 Introducción

Los reptiles están influenciados por el rango de tolerancia térmica debido a que su temperatura corporal depende de la temperatura ambiente, afectando al rendimiento locomotor [1], [2], [3], los lagartos en su temperatura óptima tienden a correr más rápido en comparación a temperatura subóptimas [4]. Sin embargo, se ha demostrado que especies de altitudes altas presentan estrategias para mantener niveles óptimos de rendimiento locomotor en velocidad de carrera a temperaturas más altas o bajas de su ambiente. Las especies que habitan en altitudes más bajas, donde el clima es menos extremo, muestran una mayor sensibilidad térmica ante cambios en la temperatura ambiente [5]. En un estudio realizado por Lailvaux *et al.*, 2007 [3] con *Anolis carolinensis* se evidenció que la temperatura también afecta la cinemática y cinética en salto, de mostrando que estas capacidades locomotoras están influenciadas por variables climáticas, como la temperatura [1], [6], [7], donde se sugiere que el cambio climático podría tener un impacto en el rendimiento locomotor [8], [9]. Por lo tanto, es crucial estudiar el rendimiento locomotor y su interacción con la temperatura para entender cómo la temperatura influye en dicho rendimiento. Siendo importante estos estudios, puesto que la temperatura es un factor fundamental para entender como el calentamiento global podría modificar la curva térmica de rendimiento de estas especies, alterando su capacidad funcional[10].

# 2 Metodología

## 2.1 Experimentación térmica

Se colectaron 20 individuos por localidad (7 localidades) y fueron colocados en bolsas de tela y se incrementó la temperatura mediante lámparas con bombillos de luz amarilla hasta alcanzar los rangos de temperatura deseados, monitoreando y registrando la temperatura inicial y final utilizando una termocupla de cobre adherida al vientre del espécimen [6]. Una vez que las lagartijas alcanzaron la temperatura requerida, se procedió con la prueba de desempeño de velocidad de carrera.

Todos los individuos fueron expuestos a los dos rangos de temperatura (20–25°C y 26–30°C), dividiendo el 50% de los individuos en cada rango, estos rangos fueron seleccionados de acuerdo con un estudio previo realizado por otros estudiantes sobre preferencias térmicas realizadas en Chicaque (*A. candidata* 1), Anzoátegui y Llanitos (*A. tolimensis*), datos no publicados. Para los rangos de temperatura, se permitió un periodo de reposo de 4–6 horas entre cambios de temperatura [1], por último, se realizaron tres repeticiones para cada rango de temperatura.

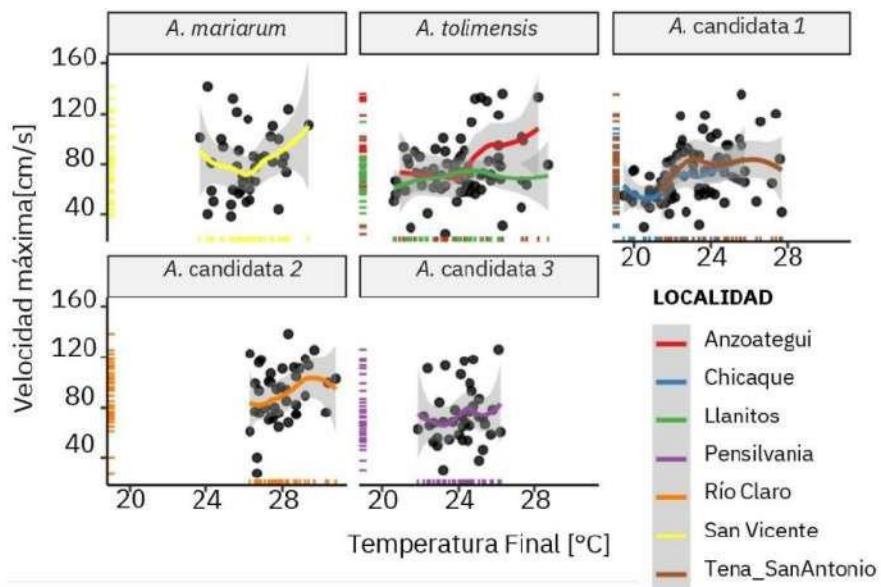
35

## 2.2 Prueba de desempeño y análisis de datos

La arena de velocidad de carrera se utilizó un cilindro de madera de 30 mm de diámetro y 1,5 metros de longitud, cubierto con una malla de fibra de 1,6 mm y dispuesto en un ángulo de 45°. Se colocó una escala de un centímetro en la base del montaje y la cámara se alineó de manera paralela a la pista. Las grabaciones de la prueba de rendimiento locomotor se procesaron con el software Tracker 6.0.7 para calcular la velocidad de carrera máxima (cm/s). Se realizaron análisis de modelos lineales generalizados con distribución Gaussiana y enlace de identidad para velocidad de carrera con temperatura final.

## 3 Resultados y Discusión

La temperatura final tuvo una relación positiva con la velocidad de carrera, indicando que a mayores temperaturas se alcanza una mayor velocidad de carrera ( $t\text{-value}=3.03$ ,  $p=0.003$ ). La velocidad de carrera de los lagartos depende de la temperatura final y varía según la altitud. A bajas altitudes (600 msnm), como en *A. candidata* 2, la velocidad aumenta hasta los 29°C, pero disminuye después. En altitudes más altas (2000–2200 msnm), la velocidad disminuye entre 20 y 26°C. En altitudes intermedias (1600–1871 msnm), la velocidad aumenta hasta los 24°C, pero luego se estabiliza, sugiriendo que el rango de temperatura evaluado no afecta su rendimiento como en otras localidades.



**Fig. 1.** Temperatura final [°C] con la velocidad de carrera máxima [cm/s] alcanzada durante las pruebas de desempeño en *Anolis*.

## 4 Conclusiones

La temperatura final tiene un impacto significativo en el rendimiento locomotor. Se observó una relación positiva entre la temperatura y la velocidad de carrera hasta cierto punto, seguido de una disminución a temperaturas extremas. Lo cual puede indicar sensibilidad térmica del rendimiento en la especie con menor altitud (A. candidata 2). A diferencia de las especies de mayores altitudes a las cuales el ambiente ha fortalecido el endurecimiento térmico, así como la influencia de factores ambientales en el rendimiento locomotor. \*Producto derivado del proyecto (IMP-CIAS-3400) financiado por la Vicerrectoría de Investigaciones de la Universidad Militar Nueva Granada – Vigencia (2021).

## References

- [1] K. Mochida, T. Sasai, Y. Kadota, M. Nishikawa, M. M. Itou, and M. Toda, “Thermal reaction norms of locomotor performance in lacertid lizards of the genus *Takydromus*,” *Curr Herpetol*, vol. 37, no. 2, pp. 114–123, Aug. 2018, doi: 10.5358/hsj.37.114.
- [2] A. Lowie, E. Gillet, B. Vanhooydonck, D. J. Irschick, J. B. Losos, and A. Herrel, “Do the relationships between hindlimb anatomy and sprint speed variation differ between sexes in *Anolis* lizards?,” *Journal of Experimental Biology*, vol. 222, no. 5, pp. 1–35, 2019, doi: 10.1242/jeb.188805.
- [3] S. P. Lailvaux and D. J. Irschick, “Effects of temperature and sex on jump performance and biomechanics in the lizard *Anolis carolinensis*,” *Funct Ecol*, vol. 21, no. 3, pp. 534–543, Jun. 2007, doi: 10.1111/j.1365-2435.2007.01263.x.
- [4] F. J. Zamora-Camacho, M. V. Rubiño-Hispán, S. Reguera, and G. Moreno-Rueda, “Thermal dependence of sprint performance in the lizard *Psammodromus algirus* along a 2200-meter elevational gradient: Cold-habitat lizards do not perform better at low temperatures,” *J Therm Biol*, vol. 52, pp. 90–96, Aug. 2015, doi: 10.1016/j.jtherbio.2015.06.003.
- [5] R. Gómez Alés, J. C. Acosta, V. Astudillo, M. Córdoba, G. M. Blanco, and D. Miles, “Effect of temperature on the locomotor performance of species in a lizard assemblage in the Puna region of Argentina,” *J Comp Physiol B*, vol. 188, no. 6, pp. 977–990, Nov. 2018, doi: 10.1007/s00360-018-1185-y.
- [6] P. Artacho, I. Jouanneau, and G. Le Jean-François, “Interindividual variation in thermal sensitivity of maximal sprint speed, thermal behavior, and resting metabolic rate in a lizard,” *Physiological and Biochemical Zoology*, vol. 86, no. 4, pp. 458–469, Jul. 2013, doi: 10.1086/671376.
- [7] C. A. Navas, F. R. Gomes, and J. E. Carvalho, “Thermal relationships and exercise physiology in anuran amphibians: Integration and evolutionary

- implications," *Comparative Biochemistry and Physiology - A Molecular and Integrative Physiology*, vol. 151, no. 3, pp. 344–362, 2008, doi: 10.1016/j.cbpa.2007.07.003.
- [8] I. Beltrán, C. Perry, F. Degottex, and M. J. Whiting, "Behavioral Thermoregulation by Mothers Protects Offspring from Global Warming but at a Cost," *Physiol Biochem Zool*, vol. 94, no. 5, pp. 302–318, Sep. 2021, doi: 10.1086/715976.
  - [9] S. C. Campbell-Staton *et al.*, "Parallel selection on thermal physiology facilitates repeated adaptation of city lizards to urban heat islands," *Nat Ecol Evol*, vol. 4, no. 4, pp. 652–658, Apr. 2020, doi: 10.1038/s41559-020-1131-8.
  - [10] M. J. Angilletta, T. Hill, and M. A. Robson, "Is physiological performance optimized by thermoregulatory behavior?: a case study of the eastern fence lizard, *Sceloporus undulatus*," *J Therm Biol*, vol. 27, no. 3, pp. 199–204, Jun. 2002, doi: 10.1016/S0306-4565(01)00084-5.

# EFECTOS DE EXPOSICIÓN DEL LUFENURÓN SOBRE EL DESARROLLO ESPERMATOGÉNICO EN JUVENILES DE YAMÚ *Brycon amazonicus*

Laura S Díaz B <sup>1[0009-0001-2273-9688]</sup>,  
 Andrés J Bonilla R <sup>2[0000-0002-6218-2925]</sup>,  
 José A. Rodríguez P <sup>1,3[0000-0002-6735-3885]</sup>,

Jonathan F Villamil R <sup>4[0000-0002-8767-8550]</sup>

<sup>1</sup> Semillero de Investigación Pikaia, Universidad de los Llanos, Villavicencio, Meta, Colombia.

<sup>2</sup> Grupo de Investigación en Química de los Recursos Naturales – QUIMERA, Universidad de los Llanos, Villavicencio, Meta, Colombia. <sup>3</sup> Grupo de Investigación en Recursos Hidrobiológicos y Pesqueros, GIREHPES, Universidad de los Llanos, Villavicencio, Meta, Colombia.

<sup>4</sup> Laboratório de Ecotoxicología Aquática na Amazônia, Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, INPA, Manaus, Brasil.

[jonafe.villamil@gmail.com](mailto:jonafe.villamil@gmail.com)

**Resumen.** El lufenurón es un insecticida que ha suscitado preocupaciones por sus posibles efectos en organismos acuáticos. Este estudio evalúa el impacto del lufenurón sobre el desarrollo espermatogénico en *Brycon amazonicus*. Juveniles de yamú fueron expuestos a concentraciones de 0,3 mg/L y 0,5 mg/L de lufenurón durante un mes, manteniéndolos en acuarios bajo un sistema semiestático. Se analizaron parámetros biométricos (longitud total y peso), índices gonadosomático (IGS) y hepatosomático (IHS), así como características histológicas gonadales. Los resultados mostraron que, a mayor concentración de lufenurón, los peces presentaron una ligera disminución en longitud y peso, junto con una reducción en el IGS e IHS. Histológicamente, se observó una disminución en los tipos celulares correspondientes al proceso espermatogénico, sugiriendo un efecto tóxico del lufenurón sobre la reproducción y el crecimiento de los peces.

**39**

**Palabras clave:** Espermatogénesis, Gónadas, Insecticida, Toxicología.

# 1 Introducción

El lufenurón es considerado un insecticida de la familia de las benzoilureas, el cual ha sido utilizado ampliamente en la agricultura debido a su eficacia para el control de plagas mediante la inhibición de la síntesis de quitina en insectos [1]. Sin embargo, su uso ha generado preocupaciones sobre sus posibles efectos en organismos acuáticos, particularmente en peces de interés comercial y ecológico como el yamú (*Brycon amazonicus*). Esta especie, nativa de la cuenca del Amazonas y del Orinoco, es apreciada tanto por su valor alimenticio como por su importancia en la biodiversidad. El proceso de espermatogénesis es fundamental para la reproducción sexual en los peces, ya que implica la formación y maduración de los espermatozoides a partir de células germinales primordiales. En juveniles de yamú, este proceso es especialmente vulnerable a factores externos debido a la inmadurez de sus sistemas endocrinos y reproductivos. La exposición a sustancias químicas disruptoras, como el lufenurón, puede interferir con la regulación hormonal y la integridad celular [2]. Por lo tanto, investigar estos efectos es esencial para prever y mitigar posibles impactos negativos en las poblaciones naturales y en la acuicultura de esta especie. El objetivo de este estudio fue evaluar los efectos del lufenurón sobre el desarrollo espermatogénico en juveniles de yamú *B. amazonicus*.

# 2 Metodología

## 2.1 Diseño experimental

Juveniles de yamú (*B. amazonicus*) fueron obtenidos en la Piscícola Fazenda Bicho do Rio, ubicada en el municipio de Iranduba, Amazonas (Brasil). Los individuos fueron transportados hasta el Instituto Nacional de Pesquisas da Amazonia donde se mantuvieron en aclimatación en un tanque de 500 L con aireación constante. Ensayos preliminares de toxicidad aguda fueron necesarios para establecer las concentraciones usadas en el ensayo de toxicidad crónica. Un sistema semiestático fue usado para los ensayos de toxicidad crónica. Durante un mes, juveniles de *B. amazonicus* fueron expuestos a dos concentraciones de lufenurón, para lo anterior, los peces se dividieron aleatoriamente en 9 grupos, los cuales fueron mantenidos en acuarios de 30 litros. Un grupo control y dos concentraciones de 0,3 mg/L y 0,5 mg/L de lufenurón fueron usadas para la evaluación de toxicidad crónica, en donde 0,5 mg/L correspondió al 50% de la CL50 96h. Tres réplicas del grupo control y tres réplicas de cada concentración fueron necesarias para obtener el *n* adecuado de machos para la evaluación histológica y reproductiva (*n* = 35). Una vez finalizado el experimento, los individuos fueron anestesiados con 40 mg/L de Eugenol. Posteriormente, se registraron los datos biométricos correspondientes: longitud total (cm) y peso (g). Finalmente, los peces fueron eutanasiados por medio de un corte medular para la extracción de las gónadas e hígado para análisis histológico y somático.

## 2.2 Índices somáticos

Para efectos de la evaluación fisiológica y reproductiva de los individuos, los índices gonadosomático (IGS) [4] y hepatosomático (IHS) [5] fueron determinados mediante las siguientes fórmulas:

$$\text{IGS} = (\text{Pg} / \text{Pt} * 100)$$

$$\text{IHS} = (\text{Ph} / \text{Pt} * 100)$$

En donde: Pg = Peso total de la gónada; Ph = Peso total del hígado y Pt = Peso corporal total.

## 2.3 Análisis histológico

Las gónadas fueron fijadas en formalina 10% durante 24 horas y posteriormente conservadas en alcohol 70%. Las muestras fueron sometidas a procesos graduales de deshidratación en etanol (80-100%) para su inclusión en historesina Technovit®. Se realizaron cortes de 3 $\mu\text{m}$  mediante micrótomo Leica RM 2125RT. Finalmente, fue empleada una tinción de panóptico y fucsina. El registro y análisis fotográfico fue realizado con microscopio Leica DM500 con cámara adaptada Leica ICC50 W.

# 3 Resultados y Discusión

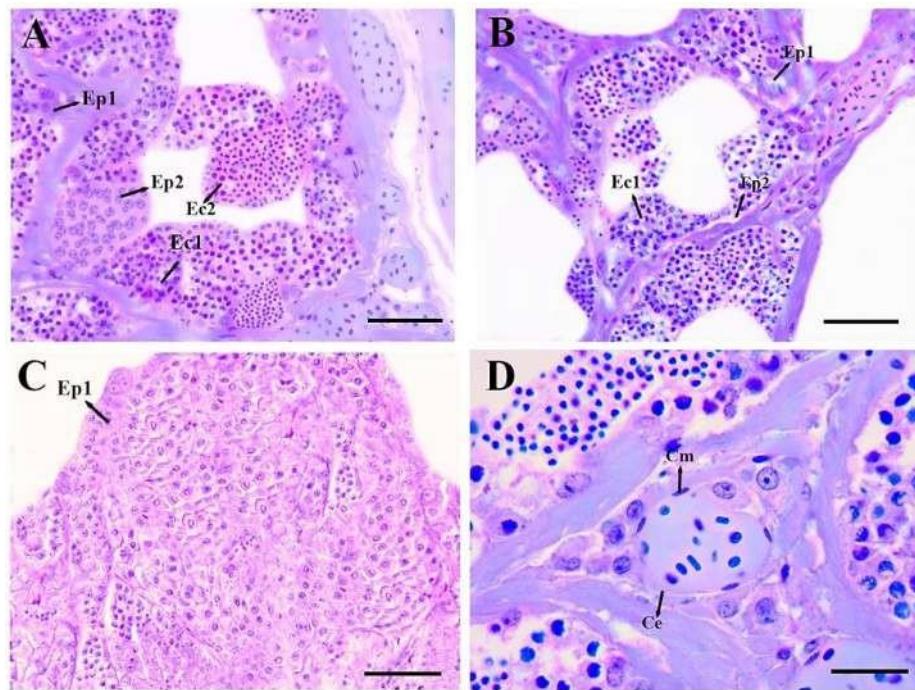
La evaluación fisiológica y reproductiva permitió identificar cambios biométricos e histológicos asociados a la exposición del lufenurón en juveniles de *B. amazonicus* (Tabla 1).

**Tabla 1.** Parámetros biométricos y reproductivos de juveniles de *B. amazonicus*.

Tratamiento	LT (cm)	Peso (g)	IGS	IHS	Tipos celulares
<b>Control</b>	6,23 $\pm$ 0,43	6,11 $\pm$ 0,62	0,42 $\pm$ 0,15	0,95 $\pm$ 0,36	Espermatogonias I y II, espermatocitos I y II
<b>0,3 mg/L</b>	6,6 $\pm$ 0,53	5,86 $\pm$ 0,95	0,41 $\pm$ 0,07	0,76 $\pm$ 0,28	Espermatogonias I y II, espermatocitos I
<b>0,5 mg/L</b>	5,74 $\pm$ 0,24	4,65 $\pm$ 0,35	0,12 $\pm$ 0,03	0,72 $\pm$ 0,39	Espermatogonias I

41

La clasificación del proceso espermatogénico reveló la presencia de varios tipos celulares (Figura 1).



**Figura 1.** Desarrollo espermatogénico en juveniles de *B. amazonicus* expuestos a lufenurón. A. Control. Escala = 100 $\mu$ m. B. Concentración 0,3 mg/L. Escala = 100 $\mu$ m. C. Concentración 0,5 mg/L. Escala = 100 $\mu$ m. D. Cisto espermatogénico en formación. Escala = 50 $\mu$ m. Ep1: Espermatogonias primarias; Ep2: Espermatogonias secundarias; Ec1: Espermatocitos primarios; Ec2: Espermatocitos secundarios; Cm: Células miodies; Ce: Cisto espermatogénico.

Las espermatogonias primarias, que son las células de mayor tamaño del linaje espermatogénico, poseen una vesícula nuclear y un núcleo bien definido. Las espermatogonias secundarias se encuentran agrupadas en cistos que contienen de dos a cuatro células, con un núcleo teñido, un núcleo excéntrico y basófilo. Los espermatocitos primarios, esféricos y también organizados en cistos, presentan un citoplasma denso y un núcleo escasamente condensado. Finalmente, los espermatocitos secundarios, de contorno indefinido, tienen un núcleo central y escaso citoplasma.

## 4 Conclusiones

42

A medida que aumenta la concentración de lufenurón, se observa una ligera disminución en la longitud total y el peso de los individuos, lo que sugiere un posible efecto tóxico de la sustancia sobre el crecimiento. Además, tanto el IGS como el IHS muestran una disminución a concentraciones más altas, lo que indica un impacto negativo en el desarrollo gonadal y en el estado energético de los peces. Los hallazgos histológicos respaldan estos efectos adversos, ya que se observa una reducción en los tipos celulares presentes en las gónadas a concentraciones más elevadas del insecticida.

# References

- [1] Vázquez, M.M.P., Vázquez, P.P., Galera, M.M., Moreno, A.U. Comparison of two ionic liquid dispersive liquid e liquid microextraction approaches for the determination of ben zoylurea insecticides in wastewater using liquid chromatography e quadrupole-linear ion trap e mass spectrometry: evaluation of green parameters. *Journal of Chromatography A*, 1356, 1e9 (2014).
- [2] Faheem, M., Bhandari, R.K. Detrimental effects of bisphenol compounds on physiology and reproduction in fish: a literature review. *Environmental Toxicology and Pharmacology*, 81, 103497 (2021).
- [3] Vazzoler, A.M. Biologia da Reprodução de Peixes Teleósteos: teoria e prática. Ed. DAUFSC. Nupelia–Universidad de Maringá. Maringá, Brasil (1996).
- [4] Nikolsky, G.V. *Reproduction, fecundity and ecology of fishes*. Academic Press, Londres (1978).

# MODELACIÓN DEL USO DE REFUGIOS URBANOS POR UN MURCIÉLAGO NEOTROPICAL

Lilia Ladino<sup>1</sup><sup>[0000-0003-1197-0494]</sup>,

Diana Vallejo<sup>2</sup><sup>[0009-0007-1427-9785]</sup>,

Francisco Sánchez<sup>2</sup><sup>[0000-0001-8826-5692]</sup>

<sup>1</sup> Grupo de Investigación SISTEMAS DINÁMICOS, Departamento de Matemáticas y Física, Facultad de Ciencias Básicas e Ingeniería, Universidad de los Llanos, sede Barcelona, km 12 vía Puerto López, Villavicencio, Colombia. <sup>2</sup> Grupo de Investigación ECOTONOS, Programa de Biología, Facultad de Ciencias Básicas e Ingeniería, Universidad de los Llanos, sede Barcelona, km 12 vía Puerto López, Villavicencio, Colombia.

[lladino@unillanos.edu.co](mailto:lladino@unillanos.edu.co)

**Resumen.** Algunos murciélagos insectívoros toleran ambientes urbanos, usando edificios como refugios y la iluminación artificial como lugares de forrajeo. Estos murciélagos pueden ayudar a controlar plagas agrícolas y vectores de enfermedades, pero las herramientas para su manejo en ambientes urbanos son limitadas. Construimos un modelo matemático para analizar la dinámica del uso de edificios como refugios diurnos por murciélagos insectívoros aéreos neotropicales en un entorno exurbano. Contamos quincenalmente el número de murciélagos mayores (subadultos y adultos) y crías de *Saccopteryx leptura* (Chiroptera: Emballonuridae) en cuatro dormideros ubicados en edificios entre 2019 y 2023. El modelo se ajusta al comportamiento de los datos observados para los murciélagos mayores y capta la variación periódica del número de crías durante el periodo de estudio. El modelo predice que la reducción de la calidad del hábitat, asociada con perturbaciones humanas, disminuye el número de murciélagos mayores, pero no el de las crías, salvo para perturbaciones muy grandes. El aumento de precipitaciones a niveles similares al fenómeno de La Niña, puede mejorar los efectos del deterioro del hábitat para los murciélagos mayores, pero tiene efectos menores sobre las crías. La disminución de precipitaciones a niveles similares al fenómeno de El Niño, puede acentuar los efectos de la reducción de la calidad del hábitat. En conclusión, el modelo explica el uso de los refugios mediante la interacción de mecanismos relacionados con la estacionalidad de las precipitaciones, efectos denso-dependientes y cambios en la calidad del hábitat. Así, el modelo puede utilizarse para evaluar escenarios de cambio climático y de hábitat relevantes para la conservación de *S. leptura*.

**Palabras clave:** Ecuaciones diferenciales, Emballonuridae, modelo matemático, simulaciones numéricas, *Saccopteryx leptura*, ecología urbana.

# 1 Introducción

La fragmentación debida a la expansión urbana reduce la superficie de los ecosistemas naturales, lo que afecta la disponibilidad de recursos para especies silvestres y puede limitar sus movimientos [1]. Varias especies de murciélagos toleran entornos urbanos y algunas al parecer se favorecen de la urbanización, ya que encuentran refugio en construcciones hechas por el hombre o se benefician alimentándose en parches creados por la iluminación artificial [2, 3]. Los murciélagos que viven en zonas urbanas pueden prestar servicios ecosistémicos al controlar los insectos voladores que tienen efectos negativos en la productividad agrícola de los alrededores de los asentamientos y también pueden disminuir la abundancia de insectos portadores de patógenos que afectan a humanos o a los animales domésticos [4, 5]. Sin embargo, algunos humanos tienen actitudes negativas hacia los murciélagos porque éstos pueden estar asociados a patógenos y enfermedades en sí mismos, o pueden no considerarse estéticamente aceptables [6, 7]. En el Neotrópico, en particular en las tierras bajas, los murciélagos se encuentran regularmente en edificios y otras construcciones humanas [8, 9] y por tanto hay una necesidad de herramientas para gestionar estas poblaciones en estos ecosistemas. En un campus universitario de la Orinoquía colombiana existen varios dormideros utilizados por *S. leptura*, y se ha encontrado que el número de estos murciélagos en dichos dormideros cambia dependiendo de la altura de la perchta y de la distancia del dormidero a la luz artificial [10]. Sin embargo, no se ha estudiado la dinámica de uso de esos dormideros. Dado que *S. leptura* contribuye a preservar las funciones del ecosistema en el campus y que probablemente sea de interés para la agricultura, decidimos desarrollar un modelo matemático de la dinámica de uso de los dormideros diarios por parte de este murciélagos. El modelo que proponemos se basa en observaciones del número de *S. leptura* en cuatro dormideros del campus durante más de dos años, incluyendo el periodo de confinamiento asociado a la pandemia del Covid-19 (junio de 2019 – febrero de 2020). Utilizamos el modelo para analizar cómo pueden relacionarse distintos procesos biológicos y antrópicos con la dinámica de uso de los dormideros. El modelo también sirve como ejemplo de cómo evaluar posibles escenarios relacionados con la conservación de los murciélagos en un entorno dominado por el hombre y en condiciones climáticamente variables.

## 2 Metodología

### 2.1 Área de estudio y conteo de murciélagos

Seguimos el número de murciélagos presentes en cuatro edificios del Campus Barcelona de la Universidad de Los Llanos en Villavicencio, Meta, Colombia; coordenadas: 4.07497 N, -73.58509 W, ~400 m alt. El campus cubre aproximadamente 40 ha; la temperatura media anual es de 25,9 °C y la humedad relativa media anual es de aproximadamente 88,5% [11]. La precipitación media anual es de 3638 mm, con una marcada estacionalidad; la temporada de lluvias es entre marzo y noviembre, y la temporada seca es entre diciembre y febrero. Contamos murciélagos quincenalmente, en la primera y segunda quincena de cada mes, desde junio de 2019 hasta diciembre de 2022, con la excepción de marzo a agosto de 2020, por restricciones asociadas a la pandemia COVID-19 o por cuestiones internas de la universidad. Los murciélagos se posaban en las paredes exteriores y podían contarse fácilmente; identificamos a las hembras con crías pegadas a ellas utilizando prismáticos o cámaras fotográficas.

### 2.2 Modelamiento matemático y simulaciones numéricas

Construimos un modelo matemático basandonos en la observación de los edificios utilizados por los murciélagos y en los procesos biológicos reconocidos durante el estudio: reproducción, competencia, crecimiento, inmigración, emigración y muertes naturales. Creamos diferentes representaciones matemáticas de estos procesos y elegimos la mejor versión del modelo basandonos en el ajuste a los datos observados evaluando los residuos y ejecutando pruebas  $\chi^2$  [12, 13]. Realizamos simulaciones de diferentes escenarios utilizando el software Vensim PLE [14].

## 3 Resultados y Discusión

46

El modelo nos permitió examinar escenarios con diferentes niveles de pérdida de murciélagos mayores debido a la emigración o a la muerte natural asociada al deterioro del hábitat. Si estos procesos se intensifican, el modelo predice una disminución del uso de los edificios por parte de los murciélagos mayores, hasta el punto de que éstos no utilicen los dormideros artificiales durante la mayor parte del año. Sin embargo, esto tiene efectos menores sobre las crías, salvo para perturbaciones muy intensas. Por el contrario, el aumento de la calidad del hábitat puede permitir a los murciélagos utilizar todo el espacio disponible en los dormideros. El modelo también predice que

un aumento de las precipitaciones del 20% o del 50%, reduce los efectos del aumento de la pérdida de murciélagos mayores. En comparación, cuanto más pronunciado es el descenso de las precipitaciones, más intensos serán los efectos de la emigración y la muerte natural, reduciendo el uso de los dormideros por los murciélagos mayores hasta el punto de que pueden no utilizar los edificios durante varios meses al año. Además, altas tasas de pérdida per cápita debida al deterioro del hábitat o a muertes naturales combinadas con la reducción de las precipitaciones, disminuye la producción de crías durante el año.

## 4 Conclusiones

Nuestro modelo matemático proporciona una explicación aproximada de la dinámica del uso de los dormideros diarios por *S. leptura* en un entorno ex-urbano. Identificamos los factores y procesos biológicos que influyen en la dinámica del sistema, incluyendo las precipitaciones, la calidad del hábitat, la migración, la competencia intraespecífica, la reproducción y la transición de murciélagos lactantes a murciélagos de mayor edad. Además, demostramos que la dinámica del uso de los dormideros por *S. leptura* surge de la interacción entre estos factores intrínsecos y extrínsecos de la especie. Así pues, el modelo puede utilizarse para evaluar escenarios de cambio climático y de hábitat relevantes para la conservación de *S. leptura*.

## References

- [1] Adams, C.E.: *Urban wildlife management*, CRC Press, Boca Raton, Fl., (2016).
- [2] Jung, K., Kalko, E.K.V.: Where forest meets urbanization: foraging plasticity of aerial insectivorous bats in an anthropogenically altered environment. *Journal of Mammalogy* 91, 144–153 (2010).
- [3] Duchamp, J., Swihart, R.: Shifts in bat community structure related to evolved traits and features of human-altered landscapes. *Landscape Ecology* 23, 849–860 (2008).
- [4] Russo, D., Ancillotto, L.: Sensitivity of bats to urbanization: A review. *Mammalian Biology* 80, 205–212 (2015).
- [5] Galindo-González, J., Medellín, R.A.: Los murciélagos y la COVID-19, una injusta historia. *CIENCIA Ergo-Sum* 28, e128 (2021).
- [6] Knight, A.J.: Bats, snakes and spiders, Oh my!" How aesthetic and negativistic attitudes, and other concepts predict support for species protection. *Journal of Environmental Psychology* 28, 94–103 (2008).
- [7] Boso, À., Álvarez, B., Pérez, B., Imio, J., Altamirano, A., Lisón, F.:

- Understanding human attitudes towards bats and the role of information and aesthetics to boost a positive response as a conservation tool. *Animal Conservation* 24, 937–945 (2021).
- [8] Alberico, M., Saavedra-R., C.A., García-Paredes, H.: Murciélagos caseros de Cali (Valle del Cauca – Colombia). *Caldasia* 27, 117–126 (2005).
  - [9] Nunes, H., Lopes Rocha, F., Cordeiro-Estrela, P.: Bats in urban areas of Brazil: roosts, food resources and parasites in disturbed environments. *Urban Ecosystems* 20, 953–969 (2017).
  - [10] Pérez-García, C., Bernal-Contreras, K., Ramírez-Castellanos, D.M., Buitrago-Valenzuela, D.C., Ceballos-Ladino, L.A., Sánchez, F.: Edificios usados como refugios por murciélagos en un campus universitario del piedemonte llanero de Colombia. *Revista Orinoquia* 23, 109–120 (2019).
  - [11] Minorta-Cely, V., Rangel-Ch., J.O.: El clima de la Orinoquia colombiana. in: J.O. Rangel Ch. (Ed.), *Colombia Diversidad Biótica XIV: la región de la Orinoquia de Colombia*, pp. 207– 236. Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia, (2014).
  - [12] Kuehl, R.O.: *Design of experiments: statistical principles of research design and analysis*. 2nd edition ed., Duxbury Press, Pacific Grove, CA, USA., (2000).
  - [13] Zar, J.H.: *Biostatistical analysis*, Pearson Prentice Hall, New Jersey, USA, (2010).
  - [14] Ventana Systems Inc.: Vensim PLE. versión gratuita <https://vensim.com/>. (2019).

# SÍNTESIS VERDE DE TIOSEMICARBAZONAS (TSC) Y TIAZOLIDINONAS ASISTIDA POR MICROONDAS Y EVALUACIÓN DE SU ACTIVIDAD ANTIOXIDANTE

Sara Daniela Mahecha Méndez<sup>1</sup>[\[1107976254\]](#),  
Lina Daniela González Robayo<sup>2</sup>[\[1104694872\]](#),  
Edwar Cortés González<sup>3</sup>[\[12751634\]](#)

<sup>1</sup> Universidad del Tolima, Ibagué, Colombia  
[sdmahecham@ut.edu.co](mailto:sdmahecham@ut.edu.co)

**Resumen.** Los compuestos heterocíclicos son de interés en la química médica por sus actividades farmacológicas y utilidad sintética. Dentro de ellos se destacan las tiosemicarbazionas (TSC), estudiadas por su acción antimicrobiana y anti cancerígena. Estas tienen potencial antitumoral, pero su toxicidad impulsa la creación de nuevos derivados y síntesis más seguras, como el uso de microondas para minimizar el impacto ambiental. Sintetizar TSC usando microondas, caracterizarlas mediante espectroscopía IR, UV-vis y espectrometría de masas, y evaluar sus propiedades antioxidantes con el método DPPH. En este contexto, la síntesis orgánica juega un papel crucial al permitir la experimentación con diversos parámetros que alteran las propiedades de los compuestos para crear un producto con potencial actividad biológica. Con este trabajo se espera conocer la actividad antioxidante de la tiosemicarbazona y tiazolidinona sintetizadas en el laboratorio. Se realizó la síntesis de TSC y derivados mediante el uso de microondas y calentamiento convencional, se llevó a cabo el seguimiento de la reacción con cromatografía de capa fina. La primera síntesis se realizó por método convencional con agitación y calentamiento constante a 80°C, posteriormente se hizo uso del microondas durante 2 minutos a 80°C. Se obtuvo un sólido de color amarillo brillante con textura similar al papel, soluble en acetona y etanol 80%. Por el método convencional se obtuvo un

---

49

rendimiento de 96.7%, por microondas se obtuvo un rendimiento de 55.7%. La TSC sintetizada es potencial para la investigación farmacéutica y da bases para futuros estudios.

**Palabras clave:** Tiosemicarbazonas, iminas, actividad antioxidante.

## 1 Introducción

Las tiosemicarbazonas (TSC) son compuestos formados por la reacción de tiosemicarbazidas con aldehídos o cetonas, y contienen azufre en lugar de oxígeno en su estructura. Estos compuestos poseen propiedades medicinales destacadas, mostrando actividad contra enfermedades como tuberculosis, cáncer y malaria. Actúan como ligandos quelantes, formando complejos con metales que interfieren con sistemas metabólicos y moléculas como el ADN, lo que confiere propiedades farmacológicas útiles como antifúngicas y antivirales [1]. Un compromiso de la ciencia es la protección medioambiental. Para ello, la química está desarrollando procesos —especialmente con potenciales aplicaciones medioambientales— que reduzcan la generación de residuos y que usen materiales de fuentes renovables (química verde) y que minimicen el coste energético [2].

### Problema

Una aplicación prometedora de los quelantes de metales, como las tiosemicarbazonas (TSC), es en el tratamiento del cáncer. Las TSC son bases de Schiff, compuestos orgánicos derivados de la reacción de aminas primarias con aldehídos o cetonas, que se caracterizan por un doble enlace C=N y actúan como bases de Lewis [3]. Las TSC se sintetizan fácilmente y se han estudiado ampliamente, mostrando un amplio perfil de actividad biológica, como antitumoral, antibacteriano, antiviral y antiprotozoario [4]. Esto ha impulsado la búsqueda de nuevos derivados con menor citotoxicidad. Además, los métodos sintéticos actuales para producir TSC no son completamente seguros y pueden causar contaminación. Por lo tanto, es urgente desarrollar metodologías más sostenibles y ecológicas, como el uso de microondas, para la síntesis de estos compuestos.

**50**

### Objetivo

**General:** Estudiar la actividad antioxidante de una de las tiosemicarbazona y tiazolidinona obtenidas por reacciones asistidas por microondas.

**Específicos**

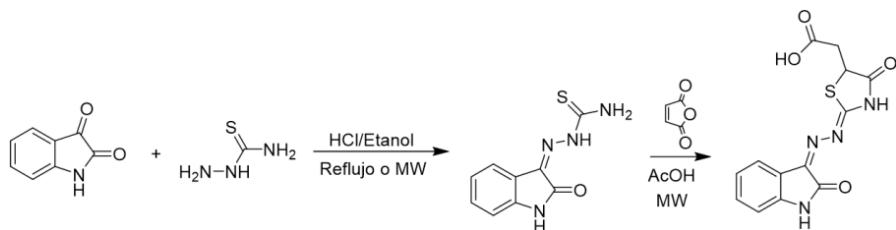
Sintetizar una tiosemicarbazona y tiazolidinonas derivadas de isatina mediante reacciones asistidas por microondas.

Caracterizar los productos obtenidos mediante técnicas espectroscópicas IR, UV-vis y espectrometría de masas.

Evaluar sus propiedades antioxidantes por el método del radical libre 2,2-difenil-1-picrilhidracilo (DPPH).

## 2 Metodología

El proyecto plantea la comparación de una síntesis convencional con la asistida por microondas de tiosemicarbazona por una condensación catalizada por medio ácido en solvente polar protíco, tal como se muestra en el esquema 1.



Esquema 1. Reacción de condensación de la tiosemicarbazona y tiazolidinona.

El diseño sintético se realizó mediante una reacción 1:1 entre tiosemicarbazida e isatina, utilizando ácido clorhídrico al 5% y etanol como disolvente, y calentando a 80°C durante una hora. La formación del producto deseado se verificó mediante cromatografía en capa fina, haciendo uso de un disolvente de acetato de etilo y hexano en proporciones 6:4 respectivamente. Luego, el sólido obtenido se filtró, se lavó con una mezcla de agua y etanol (50:50) y se secó en una plancha de calentamiento a 70°C. Posteriormente, se repitió la reacción utilizando un equipo de microondas Monowave 50 de Anton Paar, aplicando una temperatura de 80°C durante 2 minutos. El producto resultante se filtró y se lavó con etanol frío para eliminar el exceso de isatina, y luego se secó nuevamente en la plancha de calentamiento a 70°C. Finalmente, se realizaron análisis de espectroscopía infrarroja para caracterizar el producto y además en un software especializado (SwissADME) se evaluaron diferentes propiedades de los productos.

### 3 Resultados

La reacción de condensación de isatina y tiosemicarbazida, catalizada en medio ácido, produjo 0.07405 g de tiosemicarbazona. Este sólido amarillo brillante tiene una apariencia y textura similares al papel, no se adhiere fácilmente a superficies y es insoluble en agua, con un rendimiento del 96.96%. Usando el método alternativo de calentamiento por microondas, se obtuvo un compuesto con características físicas y químicas similares al del método tradicional, pero con un rendimiento de 0.0504 g y un porcentaje de rendimiento del 55.756%. Además, se caracterizó a partir de un espectro infrarrojo el primer producto (TSC), como se muestra en la figura 1.

**Table 1.** Propiedades Fisicoquímicas de la Tiosemicarbazona Sintetizada

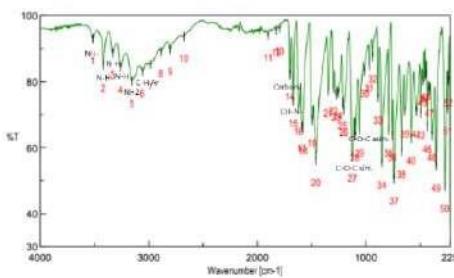
Fórmula Molecular	C <sub>9</sub> H <sub>8</sub> N <sub>4</sub> OS
Peso Molecular	220.25 g/mol
Número de aceptores de enlace H	2
Número de donadores de enlace H	3
Refractividad Molar	63.53
Log Po/W	1.25

**Table 2.** Propiedades Fisicoquímicas de la Tiazolidinona Sintetizada

Fórmula Molecular	C <sub>13</sub> H <sub>10</sub> N <sub>4</sub> O <sub>4</sub> S
Peso Molecular	318.31 g/mol
Número de aceptores de enlace H	6
Número de donadores de enlace H	3
Refractividad Molar	87.31
Log Po/W	0.88

**Table 3.** Solubilidad de la Tiosemicarbazona sintetizada

Solvente orgánico	Resultado	Observación
Etanol (80°C)	+	Soluble
Acetona	+	Soluble
Etanol (25°C)	-	Ligeramente soluble
Agua	-	Insoluble
Hexano	-	Insoluble
Cloroformo	-	Insoluble



**Fig. 1.** Espectro infrarrojo de la tiosemicarbazona

## 4 Conclusiones

La TSC sintetizada muestra gran potencial para la investigación farmacéutica y médica, sentando bases para futuros estudios y aplicaciones. Las propiedades fisicoquímicas obtenidas de los productos permitieron evaluar preliminarmente la posible actividad antioxidante de los mismos. Si bien se observa una clara diferencia entre los métodos realizados para las síntesis, no se puede realizar una comparativa entre estos ya que el método el por microondas no se realizó una cantidad considerable de veces para realizar la comparación.

## References

- [1] Prades E., Casals-Hungli M. Propiedades moleculares de la 2- Hidroxiimino-1-feniletanona tiosemicarbazona utilizando aproximaciones teóricas. (2017).
- [2] Herradón García, B. (2023). QUÍMICA ORGÁNICA: ASPECTOS HISTÓRICOS, IMPACTO EN LA SOCIEDAD, AVANCES RECIENTES, E INVESTIGACIONES EN EL IQOG-CSIC.
- [3] Zhu, J., Teng, G., Li, D., Hou, R., & Xia, Y. Synthesis and antibacterial activity of novel Schiff bases of thiosemicarbazone derivatives with adamantane moiety. *Medicinal Chemistry Research*, 30(8), 1534–1540. (2021).
- [4] Donado Lidueñas, D. C., & Guzmán Rosales, S. M. (2023). Reposicionamiento de fármacos: Recientes avances en el descubrimiento de fármacos contra la enfermedad de Chagas.

# IMPACTO DE ALGUNOS FACTORES AMBIENTALES EN LA ACTIVIDAD DE TRES ESPECIES DE **Saccopteryx (CHIROPTERA: EMBALLONURIDAE)**

Maira A. Torres H.<sup>1</sup>[0009-0004-8759-6210],  
Lilia Ladino<sup>2</sup>[0000-0003-1197-0494],

Francisco Sánchez<sup>1</sup>[0000-0001-8826-5692]

<sup>1</sup> Grupo de investigación ECOTONOS, Programa de Biología, Facultad de Ciencias Básicas e Ingeniería, Universidad de los Llanos, Villavicencio, Colombia. <sup>2</sup> Grupo de investigación Sistemas Dinámicos, Departamento de Matemáticas y Física, Facultad de Ciencias Básicas e Ingeniería, Universidad de los Llanos.

[maira.torres@unillanos.edu.co](mailto:maira.torres@unillanos.edu.co)

**Resumen.** Evaluamos el impacto de factores ambientales como la temperatura del aire, precipitación e iluminación de la luna sobre la actividad de tres especies de murciélagos del género *Saccopteryx* en un área exurbana neotropical: *S. bilineata*, *S. leptura* y *Saccopteryx* sp.. Grabamos durante 20 noches la actividad de los murciélagos desde las 18:30h hasta las 19:30h en dos estanques. El estanque 1 tenía una alta cobertura de árboles y fue muestreado durante la época de lluvias, mientras que el estanque 2 estaba rodeado por pastos y durante la época de la sequía. Analizamos las grabaciones usando Raven Pro V.1.6 y BatExplorer V.2.2.5.2. Solamente *S. leptura* en el estanque 1 presentó una correlación significativa con la temperatura del aire ( $\tau = 0.424$ ,  $p = 0.015$ ) y una relación negativa con la precipitación ( $\tau = -0.638$ ,  $p < 0.001$ ). En el estanque 2 no se encontró una relación significativa entre la actividad de los murciélagos y los factores ambientales, pero se observó una tendencia negativa de la actividad de *S. leptura* con respecto a la iluminación de la luna ( $\tau = -0.292$ ,  $p = 0.078$ ). En conclusión, algunos factores ambientales afectan de manera diferencial a estas especies, aunque su efecto parece depender de las condiciones del sitio y temporada.

**54**

Palabras clave: Iluminación de la luna, murciélagos, precipitación, temperatura del aire, Orinoquia.

# 1 Introducción

Los murciélagos se presentan en todos los grupos tróficos, por su abundancia y participación en interacciones bióticas son clave para el funcionamiento de los ecosistemas (Fleming, 1986; Kunz *et al.*, 2011). Además, algunos murciélagos se caracterizan por su capacidad para ajustar su actividad a las variaciones ambientales, tanto bióticas como abióticas (Mukherjee & Korine, 2003). La actividad de los murciélagos varía en respuesta a los factores abióticos como la precipitación, la temperatura y la iluminación de la luna (Appel *et al.*, 2019), y a factores bióticos como la disponibilidad de alimento y cobertura vegetal (Mukherjee & Korine, 2003).

La temperatura del aire puede afectar la fisiología de los murciélagos, por ejemplo su metabolismo y su eficiencia en la caza, así como la disponibilidad de presas (Appel *et al.*, 2019; Reichard *et al.*, 2010; Wolbert *et al.*, 2014). Los cambios en la precipitación pueden modificar los patrones de actividad sobre todo en los murciélagos insectívoros, por ejemplo, las precipitaciones altas reducen su actividad, ya que disminuye la disponibilidad de presas y dificulta su capacidad de vuelo (Appel *et al.*, 2019; LaVal & Lawton, 2021). Así mismo, como los murciélagos insectívoros aéreos dependen de señales acústicas para ubicarse en el entorno, encontrar a sus presas y comunicarse las lluvias pueden interferir en su ecolocalización (Fenton, 2003; LaVal & Lawton, 2021). Además, la iluminación de la luna puede afectar la actividad nocturna de los murciélagos, influyendo en su capacidad para localizar presas y en la percepción del riesgo de depredación (Appel *et al.*, 2017; Ciechanowski *et al.*, 2007; Saldaña-Vázquez & Munguía-Rosas, 2013).

Entre los murciélagos insectívoros aéreos que se registran en el neotrópico están las especies del género *Saccopteryx*, las cuales se pueden encontrar en zonas urbanas y rurales (Vivas-Toro *et al.*, 2023), lo que permite estudiar los efectos de factores ambientales sobre su actividad. Además, se conocen los pulsos de ecolocalización de varias especies de *Saccopteryx* en regiones del Neotrópico y es posible su seguimiento por medios bioacústicos (Jung *et al.*, 2007; Zurc *et al.*, 2017). En la zona de estudio se tienen registros de *Saccopteryx leptura*, *S. bilineata* y una tercera especie identificada como *Saccopteryx* sp. (Hintze *et al.*, 2016; Zurc *et al.*, 2017). Con base a todo lo anterior, proponemos que la temperatura del aire, la precipitación y la iluminación de la luna afectan la actividad de estas tres especies de *Saccopteryx* en un área exurbana neotropical.

## 2 Metodología

### Área de muestreo

El estudio lo realizamos en la Universidad de los Llanos, sede Barcelona, 4°04'29"N, 73°34'56"W; 400 m.s.n.m. Realizamos las grabaciones en dos estanques piscícolas, donde se ha confirmado la presencia de las tres especies de murciélagos de *Saccopteryx*. El estanque 1 tenía una alta cobertura de árboles y fue muestreado durante la época de lluvias, mientras que el estanque 2 estaba rodeado por pastos y durante la época de la sequía.

### Fase de campo

Utilizamos una grabadora ultrasónica Song Meter Mini Bat® para registrar la actividad de los murciélagos durante 20 noches, desde las 18:30 h hasta las 19:30 h, que es el período de mayor actividad de los *Saccopteryx* en el campus (M. Torres, obs. pers.). Configuramos las grabadoras con una tasa de muestreo de 500 kHz, una frecuencia mínima de activación de 16 kHz, una longitud máxima de grabación de 30 s y una ventana de activación de 3 s. Los archivos se guardaron en formato .wav sin compresión.

### Análisis bioacústicos

Analizamos las grabaciones con Raven Pro V.1.6 y BatExplorer V.2.2.5.2 mediante una transformación rápida de Fourier (FFT) con una ventana tipo Hamming de 512 muestras y un solapamiento del 80%. Determinamos la actividad de forrajeo por el número de secuencias de pulsos durante la fase de búsqueda cada 30 min. Identificamos los pulsos de cada especie basándonos en las referencias disponibles (Jung et al., 2007; Zurek et al., 2017), utilizando los parámetros de frecuencia máxima y mínima, frecuencia inicial y final, frecuencia de máxima energía, ancho de banda, amplitud, tipo de llamada e intervalo entre pulsos.

56

### Análisis estadístico

Utilizamos la prueba de Tau ( $\tau$ ) de Kendall para correlacionar la actividad de forrajeo de cada especie durante la hora pico con la precipitación diaria, la temperatura del aire a las 19:00 h y la iluminación de la luna. Obtuimos los datos de precipitación y temperatura de una estación meteorológica cercana (~13 km, IDEAM, código 35025110), y los de la iluminación lunar de [www.timeanddate.com](http://www.timeanddate.com).

## 3 Resultados

Los efectos de los factores ambientales estudiados fueron diferentes entre los estanques. En el Estanque 1, la actividad de *Saccopteryx leptura* se evidencia una correlación significativa con la temperatura del aire ( $\tau = 0.424$ ,  $p = 0.015$ ) y la precipitación ( $\tau = -0.638$ ,  $p < 0.001$ ). El resultado obtenido con respecto a la precipitación coincide con Appel et al. (2019). Mientras que para especies como *S. bilineata* y *Saccopteryx* sp. parece que las altas precipitaciones no afectan su actividad. En el estanque 2, no se encontraron correlaciones significativas entre la actividad de las especies y los factores abióticos evaluados. Sin embargo, los datos sugieren una posible relación negativa entre la actividad de *S. leptura* y la iluminación de la luna ( $\tau = -0.292$ ,  $p = 0.078$ ).

## 4 Conclusiones

Los resultados de este estudio muestran que la actividad de forrajeo de *Saccopteryx leptura* puede estar influenciada por la temperatura del aire y la precipitación, pero estos efectos pueden depender de la temporada de altas precipitaciones y/o sitio. La falta de correlación entre los factores ambientales y la actividad de *S. bilineata* y *Saccopteryx* sp., sugiere que aun especies del mismo género pueden responder de forma diferencial ante los mismos factores ambientales. Por lo tanto, este estudio resalta la importancia de investigar sobre la ecología de los murciélagos y cómo esta se ve afectada por factores ambientales, ya que puede permitir la evaluación de estrategias de conservación y manejo de hábitat para preservar la biodiversidad.

## References

- [1] Appel, G., López-Baucells, A., Ernest-Magnusson, W., & Bobrowiec, P. E. D. (2017). Aerial insectivorous bat activity in relation to moonlight intensity. *Mammalian Biology*, 85, 37–46.
- [2] Appel, G., López-Baucells, A., Magnusson, W. E., & Bobrowiec, P. E. D. (2019). Temperature, rainfall, and moonlight intensity effects on activity of tropical insectivorous bats. *Journal of Mammalogy*, 100(6), 1889–1900.
- [3] Ciechanowski, M., Zajac, T., Biłas, A., & Dunajski, R. (2007). Spatiotemporal variation in activity of bat species differing in hunting tactics: effects of weather, moonlight, food abundance, and structural clutter. *Canadian Journal of Zoology*, 85(12), 1249–1263.
- [4] Fenton, M. B. (2003). Eavesdropping on the echolocation and social calls of bats. *Mammal Review*, 33(3–4), 193–204.
- [5] Fleming, T. H. (1986). The structure of Neotropical bat communities: a preliminary analysis. *Revista chilena de Historia natural*, 59(13), 5–1.
- [6] Hintze, F., Barbier, E., & Bernard, E. (2016). Emballonuridae Gervais, 1855 (Chiroptera) of reserva biológica de Saltinho (Atlantic forest), in Brazil, revealed by echolocation. *Check List*, 12(4), 1925–1925.
- [7] Jung, K., Kalko, E., von, & Von Helversen, O. (2007). Echolocation calls in Central American emballonurid bats: signal design and call frequency alternation. *Journal of Zoology*, 272(2), 125–137.

- [8] Kunz, T. H., Braun de Torrez, E., Bauer, D., Lobova, T., & Fleming, T. H. (2011). Ecosystem services provided by bats. *Annals of the New York academy of sciences*, 1223(1), 1–38.
- [9] LaVal, R. K., & Lawton, R. O. (2021). The effect of environmental variables on nightly activity patterns of insectivorous bats monitored over ten years in a tropical premontane forest, Costa Rica. *Neotropical Biodiversity*, 7(1), 476–490.
- [10] Mukherjee, A., & Korine, C. (2003). The influence of biotic and abiotic factors on bat activity in Negev Desert, Israel. *ZOOS'PRINT JOURNAL*, 18(1), 982–986.
- [11] Reichard, J. D., Fellows, S. R., Frank, A. J., & Kunz, T. H. (2010). Thermoregulation during flight: body temperature and sensible heat transfer in free-ranging Brazilian free-tailed bats (*Tadarida brasiliensis*). *Physiological and Biochemical Zoology*, 83(6), 885–897.
- [12] Saldaña-Vázquez, R. A., & Munguía-Rosas, M. A. (2013). Lunar phobia in bats and its ecological correlates: a meta-analysis. *Mammalian Biology*, 78(3), 216–219.
- [13] Vivas-Toro, I., Paredes, E., & Reyes, J. O. (2023). El peculiar perfume de los murciélagos de sacos. *Therya ixmana*, 2(1), 28–29.
- [14] Wolbert, S. J., Zellner, A. S., & Whidden, H. P. (2014). Bat activity, insect biomass, and temperature along an elevational gradient. *Northeastern Naturalist*, 21(1), 72–85.
- [15] Zurc, D., Guillén-Servent, A., & Solari, S. (2017). Chillidos de ecolocación de murciélagos Emballonuridae en una sabana xerófila-semiseca del Caribe Colombiano. *Mastozoología neotropical*, 24(1), 201–218.

# MIXED DEGENERATE PARABOLIC PROBLEMS WITH APPLICATION TO TRANSIENT EDDY CURRENT PROBLEMS WITH SOURCE DATA

Christian Gómez\*

Beatriz Rojas†

Ramiro Acevedo‡

\*, †, ‡ Universidad de los Llanos, Villavicencio, Colombia

[chgomez@unillanos.edu.co](mailto:chgomez@unillanos.edu.co)

**Resumen.** The aim of this work is to show an abstract framework to analyze a family of linear degenerate parabolic mixed equations and its numerical approximation by using a finite element method in space and a Backward–Euler scheme in time. We combine the theory for the degenerate parabolic equations (see [1]) with the classical Babuska–Brezzi theory to deduce necessary and sufficient conditions to prove the well–posedness of the continuous problem. Furthermore, we deduce that the fully–discrete problem has a unique solution and prove quasi–optimal error estimates for the approximation. Finally, we show a particular problem which arises from electromagnetic applications (eddy current models with input currents as source data) (see [2]) and we deduce its well–posedness and convergence by using the developed abstract theory, including numerical tests on three–dimensional space to illustrate the performance of the method and confirm the theoretical results. Some main results can be found in [3]. Other studies on mixed parabolic problems are presented in [4].

59

**Palabras clave:** Well–posedness, parabolic degenerate equations, mixed problems, finite element method, fully–discrete approximation, error estimates, eddy current model.

# 1 Introducción

The aim of this work is to establish a comprehensive abstract framework for analyzing a family of linear degenerate parabolic mixed equations and their numerical approximation. This analysis utilizes a finite element method in space combined with a Backward-Euler scheme in time, providing a robust approach to handle the inherent complexities of degenerate parabolic problems. By synthesizing the theoretical underpinnings of degenerate parabolic equations, as detailed in [1], with the classical Babuska-Brezzi theory, we derive necessary and sufficient conditions for proving the well-posedness of the continuous problem. This integration ensures a rigorous foundation for the equations, confirming that they are properly formulated and solvable under the specified conditions.

Additionally, our work extends to the fully-discrete problem, where we demonstrate that it has a unique solution and establish quasi-optimal error estimates for the numerical approximation. This involves a detailed examination of the stability and accuracy of the numerical schemes applied. To illustrate the practical relevance of our framework, we apply the theoretical results to a specific problem derived from electromagnetic applications—specifically, eddy current models with input currents as source data, as discussed in [2]. Through this application, we validate the well-posedness and convergence of the solution, and provide numerical tests conducted in three-dimensional space. These tests not only showcase the practical effectiveness of the method but also reinforce the theoretical results obtained. The significance of our findings is further underscored by the results documented in [3], while additional insights into mixed parabolic problems are explored in [4]. This work aims to bridge the gap between theoretical analysis and practical application, offering valuable contributions to both the mathematical and computational aspects of degenerate parabolic equations.

# 2 Resultados

60

In this work, we have developed a robust abstract framework for analyzing linear degenerate parabolic mixed equations, integrating the theory of degenerate parabolic equations with the Babuska-Brezzi theory. This framework provides a comprehensive approach to addressing the well-posedness of these equations, ensuring that necessary and sufficient conditions for their solvability are met. The theoretical foundation established in this framework confirms that the continuous problem is well-posed, meaning it has a unique solution that depends continuously on the input data.

Our analysis extends to the fully-discrete problem, where we have proven that the solution exists uniquely when using a finite element method in space combined with a Backward–Euler scheme in time. We also derived quasi-optimal error estimates for the numerical approximation, which indicate the accuracy and efficiency of our numerical methods. This demonstrates that the proposed approach provides reliable and precise solutions.

Applying the developed framework to electromagnetic models, specifically eddy current models with input currents as source data, has validated our theoretical results. Through this application, we confirmed the well-posedness and convergence of the numerical solutions. Numerical tests conducted in three-dimensional space further illustrate the effectiveness of the proposed methods and confirm the accuracy of the theoretical predictions.

Overall, this work bridges the gap between theoretical analysis and practical implementation of degenerate parabolic equations, offering valuable insights into both their mathematical formulation and numerical approximation. The results enhance our understanding of these models and their application in various scientific and engineering contexts.

### 3 Conclusiones

In this work, we successfully developed an abstract framework for analyzing linear degenerate parabolic mixed equations by integrating the theory of degenerate parabolic equations with the Babuska–Brezzi theory. This framework allowed us to address the well-posedness of the continuous problem, confirming that it met the necessary and sufficient conditions for having a unique solution that depends continuously on the input data.

We demonstrated that the fully-discrete problem, solved using a finite element method in space and a Backward–Euler scheme in time, also had a unique solution. Our derivation of quasi-optimal error estimates for the numerical approximation indicated that the numerical methods were both accurate and efficient. The practical application of our framework to electromagnetic models, particularly eddy current models with input currents as source data, confirmed the well-posedness and convergence of the solutions. Numerical tests conducted in three-dimensional space validated the performance of the proposed methods and supported the theoretical results.

Overall, we bridged the gap between theoretical analysis and practical implementation of degenerate parabolic equations, providing valuable insights into their mathematical formulation and numerical approximation. Our results contributed to a deeper understanding of these models and their application in scientific and engineering contexts.

## References

- [1] Showalter, R. E *Monotone Operator in Banach Space and Nonlinear Partial Differential Equations* American Mathematical Society
- [2] Bermudez, A., López-Rodríguez, B., Rodríguez, R. & Salgado, P. (2013) An eddy current problem in terms of a time-primitive of the electric field with non-local source conditions, *ESAIM – Mathematical Modelling and Numerical Analysis*, 47, 875–902.
- [3] Acevedo, R. C. Gomez and López-Rodríguez, B. (2020) Well-posedness for a family of degenerate parabolic mixed equations. Submitted, arXiv preprint arXiv:3172886.
- [4] Boffi, D. & Gastaldi, L. (2004) Analysis of finite element approximation of evolution problems in mixed form, *SIAM J. Numer. Anal.*, 42, 1502–1526.

# DINÁMICA DE COBERTURAS EN LA AMAZONÍA COLOMBIANA MEDIANTE UN MODELO DE COMPETENCIA

Rafael A. Torres Pabón<sup>1</sup>,

Jorge A. Amador<sup>2</sup>,

Carlos A. Peña Rincón<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Universidad de los Llanos, Villavicencio, Colombia. <sup>2</sup> Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt, Bogotá, Colombia, <sup>3</sup> Departamento de Matemáticas Universidad Sergio Arboleda, Bogotá, Colombia

[rtorresp@unillanos.edu.co](mailto:rtorresp@unillanos.edu.co)

**Resumen.** La selva amazónica Colombiana tiene un rol fundamental en el almacenamiento de carbono, contribuyendo significativamente a la estabilización el clima planetario. Sin embargo, la cobertura forestal y las áreas naturales se han transformado en otros tipos de cobertura por diversos usos, alcanzando niveles críticos que han puesto en alerta a la comunidad científica internacional. El cambio en la cobertura del suelo es un indicador del uso del suelo que puede ser analizado a partir de un modelo de competencia aplicado a tres departamentos de la Amazonia colombiana. Este modelo representa grupos de cobertura del suelo que compiten por el territorio, utilizando datos de cobertura provenientes de la iniciativa Climate Change Initiative–Land Cover, consolidados en series temporales desde 2004 hasta 2018. Posteriormente, los parámetros del modelo fueron ajustados mediante un algoritmo de optimización basado en estos datos. Finalmente, se simularon diferentes escenarios considerando cambios en la intensidad de algunas tasas de transformación entre varios grupos de coberturas durante un período de cinco años para cada departamento, con el objetivo de comprender su efecto sobre los niveles de competencia. La investigación basada en modelos de competencia y proyecciones futuras puede proporcionar información valiosa para la toma de decisiones y la formulación de estrategias de conservación efectivas.

**Palabras clave:** Corine Land Cover, K-means, método de región de confianza reflectante, modelo de competencia.

# 1 Introducción

La selva del Amazonas a través de sus dinámicas inherentes al ecosistema como la evapotranspiración y la precipitación participan en el balance energético e hídrico contribuyendo anualmente a evaporar unos ocho billones de toneladas de agua de los bosques amazónicos, e influyendo en la circulación atmosférica [1]. Adicionalmente, los árboles contienen 90 – 140 billones de toneladas de carbón [2]. Sin embargo, las actividades antrópicas como la ganadería, la agricultura y la minería han provocado cambios en la estructura de los bosques primarios causando fragmentación que amenazan la biodiversidad [3, 4].

El desarrollo económico del país conlleva a modificar el uso del suelo mediante la planeación, la estrategia y operatividad para minimizar los costos y el impacto en los ecosistemas de bosques [5], no obstante, la falta de planeación puede incrementar la deforestación, pérdida de biodiversidad y coberturas naturales [6], todo enmarcado en un soporte de administración sustentable de la selva Amazónica [7]. La interacción entre el cambio de coberturas para una región ha sido de interés para la comunidad científica para responder preguntas como: ¿Dónde es probable que ocurra los cambios de cobertura y uso del suelo? y ¿a qué tasa es probable que ocurran dichos cambios? Cada pregunta demanda una atención particular, para la primera, se requiere de modelos espaciales geoestadísticos, modelos basados en agentes [8] y cadenas de Markov [9], vinculando datos con sensores remotos y procesados con sistemas de información geográfica. La segunda pregunta tiene interés en lo económico, sin embargo, las series de tiempo de datos a través de los sensores remotos permiten una predicción en el momento de los cambios de cobertura [10, 11].

Mediante el proyecto de cambio de uso y cobertura del suelo (LULCC por sus siglas en inglés) busca comprender la interacción de las coberturas y el uso del suelo a través de la aproximación del modelamiento y la simulación con la capacidad de generar proyecciones o escenarios a futuro [11]. Asimismo, se han vinculado otras áreas de interés como la expansión de la población y el consumo de recursos ambientales con el desarrollo de la economía social [12]. A su vez, presentan una categorización para modelos de predicción en el cambio de cobertura y uso de suelo así: Modelos basados en sistemas de información geográfica (SIG), con machine learning y modelos híbridos [13]. Estudios desarrollados en el área tropical identificaron como la agricultura, la deforestación y la ganadería están provocando cambios del uso de suelo, [13, 14, 15, 16]. En la Amazonía de Brasil se realizaron estudios LULCC [17] y en la región de la Amazonía de Colombia dos departamentos con alta defores-

tación son Caquetá y Putumayo causada por la construcción de vías para la industria de petróleo, cultivos ilícitos, la industria de extracción de bosque y ganadería [18].

A través de estudios con técnicas de clasificación supervisada se presentan mapas de detección de cambio de uso del suelo y cobertura, en el cual 4641,76 Km<sup>2</sup> fueron convertidas en agricultura para estos dos departamentos entre el año 2000 al 2016, el cual se identificaron causas que modifican el uso del suelo y provienen desde lo político, económico y social [15, 19]. Asimismo, se reportó que en el período 2018 al 2020 los departamentos de caquetá, Meta y Guaviare presentó disminución en su cobertura de bosques con una pérdida de 343.992 ha que se transformaron en pastizales, bosques fragmentados y vegetación secundaria [20].

Estos estudios están enfocados a presentar información importante de las causas generadas por la presión social y económica en la Amazonia Colombiana como son la pérdida de biodiversidad y cambio en el uso del suelo. Por otra parte, la oportunidad de explorar la dinámica de estos cambios a partir del modelamiento matemático mediante sistemas dinámicos donde las variables de interés son agrupaciones de áreas de coberturas en la región y las presiones antrópicas son representadas por las tasas de transformación entre las diferentes coberturas. Con esta aproximación es posible identificar las tendencias futuras de las variables una vez realizada la calibración del modelo. De modo que este trabajo se centra en contribuir en soluciones a la segunda pregunta planteada. Para ello, se considera el manejo de sistemas de información geográfico (SIG) que permite determinar series de tiempo anuales, desde el 2004 al 2018 con datos de áreas de cada cobertura en los departamentos de Caquetá, Meta y Putumayo. Así, a través de un modelo de ecuaciones diferenciales continuo, permitió mostrar una dinámica temporal de estas áreas como agrupación de coberturas de la Amazonía colombiana utilizando criterios de Corine Land Cover. Finalmente, se propone escenarios a corto plazo que proyectan las posibles dinámicas de impacto entre las agrupaciones de cobertura mediante las tasas de cambio.

## 2 Metodología

65

### 2.1 Marco Teórico

El modelo de competición fue considerado a partir del modelo asociado al clima y la vegetación, que asume la competencia de Margaritas blancas y negras en un amplio rango de luminosidad solar mediante las ecuaciones definidas por [21, 22, 23].

$$\begin{aligned}\frac{dX_b}{dt} &= X_b[X_g\beta(T_b-\gamma)] \\ \frac{dX_w}{dt} &= X_w[X_g\beta(T_w-\gamma)]\end{aligned}\quad (1)$$

Siendo  $X_b$  la fracción de cobertura por la margarita negra, y  $X_w$  la cobertura por la margarita blanca. La fracción de tierra no cubierta está dada por  $X_b + X_w + X_g = 1$ . El término  $X_g\beta T$  denota la tasa de nacimientos y  $\gamma$  la tasa de muerte. Con el modelo (1) se consideró y se definió variables  $C_i$  que representan agrupaciones de coberturas, pero entre estas se define  $C_5$  el área que corresponde al desarrollo urbanístico e infraestructura vial inherentes al uso del suelo por las comunidades y finalmente obteniendo el modelo (2). En orden de obtener una agrupación de las series de tiempo de área de las coberturas caracterizadas mediante Corine Land Cover para Colombia, se aplicó el criterio del elbow para identificar la cantidad óptima de agrupaciones apropiadas para cada departamento, a su vez, el método de K-Means determina la agrupación mediante la distancia euclídea, luego se valida este resultado de acuerdo a la tendencia de cada serie de tiempo que registra cada una de las agrupaciones de coberturas [24, 25].

Al considerar un sistema de ecuaciones diferenciales sus parámetros se ajustaron con el método optimización local trust region reflective method, el cual tiene la ventaja que no está condicionado a la estructura del modelo, pero requiere que la función del campo vectorial sea suave, para ello, realiza un proceso iterativo en una vecindad local para ir actualizando los valores de los parámetros [26, 27, 28, 29], este se implementó con el programa de Matlab

## 2.2 Área de estudio

La Amazonía colombiana, es un área con características fisiográficas, morfológicas, hidrológicas y climáticas con distintos tipos de suelos, los cuales, por la interacción de los ríos, de la intervención del hombre con actividades de ganadería y deforestación ilegal contribuyen a cambios en el paisaje alterando drásticamente los servicios ecosistémicos que nos otorga esta región [30]. Las coberturas del suelo proporcionan información fundamental del ecosistema. El Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia (IDEAM), presenta el inventario de la cobertura de tierras, a través de la base de datos de Corine Land Cover Colombia (CLC) [30].

Colombia es una de las regiones más diversas de flora y fauna del mundo, siendo un país megadiverso [32], brindando una gran variedad de recursos naturales que son de vital importancia para los seres vivos. Los ecosistemas

de la Amazonía colombiana actualmente están con niveles alarmantes de deforestación, en donde la tasa de transformación del bosque a otras coberturas muestra que la deforestación avanza más rápido en el lado colombiano, provocado mayoritariamente por el crecimiento de la población desde el pie de los Andes hacia la Amazonía [33]. En la región Amazónica en Colombia su deforestación alcanzó el 70% para el 2018, siendo San Vicente del Caguán y la Serranía de la Macarena ubicados en los departamentos de Caquetá y Meta respectivamente, las zonas más deforestadas con cerca del 20% de pérdida de bosque primario de todo el país. La Macarena fue el segundo foco de deforestación y la preocupación principal es la amenaza de tala que se presenta en el parque Nacional Tingua ubicado en la serranía de la Macarena, al pasar de 3285 hectáreas deforestadas en 2017 a más de 10000 hectáreas en 2018 [34].

## 2.3 Datos

Las dinámicas que ocurren entre las diferentes coberturas generan una competencia por la ocupación de áreas, las cuales están divididas políticamente por departamentos donde se exponen a presiones sociales como la minería, ganadería, agricultura intensiva, cultivos ilícitos e inversión de infraestructuras como es el caso de los departamentos de Putumayo, Caquetá y Meta que históricamente han reportado pérdidas de bosques [35].

A través de un modelo de competencia de uso de suelo se presenta escenarios de tendencias de diferente clúster de coberturas en los tres departamentos clasificados, para ello se emplea el Corine Land Cover para Colombia (CLCC) adoptada por el IDEAM, junto a los datos ráster con un píxel equivalente a 95937,7509 m<sup>2</sup> desde el año 2004 a 2018 [37]. Se identifica las coberturas para la región de estudio. Luego, se obtuvo información del área de cada cobertura mediante series de tiempo, finalmente, se realizó un análisis de cluster con el criterio de elbow y K-means [27]. La clusterización se realizó para reducir la dimensión del modelo, de 19 ecuaciones a 5.

Con respecto a la agrupación se consideró los datos atípicos aquellos donde el área de cobertura es mayor y menor significativamente comparado con los datos, para el departamento de Caquetá, se agruparon en 4 y 5 al igual que en Meta y Putumayo.

## 2.4 Datos

Definidos las agrupaciones en cada departamento se propuso el modelo de competencia entre agrupaciones de coberturas (2) [22]. Para cada departamento se tuvo 5 agrupaciones, cuatro de ellos se modelaron con un sistema de ecuaciones diferenciales acoplado y una quinta una ecuación algebraica, en todo instante de tiempo la sumatoria de coberturas es igual al área de cada departamento.

$$\frac{dc_i}{dt} = \beta_i C_i \left[ 1 - \sum_{j=1}^4 \alpha_{i,j} C_j \right] - \gamma_i C_i \quad (2)$$
$$C_5 = 1 - \sum_{i=1}^4 C_i$$

## 2.5 Conclusiones

Una comparación de los resultados entre los departamentos, los modelos siempre reportaron agrupaciones que tienden a desaparecer, presentando puntos de equilibrio donde uno o dos agrupaciones se transforman completamente en otros.

En el caso de Meta y Putumayo se pronostica pérdidas de áreas naturales que están comprometidas en C3 y C2 respectivamente. A su vez, en Caquetá no se logró establecer cuáles serían las coberturas más afectadas, porque la agrupación amenazada está constituida por una heterogeneidad de usos de suelos, como agrícolas, artificializados y superficies de agua que no permite identificar con claridad sus dinámicas de interacción.

## References

- [1] The Intergovernmental Panel on Climate Change.(IPCC), [online] 2007, [https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2020/02/ar4-wg1-sum\\_vol\\_en.pdf](https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2020/02/ar4-wg1-sum_vol_en.pdf).
- [2] Soares-Filho, B. S., Nepstad, D. C., Curran, L. M., Cerqueira, G. C., Garcia, R. A., Ramos, C. A. & Schlesinger, P. "Modelling conservation in the Amazon basin ". *Nature*, vol. 440 no. 7083, pp. 520–523, 2006.
- [3] Numata, I., Khand, K., Kjaersgaard, J., Cochrane, M. A., & Silva, S. S. "Forest evapotranspiration dynamics over a fragmented forest landscape under drought in southwestern Amazonia ". *Agricultural and Forest Meteorology*, vol. 306, pp. 108446, 2021.
- [4] Martins, A. C. M., Willig, M. R., Presley, S. J., & MarinhoFilho, J. "Effects of forest height and vertical complexity on abundance and biodiversity of

- bats in Amazonia ". *Forest Ecology and Management*, vol. 391, pp. 427–435, 2017.
- [5] Pentek, T., Nevecerel, H., Ecimovic, T., Lepoglavec, K., Papa, I., & Tomasic, Z. "Strategic planning of forest road network in Croatia-analysis of present situation as basis for future activities/Strategij sko planiranj e sumskih prometnica u Republici Hrvatskoj- rasclamba postojecega stanja kao podloga za buduce aktivnosti ". *Nova Mehani zacija Sumarstva*, vol. no.35, pp. 63–79, 2014.
- [6] Siqueira-Gay, J., Sonter, L. J., & Sánchez, L. E. "Exploring potential impacts of mining on forest loss and fragmentation within a biodiverse region of Brazil's northeastern Amazon ". *Resources Policy*, vol. 67, pp. 101662, 2020.
- [7] Kazama, V. S., Dalla Corte, A. P., Robert, R. C. G., Sanquetta, C. R., Arce, J. E., Oliveira Nascimento, K. A., & DeArmond, D. "Global review on forest road optimization planning: Support for sustainable forest management in Amazonia ". *Forest Ecology and Management*, vol. 492, pp. 119–159, 2021.
- [8] Parker, D. C., Manson, S. M., Janssen, M. A., Hoffmann, M. J., & Deadman, P. "Multi agent systems for the simulation of land-use and land-cover change: a review ". *Annals of the association of American Geographers*, vol. 93 no.2, pp.314–337, 2003.
- [9] Mas, J. F., Kolb, M., Paegelow, M., Olmedo, M. T. C., & Houet, T. (2014). "Inductive pattern-based land use/cover change models: A comparison of four software packages ". *Environmental Modelling & Software*, vol. 51, pp. 94–111, 2014.
- [10] Kaufmann, R. K., & Seto, K. C. "Change detection, accuracy, and bias in a sequential analysis of Landsat imagery in the Pearl River Delta, China: econometric techniques ". *Agriculture, ecosystems & environment*, vol. 85 no.1–3, pp.95–105, 2001.
- [11] Veldkamp, A., & Lambin, E. F. "Predicting land-use change ", *Agriculture, ecosystems & environment*, vol. 85, no. 1–3, pp. 1–6, 2001.
- [12] Chang, Y., Hou, K., Li, X., Zhang, Y., & Chen, P. "Review of land use and land cover change research progress ". In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. IOP Publishing.vol. 113, pp. 012087, 2018.
- [13] Bounouh, O., Essid, H., & Farah, I. R. "Prediction of land use/land cover change methods: A study ". *International conference on advanced technologies for signal and image processing (ATSIP)*, IEEE, pp. 1–7. 2017.
- [14] Mosquera, O., Buurman, P., Ramirez, B. L., & Amézquita, M. C. "Carbon stocks and dynamics under improved tropical pasture and silvopastoral systems in Colombian Amazonia ". *Geoderma*, vol. 189, pp. 81–86, 2012.
- [15] Armenteras, D., Murcia, U., González, T. M., Barón, O. J., & Arias, J. E. "Scenarios of land use and land cover change for NW Amazonia: Impact on forest intactness ". *Global Ecology and conservation*, vol. 17, pp. e00567. 2019.
- [16] Soler, L. S., Verburg, P. H., & Alves, D. S. "Evolution of land use in the Brazilian Amazon: From frontier expansion to market chain dynamics

- ”.Land, vol. 3 no.3, pp. 981– 1014, 2014.
- [17] Aguiar, A. P. D., Vieira, I. C. G., Assis, T. O., Dalla Nora, E. L., Toledo, P. M., Oliveira Santos Junior, R. A., & Ometto, J. P. H. “Land use change emission scenarios: anticipating a forest transition process in the Brazilian Amazon ”. *Global change biology*, vol. 22 no.5 , pp. 1821–1840. 2016.
- [18] Navarrete, D., Sitch, S., Aragão, L. E., & Pedroni. “Conversion from forests to pastures in the Colombian Amazon leads to contrasting soil carbon dynamics depending on land management practices ”. *Global Change Biology*, vol. 22 no.10, pp. 3503–3517, 2016.
- [19] Hoffmann, C., Márquez, J. R. G., & Krueger, T. “A local perspective on drivers and measures to slow deforestation in the Andean-Amazonian foothills of Colombia ”. *Land use policy*, vol. 77, pp. 379–391. 2018.
- [20] Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas. “Análisis de los cambios de coberturas de la tierra en el periodo 2018 al 2020 en la Amazonia Colombiana ”, Documentos de debate SINCHI, ISSN: 25665-3451. [online]. <https://www.sinchi.org.co/documentos-de-debate-sinchi>.
- [21] Vano, J. A., Wildenberg, J. C., Anderson, M. B., Noel, J. K., & Sprott, J. C. “Chaos in low-dimensional Lotka Volterra models of competition ”. *Nonlinearity*, vol. 19, no. 10, pp. 2391, 2006.
- [22] Watson, A. J., & Lovelock, J. E. “Biological homeostasis of the global environment: the parable of Daisyworld ”. *Tellus B: Chemical and Physical Meteorology*, vol. 35 no.4, pp. 284–289, 1983.
- [23] Wood, A. J., Ackland, G. J., Dyke, J. G., Williams, H. T., & Lenton, T. M. “Daisyworld: A review ”. *Reviews of Geophysics*, vol. 46 no.1, 2008.
- [24] Neeff, T. “Spatial modeling of primary and secondary forest growth in Amazonia ”. *Forest Ecology and Management*, vol. 219 no2-3, pp. 149–168, 2005.
- [25] Li, Y., & Wu, H. “A clustering method based on K-means algorithm ”. *Physics Procedia* , vol. 25, pp. 1104–1109, 2012.
- [26] Byrd, R. H., Schnabel, R. B., & Shultz, G. A.“Approximate solution of the trust region problem by minimization over two-dimensional subspaces ”. *Mathematical programming*, vol. 40 no.1, pp. 247–263, 1988.
- [27] Steihaug, T. “The conjugate gradient method and trust regions in large scale optimization ”. *SIAM Journal on Numerical Analysis*, vol. 20 no.3, pp. 626–637, 1983. 28. Stephen J. Wright and Jorge Nocedal “Numerical optimization ”. vol. 2, Springer New York, 1999.
- [29] Röhlich, Fabian, and Peter K. Sorger. “Fides: Reliable trust-region optimization for parameter estimation of ordinary differential equation models ”. *PLoS computational biology*, vol.18, no.7, pp. e1010322, 2022.
- [30] Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas SINCHI. “Perfiles urbanos en la Amazonia colombiana 2015 ”, [online] 2016, <https://sinchi.org.co/files/publicaciones/pdf/Perfiles%20urbanos%20libro%20web.pdf>.
- [31] Coberturas. Portal de Datos Abiertos del SIAT-AC – Instituto SINCHI, [online] 2024. <https://datos.siatac.co/pages/coberturas>.

- [32] IGAC, IDEAM, CORMAGDALENA. "Mapa de cobertura de la tierra cuenca magdalena-ácauca: Metodología corine land cover adaptada para colombia a escala 1: 100.000 ".[online] 2008, [https://catalogo.uxexternado.edu.co/cgi-bin/koha/opac\\_detail.pl?biblionumber=110766&shelfbrowse\\_itemnumber=143221](https://catalogo.uxexternado.edu.co/cgi-bin/koha/opac_detail.pl?biblionumber=110766&shelfbrowse_itemnumber=143221).
- [33] Ayres, R. U. "Eco-thermodynamics: economics and the second law ". *Ecological economics*, vol. 26 no. 2, pp.189– 209,1998.
- [34] Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia (IDEAM) y Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS). "Resultados Monitoreo de la Deforestación 2019 ", [online] 2020. <http://www.ideal.gov.co/documents/10182/105413996/presentacionbalancedeforestacion2019/7c9323fc-d0a1-4c95-b1a1-1892b162c067>.
- [35] Neeff, T., & dos Santos, J. R. "A growth model for secondary forest in Central Amazonia ". *Forest Ecology and Management*, vol. 216 no.1-3, pp. 270-282, 2005.
- [36] Hackeling Gavin."Mastering Machine Learning with scikit learn. ", Packt Publishing Ltda, 2017.
- [37] Climate Change Initiative–Land Cover, <https://maps.elie.ucl.ac.be/CCI/viewer/download.php>
- [38] Tsang, Qinfen Gu, Jin Shang, Facile synthesis of CuBTC and its graphene oxide composites as efficient adsorbents for CO<sub>2</sub> capture, *Chemical Engineering Journal*, Volume 393, 2020, ISSN 1385-8947.

# PERCEPCIÓN DE *Didelphis marsupialis* L. EN UNA COMUNIDAD RURAL DE VILLAVICENCIO (META, COLOMBIA)

Bayron Daza<sup>1,2</sup>,

Jairo Porras<sup>1</sup>,

Daniel Martínez<sup>1</sup>,

Nicole Torres<sup>1,2</sup>,

Dayanna Rodríguez<sup>1</sup>,

Laura Mesa<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Programa de Biología, Facultad Ciencias de Básicas e ingenierías, Universidad de los Llanos, kilómetro 12 Vía a Puerto López, Vda. Barcelona, Villavicencio, Meta. <sup>2</sup> Semillero Mamíferos Silvestres–Unillanos, Programa de Biología, Facultad de Ciencias Básicas e Ingeniería, Universidad de los Llanos, kilómetro 12 Vía a Puerto López, Vda. Barcelona, Villavicencio, Meta.

<sup>3</sup> Departamento Biología y Química, Grupo de investigación Biorinoquia, Facultad Ciencias de Básicas e ingenierías, Universidad de los Llanos, kilómetro 12 Vía a Puerto López, Vda. Barcelona, Villavicencio, Meta.

**Resumen.** El crecimiento demográfico y las presiones antropogénicas que resultan de actividades como la urbanización, la ganadería y las prácticas agrícolas son perjudiciales para el mantenimiento de la fauna y en particular de los mamíferos. La zarigüeya común (*Didelphis marsupialis*) enfrenta amenazas significativas como la caza furtiva, la pérdida de hábitat y la disminución de sus poblaciones por conflictos con humanos. El objetivo de la investigación fue conocer la percepción de una comunidad rural de Villavicencio sobre *D. marsupialis*. Este estudio se centró en la interacción y percepción de la especie con los habitantes del barrio Villas de San Luis, Vereda Barcelona, Villavicencio, Colombia. La recopilación de datos se hizo a través de entrevistas semi-estructuradas con la comunidad. Se evidenció que la percepción de la especie está influenciada por el sexo, la edad, el tiempo de residencia en el área y las experiencias personales de los encuestados. Se encontró que se generan conflictos entre los humanos y las zarigüeyas debido a que este marsupial se alimenta de las aves de corral. Sin embargo, más de la mitad de los participantes en el estudio afirmaron que están dispuestos a proteger la

especie. Por tanto, es necesario fomentar estrategias de conservación que permitan un aumento en el conocimiento y la participación de la comunidad en actividades de conservación sobre *D. marsupialis*.

**Palabras clave:** Conservación, Etnobiología, Etnozoología, conflictos humano vida silvestre.

## 1 Introducción

El consumo de materias primas para satisfacer las necesidades humanas ha llevado al crecimiento de la actividad económica y su globalización sugiere un aumento en la pérdida de biodiversidad [1]. La minería, la instalación de sistemas productivos extensos y la rápida urbanización, son las principales actividades que conllevan al deterioro de la diversidad biológica [2]; y en el caso de los mamíferos, esas actividades generan un aumento en la cacería furtiva, la fragmentación y pérdida de su hábitat [3]. En zonas rurales de Colombia, los animales son parte del entorno ambiental, social y cultural de las comunidades. Sin embargo, la interacción entre humanos y mamíferos como la zarigüeya común (*Didelphis marsupialis*) ha aumentado en los últimos años, lo que ha terminado en ataques por parte de animales domésticos y lesiones propiciadas por personas [4]. Aunque el estado de conservación de la especie de acuerdo con la UICN (2021) es de preocupación menor (LC), estudios demuestran la reducción de las poblaciones de este mamífero por debajo del promedio de los valores ya reportados [5]. Por tanto, la densidad de *D. marsupialis* puede estar respondiendo a una combinación de disponibilidad de recursos y presiones antropogénicas [6]. La presencia de esta especie en la Vereda Barcelona, en la Ciudad de Villavicencio, Meta, ha sido documentada en trabajos previos [7]. Es por esto que se propuso el objetivo de conocer la percepción sobre la importancia ecológica de *D. marsupialis* en una de las comunidades de la vereda.

## 2 Metodología

73

El sitio de estudio fue El barrio Villas De San Luis, zona rural de la vereda Barcelona, municipio de Villavicencio, Departamento del Meta, Colombia. De acuerdo con la Secretaría de Planeación de Villavicencio (2021), allí se encuentran alrededor de 70 unidades residenciales, en los cuales habitan cerca de 210 familias [8]. Para evaluar la percepción de la comunidad local respecto a *D. marsupialis*, seleccionamos un tamaño de muestra de 39 habitantes. Realizamos una entrevista semi-estructurada entre noviembre y diciembre de 2023. La dinámica de la entrevista incluyó la presentación de los entrevista-

dores, quienes explicaron el propósito del estudio y su naturaleza académica. Previo a la recolección de datos, se solicitó a cada entrevistado firmar un consentimiento para el uso de la información proporcionada. El cuestionario aplicado incluyó preguntas sobre aspectos sociodemográficos como región de procedencia, tiempo de residencia en el barrio y número de personas en el hogar. Factores sensibles como sexo y edad fueron registrados visualmente por el entrevistador para evitar incomodar al participante. La información sobre el conocimiento tradicional y la percepción de la Zarigüeya común se obtuvo con preguntas sobre nombres comunes, avistamientos, experiencias y reacciones durante el encuentro con estos animales, la percepción sobre su rol ecológico, las posibles amenazas a las que se ve sometido y las recomendaciones para su conservación. Toda la información se consolidó en una base de datos y se realizaron análisis con herramientas de la estadística descriptiva para revelar tendencias sobre la percepción de la especie en la comunidad bajo estudio.

### 3 Resultados y Discusión

El 74% de los encuestados afirma haber avistado ejemplares de *Didelphis marsupialis*. De los participantes, 26 llevan más de tres años viviendo en el barrio Villas De San Luis, de los cuales el 81% afirma haber visto el marsupial; mientras que 5 personas llevan menos de un año, y de este grupo solo el 8% ha visto el mamífero en la zona. Lo anterior puede atribuirse a la ubicación rural del barrio, propiciando interacciones cercanas entre *D. marsupialis* y los habitantes, ya que el crecimiento del área urbana de la ciudad ha conducido a la fragmentación y la pérdida de hábitat para este marsupial, presiones que los han llevado a migrar hacia áreas rurales circundantes, convirtiendo a estas zonas en corredores biológicos para el mamífero. Por otra parte, los participantes coinciden en que la frecuencia de encuentros con individuos de la especie era mayor hace unos años, pero en la actualidad, debido al aumento de la actividad residencial en la vereda, ese sector cada vez es menos frecuentado por el animal. Además, se destaca que frente a encuentros con *D. marsupialis* los entrevistados revelan sentir miedo (51%), mientras que algunos de ellos tratan de evitar su presencia (25%) y otros buscan ahuyentar las zarigüeyas hacia zonas boscosas (24%).

La percepción general de la presencia de *D. marsupialis* cambia con respecto a las variables edad y sexo. En los encuestados de 30 a 50 años, hay indecisión o falta de claridad al definir los beneficios de la presencia de esta especie en la comunidad. Los resultados indican que el 63% de los hombres considera beneficiosa la presencia de *D. marsupialis*, pero solo el 36% de las mujeres la percibe favorable. Las interacciones negativas incluyen pérdidas de las aves de corral y disgusto por su apariencia y olor. Por su parte, quienes han tenido

experiencias positivas destacan el aspecto del mamífero, su papel ecológico como controlador biológico y dispersor de semillas. Por otro lado, miembros de todas las edades de la comunidad (64%) consideran importante velar por el bienestar de la especie en caso de próximos encuentros. Sin embargo, el 31% de los participantes se muestra indeciso respecto a la protección de la especie. Esto podría ser causa de conflictos futuros y de disminución de las poblaciones de la especie si no se crean estrategias de concientización con los habitantes de estas zonas. El interés en la conservación de *D. marsupialis* es mayor entre los 18 y 50 años, por lo que hay una mayor apertura y receptividad hacia la conservación de la zarigüeya en comparación con los grupos de un mayor rango de edad.

## 4 Conclusiones

El estudio aporta conocimiento sobre la percepción de *D. marsupialis*, que se observa vinculada a la edad, el género, el tiempo viviendo en la zona, las experiencias personales o el conocimiento sobre sus beneficios ecológicos. A pesar de que una parte de los encuestados considera relevante proteger la especie, es necesario fomentar un mensaje de cuidado y conservación hacia *D. marsupialis* en todos los miembros de la comunidad y en otras zonas de la ciudad; por lo que se deben implementar estrategias de divulgación en las que se informe sobre su rol ecológico, así como también medidas que contribuyan a mejorar la percepción y el comportamiento responsable en caso de interactuar con este mamífero. En Villavicencio, una ciudad en constante crecimiento urbanístico y con diversidad de especies de fauna, las investigaciones que abordan la percepción de comunidades sobre mamíferos son escasas, por este motivo, es importante continuar con la realización de estudios que permitan conocer cómo se relacionan los humanos con el ambiente.

## References

- [1] Andrade, I., Castro, L., G.: Degradación, pérdida y transformación de la biodiversidad continental en Colombia, invitación a una interpretación socioecológica. En *Ambiente y Desarrollo* XVI (30); 53:71 (2012).
- [2] Priotto, W.: Impacto de actividades productivas sobre la diversidad, distribución y abundancia de mamíferos de Argentina. *Mastozoología neotropical*, 24(2), 273–275 (2017).
- [3] Gallina, S., González-Romero, A.: La conservación de mamíferos medianos en dos reservas ecológicas privadas de Veracruz, México. *Revista mexicana de biodiversidad*, 89(4), 1245– 1254 (2018).
- [4] Astiazaran, A., Gallina, S.: Los mamíferos del dosel: ¿Quiénes son y qué hacen?, un ejemplo en Veracruz. *Biología Y Sociedad*, 1(1): 39–46 (2018).

75

- [5] IUCN. The IUCN Red List of Threatened Species. Version 2021-1. Available at: [www.iucnredlist.org](http://www.iucnredlist.org). (2021).
- [6] Benavides, C., Arce, A., Pacheco, L.: Common opossum population density in an agroforestry system in Bolivia. *Acta Amazonica*, 50: 246–251 (2020).
- [7] Alfonso, C., Sánchez, F.: Mamíferos no voladores en un campus Universitario de la Orinoquia Colombiana. *Mammalogy Notes*, 5(1–2): 29–39 (2020).
- [8] Secretaría de Planeación de Villavicencio. Decreto 1000-24/186 de 2021. Colombia (2021).

# ESTUDIO DE INFESTACIÓN Y DAÑOS CAUSADOS POR MOSCAS EN CULTIVOS FRUTALES URBANOS DE VILLAVICENCIO

Catalina Clavijo-Agudelo<sup>1,2</sup>,

Karen Rodriguez<sup>1,2</sup>,

Carlos Congrains<sup>2,3</sup>

<sup>1</sup> Programa de Biología, Facultad de Ciencias Básicas e Ingeniería, Universidad de los Llanos. km 12 vía Puerto López, vereda Barcelona, Villavicencio, Meta, Colombia, <sup>2</sup> Semillero de investigación GENEVOL, Programa de Biología, Facultad de Ciencias Básicas e Ingeniería, Universidad de los Llanos. km 12 vía Puerto López, vereda Barcelona, Villavicencio, Meta, Colombia. <sup>3</sup> Department of Plant and Environmental Protection Services, University of Hawaii at Manoa, Honolulu, HI, USA.

**Resumen.** Los dípteros, como *Anastrepha* y *Drosophila*, son insectos de gran importancia debido a su impacto en cultivos de interés agrícola y ecosistemas. Estos insectos desempeñan roles ecológicos significativos, pero también pueden causar daños graves a frutas comerciales y permitir la entrada de patógenos. Este estudio evaluó la incidencia de *Anastrepha* y *Drosophila* en 22 sitios urbanos de Villavicencio, Meta, Colombia, asociados con árboles de mango, guayaba, pomarrosa, limón y naranja. Se observó que *Anastrepha* presentó mayor incidencia en los sitios asociados con guayaba, afectando aproximadamente el 55% de estos sitios. Por otro lado, *Drosophila* tuvo su mayor incidencia en los sitios asociados con pomarrosa, representando cerca del 70% de dichos sitios. En los lugares sin guayaba ni pomarrosa, no se registraron dípteros de interés. Esto resalta que la guayaba y la pomarrosa son los frutos más atractivos para *Anastrepha* y *Drosophila*, respectivamente, información crucial para el manejo integrado de plagas y la focalización de estrategias de control en estos cultivos.

77

**Palabras clave:** Cultivos, dípteros, plaga, guayaba, pomarrosa.

# 1 Introducción

Los organismos, pertenecientes a la clase Insecta (phylum Arthropoda), son extremadamente diversos y ocupan casi todos los hábitats terrestres, excepto mares abiertos y regiones con nieve; es evidente su gran éxito evolutivo, ya que no sólo pueblan todos los rincones de la tierra (desde los fríos polos hasta las cálidas y húmedas selvas tropicales), sino que también están presente en medios acuáticos diversos: lo mismo en mar abierto que en sistemas lacustres, esteros, etcétera [1]. Con una antigüedad mínima de 450 millones de años, se estiman entre 5 y 50 millones de especies, de las cuales se han descrito más de 1 millón [2]. Dentro de este grupo, los holometábolos, como los dípteros, son especialmente numerosos, con cerca de 153,000 especies válidas [3].

Los dípteros desempeñan un papel crucial en los ecosistemas, actuando como descomponedores y recicladores de materia orgánica, y en la gestión de residuos y calidad del agua [4] [5] [6]. También son polinizadores importantes y controladores de plagas [7] y han sido usados como modelo en estudios de genética permitiendo descubrimientos significativos en esta área [8].

Dentro de los dípteros, especies de la familia Tephritidae (moscas de la fruta) tienen un interés ecológico y económico notable. Aunque los adultos generalmente no causan daño, sus larvas, que se alimentan de tejido vegetal vivo, pueden provocar graves daños en frutas comerciales. Se estima que existen cerca de 4.000 especies de tefrítidos, agrupadas en aproximadamente 500 géneros [9]. De estas, unas 861 especies han sido reportadas en el continente americano [10]. Por otro lado, la familia Drosophilidae, que también es de gran relevancia dentro de los dípteros, comprende 73 géneros y alrededor de 3.950 especies descritas, las cuales se encuentran tanto en regiones templadas como tropicales [11].

No obstante, la presencia de dípteros puede tener efectos negativos, especialmente las moscas de la fruta, como los tefrítidos, que representan una amenaza significativa para cultivos como mango, guanábana, aguacate, papaya y cítricos en Colombia. La infestación de estas moscas puede permitir la entrada de microorganismos patógenos, aumentando el riesgo de enfermedades en las plantas [12][13]. En estudios, se ha observado que el daño a frutas puede alcanzar del 96 al 99% [14]. Estudios sobre la diversidad de estas especies en regiones agrícolas pueden ser usados como base para planificar acciones de control de plagas. Siendo así, el presente estudio buscó identificar los dípteros que afectan los frutales urbanos de Villavicencio.

## 2 Metodología

### Área de estudio

La investigación se llevó a cabo en Villavicencio, Meta, Colombia, ubicado en el piedemonte andino a 200–700 m.s.n.m., con una temperatura media anual de 24–27°C y precipitaciones anuales de 1120 mm al año, superiores a 2.500 mm, mayormente entre marzo y noviembre [15]. Se identificaron 22 puntos de muestreo en áreas urbanas con árboles de mango, guayaba, pomarrosa, limón y naranja, todos georreferenciados.

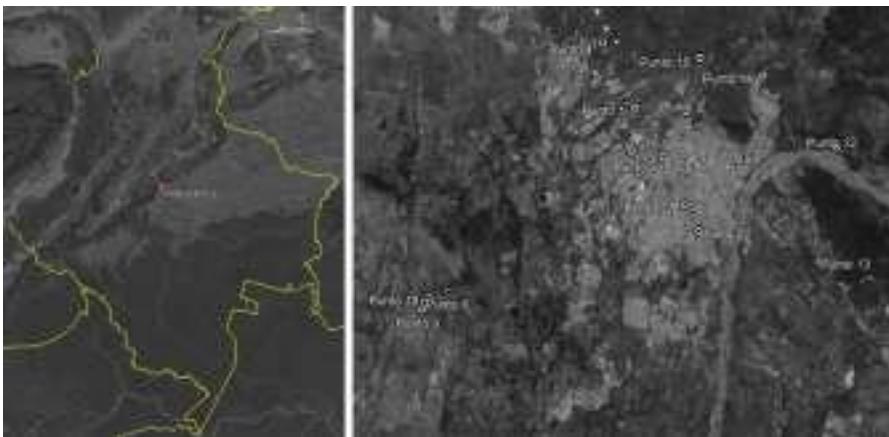


Figura 1. Ubicaciones de veintidós sitios de muestreo en Villavicencio, Meta, Colombia. A la izquierda, un mapa regional que muestra la ubicación general de Villavicencio en Colombia. A la derecha, un mapa detallado que señala los puntos específicos de muestreo en la ciudad y sus alrededores.

### Animal de estudio

Los dípteros tienen el cuerpo dividido en tres partes: cabeza, tórax y abdomen. La cabeza es muy variable en forma y alberga antenas, ojos compuestos, ocelos y el aparato bucal. Las antenas varían en forma y tamaño, con segmentos llamados artejos, que pueden ser numerosos en dípteros primitivos y reducidos en los más evolucionados. Los ojos compuestos también son muy variables, pudiendo ocupar casi toda la cabeza o estar muy reducidos [16].



Figura 2. Descripción morfológica de los especímenes encontrados. A la izquierda *Anastrepha* en vista dorsal y a la derecha *Drosophila*. Fotografías por Catalina Clavijo y Caroline Seydel.

## Método de colecta y cría de dípteros

El muestreo comenzó con la selección y recolección de frutos maduros en cada punto, los cuales se guardaron en bolsas Ziploc etiquetadas con la información del sitio. Se priorizó la colecta de frutos adheridos al árbol para evitar su descomposición, inspeccionando solo un fruto para verificar la presencia de larvas. Confirmada la presencia de dípteros, los frutos se clasificaron por punto y especie, almacenando juntos los del mismo árbol. Luego, se colocaron en frascos con vermiculita y se cubrieron con una malla para evitar la fuga de moscas adultas. Para mantener la humedad, se aplicaron pequeñas cantidades de agua con un spray, evitando la deshidratación de las larvas emergentes.

## 3 Resultados

En tres de los cinco tipos de frutas analizadas no se encontraron dípteros de ninguna clase. La infestación de moscas estuvo concentrada en dos géneros de dípteros: *Anastrepha* y *Drosophila*. *Anastrepha* fue encontrada únicamente en guayaba, representando un 30.9% del total de moscas, mientras que *Drosophila* mostró una infestación para pomarrosa, con un 69.1% del total de moscas. Cabe destacar que no se detectaron dípteros en otros frutos, lo que sugiere que la infestación es específica a ciertos tipos de frutas. Estos resultados son fundamentales para entender la selectividad de las moscas por ciertos hospedadores y para desarrollar estrategias efectivas en el manejo de plagas.

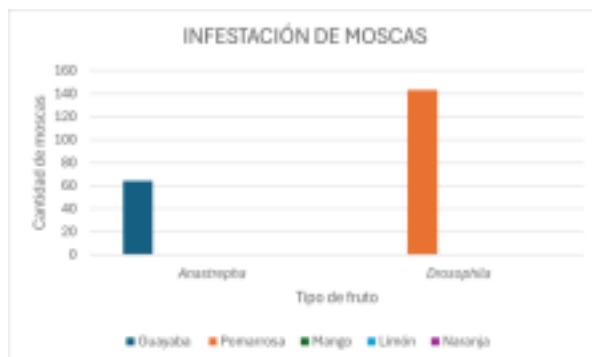


Figure 1. Incidencia de *Anastrepha* y *Drosophila* en los puntos de colecta ubicados en Villavicencio, Meta, Colombia.

## 4 Discusión

Se ha identificado un patrón de infestación selectiva de dípteros en frutas específicas, con *Anastrepha* y *Drosophila* mostrando una clara preferencia por guayaba y pomarrosa, respectivamente. *Anastrepha* representó el 30.9 % de los dípteros recolectados en guayaba, una fruta que en Colombia es particularmente vulnerable a esta plaga, dado que las larvas de *Anastrepha* se alimentan de su pulpa, acelerando la oxidación y maduración prematura [14][17][18]. Estudios previos en Brasil también han documentado que más de 11 especies de *Anastrepha* infestan guayaba, subrayando la importancia de este género como plaga en diversas regiones productoras [19]. Asimismo, la presencia de dípteros en guayaba y la preferencia de *Drosophila* por pomarrosa con un 69.1 % destacan la influencia de la composición química de estos frutos. La pomarrosa contiene azúcares y ácidos que atraen a *Drosophila*, cuyas larvas se alimentan de frutas maduras, sobremaduras, levadura y hojas en descomposición [20].

La ausencia de dípteros en otras frutas sugiere que la infestación no es aleatoria, sino que está determinada por características específicas de cada fruto. Estos resultados coinciden con hallazgos de estudios anteriores. Por ejemplo, un estudio realizado encontró que las moscas de la fruta muestran una preferencia por ciertos tipos de frutas, como ciruela y mango, basada en características particulares de estas frutas [21].

## 5 Conclusiones

El estudio revela una selectividad notable en la infestación de dípteros, con *Anastrepha* y *Drosophila* mostrando una preferencia significativa por guayaba y pomarrosa, respectivamente. La alta infestación en estos frutos sugiere que la composición química, como azúcares y ácidos, juega un papel crucial en la atracción de estas moscas. La ausencia de dípteros en otras frutas indica que la infestación probablemente está influenciada por características específicas de cada tipo de fruta, lo que proporciona información valiosa para la formulación de estrategias de manejo de plagas más dirigidas y eficaces.

## References

- [1] Erwin, T.L.: Tropical forests: their richness in Coleoptera and other arthropod species. *The Coleopterists Bulletin* 36(1), 74–75 (1982).
- [2] Chapman, A.D.: Numbers of living species in Australia and the World. Report for the Australian Biological Resources Study, Department of the Environment, Water, Heritage and the Arts, Canberra, Australia, 84 pp. (2009).
- [3] Ibáñez-Bernal, S.: Actualización del catálogo de autoridades taxonómicas de los dípteros (Diptera: Insecta) de México. Informe final–SNIB–CONABIO proyecto JE006. Instituto de Ecología AC, Red Ambiente y Sustentabilidad, Ciudad de México, Mexico (2017).
- [4] McLean, I.F.G.: Beneficial Diptera and their role in decomposition. In: Papp, L., Darvas, B. (eds.) *Contributions to a Manual of Palaearctic Diptera*. Vol. 1. General and applied dipterology, pp. 491–517. Science Herald, Budapest (2000).
- [5] Sheppard, D.C., Newton, G.L., Thompson, S.A.: A value added manure management system using the black soldier fly. *Bioresource Technology* 50, 275–279 (1994).
- [6] Gamboa, M., Reyes, R., Arrivillaga, J.: Macroinvertebrados bentónicos como bioindicadores de salud ambiental. *Boletín de Malariología y Salud Ambiental* 48, 109–120 (2008).
- [7] Ssymank, A., Kearns, C.A., Pape, T., Thompson, F.C.: Pollinating flies (Diptera): a major contribution to plant diversity and agricultural production. *Biodiversity* 9, 86–89 (2008).
- [8] Reiter, L.T., Potocki, L., Chien, S., Gribskov, M., Bier, E.: A systematic analysis of human disease-associated gene sequences in *Drosophila melanogaster*. *Genome Research* 11, 1114–1125 (2001).
- [9] White, I.M., Elson-Harris, M.M.: *Fruit flies of economic significance: their identifications and bionomics*. CAB International, Wallingford, UK (1992).

- [10] Hernández-Ortiz, V., Aluja, M.: Listado de especies del género neotropical *Anastrepha* (Diptera: Tephritidae) con notas sobre su distribución y plantas hospederas. *Folia Entomológica Mexicana* 88, 89–101 (1993). 11.
- Brake, I., Bächli, G.: *World catalogue of insects. Volume 9. Drosophilidae (Diptera)*. Apollo Books, Stenstrup, Denmark (2008).
- [12] Da Costa, S.S., Dos Santos, J.M., Forti Broglio, S.M., da Silva Dias-Pini, N., Gómez-Torres, M.: Nuevos registros de moscas de la fruta (Diptera: Tephritidae) en el Estado de Alagoas, Brasil. *Revista Colombiana de Entomología* 45(1) (2019).
- [13] Cruz, M.I., Bacca, T., Canal, N.A.: Diversidad de las moscas de las frutas (Diptera: Tephritidae) y sus parasitoides en siete municipios del departamento de Nariño. *Bol Cient Mus His Nat* 21, 81–98 (2017). 14.
- Núñez Bueno, L., Gómez Santos, R., Guarín, G., León, G.: Moscas de las frutas (Díptera: Tephritidae) y parasitoides asociados con *Psidium guajava* L. y *Coffea arabica* L. en tres municipios de la Provincia de Vélez (Santander, Colombia). Parte 1: Índice de infestación y daño por moscas de las frutas (Díptera: Tephritidae) (2004).
- [15] Minorta-Cely, V., Rangel-Ch., J.O. (eds.): *El clima de la Orinoquia colombiana*. In: *Colombia Diversidad Biótica XIV: la región de la Orinoquia de Colombia*, pp. 207–236. Universidad Nacional de Colombia, Bogotá D.C. (2014).
- [16] Carles-Tolrá Hjorth-Andersen, M.: Clase Insecta. Orden Diptera. *Revista IDE@ – SEA* 63, 1–22 (2015). ISSN 2386–7183.
- [17] Instituto Colombiano Agropecuario: Manejo fitosanitario del cultivo de guayaba (*Psidium guajava* L.). Medidas para la temporada invernal (2012).
- [18] Gómez, R.: Métodos culturales y trampeo para el control de mosca de las frutas (*Anastrepha* spp.) en guayabo (*Psidium guajava* L.) en el sur de Santander. En: *Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria, Investigaciones del segundo seminario técnico regional*, pp. 19–22 (1996).
- [19] Jesus-Barros, C.R., Adaime, R., Oliveira, M.N., Silva, W.R., Costa-Neto, S.V., Souza Filho, M.F.: *Anastrepha* (Diptera: Tephritidae) species, their hosts and parasitoids (Hymenoptera: Braconidae) in five municipalities of the state of Amapá, Brazil. *Florida Entomologist* 95(3), 694–705 (2012).
- [20] Wilson, E.O.: *On human nature*. Harvard University Press, Cambridge, MA (1978).
- [21] Aluja, M., Guillén, L., Pascacio-Villafán, C., Juárez-Durán, M., Miranda-Salcedo, M.A., Liedo, P.: Management of economically important native and exotic fruit fly (Tephritidae) species in Mexico. In: *Management of Fruit Flies in the Americas*, pp. 355–406. Springer International Publishing, Cham (2024).

# AGENTES PATÓGENOS EN LA SANGRE DE LOS MURCIÉLAGOS EN UN ÁREA EXURBANA DE VILLAVICENCIO: ANÁLISIS PRELIMINAR

Juan Pablo Dueñas Guisa1\*[0009-0008-0580-4987], Fran-cy Dayana Reyes Gutierrez1[0009-0005-8576-1021],- Francisco Sánchez2[0000-0001-8826-5692], Agus-tín Góngora3[0000-0002-2915-683X], Oscar Javier Herrera Parra4[0000-0002-3044-1291 ]

**Resumen.** Los murciélagos son potenciales reservorios de patógenos que pueden ser transmitidos al humano, por esto, su presencia en zonas habitadas supone un posible riesgo para la salud humana y la de especies domésticas, a pesar de los múltiples beneficios ambientales que se reciben de estos mamíferos voladores. Con el propósito de aplicar el concepto de “una sola salud”, el cual busca la integración entre la salud humana, animal y ambiental, se identificó la presencia de agentes patógenos en la sangre de murciélagos en un área exurbana de Villavicencio. Se buscó dar respuesta a las siguientes preguntas: ¿Cuál es la prevalencia de hemoparásitos en los murciélagos de la zona de estudio? ¿Qué especies de murciélagos son más susceptibles de infectarse por hemoparásitos?. Se capturaron (N:62) murciélagos de 15 especies diferentes con redes de niebla, se obtuvo sangre mediante punción cardiaca, se realizó frotis mediante gota gruesa que fueron teñidos con hema-color® y observados para determinar la presencia de hemoparásitos bajo un microscópico a 40X y 100X. La prevalencia fue de 3.22 % a microfilaria en dos individuos de las especies *Myotis riparius* y *Artibeus lituratus*. No se encontró la presencia de otros agentes patógenos. Se concluye que la prevalencia de hemoparásitos es baja, aunque se requieren nuevos estudios mediante técnicas diagnósticas más sensibles y específicas que permitan conocer la situación real de nuevos agentes patógenos.

**Palabras clave:** Agentes patógenos, Murciélagos, Hemoparásitos, Microfilarias.

## 1 Introducción

Los murciélagos son reconocidos como importantes reservorios de patógenos que se pueden transmitir entre especies [1]. Debido a la variedad de hábitos alimenticios que presentan las especies de murciélagos presentes en Villavicencio Meta, la coexistencia entre humanos y estos mamíferos conlleva un beneficio derivado en los diferentes servicios ecosistémicos que estos últimos pueden ofrecer [2,3], sin embargo la proximidad de los murciélagos infectados con parásitos cerca a lugares frecuentados por humanos, aumenta el riesgo de transmisión debido al potencial que tienen para transmitir enfermedades zoonóticas [3,4]. Los hemoparásitos principalmente los nematodos pertenecientes al grupo de las filarias se han registrado frecuentemente en murciélagos en el neotrópico [5].

Siguiendo el enfoque “One Health concept” el cual reconoce la conexión existente entre la salud humana, animal y del medio ambiente y la necesidad de abordar diferentes problemáticas relacionadas con la salud de cada uno de estos actores de forma integrada [4], nos propusimos buscar los hemoparásitos presentes en las diferentes especies de murciélagos que se encuentran en la Universidad de los Llanos, sede Barcelona.

Particularmente se propuso dar respuesta a las siguientes preguntas: ¿Cuál es la prevalencia de hemoparásitos en los murciélagos de la zona de estudio? y ¿Qué especies de murciélagos son más susceptibles de infectarse por hemoparásitos?

## 2 Metodología

### 2.1 Métodos de campo

---

85

Se capturaron murciélagos entre los meses de diciembre de 2023 hasta Junio de 2024 mediante redes de niebla de 6m de largo x 2.5m de ancho y 12,5 metros de largo x 2,5 metros de ancho, siguiendo las técnicas descritas por Bracamonte, (2018)[6]. En cada muestreo se revisaban las redes cada 20 minutos hasta la captura de un número considerable de murciélagos. Luego de la captura, se registró el peso, el sexo y la longitud de la oreja, cola (si la

presentaban), antebrazo, tibia y longitud total de cada individuo [7,8]. Para la identificación taxonómica se empleó las claves de Díaz et al., (2021) para murciélagos neotropicales [8].

## 2.2 Obtención de sangre y análisis de hemoparásitos

Un día después de la captura, se extrajo sangre de cada murciélagos mediante punción cardiaca utilizando jeringas de 1.0 ml heparinizadas para prevenir la coagulación, se realizó un extendido de la sangre colocando una gota en un portaobjeto [9] que después de dejar secar fue teñido mediante el kit de tinción Hemacolor®, de Merck, que incluye tres reactivos: Solución 1, que es una solución fijadora a base de metanol absoluto; Solución 2, reactivo de color rojo; Solución 3, reactivo de color azul, y tabletas tampón pH 7,2 [10,11]. La detección de los parásitos se realizó mediante microscopio óptico a 40x y 100X.

## 2.3 Área de estudio

El área del muestreo, comprendió una zona exurbana del piedemonte Llanero en el municipio de Villavicencio, departamento del Meta, ubicado a una altitud de 481msnm con precipitaciones anuales y temperaturas promedio de 4008mm y 26 °C respectivamente. Villavicencio tiene paisajes de sabana inundable, altillanura y piedemonte Llanero[12]. Los puntos de muestreo se ubicaron en diferentes lugares de la Universidad de los Llanos en donde por observaciones previas había una mayor probabilidad de captura de los murciélagos. Las fechas y los puntos de muestreo en donde se ubicaron las redes fueron las siguientes: 19/12/2023 (Red 1: N 4° 4'25,70" W 73° 34'58,36"; Red 2: N 4° 4'26,90" W 73° 34'52,78"), 29/01/2024 (Red 1: N 4° 4'22,8612" W 73° 35'2,4252"; Red 2: N 4° 4'19,3" W 73° 35'3,6"), 02/2024 (Red 1: N 4° 4'25,70" W 73° 34'58,36"; Red 2: N 4° 4'26,90" W 73° 34'52,78"), 22/03/2024 (Red 1: N 4° 4'25,765" W 73° 34'56,250"), 03/05/2024 (Red 1: N 4° 4'25,70" W 73° 34'58,36"; Red 2: N 4° 4'26,90" W 73° 34'52,78"), 24/05/2024 (Red 1: N 4° 4'25,70" W 73° 34'58,36"; Red 2: N 4° 4'26,90" W 73° 34'52,78"), 27/06/2024 (Red 1: 4,076995, -73,580524; Red 2: 4,077344, -73,580798), 25/07/2024 (Red 1: N 4° 4'22,8612" W 73° 35'2,4252"; Red 2: N 4° 4'19,3" W 73° 35'3,6").

## 3 Resultados y Discusión

Se examinó la sangre de 62 murciélagos pertenecientes a 4 familias y 15 especies. Particularmente se analizaron las siguientes especies: *Carollia perspicillata*, *Artibeus planirostris*, *Myotis riparius*, *Phyllostomus discolor*, *Phyllostomus elongatus*, *Carollia brevicauda*, *Artibeus lituratus*, *Sturnira tildae*, *Neopeptesicus brasiliensis*, *Sturnira giannae*, *Molossus molossus*, *Garnericteris crenulatum*, *Glossophaga soricina*, *Noctilio albiventris* y *Phyllostomus hastatus*. Se encontró solamente 2 individuos infectados por parásitos del grupo de las microfilarias, que corresponde a una prevalencia de 3.22%, los individuos infectados pertenecían a las especies *Myotis riparius* (Murciélagos insectívoros) y *Artibeus lituratus* (Murciélagos frugívoros-Insectívoros).

## 4 Conclusiones

Contrario a lo observado en otros estudios de zonas tropicales, la prevalencia fue baja lo que no significa que los hemoparásitos no tengan importancia para la salud humana y animal. Se requiere de nuevos estudios mediante el uso de nuevas técnicas de diagnóstico que permitan identificar la presencia de otros parásitos sanguíneos y su efecto patógeno tanto para los murciélagos como para las otras especies incluido los humanos. Se resalta que las especies que se encontraron infectadas, incluyen en su dieta insectos y que uno de los mecanismos de transmisión de hemoparásitos es por el consumo de insectos infectados. Nuestros resultados sugieren que el riesgo de contagio de hemoparásitos murciélagos-humano en el área de estudio es bajo, lo que genera una menor preocupación frente a otras zonas de la Orinoquía Colombiana.

## References

- [1] Austen, J.M., Barbosa, A.D.: Diversity and Epidemiology of Bat Trypanosomes: A One Health Perspective. *Pathogens* 10, 1148 (2021). <https://doi.org/10.3390/pathogens10091148>
- [2] Sánchez, F.: Murciélagos de Villavicencio (Meta, Colombia): evaluación preliminar de su diversidad trófica y servicios ecosistémicos. *Boletín Científico Centro de Museos Museo de Historia Natural* 21(1), 96-111 (2017). <https://doi.org/10.17151/bccm.2017.21.1.8>
- [3] Ayivor, J.S., Ohemeng, F., Tweneboah, E., Waldman, L., Leach, M., Ntiamoah-Baidu, Y.: Living with Bats: The Case of Ve Golokuati Township in the Volta Region of Ghana. *Journal of Environmental and Public Health* 2017, 1-11 (2017). <https://doi.org/10.1155/2017/5938934>

- [4] Lebov, J., Grieger, K., Womack, D., Zaccaro, D., Whitehead, N., Kowalczyk, B., et al.: A framework for One Health research. *One Health* 3, 44–50 (2017).
- [5] Rendón-Franco, E., López-Díaz, O., Martínez-Hernández, F., Villalobos, G., Muñoz-García, C.I., Aréchiga-Ceballos, N., Alfonso-Toledo, J.A., García-Flores, M.M., Aguilar-Setién, A.: *Litomosoides* sp. (Filarioidea: Onchocercidae) Infection in Frugivorous Bats (*Artibeus* spp.): Pathological Features, Molecular Evidence, and Prevalence. *Tropical Medicine and Infectious Disease* 4(2), 77–77 (2019). <https://doi.org/10.3390/tropicalmed4020077>
- [6] Bracamonte, J.C.: Protocolo de muestreo para la estimación de la diversidad de murciélagos con redes de niebla en estudios de ecología. *Ecología Austral* 28(2), 446–454 (2018). Retrieved from [http://www.scielo.org.ar/scielo.php?pid=S1667-782X2018000300012&script=sci\\_abstract&tlang=en](http://www.scielo.org.ar/scielo.php?pid=S1667-782X2018000300012&script=sci_abstract&tlang=en)
- [7] Saha, A., Hasan, K., Feeroz, M.: Diversity and Morphometry of Chiropteran Fauna in Jahangirnagar University Campus, Savar, Dhaka, Bangladesh. *Bangladesh Journal of Zoology* 43(2), 201–212 (2016). <https://doi.org/10.3329/bjz.v43i2.27392>
- [8] Díaz, M.M., Solari, S., Gregorin, R., Aguirre, L.F., Barquez, R.M.: Clave de Identificación de los murciélagos Neotropicales. Conicet.gov.ar (2021). <https://doi.org/978-987-88-2032-3>
- [9] Vives J.L., Aguilar J.L.: Manual de técnicas de laboratorio en hematología (Fourth edition). Elsevier Masson (2014). Retrieved June 9, 2023.
- [10] Avila, L.S., Restrepo, A., Jurado, J.A., Polanco, D., Velásquez, R., Zapata, R.: Infección por hemoparásitos en caprinos y ovinos de apriscos de cinco municipios del norte y nororiente de Antioquia (Colombia). *CES Medicina Veterinaria Y Zootecnia* 8(1), 11–21 (2013). [http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S1900-96072013000100002&script=sci\\_arttext](http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S1900-96072013000100002&script=sci_arttext)
- [11] Chae, J., Jong-Hyun, Y., Yongbaek, K., So, Y., Pan, D.: Gross Morphological Features of the Organ Surface Primo-Vascular System Revealed by Hemacolor Staining. *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine* 2013, 1–12 (2013). <https://doi.org/10.1155/2013/350815>
- [12] Ortiz-Moreno, M.L.: Macromicetos en Zona Rural de Villavicencio. *ORINOQUIA* 14(2), 125–132 (2010). Retrieved from [http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S0121-37092010000200002&script=sci\\_arttext](http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S0121-37092010000200002&script=sci_arttext)

# APROXIMACIÓN NUMÉRICA DE UN PROBLEMA MIXTO PROVENIENTE DEL MODELO DE CORRIENTES INDUCIDAS

Sara Nicole Lauritzen<sup>1</sup>,

Christian Gómez<sup>2</sup>,

Beatriz Rojas<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup> Universidad de los Llanos, Villavicencio, Colombia,

[snlauritzen@unillanos.edu.co](mailto:snlauritzen@unillanos.edu.co)

**Resumen.** En este trabajo se propone una formulación mixta estacionaria proveniente de un problema de corrientes inducidas. Se estudia el buen posicionamiento y la convergencia desde el análisis de la teoría de Babuska-Brezzi. Finalmente, se realizan resultados numéricos que ilustran los respectivos ordenes de convergencia.

**Palabras clave:** Corrientes inducidas, problemas mixtos, elementos finitos.

## 1 Introducción

El modelo de corrientes inducidas es una simplificación de las ecuaciones de Maxwell que se obtiene al omitir las corrientes de desplazamiento, tal como se describe en [1, capítulo 8]. Esta simplificación es particularmente útil en el rango de bajas frecuencias, donde las corrientes de desplazamiento tienen un impacto mínimo en el comportamiento del campo electromagnético, proporcionando así una aproximación razonable al sistema completo de Maxwell [2]. La relevancia de este modelo radica en su capacidad para capturar los fenómenos electromagnéticos esenciales sin la complejidad adicional de las corrientes de desplazamiento, lo que lo convierte en una herramienta valiosa para el análisis y simulación en una amplia variedad de contextos.

Este modelo es ampliamente utilizado en diversas aplicaciones científicas e industriales donde las bajas frecuencias predominan y las corrientes induci-

das desempeñan un papel crucial. Ejemplos de estas aplicaciones incluyen el calentamiento por inducción, donde el modelo ayuda a optimizar procesos de calentamiento sin contacto; el frenado electromagnético, utilizado en trenes y otros sistemas de transporte para proporcionar una frenada suave y eficiente; y la generación eléctrica, especialmente en el diseño de generadores y transformadores que operan en regímenes de baja frecuencia [3, Capítulo 9]. La versatilidad y eficacia del modelo de corrientes inducidas en estos y otros campos subraya su importancia tanto en la teoría electromagnética como en la ingeniería práctica.

## 2 Resultados

En este trabajo estudiamos la existencia y unicidad de un problema tridimensional de corrientes inducidas en régimen armónico en un dominio computacional acotado. Más precisamente, hallar  $u$  tal que

$$\begin{aligned} \sigma u + \operatorname{curl}(\nu(|\operatorname{curl} u|) \operatorname{curl} u) &= J \quad \text{en } \Omega, \\ \operatorname{div} u &= 0 \quad \text{en } \Omega_D, \\ u \times n &= g \quad \text{sobre } \partial\Omega, \end{aligned}$$

En este modelo se tiene que existe un dominio conductor  $\Omega_C \subset \Omega$  y un dominio dieléctrico  $\Omega_D := \Omega \setminus \Omega_C$ , en cual la conductividad  $\sigma$  es nula. También es sabido que  $v$  es la reluctancia la cual le da una caracter no lineal al problema. Una formulación más compleja fue introducida en [4], en este problema se realizó un análisis evolutivo que incluye la existencia y unicidad de la solución y la convergencia teórica de la aproximación mediante el método de elementos finitos. Sin embargo, el problema no ha sido estudiado desde la magneto-estática, lo cual esta formulación pretende. Para obtener la formulación variacional es necesario introducir los siguientes espacios funcionales.

$$\begin{aligned} \mathbf{H}(\operatorname{curl}; \Omega) &:= \{ \mathbf{v} \in L^2(\Omega)^3 : \operatorname{curl} \mathbf{v} \in L^2(\Omega)^3 \} \\ H^1(\Omega) &:= \{ \phi \in L^2(\Omega) : \nabla \phi \in L^2(\Omega)^2 \} \end{aligned}$$

con sus respectivas normas usuales. La formulación variacional del problema esta dada por: hallar  $u \in \mathbf{H}(\operatorname{curl}; \Omega)$  y  $\lambda \in H^1(\Omega)$  tal que

$$\begin{aligned} \int_{\Omega_C} \sigma u \cdot v + \int_{\Omega} \operatorname{curl} u \cdot \operatorname{curl} v + \int_{\Omega_D} v \cdot \nabla \lambda &= \int_{\Omega} J \cdot v + \int_{\partial\Omega} (g \times n) \cdot v, \\ \int_{\Omega_D} u \cdot \nabla \phi &= 0 \end{aligned}$$

para cada  $v \in \mathbf{H}(\operatorname{curl}; \Omega)$  y  $\phi \in H^1(\Omega)$ . Usando como aproximación los elementos de Nedelec para  $u$  y Lagrange para  $\lambda$ , podemos obtener una formulación discreta, lo cual permite gracias a la teoría de Babuska-Brezzi obtener

resultados de buen posicionamiento y aproximación. Trabajos similares para el problema de corrientes inducidas pueden ser estudiados en [3].

## 4 Conclusiones

El análisis de modelos no lineales estacionarios de corrientes inducidas en la variable  $u$  revela la complejidad inherente de tales sistemas, donde la no linealidad puede originarse de la dependencia de los materiales o de la propia naturaleza del campo electromagnético. Al aplicar el método de elementos finitos para resolver este modelo, se logra una discretización eficiente que permite capturar con precisión las características no lineales del sistema, proporcionando soluciones aproximadas que son coherentes con las expectativas teóricas.

El enfoque de elementos finitos se muestra particularmente efectivo en la resolución de problemas no lineales, ofreciendo flexibilidad en la representación de geometrías complejas y en la adaptación a diferentes condiciones de contorno. Este método permite abordar la no linealidad de manera iterativa, garantizando la convergencia de la solución bajo ciertas condiciones y mejorando la estabilidad del cálculo numérico. Las simulaciones realizadas muestran que el método de elementos finitos es una herramienta robusta para el análisis de modelos no lineales de corrientes inducidas, permitiendo una interpretación detallada del comportamiento del sistema en escenarios realistas.

Finalmente, el éxito en la aplicación del método de elementos finitos a este modelo no lineal destaca su potencial para ser extendido a otros problemas electromagnéticos no lineales, donde la precisión y la capacidad de manejar la complejidad del problema son cruciales para el diseño y la optimización de dispositivos electromagnéticos en aplicaciones industriales y científicas.

## References

- [1] A. Bossavit, Computational Electromagnetism, Academic Press Inc., San Diego, CA, 1998.
- [2] H. Ammari, A. Buffa and J.-C. Nédélec, A justification of eddy currents model for the Maxwell equations, *SIAM J. Appl. Math.*, 60, 1805–1823 (2000).
- [3] A. Alonso and A. Valli, Eddy Current Approximation of Maxwell Equations: Theory, algorithms and applications, Milano, Italia: Springer, 2010.
- [4] R. Acevedo, C. Gomez, B. Lopez-Rodríguez and Pilar Salgado, Numerical analysis of a FEM based on a time-primitive of the electric field for solving a nonlinear transient eddy current problem. *APNUM*, 192, 261–279 (2023).

# RESULTADOS PRELIMINARES DE LOS EFECTOS DE LA ENROFLOXACINA SOBRE LAS BRANQUIAS DE ALEVINOS DE TILAPIA ROJA *Oreochromis* sp.

Luisa F Perdomo H1[0009-0001-2273-9688] José A. Rodríguez P1,2[0000-0002-6735-3885] Jonathan F Villamil R3[0000-0002-8767-8550] Andrés J Bonilla R4[0000-0002-6218-2925]

1 1 Semillero de Investigación Pikaia, Universidad de los Llanos, Villavicencio, Meta, Colombia. 2 Grupo de Investigación en Recursos Hidrobiológicos y Pesqueros, GIREHPES, Universidad de los Llanos, Villavicencio, Meta, Colombia. 3 Laboratório de Ecotoxicologia Aquática na Amazônia, Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, INPA, Manaus, Brasil. 4 Grupo de Investigación en Química de los Recursos Naturales – QUIMERA, Universidad de los Llanos, Villavicencio, Meta, Colombia

**Resumen.** Este estudio evaluó los efectos agudos de la enrofloxacina, un antibiótico de amplio espectro, en las branquias de alevines de tilapia roja (*Oreochromis* sp.). Se expusieron 80 alevinos, divididos en tres grupos, a concentraciones de 3 ml/L, 6 ml/L y 12 ml/L de enrofloxacina, junto con un grupo control, en acuarios de 20 litros. Los peces fueron anestesiados, medidos, eutanasiados, y sus branquias fueron extraídas y analizadas histológicamente. Los resultados mostraron que la exposición a la enrofloxacina causó daños estructurales en las branquias, reduciendo la eficiencia respiratoria y afectando la salud de los peces. Esto resalta la necesidad de un uso adecuado de antibióticos en la acuicultura para preservar la salud y sostenibilidad de las especies acuáticas.

92

**Palabras clave:** Acuicultura, Antibiótico, Alteraciones branquiales, Toxicología.

# 1 Introducción

La enrofloxacina es un antibiótico de amplio espectro que se utiliza frecuentemente en la acuicultura para tratar infecciones bacterianas en peces [1]. No obstante, el uso excesivo o inadecuado de este medicamento puede tener consecuencias negativas en los organismos acuáticos [2], incluyendo a la tilapia roja (*Oreochromis sp*), una especie de alto valor comercial en Colombia. Las branquias desempeñan un papel fundamental en el intercambio de gases y la excreción de desechos metabólicos [3]. Ensayos de toxicidad aguda, pueden inducir alteraciones fisiológicas y estructurales en las branquias, órganos cruciales para la respiración de los peces [4]. Por ende, en peces expuestos a niveles elevados de enrofloxacina, pueden producir lesiones branquiales, que consecuentemente disminuyen la eficiencia del intercambio de oxígeno, lo que provoca un aumento del estrés respiratorio. Además, la disfunción branquial puede alterar el equilibrio osmótico y ácido-base del organismo, afectando negativamente la salud general y su crecimiento. La comprensión de estos efectos adversos es esencial para gestionar de manera adecuada el uso de antibióticos en la acuicultura, asegurando así la sostenibilidad y el bienestar de las especies acuáticas. Por lo tanto, investigar estos efectos es fundamental para prever y mitigar posibles impactos negativos en la acuicultura. El objetivo de este estudio es evaluar los efectos de la enrofloxacina en las branquias de alevines de tilapia roja.

# 2 Metodología

## 2.1 Obtención de los alevinos

300 alevinos de tilapia roja (*Oreochromis sp.*) se adquirieron en la Piscícola Las Brisas, ubicada en el municipio de Villavicencio, Meta (Colombia), los cuales tuvieron un peso promedio de 3g y una longitud total (LT) aproximada de 10 cm. Estos fueron transportados en bolsas plásticas con agua y flujo constante de oxígeno hasta el Instituto de Acuicultura y Pesca de los Llanos (Universidad de los Llanos –Vda. Barcelona) en la ciudad de Villavicencio, Meta.

93

## 2.2 Localización y descripción del área de estudio

El estudio se llevó a cabo en el Laboratorio de Producción de Alimento Vivo y Toxicología del Instituto de Acuicultura de la Universidad de los Llanos (IALL), ubicado en el kilómetro 12 vía Puerto López, en el municipio de Villavicencio (Meta-Colombia).

## 2.3 Diseño experimental

Los individuos se aclimataron en un tanque de 250 L. Durante 24 horas, los alevinos de *Oreochromis sp* ( $n = 80$ ) fueron expuestos a tres concentraciones de enrofloxacina (3 mg/L, 6 mg/L y 12 mg/L) y divididos aleatoriamente en 3 grupos para el ensayo de toxicidad aguda, para lo anterior los individuos fueron mantenidos en acuarios de 20 litros, siendo necesarias tres réplicas del grupo control y tres réplicas de cada concentración. Los peces fueron anestesiados con 40 mg/L de Eugenol para luego ser eutanasiados por medio de un corte medular para la extracción de branquias para los análisis histológicos.

### 2.4 Análisis histológico

Las muestras del segundo arco branquial fueron fijadas en formalina al 10% durante 24 horas y posteriormente conservadas en etanol al 70%. Las muestras fueron sometidas a procesos de deshidratación en etanol 80–100% para su posterior inclusión en parafina. Se realizaron cortes de 5 µm y finalmente, fue empleada una tinción de Hematoxilina Eosina.

## 3 Resultados

No se logró determinar la CL50, sin embargo, fue evaluada la mortalidad causada a partir de la enrofloxacina (Tabla 1). Además, las alteraciones branquiales evidenciadas en la Figura 1, muestran la respuesta histopatológica branquial ante las concentraciones empleadas del antibiótico en el ensayo de toxicidad aguda.

Tabla 1. Mortalidad y alteraciones branquiales en alevines de *Oreochromis sp*

Tratamiento	%Mortalidad	Alteraciones branquiales
Control	0	Hiperplasia lamelar
3 mg/L	80%	Metaplasia
6 mg/L	100%	Congestión, fusión lamelar, hiperplasia, dilatación del seno venoso
12 mg/L	100%	Congestión, fusión lamelar, hiperplasia, dilatación del seno venoso, metaplasia

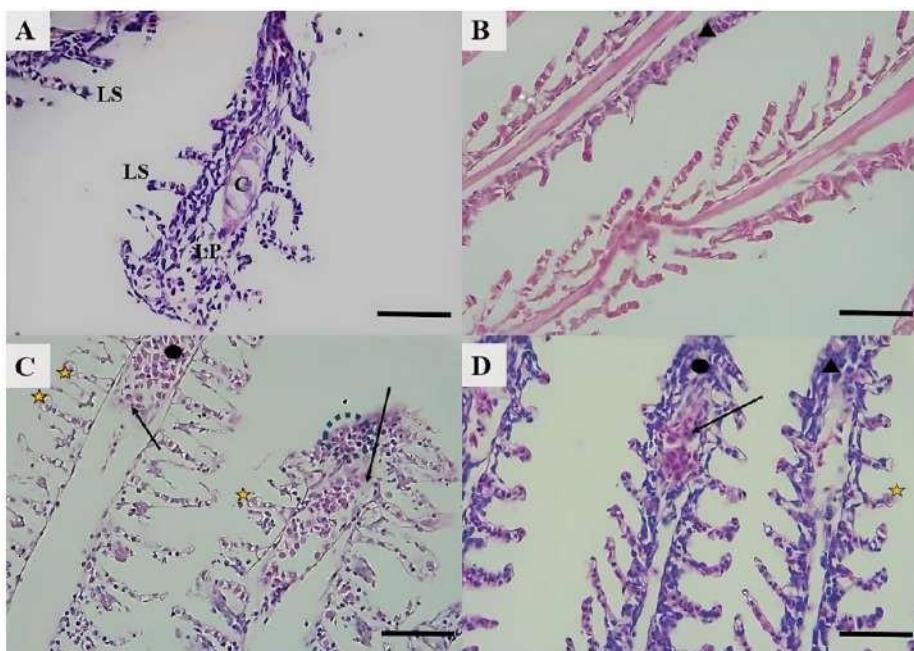


Figura 1. Branquias de alevines de *Oreochromis* sp. expuestos a la Enrofloxacina A. Control. Aumento = 40x, LS: Lamela Secundaria; LP: Lamela Principal; C: Cartílago. B. Concentración 3 mg/L. Aumento = 40x. C. Concentración 6 mg/L. Aumento = 40x. D. Concentración 12 mg/L. Aumento = 40x. Círculo negro: hiperplasia; Estrella amarilla: Dilatación del seno venoso; Flecha negra: congestión; Triángulo negro: metaplasia; Círculo de líneas punteadas: fusión lamelar.

## 4 Conclusiones

Conforme aumenta la concentración de la enrofloxacina, subsecuentemente las lesiones branquiales también lo hacen, aunque estas no son lesiones que afecten el bienestar de los peces en ensayos de toxicidad aguda, sin embargo, el porcentaje de mortalidad también aumenta a mayor concentración del antibiótico. Se recomienda realizar ensayos de toxicidad crónica para determinar los efectos que causa este antibiótico en otros tejidos de importancia fisiológica, así como también evaluar el porcentaje de recuperación de los individuos expuestos.

## References

- [1] The enrofloxacin pollution control from fish to environment. Xi, Feng. 115923, Jimei: Marine Pollution Bulletin, 2024, Vol. Volume 199. ISSN 0025-326X.
- [2] Waterborne enrofloxacin exposure activated oxidative stress and MAPK pathway, induced apoptosis and resulted in immune dysfunction in the gills of yellow catfish *Pelteobagrus fulvidraco*. Yi-Chuang Xu, Dian-Guang Zhang, Tao Zhao, Hua Zheng, Zhi Luo. 737541, Wuhan : Aquaculture, 2022, Vol. Volume 547. ISSN 0044-8486.
- [3] The effects of enrofloxacin exposure on responses to oxidative stress, intestinal structure and intestinal microbiome community of largemouth bass (*Micropterus salmoides*). Liu, Chengrong. 140751, Shaanxi : James Lazorchak, 2023, Vol. Volume 348. ISSN 0045-6535.
- [4] Effect of adding different carotenoid sources on growth performance, pigmentation, stress response and quality in red tilapia (*Oreochromis spp.*). Arous, Walaa H., et al. 988-999, Malasia : Middle East Journal of Applied Sciences, 2014, Vol. v. ISSN: 2077-4605.

# MODELO NO SUPERVISADO PARA VARIABLES FISICOQUÍMICAS EN ESTACIONES PISCÍCOLAS EN EL DEPARTAMENTO DEL META

Milena Gutierrez Cardenas<sup>1</sup>[0009-0000-3559-8645]  
 Oscar Agudelo Varela<sup>2</sup>[0000-0002-1725-0490] and  
 M.A Gutierrez Cárdenas <sup>3</sup>[0000-0001-7064-9575]  
 1,2,3 Universidad de los Llanos, Facultad de Ciencias Básicas e Ingeniería, Villavicencio,  
 Meta, Colombia  
[ana.gutierrez@unillanos.edu.co](mailto:ana.gutierrez@unillanos.edu.co)

**Resumen.** The fish farming activity is one of the most important in the agricultural sector of Colombia and particularly in the Department of Meta, according to the Directorate of Livestock, Fisheries and Aquaculture Chains of the Ministry of Agriculture [2], fish farming contributes 3.3% of the agricultural GDP and 0.3% of national GDP; According to the same document, in 2020 a fish production of 174,067 tons was recorded, with permanent growth and Meta occupies 2nd place among the departments, with 11% of production. Even so, aquaculture and fish farming activity in the department of Meta and in Colombia has important needs and opportunities for improvement that require statistical analysis and engineering contributions. The research project contemplates the analysis of data on physicochemical variables in fish farming stations in the Department of Meta, taking into account variables such as stocking density of fish, date and time of sample collection, temperature, pH, conductivity, total solids dissolved, oxygen saturation and dissolved oxygen. The aim is to identify the individual or general factors that impact the presentation of atypical data, performing the analysis of anomalies with the help of a statistical model, multivariate methods, coding and implementation in the statistical software R and statistical quality control based on techniques of machine learning applying the unsupervised model, the analysis seeks to guarantee the quality of life and safety of the fish to the end users who will be the small fish producers in the region.

---

 97

**Palabras clave:** statistical analysis, physicochemical variables, machine learning.

## 1 Introducción

La Acuicultura corresponde al conjunto de actividades técnicas y conocimientos de crianza de especies acuáticas vegetales y animales; de manera específica, la Piscicultura corresponde a un área dentro de la acuicultura que se dedica específicamente al estudio y aplicación de técnicas y conocimientos dirigidos a peces. La ingeniería ha estado aportando en la optimización de la producción piscícola; en este sentido, y de acuerdo a Gutiérrez [1]: “las aplicaciones de software se han implementado para la automatización de procesos de administración de información para manejo de inventarios y para análisis estadístico del monitoreo y control de variables físico-químicas”.

A partir de lo anterior se logró identificar que las autoridades de control y el sector piscícola de Colombia requieren garantizar la calidad en los alimentos piscícolas que llegan al consumidor, solo se encontró evidencia de una aplicación informática que realiza análisis de variables fisicoquímicas al agua de los estanques de pescado, pero enfocada a especies de salmón, bacalao y solla, teniendo como referencia la normatividad estadounidense y europea, por lo cual no es posible su aplicación en Colombia.

El análisis estadístico se enfoca en determinar los datos atípicos que se presentan en el registro de la muestra de las variables, la base de datos de estudio contempla dos ingresos de información, en la mañana y en la tarde, logrando identificar los posibles riesgos a la calidad de vida de los peces.

## 2 Metodología

La base de datos se obtiene de un registro previo y riguroso a una estación piscícola en el Municipio de Restrepo/Meta, con dos siembras de peces, la primera con 150 cachamas y la segunda con 200 cachamas. Tomando en cuenta variables como la densidad de siembra de los peces, fecha y hora de toma de la muestra, temperatura, pH, conductividad, sólidos totales disueltos, saturación de oxígeno y oxígeno disuelto, la base de datos consta de 9 variables y 238 registros. A continuación, se relacionan en la Tabla 1, los parámetros y observaciones establecidos para evaluar y realizar seguimiento a las variables.

Tabla 1. Parámetros y observaciones

Parámetros	Rangos observados ideales y/o normales	Observaciones
Oxígeno disuelto (OD)	Por encima de 4,0 mg L-1 (ideal) y al menos 60% de saturación	Para una correcta respiración y crecimiento de peces, camarones, microbionta
Temperatura	28-30° (ideal para especies tropicales)	Ademas del pescado y los camarones, las bajas temperaturas (20°C) podrían afectar el desarrollo microbiano
pH	6,8 - 8,0	Valores inferiores a 7,0 son normales en BFT pero podrían afectar el proceso de nitrificación
Nitrógeno Amoniacal Total (NAT)	Menos de 1 mg L-1 (ideal)	Los valores de toxicidad dependen del pH
Nitrito (NO2)	Menos de 1 mg L-1 (ideal)	Parámetro crítico (difícil de controlar). Se debe prestar especial atención, por ejemplo, al nivel de proteína del alimento, la salinidad y la alcalinidad
Nitrato (NO3)	0,5 a 20 mg L-1	En estos rangos, generalmente no es tóxico para los animales de cultivo
Sólidos sedimentados (SS)	Ideal: 5 a 15 ml L-1 (camarones), 5 a 20 (alevines de tilapia) y 20 a 50 ml L-1 (tilapia juvenil y adulta)	Los altos niveles de SS (medidos en conos de Imhoff) contribuirán al consumo de OD por parte de la comunidad heterótrofa y a la oclusión branquial

## 2.1 Datos

La base de datos seleccionada se denomina densidad de siembra de peces, se obtiene de un registro previo y riguroso a una estación piscícola en el Municipio de Restrepo/Meta, con dos siembras de peces, la primera con 150 cachamas y la segunda con 200 cachamas, la base de datos cuenta con ocho variables cuantitativas y una cualitativa, 238 filas y 9 columnas.

## 2.2 Exploración de los datos

En esta fase se lleva a cabo el resumen de los datos para determinar su relación, se tienen en cuenta la temperatura y pH en la Tabla 2, conductividad y sólidos totales disueltos en la Tabla 3, y finalmente saturación de oxígeno y oxígeno disuelto en la Tabla 4.

Tabla 2. Variables de temperatura y pH

Temperatura		pH	
Min.	24.16	Min.	6,2
1st Qu.	25.37	1st Qu.	7,14
Median	25.89	Median	7,61
Mean	25.93	Mean	7,65
3rd Qu	26.52	3rd Qu	8,29
Max.	28.29	Max.	8,67

Tabla 3. Conductividad y sólidos totales disueltos

Conductividad		sólidos totales disueltos	
Min.	173	Min.	0,000388
1st Qu.	421,8	1st Qu.	0,193125
Median	624,5	Median	0,2836
Mean	1100,4	Mean	0,499715
3rd Qu	885	3rd Qu	0,433675
Max.	6098	Max.	3,0491

Tabla 4. Saturación oxígeno y oxígenos disueltos

Saturación oxígeno		Oxígeno disuelto	
Min.	27,1	Min.	2,03
1st Qu.	70,7	1st Qu.	5,45
Median	81,5	Median	6,34
Mean	79,84	Mean	6,2
3rd Qu	90,7	3rd Qu	7,03
Max.	108	Max.	8,52

## 2.3 Modelo

En esta fase se implementa el modelo no supervisado con el fin de predecir los datos atípicos en la toma de las muestras, de acuerdo a Cely [2]: “El modelo no supervisado, se ocupa del aprendizaje a partir de datos sin “etiquetas”, por lo que busca descubrir patrones desconocidos a partir de los propios datos que permitan su categorización, un ejemplo de esto es el problema que se enfrenta en este proyecto, donde se busca encontrar grupos de productos a priorizar a partir de datos históricos en la toma de las muestras, pero sin conocer previamente las categorías resultantes”, la Figura 1 muestra los datos atípicos.

Índices de valores atípicos: [107 108 20]					
	densidad	fecha	hora	...	STD
115	150	05/01/21	PM	...	2.485
116	150	05/01/21	AM	...	2.507
224	200	29/12/20	PM	...	1.425
225	200	29/12/20	AM	...	1.434
111	150	02/01/21	PM	...	1.690
112	150	02/01/21	AM	...	1.694
189	200	11/12/20	AM	...	0.408
213	200	22/12/20	AM	...	0.413
212	200	22/12/20	PM	...	0.405
113	150	04/01/21	PM	...	1.188

[10 rows x 9 columns]

Figura 1. Datos atípicos presentes en las muestras

## 3 Resultados y Discusión

El resultado del modelo no supervisado en el presente proyecto, fue obtener la mayor cantidad de información posible de un set de datos, cuyas interacciones y relaciones son generalmente desconocidas, en este caso se profundizó en el análisis de variables fisicoquímicas en estaciones piscícolas con el fin de encontrar patrones anormales en parámetros muestreados.

En la muestra recolectada se encontraron datos atípicos en los sólidos totales disueltos, la saturación y el oxígeno disuelto, variables que afectan de manera determinante la presencia de los peces en las estaciones piscícolas.

El presente trabajo contribuye positivamente a la preservación del medio natural, previniendo situaciones alarmantes en los pequeños productores piscícolas de la región.

## 4 Conclusiones

Se aplicó metodologías de machine learning al estado de las variables fisicoquímicas del agua de la estación piscícola y se utilizó el modelo no supervisado para predecir los datos atípicos de la muestra, arrojando alteraciones en los sólidos totales disueltos, la saturación y el oxígeno disuelto del agua. En vista de los resultados obtenidos, se puede observar que las variables de mayor alteración han sido de estado químico y dureza del agua, por lo cual es importante verificar el estado del terreno, las precipitaciones y el estado meteorológico del agua.

**101**

## References

- [1] Gutierrez, Marco. Prototipo de Aplicación Informática Móvil para Análisis Sensorial en el Proceso de Evaluación de Calidad de Carne de Cachama (*Piaractus brachypomus*). Repositorio Universidad Internacional de la Rioja. Disponible en: <https://reunir.unir.net/handle/123456789/6563>. 2018.
- [2] Cely, IBM Software. El desarrollo de aplicaciones móviles nativas, web o hibridas, 2005.

# ESTUDIO TEÓRICO DE LA RECTIFICACIÓN ÓPTICA DE UNA MOLÉCULA DE PUNTOS CUÁNTICOS INMERSA EN UN CAMPO MAGNÉTICO UNIFORME

J. D. Arias H.1,2\* & A.A. Portacio 1 & B. A. Rodríguez 2

1 Universidad de los Llanos, Departamento de Matemáticas y Física, Vereda Barcelona, Vi-llavicencio-Colombia. 2 Universidad de Antioquia, Instituto de Física, Calle 70 No. 52-21, Medellín-Colombia  
jariar@unillanos.edu.co

**Resumen.** Los avances en el área de la nanotecnología han permitido descubrir diferentes fenómenos cuánticos que experimentan las nanoestructuras semiconductoras. De ahí la importancia del estudio de la respuesta óptica de nanoestructuras semiconductoras; por tal motivo el objetivo de esta investigación es el estudio teórico de la rectificación óptica de una molécula de puntos cuánticos inmersa en un campo magnético uniforme. Para este estudio se plantea el modelo de una molécula de dos puntos cuánticos cilíndricos idénticos, inmersa en un campo magnético uniforme. Utilizando la aproximación de dos niveles y la ecuación maestra en el régimen de Born-Markov en la forma Lindlad, se plantea la expresión para el cálculo de la rectificación óptica. Como resultado se obtiene que la rectificación óptica varía con la variación del campo magnético. Esta dependencia de la rectificación óptica del campo magnético puede utilizarse a futuro para desarrollar dispositivos que controlen su respuesta óptica por medio del campo magnético.

**103**

**Palabras clave:** Molecula de puntos cuanticos (QDM), Ecuación maestra de Born-Markov, Operador densidad, Respuesta óptica no lineal.

La molécula de puntos cuánticos (QDM) esta modelado como una molécula de dos puntos cuánticos cilíndricos idénticos, que interactúan entre ellos; además inmersos en un campo magnético uniforme  $\mathbf{B}$  (Figura 1), El Hamiltoniano de este sistema es

$$\hat{H} = \sum_{i=1}^2 \hat{H}_i + \hat{H}_T, \quad (1)$$

donde  $\hat{H}_T$  es el Hamiltoniano de interacción entre los dos puntos cuánticos y  $\hat{H}_i$  es Hamiltoniano para el QD cilíndrico  $i$ , donde [1]:

$$\hat{H}_i = \frac{1}{2m^*} \left( \hat{\mathbf{P}}_i - \frac{e}{c} \mathbf{A}_i \right)^2 + V(\rho_i, z_i). \quad (2)$$

:

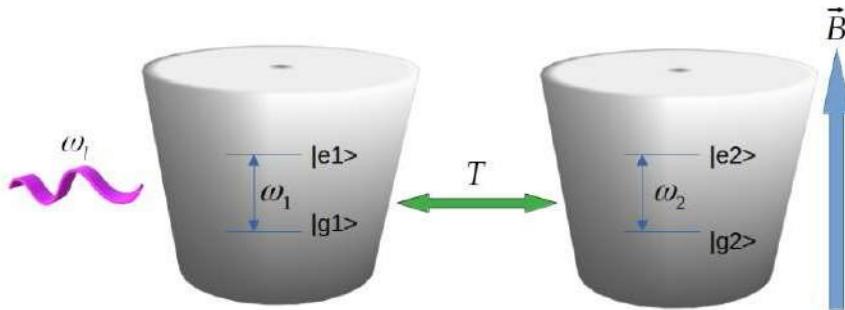


Figura 1. Representación de la QDM como una molécula de dos puntos cuánticos cilíndricos, donde  $T$  es la tasa de tunelamiento,  $B^*$  el campo magnético,  $|g_i\rangle$  y  $|e_i\rangle$  son el estado base y el estado excitado para cada QD y  $\omega_i$  es la frecuencia de la energía de transición entre los dos niveles.

Utilizando la solución conocida de un punto cuántico (QD) inmerso en un campo magnético uniforme, se determinan las funciones de onda de la QDM [2]:

$$\Psi_I(\rho_1, z_1, \rho_2, z_2) = \psi_b(\rho_1, z_1)\psi_b(\rho_2, z_2), \quad (3)$$

$$\Psi_{II}(\rho_1, z_1, \rho_2, z_2) = \frac{1}{\sqrt{2}}(-\psi_b(\rho_1, z_1)\psi_e(\rho_2, z_2) + \psi_e(\rho_1, z_1)\psi_b(\rho_2, z_2)), \quad (4)$$

**104**

$$\Psi_{III}(\rho_1, z_1, \rho_2, z_2) = \frac{1}{\sqrt{2}}(\psi_b(\rho_1, z_1)\psi_e(\rho_2, z_2) + \psi_e(\rho_1, z_1)\psi_b(\rho_2, z_2)), \quad (5)$$

$$\Psi_{IV}(\rho_1, z_1, \rho_2, z_2) = \psi_e(\rho_1, z_1)\psi_e(\rho_2, z_2), \quad (6)$$

donde  $\psi_b(\rho_i, z_i)$ ,  $\psi_e(\rho_i, z_i)$  son las funciones de onda de cada QD en los estados base y excitado y  $\Psi_I(\rho_1, z_1, \rho_2, z_2)$ ,  $\Psi_{II}(\rho_1, z_1, \rho_2, z_2)$ ,  $\Psi_{III}(\rho_1, z_1, \rho_2, z_2)$  y  $\Psi_{IV}(\rho_1, z_1, \rho_2, z_2)$  son las funciones de onda moleculares.

Dichas funciones permiten determinar los niveles de energía de la molécula, los cuales están representados en la siguiente grafica: En la Figura 2 se observa una variación de los niveles de energía con el cambio del campo magnético, pero leve.

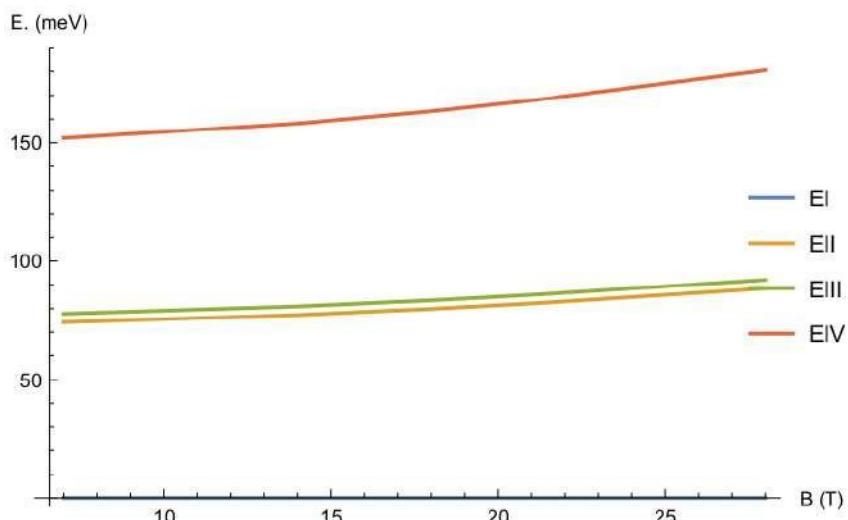


Figura 2. Niveles de energía de la molécula de dos puntos cuánticos cilíndricos en función del campo magnético B.

## References

- [1] A. A. Portacio et al, 2017, *Physica B: Condensed Matter* 511.
- [2] P.L. Knight et al, 1980, *Physics Reports* 66.

# EVALUACIÓN DE ACEITES ESENCIALES DE PIPER CONTRA *Fusarium solani*

Laura Sofia Avila Bonilla 1\*[ 0000-0001-5451-7687], Laura Marcela Jiménez Acosta 1[0000-0001- 7709-2888], Ludy Cristina Pabón Baquero 2[0000-0002-8723-0436], Juliet Angélica Prieto Rodríguez 3[0000-0002-7064-2389], Oscar Javier Patiño Ladino 4[0000-0003-1290-7964]

1 Universidad De La Salle. Escuela de Ciencias Básicas. Programa Biología 2 Universidad de La Salle. Escuela de Ciencias Básicas y Aplicadas. 3 Pontificia Universidad Javeriana. Departamento de Química, Facultad de Ciencias. 4 Universidad Nacional de Colombia, Departamento de Química, Facultad de Ciencias, Sede Bogotá.

lavila01@unisalle.edu.co

**Resumen.** Los métodos para controlar enfermedades agrícolas son de gran importancia, ya que muchos productos actuales son tóxicos y poco selectivos, por lo tanto, las plantas del género Piper son una alternativa de inhibición debido a sus propiedades antifúngicas. Por lo anterior, en el presente estudio se evaluó aceites esenciales del género Piper como método de inhibición de *F. solani*. Se extrajeron los AEs de seis especies de Piper por arrastre con vapor, se caracterizaron mediante GC/MS y se determinó su potencial de inhibición contra *F. solani* por difusión en agar (PDA). Para los AEs con inhibición  $\geq 60\%$ , se calcularon las concentraciones efectivas media (CE50) y máxima (CE95). El AE más activo fue el de *P. auritum*, el cual presentó el mayor rendimiento y que presenta como compuesto mayoritario el timol (34%) y en segundo lugar fue el AE de *P. adun cum* cuyo como compuesto mayoritario fue el humuleno (20,71%). Finalmente, el aceite esencial de *P. auritum* fue el más promisorio para el control de *F. solani*, por lo que es necesario hacer estudio in vivo para confirmar su uso como producto antifúngico.

**Palabras clave:** Antifúngico, Inhibición, Metabolitos, Fitopatógeno, Fusariosis.

106

## 1 Introducción

El sector agrícola es uno de los ejes más importantes en Colombia en los factores económico, medioambiental, social y alimenticio [1-3]. Por lo que existe una gran variedad de cultivos registrándose aproximadamente 5,9 millones de hectáreas sembradas con cultivos de importancia agroindustrial [4]. Sin

embargo, en estos cultivos el rendimiento de producción llega a ser bajos ocasionados por diversos factores, dentro de los cuales se destaca plagas y enfermedades, entre ellas las causadas por hongos como *Fusarium solani*, el cual genera fusariosis [5–7]. Los métodos tradicionales de control basados en productos químicos han demostrado ser perjudiciales tanto para el ambiente como para la salud [7–8], lo que ha impulsado a la búsqueda de alternativas más sostenibles. En este contexto, los aceites esenciales (AEs) derivados de especies vegetales emergen como una opción prometedora [9]. Investigaciones previas han indicado que los AEs de especies del género *Piper* poseen propiedades antifúngicas efectivas contra *F. solani* [7]. Por lo tanto, se estableció como objetivo evaluar aceites esenciales de especies del género *Piper* como método de inhibición de *F. solani*.

## 2 Metodología

### 2.1 Obtención de material vegetal y fúngico

Se recolectaron inflorescencias de seis especies de *Piper* (*Piper sp*, *P. mearnsii*, *P. aduncum*, *P. marginatum*, *P. auritum*, *P. reticulatum*) en Cundinamarca, Boyacá. El hongo *F. solani* fue aislado previamente. El material vegetal y fúngico fue recolectado por el grupo Quipronab de la Universidad Nacional de Colombia y su uso se encuentra legalizado bajo el contrato de acceso a recursos genéticos y productos derivados (Resolución No. 0255 del 14/03/2014, Contrato de acceso a Recursos Genéticos y sus productos derivados No. 121 de 22/01/2016. OTROSÍ No. 21).

### 2.2 Extracción de aceites esenciales y caracterización por Cromatografía de gases acoplada a masas (GCMS)

Los AEs se obtuvieron mediante destilación por arrastre de vapor a partir de 2 kg de material vegetal de cada una de las especies de *Piper* y se determinó su porcentaje de rendimiento mediante la ecuación 1 [10–11].

**107**

$$\%AE = \frac{mAEs(g)}{mCV(g)} * 100\% \text{ (Ecuación 1)}$$

Donde: mAEs = peso del AE obtenido y mCV = cantidad de material vegetal fresco sometido a extracción.

Se realizó un análisis por GC/MS para identificar los componentes de los AEs haciendo uso de una columna apolar DB-5MS. Para la identificación de los componentes se utilizó índices de retención de Kovat's (IK) y la comparación

de los espectros de masas con los datos reportados en la literatura y de la librería Pherobase. Para calcular los  $Ik$ , fue necesario emplear una solución patrón de parafinas de C9 a C38 [12–13].

## 2.3 Evaluación antifúngica de los aceites esenciales

La actividad antifúngica de los aceites esenciales (AEs) se evaluó mediante el método de difusión en agar contra *F. solani*. Para ello, se aplicaron 15  $\mu\text{L}$  de AE (176,5  $\mu\text{L}/\text{L aire}$ ) en discos de papel [14–15] y se incubaron a 25°C durante 8 días [10]. Los AEs que mostraron una inhibición  $\geq 60\%$ , fueron seleccionados para determinar las concentraciones efectivas 50 (CE50) y 95 (CE95) haciendo uso de regresiones lineales y no lineales en el software Graphpad Prism 8. Cada ensayo se realizó por quintuplicado. Las mediciones se efectuaron mediante fotografías digitales procesadas con el programa ImageJ, utilizando una escala de 90 cm y mediciones manuales. Estos datos se emplearon para calcular la reducción relativa del crecimiento del hongo (RRC%) [14].

## 2.4 Pruebas estadísticas

Se realizaron pruebas de normalidad y homogeneidad de varianzas, aplicando ANOVA o Kruskal–Wallis según la naturaleza de los datos  $p < 0,05$ ,  $p < 0,01$ ,  $p < 0,001$ . Las diferencias significativas se analizaron con pruebas post hoc, y los resultados se graficaron usando IBM SPSS Statistics 26 y GraphPad Prism 8.

# 3 Resultados y Discusión

## 3.1 Evaluación de actividad antifúngica de aceites esenciales sobre *Fusarium solani*

Se evaluó el potencial antifúngico de seis AEs de *Piper* (*Piper sp*, *P. murequintense*, *P. aduncum*, *P. marginatum*, *P. auritum*, *P. reticulatum*) obtenidos por arrastre con vapor. *P. auritum*, presentó el mejor rendimiento con 1,08% y la mayor inhibición del crecimiento de *F. solani* ( $\geq 60\%$ ), superando incluso al control positivo (*T. vulgaris*)

108

## 3.2 Caracterización de aceites esenciales por GC-MS

En análisis por GC-MS se evaluaron los AEs de *Piper*, en la tabla 2 muestra los AE que presentaron una RRC%  $\geq 60\%$  siendo estos *P. auritum* y *P. aduncum*, por lo que para *P. auritum* el compuesto mayoritario fue el timol (34%), mientras que para *P. aduncum* fue el humuleno (20,71%).

3.3 Concentraciones efectivas 50 (CE50) y 95 (CE95) de los AEs de *P. auritum*, *P. aduncum* sobre *F. solani* en  $\mu\text{L}/\text{L}$  aire.

Por otro lado, el AE de *P. auritum* y *P. aduncum* se utilizaron para determinar las concentraciones efectivas medias (CE50) y máximas (CE95) con valores entre 1,78- 75,65  $\mu\text{L}/\text{L}$  de aire para los dos aceites.

## 4 Conclusiones

El aceite de *P. auritum* mostró una alta actividad antifúngica in vitro para *F. solani* con una inhibición del 98% a la concentración CE95, considerando este resultado como promisorio para el control de *F. solani*, por lo que se propone hacer estudios in vivo para confirmar su potencial uso como producto antifúngico.

## References

- [1] Portafolio. La agricultura en Colombia en su día internacional de la agricultura-544437. (2010).
- [2] AGROSAIVA. La fruta de la pasión nos apasiona. (2022). recuperado de <https://www.agrosavia.co/noticias/la-fruta-de-la-pasi%C3%B3n-nos-apasiona> .
- [3] Ministerio de Agricultura. Sistemas de Información. (2017). Recuperado de <https://www.minagricultura.gov.co/noticias/Paginas/Agricultura-continua-entre-los-lideres-del-empleo.aspx>.
- [4] DANE. Investigaciones Agropecuarias. (2019). Recuperado de [https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/agropecuario/enda/ena/2017/boletin\\_ena\\_2017.pdf](https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/agropecuario/enda/ena/2017/boletin_ena_2017.pdf).
- [5] Juares.G, Sosa.M & Lopez.A. Hongos Fitopatógenos de alta importancia económica: descripción y métodos de control. Temas Selectos de Ingeniería de Alimentos, 4(2), 14-23. (2010).
- [6] Fischer, I.: Diseases of Passionflower (*Passiflora* spp.). Pest Technology, 2-20 (2008) 7.Vargas, C.: Potencialidad del género *Piper* como fuente de sustancias para el control de hongos fitopatógenos. [Tesis de maestría]. Universidad Nacional de Colombia, Bogotá (2017). Disponible en: [https://ciencia.lasalle.edu.co/cgi/viewcontent.cgi?article=1010&context=recursos\\_bibliograficos](https://ciencia.lasalle.edu.co/cgi/viewcontent.cgi?article=1010&context=recursos_bibliograficos).
- [8] GRUPOSACSA: Peligros de los fungicidas. Recuperado el 3 de abril de 2023. 9.Guizar, C.: El papel de los metabolitos secundarios en la agricultura. CIATEJ. Recuperado el 27 de junio de 2019. Disponible en: <https://www.ciatej.mx/el-ciatej/comunicacion/Noticias/El-papel-de-los-metabolitos-secundarios-en-la-agricultura/124>.
- [10] Fajardo, L.: Caracterización del aceite esencial de la especie *Peperomia*

- subspathulata (Piperaceae) y evaluación de su capacidad como agente antimicrobiano. [Tesis de pregrado]. Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales (U.D.C.A), Bogotá (2017).
- [11] Vélez B., P. M.: Obtención de aceite esencial de romero con fines cosméticos. *Tecnología y Sociedad*, 10(1) (2019).
- [12] Adams, R. *IDENTIFICATION OF ESSENTIAL OIL COMPONENTS BY GAS CHROMATOGRAPHY/ MASS SPECTROMETRY*. Carol Steam: Allured publishing. (2017)
- [13] García, J. Sistematización de fases estacionarias e índices de retención en cromatografía de gases. [Tesis doctoral]. Universidad Complutense de Madrid, Madrid. (2015). 14. Prieto, J. P.: Chemical composition, insecticidal, and antifungal activities of fruit essential oils of three Colombian *Zanthoxylum* species. *Chilean Journal of Agricultural Research*, 71(1), 73–82 (2011).
- [15] Scalvenzi, L. Y.: Actividad antifúngica in vitro de aceites esenciales de *Ocotea quixos* (Lam.) Kosterm. y *Piper aduncum* L. *Bioagro*, 28, 39–46 (2016).

# DETERMINACIÓN DE LA INGESTA SEMANAL RECOMENDABLE DE BAGRE DEL RÍO META EN PERSONAS VULNERABLES

Santiago Valbuena-Rodríguez 1[0000-0002-9034-6640]; Miguel Angel Navarro Ramirez 2[0000-0002-5535-4784]

1, 2 Universidad de los Llanos; Facultad de Ciencias Básicas e Ingeniería, Departamento de Biología y Química, Grupo de Investigación QUIMERA 1

svalbuena@unillanos.edu.co

**Resumen.** El pescado es un alimento valioso por su contenido nutricional, sin embargo, es un problema de salud pública debido a su contaminación con mercurio. Este metal es muy nocivo a nivel neurotóxico, en especial para el feto y el niño lactante. Este estudio determina en tejido muscular de bagre, la cantidad de mercurio semanal necesario para alcanzar la dosis máxima recomendada por la OMS para personas vulnerables. Las muestras fueron recolectadas en el río Meta, sector de Puerto López Meta. El mercurio se determinó por espectrofotometría de absorción atómica comparando con el patrón de referencia Dorm-4. Estadística descriptiva se aplicó con los datos de las medianas de mercurio obtenidas en los bagres y se calculó la ración de bagre para alcanzar la ingesta semanal tolerable provisional. Los resultados mostraron contaminación con mercurio en todas las muestras. Esto permite proponer para mujeres en estado de embarazo una ración semanal no mayor a 265 gramos de bagre rayado y de 90 gramos de dorado, siendo la mitad de esos valores para niños.

**Palabras clave:** Mercurio, pescado, salud pública, personas vulnerables.

**111**

## 1 Introducción

De acuerdo al Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, hasta el año 2015 se han emitido a nivel mundial más de 2200 toneladas de mercurio por fuentes antropogénicas; América del sur ocupó el segundo lugar (18%), siendo la minería de oro artesanal a pequeña escala (MAPE) con el 38% una fuente importante de contaminación en contribución a la emisión total de mercurio [1]; el 78,5% de las emisiones se originan en la zona de la Amazonía con una estimación de unas 200 toneladas/año de mercurio [2]. Es importante resaltar que cerca del 35% del mercurio producido por la MAPE del oro se libera a la atmósfera directamente y el resto contamina suelos, sedimentos, lagos y ríos [3]. El ciclo del mercurio, involucra su transformación en metilmercurio bioacumulación en peces ictiófagos y herbívoros, su posterior biomagnificación en peces carnívoros [4] y finalmente la exposición en los seres humanos, a través del consumo de pescado contaminado [5].

El comité mixto de la organización mundial de la salud (OMS/FAO) ha establecido el valor de 1,6 µg de metilmercurio/kg de peso corporal, como la ingesta semanal tolerable provisional (ISTP), un parámetro necesario para proteger el feto en desarrollo y al lactante de los efectos neurotóxicos del metilmercurio por consumo de pescado de la mujer embarazada. La cantidad de pescado que pueden consumir semanalmente las personas sensibles, depende de la clase de pescado (si es depredador biomagnifica más mercurio). En Colombia, no se ha determinado el valor específico de ISTP en las especies de bagres del orden Siluriforme; familia: Pimelodidae, entre los que se encuentran por sus nombres comunes, el bagre rayado, el baboso, el apuy, el barbiancho y el dorado entre otros [6], más comercializados en la parte alta del río Meta.

El objetivo de este trabajo fue determinar la ración de bagre semanal para alcanzar la ISTP en personas vulnerables, con el fin de generar recomendaciones y protegerlos del efecto neurotóxico del metilmercurio respecto a la ingesta de la especie de bagres más consumidos y comercializados en la región de la Orinoquia colombiana.

112

## 2 Metodología

En la época de verano entre enero y febrero del año 2023, se obtuvieron 48 muestras de bagres comunes de gran migración pertenecientes a: 14 muestras de bagre rayado, 10 muestras de b. baboso, 10 muestras de b. apuy, 11 muestras de b. barbiancho y 3 muestras de b. dorado, en el río Meta arriba

del municipio de Puerto López departamento del Meta. Se extrajeron trozos de tejido muscular eliminando la piel y se homogeneizaron 60 gramos, luego fueron almacenados en bolsas resellables y guardados en congelador a -15°C, hasta su posterior análisis.

El análisis de mercurio se realizó en un analizador directo de mercurio DMA-80, mediante espectrofotometría de absorción atómica con descomposición térmica y amalgamación. Para la calidad del método de análisis de este elemento se utilizó el patrón de referencia Dorm-4 de la NRC.

La ISTP se determinó mediante la fórmula establecida por la UNEP 2008, a partir de la mediana de las muestras y de la mayor concentración de mercurio (Ecuación 1).

$$\text{Ingesta semanal tolerable provisional } (\mu\text{g/kg} * \text{semana}) = C * R / PP$$

Donde: C = Concentración Hg ( $\mu\text{g/kg}$ );

R = Ración de pescado (g/semana);

PP = Peso promedio persona (kg)

Se aplicó estadística descriptiva a partir de gráficas de cajas para analizar el comportamiento de las medianas de la concentración de mercurio de las diferentes clases de bagres y comparar con la norma internacional en peces depredadores.

### 3 Resultados y Discusión

En la tabla 1 se pueden observar las porciones de pescado semanal para alcanzar el valor máximo permitido por el comité mixto de la OMS/FAO, calculadas con las medianas y el mayor valor de concentración de mercurio en cada especie de bagre, para resaltar el riesgo asociado en personas vulnerables.

Tabla 1. Medianas, rangos de concentraciones de mercurio y ración para alcanzar la ISTP de grupos vulnerables: mujer en edad fértil (peso corporal 60 Kg) y niños (30 Kg).

Espece pescado	N	Mediana y mayor valor de Hg de N ( $\mu\text{g/g}$ w/w)	Ración para alcanzar la ISTP (1.6 $\mu\text{g/kg}$ de peso corporal/semana) Mujer en edad fértil	Ración para alcanzar la ISTP (1.6 $\mu\text{g/kg}$ de peso corporal/semana) Niños
Pseudoplatystoma fasciatum	14	0.362 (0.154-0.595*)	265 g 161 g **	133 g 81 g **
Brachyplatystoma juruense	10	0.517 (0.189-0.807*)	186 g 119 g **	93 g 60 g **
Brachyplatystoma platynemum	10	0.492 (0.249-0.913*)	195 g 105 g **	98 g 53 g **
Pinirampus pirinampu	11	0.671 (0.412-1.86*)	143 g 52 g **	72 g 26 g **
Brachyplatystoma rousseauxii	3	1.07 (0.526-1.37*)	90 g 70 g **	45 g 35 g **

Nota \* muestra (N) con mayor valor de Hg \*\* Ración para alcanzar la ISTP de la muestra con el mayor nivel de Hg en cada especie analizada.

Teniendo en cuenta que el bagre rayado es uno de los peces más consumidos y comercializados en la región de la Orinoquia, las personas vulnerables, sólo podrían comer una ración de 265g por semana. El consumo semanal para las otras especies de bagres estudiados disminuye y en el caso del dorado es crítico, siendo recomendado para los niños y mujeres en estado de embarazo que se consuma como máximo una vez al mes. Lo anterior genera una contradicción entre el beneficio debido al valor nutricional de este alimento por sus proteínas, ácidos grasos poliinsaturados, micronutrientes [7] y el problema de salud pública por el riesgo de toxicidad con mercurio.

## 4 Conclusiones

114

La mediana de la concentración de mercurio determinada en las muestras de bagres estudiadas, no sobrepasa la norma internacional para peces depredadores, algunas muestran si representan un riesgo grande especialmente para la mujer embarazada, niños pequeños y lactantes, por lo que se recomienda a las autoridades locales de la región, establecer unas campañas de sensibilización, de orientación y de concientización en especial de los moradores de las riberas del río meta, para que hagan un consumo de pescado semanal teniendo en cuenta el valor ISTP con el fin de disminuir el riesgo de toxicidad

con mercurio. Se recomienda continuar con la determinación de este contaminante en otras especies de peces, en el agua y sedimentos para establecer las condiciones actuales y establecer una ruta de seguimiento de la contaminación de este metal pesado.

## References

- [1] UN Environment, 2019. Global Mercury Assessment 2018. UN Environment Programme, Chemicals and Health Branch Geneva, Switzerland. <https://www.unep.org/resources/publication/global-mercury-assessment-2018>
- [2] Crespo, M. L., Arrifano, G., Oliveira, M.A., Macchi, B.M., Lima, R., M. do Nascimento, J.L., Souza, C. Mercury in the Amazon: The danger of a single story. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 256, 114895, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2023.114895>
- [3] Telmer, K.H., Veiga, M.M. World emissions of mercury from artisanal and small scale gold mining and the knowledge gaps about them. *PlanetGold Resources*. (2008). Accessed on August 4, 2024: <https://www.planetgold.org/resources/telmer>
- [4] Hardy, A., Skrabal, S.A., Addison, L., Emslie, S.D. Biomagnification of mercury in an estuarine food web. *Marine Pollution Bulletin*, 205, 116604 (2024). <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2024.116604>
- [5] WHO/IPCS (1990): Methylmercury. Environmental Health Criteria No 101, World Health Organisation, International Programme on Chemical Safety (IPCS), Geneva, Switzerland, 1990. Accessed on August 7, 2024: [https://iris.who.int/bitstream/handle/10665/38082/9241571012\\_eng.pdf;sequence=1](https://iris.who.int/bitstream/handle/10665/38082/9241571012_eng.pdf;sequence=1)
- [6] Ajiaco Martínez, R, Ramírez Gil, H y Bolaños Briceño, J. (2015). La pesquería en bocas del Guayuriba, Alto Meta, Orinoquia Colombiana /. Villavicencio : Editorial Unillanos. Accessed on August 4, 2024: [https://www.researchgate.net/publication/311279403\\_Pesqueria\\_en\\_Bocas\\_del\\_Guayuriba\\_alto\\_rio\\_Meta\\_Orinoquia\\_colombiana](https://www.researchgate.net/publication/311279403_Pesqueria_en_Bocas_del_Guayuriba_alto_rio_Meta_Orinoquia_colombiana)
- [7] Prasanna M. B., Mahanty, A., Ganguly, S., Mitra, T., Karunakaran, D., Anandan, R. Nutritional composition of food fishes and their importance in providing food and nutritional security. *Food Chemistry*, 293, (2019). <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.11.039>

# HACIA LA AUTONOMÍA ENERGÉTICA FOTOVOLTAICA: UN ESTUDIO DE NECESIDAD

Neyer M. Carvajal<sup>1</sup>[0009-0009-7271-2625], Carlos A. Parada <sup>1</sup>[0009-0003-1670-2795], Jhon H. Díaz<sup>1</sup>[0009-0002-4887-7111], Angie P. Rique.<sup>and</sup> Jairo C. Gómez<sup>1,2</sup>[0000-0001-5857-8751]

<sup>1</sup> Corporación Internacional para el Desarrollo Educativo, Bogotá D.C, Colombia <sup>2</sup> Fundación Universitaria Compensar, Facultad de Ingeniería. Grupo de Investigación en Ingenierías GIIS, Bogotá D.C, Colombia

neyer.carvajal862@cide.edu.co

**Resumen.** Este trabajo presenta el diseño e implementación de un sistema fotovoltaico autónomo para la iluminación de la cancha mixta en la sede de Rionegro del Centro Internacional para el Desarrollo Educativo (CIDE). A través de un levantamiento arquitectónico y análisis lumínico, se determinó que cuatro lámparas LED de 100W distribuidas estratégicamente proporcionan la iluminación necesaria. El sistema fotovoltaico, compuesto por paneles solares, baterías, inversores y controladores, fue dimensionado para asegurar una autonomía de 4 horas de iluminación. Más allá de solucionar las deficiencias de iluminación, el proyecto ofrece una valiosa oportunidad de formación práctica para los estudiantes de ingeniería eléctrica, fortaleciendo sus conocimientos en energías renovables y eficiencia energética.

**Palabras clave:** Energías renovables, Formación práctica, Iluminación LED, Sistema fotovoltaico autónomo, Sostenibilidad.

**116**

## 1 Introducción

La creciente demanda de energía y la necesidad apremiante de reducir la huella de carbono han impulsado a las instituciones educativas a adoptar soluciones sostenibles para sus operaciones[1]. El Centro Internacional para el Desarrollo Educativo (CIDE), consciente de esta realidad, se ha propuesto dar pasos firmes hacia la transición energética en sus sedes. Uno de los principales desafíos que enfrenta CIDE es la iluminación de las instalaciones deportivas, que representan una porción significativa del consumo eléctrico

de la institución. La cancha de fútbol y baloncesto en la sede de Rionegro, en particular, pues debido a la naturaleza formativa inicial de la institución, no se contempló la necesidad de iluminación nocturna; pues es solo se tenía jornada diurna. Contrario al momento actual, pues se tiene jornada nocturna constante. Con el objetivo de abordar esta problemática, CIDE ha emprendiendo el proyecto “Paneles Solares y Autonomía Energética: Un aporte del CIDE a la sociedad y la educación”. Este ambicioso plan busca lograr la máxima autonomía energética de la institución mediante la implementación de sistemas de energía renovable basados en paneles solares. La fase inicial de este proyecto, objeto de este trabajo, se enfoca en la instalación de un sistema de iluminación LED alimentado por energía solar en las canchas deportivas de la sede de Rionegro.

Más allá de los beneficios energéticos y ambientales, esta iniciativa tiene como objetivo brindar una valiosa oportunidad de formación práctica a los estudiantes de ingeniería eléctrica. Al involucrarse activamente en el diseño, instalación y operación del sistema fotovoltaico, se busca fortalecer sus conocimientos y habilidades en el campo de las energías renovables y la eficiencia energética, preparándolos para los desafíos del mercado laboral actual. Este documento detalla el proceso de análisis del sistema de iluminación LED alimentado por energía solar en las canchas deportivas de la sede de Rionegro, abordando aspectos como el levantamiento arquitectónico, el análisis lumínico, el dimensionamiento del sistema fotovoltaico y la participación de los estudiantes. Además, se presenta un análisis técnico de la solución propuesta, resaltando su viabilidad y los beneficios que aporta a la institución y a la comunidad educativa.

## 2 Metodología

Para el desarrollo de este proyecto, se llevó a cabo un análisis minucioso de las características técnicas y dimensionales de la cancha deportiva ubicada en la sede de Rionegro del CIDE, con el fin de determinar los requerimientos lumínicos y diseñar un sistema fotovoltaico autosuficiente. En primera instancia, se realizó un levantamiento arquitectónico detallado de la cancha, utilizando herramientas de modelado 3D que permitieron obtener las dimensiones precisas del área a iluminar. La cancha cuenta con un perímetro aproximado de 75 metros y un área total de 237 m<sup>2</sup> (Ver figura 1).

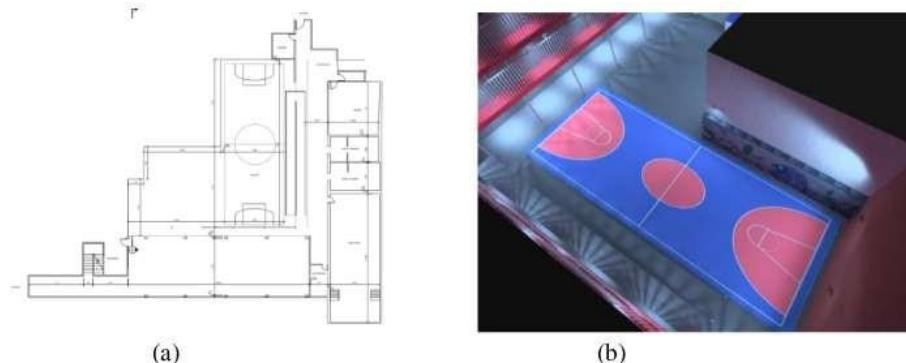


Fig 1. Planos arquitectónicos (a) 2D Planta 1 (b) 3D centrado en la cancha.  
Fuente: Los autores

Posteriormente, se efectuó un análisis lumínico exhaustivo, teniendo en cuenta las normativas locales establecidas en el Reglamento Técnico de Iluminación y Alumbrado Público (RETI LAP) [2]. Según los requisitos del RETI LAP, la iluminación mínima requerida para canchas de uso deportivo recreativo es de 60 lux (Ver figura 2) [3]. Tras el análisis de las necesidades lumínicas, se seleccionaron lámparas LED de 100 watts como la opción más adecuada. Estas luminarias LED se caracterizan por su alta eficiencia energética, larga vida útil y excelente calidad de iluminación, garantizando una distribución uniforme de la luz en la cancha.

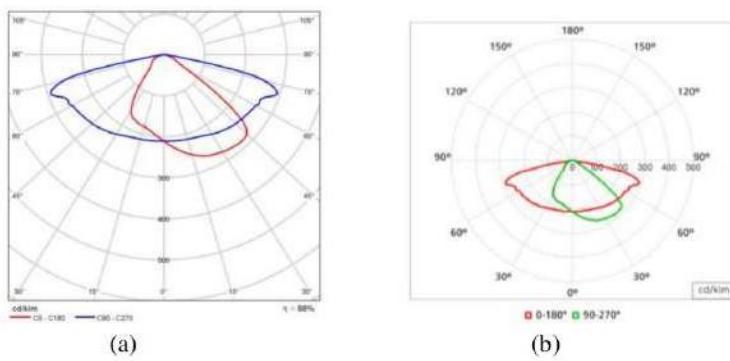


Fig. 2. Diagrama Polar de Intensidad (a) Mediante calculo teórico (b) Philips LED70 - 4S/722

**118**

Partiendo de los requerimientos de iluminación establecidos, se procedió al dimensionamiento del sistema fotovoltaico necesario para alimentar el sistema de iluminación LED. Considerando que se requieren 4 luminarias LED de 100 watts cada una, la potencia total del sistema de iluminación sería de 400 watts. Teniendo en cuenta un factor de seguridad del 50%, la potencia total del sistema fotovoltaico se estableció en 600 watts.

Además, se estimó un tiempo de funcionamiento diario de 5 horas, lo que

resulta en un consumo energético total de 3 kWh por día. Con base en el cálculo de la demanda energética, se seleccionaron los siguientes componentes para el sistema fotovoltaico: un panel solar monocristalino de 550 watts, un controlador de carga MPPT de 24V a 40A, un inversor monofásico de onda pura de 500 watts, y dos baterías solares de gel de 12V – 100Ah.

Según el análisis realizado utilizando la plataforma web de la NASA “Prediction of Worldwide Energy Resources” (POWER), la ciudad de Bogotá, donde se ubica la sede de Rionegro del CIDE, presenta un potencial de radiación solar significativo, con un promedio entre 4.5 kWh/m<sup>2</sup> y 7.5 kWh/m<sup>2</sup> durante el año, siendo los meses de diciembre y enero los más favorables al alcanzar valores de hasta 7.5 kWh/m<sup>2</sup>. Adicionalmente, el estudio determinó que la mejor ubicación para los paneles solares sería con una orientación hacia el sur y una inclinación de aproximadamente 7 grados, configuración que permite aprovechar de manera eficiente la trayectoria solar a lo largo del día y las variaciones estacionales, optimizando así la generación de energía fotovoltaica.

Con base en estos datos, se garantizó que el sistema fotovoltaico diseñado contará con la capacidad suficiente para satisfacer los requerimientos de iluminación de la cancha deportiva, asegurando una autonomía de 4 horas de funcionamiento.

### 3 Resultados y Discusión

El análisis lumínico realizado demostró que la distribución estratégica de cuatro lámparas LED de 100 watts es suficiente para cubrir la cancha de manera uniforme y cumplir con los requisitos mínimos de iluminación establecidos en el RETILAP. Por otro lado, el sistema fotovoltaico dimensionado, con una capacidad instalada de 600 watts, un controlador de carga MPPT, un inversor de onda pura y dos baterías solares de gel cuenta con la capacidad suficiente para satisfacer los requerimientos de iluminación de la cancha deportiva, asegurando una autonomía de 4 horas de funcionamiento.

**119**

Es importante resaltar que, a la fecha, la institución ha logrado adquirir aproximadamente el 50% de los insumos requeridos para la implementación del sistema fotovoltaico, incluyendo el panel solar, el controlador de carga y una de las baterías. Este avance representa un logro significativo y sienta las bases para la continuidad del proyecto. Los componentes faltantes, como el segundo banco de baterías, el inversor y las luminarias LED, se encuentran en proceso de adquisición, con el objetivo de completar la instalación en el corto plazo.

Además del cumplimiento de los objetivos técnicos, este proyecto ofrece una valiosa oportunidad de formación práctica para los estudiantes de ingeniería eléctrica de la institución. Al involucrarlos activamente en el diseño, instalación y operación del sistema fotovoltaico, se fortalecen sus conocimientos y habilidades en el campo de las energías renovables y la eficiencia energética, preparándolos para los desafíos del mercado laboral actual.

## 4 Conclusiones

La implementación de un sistema de iluminación fotovoltaico para la cancha mixta de la sede de Rionegro del CIDE es una solución viable y beneficiosa en términos energéticos y educativos. El análisis técnico, incluyendo el levantamiento arquitectónico, el estudio lumínico y el dimensionamiento del sistema fotovoltaico, demostró la factibilidad de la propuesta. El uso de la plataforma web de la NASA "Prediction of Worldwide Energy Resources" (POWER) permitió determinar con precisión el potencial de radiación solar en la zona, respaldando la viabilidad de un sistema fotovoltaico autosuficiente. Además, la orientación e inclinación óptima de los paneles garantiza la máxima captación de energía solar. Este proyecto también ofrece una valiosa oportunidad de formación práctica para estudiantes de ingeniería eléctrica en energías renovables y eficiencia energética.

## References

- [1] R. Aghamolaei and M. Fallahpour, "Strategies towards reducing carbon emission in university campuses: A comprehensive review of both global and local scales," *J. Build. Eng.*, vol. 76, no. March, p. 107183, 2023, doi: 10.1016/j.jobe.2023.107183.
- [2] Ministerio de Minas y Energía, "Por la cual se modifica el Reglamento Técnico de Iluminación y Alumbrado Público – RETILAP" LIBRO 1 ASPECTOS GENERALES, no. May. Bogotá D.C, 2024. [Online]. Available: [https://www.minenergia.gov.co/documents/11685/01\\_Libro\\_1\\_RETILAP\\_2024\\_Rev\\_Final\\_WEB.pdf](https://www.minenergia.gov.co/documents/11685/01_Libro_1_RETILAP_2024_Rev_Final_WEB.pdf).
- [3] Ministerio de Minas y Energías, "Por la cual se modifica el Reglamento Técnico de Iluminación y Alumbrado Público-RETILAP" MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA LIBRO 3 INSTALACIONES DE SISTEMAS DE ILUMINACIÓN, no. May. Bogotá D.C, 2024. [Online]. Available: [https://www.minenergia.gov.co/documents/11687/03\\_Libro\\_3\\_RETILAP\\_2024\\_Rev\\_Final\\_WEB.pdf](https://www.minenergia.gov.co/documents/11687/03_Libro_3_RETILAP_2024_Rev_Final_WEB.pdf).

# EL DISEÑO DE PRODUCTO DESDE LAS CIENCIAS BÁSICAS E INGENIERÍA

Giovanni Díaz Valencia 1, and Alberto Alfonso Villarraga-Baquero 1

1 Universidad Antonio Nariño, km1 vía puerto López, Villavicencio, Colombia

gdiaz32@uan.edu.co

**Resumen.** El presente documento ofrece una síntesis del proceso de diseño, cálculo y manufactura de un vehículo eléctrico unipersonal, utilizando componentes estandarizados adquiridos de proveedores nacionales. Este vehículo fue construido como un ejercicio de desarrollo de producto base, dentro del marco de ajuste de metodologías, procesos y condiciones reales para la fabricación posterior de un prototipo de automóvil. Este prototipo servirá como plataforma de prueba para la implementación de nuevas tecnologías en sistemas de propulsión con energías alternativas, alineándose con los objetivos de desarrollo sostenible actuales.[1][2] . . .

**Palabras clave:** Vehículos Eléctricos, Manufactura de Vehículos, Optimización de Procesos, Manufactura Sostenible, Propulsión con Energías Alternativas, Celdas de Combustible de Hidrógeno, Tecnología de Baterías, Prototipado de Automóviles, Eficiencia Energética

## 1 Introducción

El desarrollo de un nuevo producto puede abordarse desde la concepción de componentes como elementos de diseño y construcción exclusiva, lo que implica costos elevados en manufactura y tecnología, o a través de la adquisición de la mayoría de los componentes de proveedores en el mercado local. Este último enfoque resulta en un producto más fácil de replicar, en el que solo los componentes del marco o chasis y la carrocería se manufacuran completamente *in situ*.[3] Independientemente del camino elegido, el uso adecuado de las matemáticas es crucial para obtener un resultado satisfactorio desde la perspectiva de las ciencias exactas. A partir de las Ciencias Básicas, como la física, las matemáticas y la estadística, se realizaron los cálculos necesarios para determinar las capacidades y dimensiones de los componentes estructurales que soportan las cargas y condiciones de uso del vehículo.[6]

Desde las ingenierías, como la electrónica, la ambiental y la de procesos, se

121

desarrollaron los procedimientos y sistemas que, integrados en el vehículo, permitieron conformar los elementos de control y comunicación propios de un producto de este tipo.[7]

Asimismo, desde la gestión ambiental y energética, se buscó alinear el proyecto con las políticas de desarrollo y administración adecuada de recursos, proponiendo soluciones en un entorno que demanda cada vez más alternativas que impacten de manera positiva los recursos disponibles.

## 2 Metodología

Para el desarrollo y manufactura del vehículo eléctrico unipersonal, se siguieron las siguientes fases:

### Análisis de Materiales y Componentes Fabricados

En esta fase, se identificaron los componentes que requerían fabricación específica para el producto final, como el marco o chasis, partes de la suspensión, la carrocería y el poste del timón. Se realizó un análisis detallado del material, forma, calibre y tolerancias de estos componentes, basados en cálculos matemáticos y en las restricciones de diseño impuestas. Este análisis fue crucial para asegurar la integridad estructural del vehículo y el cumplimiento de las especificaciones técnicas.

### Selección y Verificación de Componentes Comerciales

Los componentes adquiridos a proveedores nacionales fueron seleccionados basándose en su disponibilidad en el mercado local y en las restricciones de diseño impuestas. En esta fase, se revisaron las fichas técnicas correspondientes para verificar las capacidades ofrecidas y asegurar que los componentes seleccionados cumplían con los requisitos de tamaño y funcionalidad establecidos en el diseño.

122

### Integración y Ensamblaje

En esta etapa, los componentes fabricados y comerciales fueron ensamblados siguiendo los procedimientos y metodologías establecidos en las fases anteriores. El ensamblaje del vehículo fue realizado *in situ*, permitiendo ajustes precisos en la manufactura para garantizar que todas las partes encajaran correctamente y cumplieran con los estándares de calidad requeridos.[8]

## Pruebas y Ajustes

Las pruebas realizadas al vehículo eléctrico unipersonal, que evaluaron su capacidad de carga y eficiencia energética, fueron documentadas en video. Puede acceder al video de las pruebas en YouTube para una visualización detallada del proceso [4].

## Evaluación y Documentación

Se realizó una evaluación exhaustiva del proceso de diseño y manufactura, documentando tanto los hallazgos como las mejoras implementadas. Esta evaluación proporcionó una base sólida para futuras iteraciones del proyecto, con un enfoque en la fabricación de un prototipo de automóvil destinado a servir como plataforma de pruebas para tecnologías de propulsión alternativas. El video que detalla esta evaluación está disponible en YouTube [5].

## 3 Resultados y Discusión

El proyecto culminó en la manufactura exitosa de un vehículo eléctrico unipersonal de transporte, que cumple con los requisitos establecidos al inicio del proyecto. Estos requisitos incluyen aspectos clave como la forma, capacidad de carga, velocidad, ergonomía, similitud con el modelo propuesto, y el cumplimiento de la normatividad vigente. La Figura 1 muestra el diseño final del vehículo, así como la optimización de los procesos de manufactura.



(a) Diseño final del vehículo eléctrico unipersonal.



(b) Optimización de procesos en la manufactura del vehículo de pruebas.

123

Fig. 1. Comparación entre el diseño final del vehículo y la optimización de procesos en la manufactura.

Además de cumplir con las especificaciones de diseño, se optimizaron los procesos y procedimientos relacionados con la manufactura. Estas mejoras incluyeron la incorporación de un nivel adecuado de tecnología y detalles en los accesorios, lo que preparó el terreno para la siguiente fase del proyecto: la manufactura de un vehículo de pruebas.

En esta fase inicial, se fabricó un prototipo de automóvil diseñado como plataforma de pruebas. Este prototipo está destinado al desarrollo y validación de nuevas tecnologías de propulsión basadas en energías alternativas, tales como el filtrado de gases de escape, la generación de hidrógeno por electrólisis, y la visualización del entorno mediante realidad aumentada. La Figura 2 presenta diferentes vistas de este prototipo.



(a) Prototipo del vehículo como plataforma de pruebas para nuevas tecnologías (primera vista).



(b) Prototipo del vehículo como plataforma de pruebas para nuevas tecnologías (segunda vista).

Fig. 2. Vistas del prototipo del vehículo como plataforma de pruebas para nuevas tecnologías.

## 4 Conclusiones

### 4.1. Producto

124

Se ha demostrado que es factible la manufactura completa de un vehículo de transporte unipersonal en planta, cumpliendo con las especificaciones de diseño, la incorporación de accesorios necesarios, y las normativas legales vigentes. Este logro subraya la capacidad de producir vehículos que no solo satisfacen criterios técnicos, sino que también se alinean con los estándares regulatorios.

## 4.2. Proceso

Los resultados obtenidos indican que todos los procesos involucrados en la manufactura de un vehículo con características técnicas específicas pueden llevarse a cabo de manera integral en las instalaciones destinadas para este propósito. Esto confirma la viabilidad operativa y la eficiencia del proceso de producción dentro del entorno de manufactura establecido.

## 4.3. Proyecto

El proyecto ha demostrado que es posible generar conocimiento científico significativo en el área de estudio, siempre que se disponga de los recursos adecuados para llevar a cabo la investigación pertinente. La viabilidad de este enfoque permite avanzar en el desarrollo de innovaciones tecnológicas y en la profundización del conocimiento en el campo específico abordado.

# References

- [1] Guzzella, L., Sciarretta, A.: *Vehicle Propulsion Systems: Introduction to Modeling and Optimization*. Springer, Berlin, Germany, 2nd edn. (2007)
- [2] Husain, I.: *Electric and Hybrid Vehicles: Design Fundamentals*. CRC Press, Boca Raton, FL, 2nd edn. (2011)
- [3] Larminie, J., Lowry, J.: *Electric Vehicle Technology Explained*. Wiley, Chichester, UK, 2nd edn. (2012)
- [4] Leal, F.: Vid 20160420 150907 edit 0 1. YouTube (September 2016), <https://youtu.be/ysVL0esR6xY>, [Video]
- [5] Leal, F.: Vid 20160420 150907 edit 0 1. YouTube (September 2016), <https://youtu.be/ysVL0esR6xY>, [Video]
- [6] Liu, F., Yang, Y.: Recent advances in electric vehicle powertrain and energy management. *Energy Reports* 5, 260–272 (2019). <https://doi.org/10.1016/j.egyr.2019.04.001>
- [7] Smith, J.A.: Optimization of Manufacturing Processes in Electric Vehicle Production. Ph.D. thesis, University of Michigan, Ann Arbor, MI (2016)
- 8. Zhang, Q., Li, Z.: Innovations in electric vehicle manufacturing for improved sustainability. In: *Proceedings of the IEEE International Conference on Industrial Technology*. pp. 1234–1240. IEEE (2017). <https://doi.org/10.1109/ICIT.2017.7915483>

# MODELO DE ENRUTAMIENTO PARA LA RECOLECCIÓN DE PEDIDOS EN UN ALMACÉN CONVENCIONAL CON LÍNEAS DE DOS BLOQUES IGUALES, MEDIANTE LOS ALGORITMOS HEURÍSTICOS S-SHAPE Y LA BRECHA MÁS GRANDE

Vlakxmir Robles1 [0000-0002-0335-7932] , Javier Arias 2[0000-0001-6149-556], Leididy Aparicio Macias 3 and Ayra Valentina Chaparro Quintero 4

1 Universidad Industrial de Santander 2 Universidad Industrial de Santander, 3 Universidad Industrial de Santander, 4 Universidad Industrial de Santander.

[VLAKXMIR.ROBLES@correo.uis.edu.co](mailto:VLAKXMIR.ROBLES@correo.uis.edu.co)

**126**

**Resumen.** this document makes a routing model with variations in the number of pickers , a single repository and ABC classification is of the NP-hard type by heuristic methods s-shape and the largest gap, which depend on the problem and the result in most cases is not optimal, however, according to the literature review When comparing the exact methods with heuristics, the documents found affirm that the feasible solutions are better than the optimal solutions and compare the algorithms finding feasible solutions of minimum distances with a conventional warehouse with lines of two equal blocks. As a result, it appears that the distance obtained with the s-shape heuristic with respect to the largest gap is smaller for the three sizes of both warehouses and orders. Regarding the analysis of variance of the small warehouse, it is evident that the factor (type of storage) ABC or NOT ABC, is not

significant in the distance and for the heuristic factors shape and the largest gap, it is significant in the distance. For the median warehouse, the factor (type of storage) ABC or NO ABC, is not significant in the distance and as for the heuristic factor s-shape and the largest gap, it is significant in the distance, and there is a relevant difference between the average distances taking into account the heuristics. In the large warehouse, the factor (type of storage) ABC or NOT ABC, is not significant in the distance, but in the heuristic factor s-shape and the largest gap, it is significant in the distance, and there is a relevant difference between the average distances.

**Palabras clave:** Routing, order picking, logistics, algorithms, S-shape and the biggest gap.

## 1 Introducción

En Colombia el e-commerce experimentó un crecimiento en el 2020 en respuesta a las medidas de confinamiento establecidas (Toro,2020). Al aumentar las ventas online, se generan desafíos sobre los sistemas de distribución, como el de mantener e incluso mejorar los tiempos de entrega.

El costo del picking en una bodega es de aproximadamente el 60% de los costos operativos totales del almacén (Tompkins et al.,2003). Por lo tanto, es importante tener en cuenta los diferentes diseños de almacenes convencionales tales como: almacén de una cuadra que contiene solo dos pasillos transversales, en la parte delantera y trasera, a su vez el almacén de dos bloques la cual cuenta con un pasillo transversal que pasa por el centro del depósito.

En la presente investigación se trata el enrutamiento teniendo en cuenta variaciones en el número de pickers, un único depósito y clasificación ABC es de tipo NP-hard (Weidinger, Boysen y Schneider, 2019) por la variedad de productos almacenados ubicados en un número variable de estantes y en posiciones distintas dentro de ellos, provocando así, múltiples rutas posibles por las que puede optar el selector, así como múltiples alternativas de depósito.

## 2 Revisión de literatura

Debido a la pandemia, se fortalecieron las ventas online lo que da lugar a cambios en la preparación de pedidos siendo esta una operación crítica, diversos estudios han revelado que la recolección de órdenes es la actividad más costosa de una bodega o centro de distribución típico, pues representan el 65% de los costos operativos y el 50% de la fuerza de trabajo (Jiménez, 2013), sin embargo una política de preparación de pedidos diseñada adecuadamente puede minimizar tanto los costos de picking como los de logística en general

Las empresas toman decisiones sobre el diseño y el control de los sistemas de preparación de pedidos a nivel táctico u operativo. Estas decisiones comunes son en los centros de distribución y en los almacenes que pueden ser clasificados según su relación con el flujo de producción, ubicación, el material a almacenar, localización, logística y el enrutamiento de los selector(es), los costos obligan a utilizar el espacio de almacenamiento de manera más eficiente, de modo que se han desarrollado diversas maneras de asignar los productos a sus lugares de almacenamiento en los centros de distribución, tales como: almacenamiento dedicado (De Koster y Neuteboom, 2001), almacenamiento aleatorio (Choe y Sharp, 1991; Vidal, 2009), almacenamiento abierto (De Koster, Duc y Roodbergen, 2007) y (Hausman, Schwarz y Graves 1976), almacenamiento de acuerdo con su rotación (Vidal, 2009), almacenamiento basado en clases (Vidal, 2009), familias de agrupación (Koster et al., 2007) y, operaciones de recolección de órdenes (Picking) (Ratliff y Rosenthal, 1982) (Jiménez, 2013, generalidades en los centros de distribución, párr.2), para resolver los diferentes problemas encontrados por los autores, en la literatura se han propuesto tres tipos generales de algoritmos:

Los algoritmos exactos siempre encuentran una óptima (es decir, la ruta más corta) a un problema de ruta del recolector de pedidos; las heurísticas son algoritmos dependientes del problema construidos de acuerdo con sus especificaciones, y el resultado en la mayoría de los casos no es óptimo (Sørensen, 2015). Las metaheurísticas son algoritmos independientes del problema de alto nivel que proporcionan un conjunto de pautas o estrategias para encontrar una solución aproximada al problema (Sørensen, 2015).

Según Koster, R., y Der Poor, E., (1998), quienes estudian el problema de encontrar rutas eficientes de selección de pedidos tanto para almacenes, donde los recolectores tienen un depósito central para cosecha y depositar carros y listas de selección, y modernos almacenes, donde los camiones de preparación de pedidos pueden recoger y depositar paletas en la cabecera de cada

pasillo sin regresar al depósito, ampliaron el conocido algoritmo polinomial de Ratliff y Rosenthal que consideró almacenes con un depósito central, esta solución ofrece una reducción del tiempo de viaje por ruta de entre un 7 y un 34% dependiendo en gran medida de la disposición y el funcionamiento del depósito

En el artículo publicado por Onut et al., (2008), utilizaron un método de solución metaheurístico el cual se enfoca en el diseño del almacén y por consiguiente el tipo de distribución que es un factor importante a la hora de minimizar las rutas y costos de la operación en general. Una de las contribuciones del modelo propuesto es mejorar el diseño del almacén bidimensional (Bassan et al., 1980) al diseño de almacén de niveles múltiples considerando una estrategia de almacenamiento basada en clases que incluye tres tipos de productos paletizados, a saber, A, B y C los autores exponen que la principal dificultad para resolver este tipo de problemas de diseño es luchar con la no linealidad en las variables y las limitaciones para encontrar una solución óptima, a su vez, dado que se demostró que el modelo propuesto era NP-hard, proponen cómo solución utilizar un algoritmo novedoso PSO que genera soluciones casi óptimas en poco tiempo.

En el año 2010 se vuelve a aplicar el método metaheurístico antes mencionado en este caso para evitar la congestión entre recolectores que tiene como fin minimizar las rutas y por consiguiente los costos implementados en el proceso económico, en el texto de Chen et al., (2013), buscan desarrollar un método de enrutamiento para controlar la congestión del recolector que desafía la suposición tradicional con respecto al sistema de preparación de pedidos de pasillo estrecho. Proponen un nuevo algoritmo de enrutamiento basado en Ant Colony Optimization (ACO), también analizan los impactos del diseño del almacén, el tamaño del pedido y la relación pick-time-walk time en A-TOP y el rendimiento del sistema. A-TOP puede adaptarse a diferentes configuraciones de almacén. Los autores afirman que el tiempo medio de preparación y el tiempo medio de espera de dos preparadores de pedidos se seleccionan como criterios de rendimiento.

---

 129

Ardjmand et al., (2018), desarrolló la asignación de pedidos, la preparación de pedidos por lotes y el enrutamiento de los recolectores en un gran almacén de preparación de oleadas de una importante empresa de logística de terceros de EE. UU, desarrollaron un modelo matemático para el problema y se propusieron dos algoritmos (LD PSO y PSA-ACO) para resolver el modelo. Se observó que el LD-PSO es más efectivo en términos de tiempo de cálculo y el PSA-ACO supera a todos los demás algoritmos en términos de calidad de la solución y es bastante confiable para problemas a gran escala observados

en el almacén. Shetty, et al., (2020), proponen un enfoque simple pero efectivo que se basa en la formulación de un problema de generación de rutas de vehículos (VRP) siendo el objetivo de este estudio proponer una política de enrutamiento que minimice el tiempo / distancia total de viaje en el proceso de preparación de pedidos, lo que a su vez minimiza los costos operativos generales. Los autores lo lograron mediante optimización y simulación, seguido de análisis estadísticos y los resultados obtenidos muestran que el enfoque propuesto basado en VRP supera a los métodos de brecha más grande en forma de S, retorno, punto medio.

### 3 Metodología

#### Definir las características del problema

- Seleccionar e identificar el diseño de almacén más utilizado para la recolección de pedidos
- Decidir la cantidad de recolectores que realizarán la recolección de pedidos
- Determinar el número de depósitos a utilizar para la recolección de pedidos
- Adaptar un modelo matemático
- Adaptar un modelo que represente el problema de recolección de pedidos teniendo en cuenta

Función objetivo: Minimizar las distancias totales en las rutas de los recolectores. Variables de decisión

- Número de recolectores
- Ruta para la recolección de pedidos utilizando la clasificación ABC.
- Pedidos Heterogéneos o homogéneos.
- Capacidad de los recolectores

#### Restricciones

- Metros cuadrados del almacén
- Capacidad máxima del recolector
- Único deposito
- Ancho de los pasillos
- Establecer hipótesis y probar su veracidad con el lenguaje de programación Python
- Hacer comparaciones de los datos obtenidos entre los algoritmos S-Shape y la brecha más grande.
- Ajustar el modelo matemático

#### Definir y desarrollar los algoritmos

- Selección de los algoritmos entre los ya existentes identificados en la revisión de literatura relacionada con el problema de recolección de pedidos

#### Evaluar los algoritmos

- Buscar instancias en las que se haya abordado el problema de enrutamiento

to para hacer contraste con el modelo adaptado.

- Probar el algoritmo por medio del software de programación Python.
- Comparar las soluciones factibles teniendo como criterio los tiempos de cómputo y las mínimas distancias.

## 4 Modelo matemático

Se considera un almacén convencional de dos bloques iguales con un único depósito, donde se van a hacer variaciones en el número de recolectores, los cuales transportan los artículos demandados por medio de carros teniendo en cuenta la capacidad máxima, con respecto al tipo de almacenamiento se lleva a cabo la clasificación ABC, según la empresa Mecalux (2020) afirma que la clasificación ABC consiste en organizar la distribución de las distintas mercancías dentro del almacén a partir de su relevancia para la empresa, de su valor y de su rotación. Con este sistema se prioriza la adquisición y colocación de los productos no por su volumen o cantidad, sino por el aporte económico que suponen para las empresas. Las referencias se clasifican en tres niveles:

### **(1) Artículos con rotación A:**

Ocupan el 20% de los inventarios, con alta rotación y, por tanto, tienen una importancia estratégica, las referencias A son los productos en los que la empresa tiene invertido más presupuesto y generan el 80% de los ingresos, a la hora de ubicar estas referencias en el almacén, tienden a situarse en zonas bajas, de acceso directo y fácil para el operario.

### **(2) Artículos con rotación B:**

Comprenden la franja de rotación media y suelen representar, en cantidad, el 30% de los inventarios, estos artículos se renuevan con menos velocidad, por lo que su valor y relevancia es menor frente a los productos A, en el almacén, se ubican en zonas de altura intermedia cuyo acceso no es tan directo como en las posiciones que ocupan los productos A, pero tampoco resultan ser las más inaccesibles.

### **(3) Artículos con rotación C:**

En su conjunto, los productos C son los más numerosos, llegando a suponer el 50% de las referencias almacenadas. Sin embargo, también son los menos demandados, en la instalación de almacenaje, como se necesita acceder a ellos de manera esporádica, ocupan las zonas más altas o menos accesibles. El problema reside en la programación para un conjunto de  $P$  pedidos  $p = \{1, 2, \dots, p\}$ , donde los productos están ubicados en un conjunto  $V$  de posiciones  $V = \{1, 2, \dots, v\}$  dentro del almacén y son almacenados en un conjunto  $S$  de SKU o unidades de almacenamiento  $S = \{1, 2, \dots, s\}$ .

**131**

Considerando el impacto del costo en tiempo de desplazamiento en la operación de un almacén y el costo de encontrar la solución más factible, se han desarrollado técnicas heurísticas que permiten organizar la ruta para la recolección de pedidos de una orden que ayudan a disminuir el tiempo de recorrido (Scholz, Schubert, & Wäsher, 2017).

Las dos heurísticas que se utilizan en esta investigación son las siguientes:

- **S-shape**

La estrategia en forma de S también se llama estrategia transversal conduce a una ruta en la que los pasillos, que deben ser visitados se recorren completamente. Se omiten los pasillos donde no hay nada que recoger. El recolector ingresa así a un pasillo desde un extremo y sale del pasillo desde el otro extremo, comenzando en el lado izquierdo del almacén. Después de elegir el último artículo, el preparador de pedidos regresa al frente del pasillo. (Vargas et al., 2020).

- **La brecha más grande**

Se recorre completamente el primer y último pasillo que contengan productos a recolectar. El recolector recorre los otros pasillos sin atravesar el mayor espacio entre cada par de productos vecinos a recoger dentro del mismo pasillo, a este espacio se le conoce como la brecha más grande. (Vargas et al., 2020).

**Formulación del problema**

**Índices**

Los índices del modelo son:

K: conjunto de SKU

O: número de órdenes de pedido

s: depósito

i: posición actual del recorrido

v: posición inicial de alistamiento del pedido

**Parámetros**

P: conjunto de ítems existentes en el almacén

L: conjunto de localizaciones

Pos: conjunto de posiciones de almacenamiento

B: capacidad de carro de picking

yy: número de elementos almacenados en la posición de almacenamiento

vaos : cantidad de artículos de SKU s exigido por orden O.

Dij: Distancia entre las posiciones i y j

T: conjunto de carros o recolectores disponibles

**Consideraciones**

- Se establece una cantidad de carros suficiente para recolectar todas las órdenes (Pascual,2019).
- La orden puede estar compuesta por varios ítems; pero en ningún caso puede superar la capacidad del carro (Pascual,2019).

- Se considera un almacén convencional con dos bloques iguales compuesto de pasillos rectos con estanterías de almacenaje que se apilan a su vez verticalmente en distintas alturas, considerando un almacenamiento (ABC) (Pascual,2019).
- Cada recolector se le asigna un único carro, es decir que recolector es igual a carro (Pascual,2019).
- El carro tendrá una capacidad fija, independientemente de la forma o tamaño de los ítems (Pascual,2019).
- Se considera dato todo aquello que define el problema que se pretende abordar. Para el problema trabajado se definen los siguientes datos y conjuntos de datos:
  - Conjunto P: hace referencia al conjunto de productos existentes en el almacén.
  - Conjunto L: hace referencia al conjunto de localizaciones (posiciones en el centro del pasillo) desde las cuales el recolector puede alcanzar una serie determinada de productos ubicados a ambos lados.
  - En el grafo que define el problema, los nodos serán un conjunto compuesto de dicho conjunto de localizaciones L además de:
    - El nodo origen, representado como {s}, que será punto de partida y de retorno para todos los carros utilizados
    - Una serie de localizaciones artificiales LA, que conectan los nodos del conjunto L para formar el layout del almacén, pero desde los cuales no se alcanza ningún producto. Representa los cruces de pasillos y/o subpasillos
    - Los nodos, también denominados vértices, que componen el grafo son los siguientes (Pascual,2019, Conjunto de datos del problema, párr.8).

$$V = \{L, LA, s\} \quad (1)$$

- Conjunto Pos: hace referencia al conjunto de posiciones de almacenamiento (ABC), donde se almacenan, o no, productos. Desde cada localización L se podrán alcanzar un subconjunto de posiciones.
- Conjunto O: hace referencia al conjunto de órdenes que se reciben por parte de los clientes y de las cuales deben recogerse todos los productos que las componen. Se representará mediante el índice 'o', es decir, PO será el subconjunto de productos P que componen el pedido o, y a su vez LO representará el subconjunto de localizaciones L desde las que se alcanzan todos los PO.
- Dij: hace referencia a la distancia que hay entre el nodo i y el nodo j del grafo, es decir, distancias entre posiciones consecutivas del almacén. Esta matriz de datos es la que define el Layout del almacén. Se trata de una matriz simétrica, ya que para cada arco i-j existe otro arco j-i tal que  $d_{ij} = d_{ji}$ . Todas las distancias han de ser positivas o cero en caso de que no exista conexión entre los nodos implicados (Pascual,2019, Conjunto de datos del problema, párr.11).

- Parámetro B: Capacidad de los carros, es decir, el peso máximo que pueden almacenar en un mismo recorrido, carro o recolector.
- Conjunto T: hace referencia al conjunto de carros o recolectores disponibles. Se representa mediante el índice 't'.

$$T = \frac{\sum_{o \in O} b_o}{B} + 0,2 \quad (2)$$

Además, de los conjuntos previamente definidos se obtiene una serie de datos adicionales como son los siguientes:

- Número de pedidos a recoger.
  - El código de identificación de cada producto demandado dentro de cada pedido.
  - Las cantidades que se demanda de cada producto dentro de cada pedido
- Variables**
- $Z_{ot}$ : se trata de una variable binaria. Su valor en la solución determina el carro que recoge el pedido. Si esta variable  $Z_{ot}$  vale 1, es decir, se activa, indicará que el pedido 'o' es asignado al carro 't'. Si por el contrario el valor que toma la variable es 0, es decir, no se activa, el pedido 'o' no será asignado al carro 't'
  - $X_{tij}$ : se trata de una variable binaria. Su valor en la solución determina la ruta que realiza cada carro. Si esta variable  $X_{tij}$  vale 1, es decir, se activa, indicará que el carro 't' recorre el arco descrito por los nodos consecutivos i-j, donde 'i' representa el nodo de inicio y 'j' el nodo de salida. Si por el contrario el valor que toma la variable es 0, es decir, no se activa, el arco i-j no formará parte del recorrido del carro 't'
  - $Y_{ti}$ : se trata de una variable binaria. Su valor en la solución determina los nodos visitados por cada carro. Si esta variable  $Y_{ti}$  vale 1, es decir, se activa, indicará que el carro 't' visita el nodo 'i'. Si por el contrario el valor que toma la variable es 0, es decir, no se activa, el nodo 'i' no será ninguno de los nodos visitados por el carro 't'
  - $E_{tij}$ : Se trata de una variable binaria. Se ha definido de manera auxiliar para indicar que un carro recorre el camino entre dos nodos consecutivos i-j, sin tener en cuenta en qué dirección se realice el movimiento. Si esta variable  $E_{tij}$  vale 1, es decir, se activa, indicará que el carro 't' recorre el arco i-j y/o el arco j-i. El orden de los subíndices de la variable no indica en este caso el orden de visita
  - $G_{ti}$ : se trata de una variable entera. Su valor en la solución determina el grado de cada nodo para el recorrido de cada carro. El grado de un nodo o vértice, tal y como se muestra en la siguiente imagen, indica el número de arcos parten de él. El valor entero que tome la variable  $G_{ti}$  indicará el número de arcos que recorre el carro 't' con nodo de inicio 'i'. Por ejemplo, si  $G_{12}$  toma el valor 3, el carro 1 recorrerá tres arcos que parten del nodo 2 hacia otros nodos

## Restricciones

- Si un pedido está asignado a un carro ( $Z_{ot}$  se activa) entonces cada nodo que contiene productos de ese pedido deberá ser visitado al menos una vez por el carro 't'.

$$\sum_{(ij) \in i^+} (X_{tij} \geq z_{ot} \quad \forall o \in O, \quad t \in T, \quad i: l(i) \in L_o) \quad (3)$$

- Un carro no recorrerá un mismo arco más de una vez. Para regularizar la continuidad de flujo en el grafo, se establece la siguiente restricción:

$$\sum_{(ij) \in i^+} X_{tij} = \sum_{(j,i) \in i^-} X_{tij} \quad \forall i \in V, \quad t \in T \quad (4)$$

Los recolectores deben comenzar su ruta desde la posición origen, definida como  $\{s\}$  y deberán terminar su ruta en la misma posición. Si un carro 't' recoge un determinado pedido 'o', es decir  $Z_{ot}$  se activa, se tiene que activar un arco de salida del origen  $s$  para este carro.

$$\sum_{(s,j) \in s^+} X_{tsj} \geq z_{ot} \quad \forall t \in T, \quad o \in O \quad (5)$$

Si un carro recorre un arco, por fuerza ese carro ha debido visitar el nodo conjunto de carros o recolectores disponibles del que parte.

$$Y_{ti} \geq X_{tij} \quad \forall (i,j) \in A, \quad t \in T \quad (6)$$

## Función Objetivo

Esta busca minimizar las distancias totales recorridas asociadas a realizar la ruta correspondiente teniendo en cuenta los recorridos de las heurísticas S-shape y la Brecha más grande.

$$MIN \sum_{i=0}^m \sum_{j=0}^n D_{ij} * X_{ij} \quad i \neq j \quad (7)$$

## Notación del modelo matemático

$$F.O \quad MIN \sum_{i=0}^m \sum_{j=0}^n D_{ij} * X_{ij} \quad i \neq j \quad (8)$$

s.a:

$$\sum_{(ij) \in i^+} (X_{tij} \geq z_{ot} \quad \forall o \in O, \quad t \in T, \quad i: l(i) \in L_o) \quad (9)$$

**135**

$$\sum_{(ij) \in i^+} (X_{tij} = \sum_{(j,i) \in i^-} X_{tji} \quad \forall i \in V, \quad t \in T) \quad (10)$$

(11)

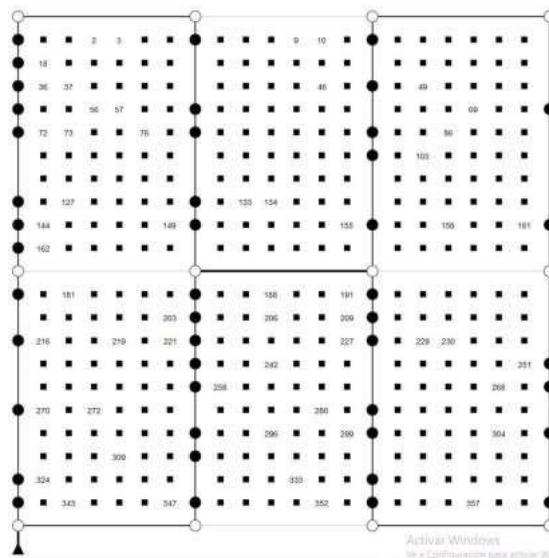
$$Y_{ti} \geq X_{tij} \quad \forall (i,j) \in A, \quad t \in T \quad (12)$$

## 5 Evaluación del algoritmo

Para hacer el análisis del comportamiento de los algoritmos S-shape y la brecha más grande se realiza un diseño de experimentos 2k. Las características que se tuvieron en cuenta para el conjunto pequeño fue de 2 bloques con 1 pasillo horizontal, 2 pasillos verticales y cantidad SKU de 360, para el conjunto que se consideró mediado se tuvo en cuenta 2 bloques con 1 pasillo horizontal, 3 pasillos verticales y cantidad SKU de 480, para el conjunto que se consideró grande se tuvo en cuenta 3 bloques con 2 pasillos horizontales, 3 pasillos verticales y cantidad SKU 720, para los tres almacenes se hace variación en el número de órdenes donde se toma la decisión de realizar 3 tamaños por cada almacén clasificándolas en pequeña, mediana y grande que serían 20, 40 y 60 números de órdenes respectivamente.

### 5.1 Ruta realizada por cada heurística.

El algoritmo realizado genera gráficas donde nos permite verificar que el programa realizado está ejecutando las heurísticas de enruteamiento para validar la ruta de cada heurística.



136

Fig 1. A ruta de la heurística s-shape en pequeñas instancias.

Se da inicio a la ruta desde el vértice en la esquina inferior izquierda en donde se atraviesa el pasillo en su totalidad al llegar al pasillo de cruce posterior del almacén, se visitan uno a uno los subpasillos pertenecientes al segundo bloque hasta terminar en el extremo contrario del almacén al cambiar de bloque se inicia con el subpasillo más cercano al último del segundo bloque y se ex-

plora en dirección descendente, al terminar de recorrer todos los subpasillos con producto el recolector regresa al punto de inicio.

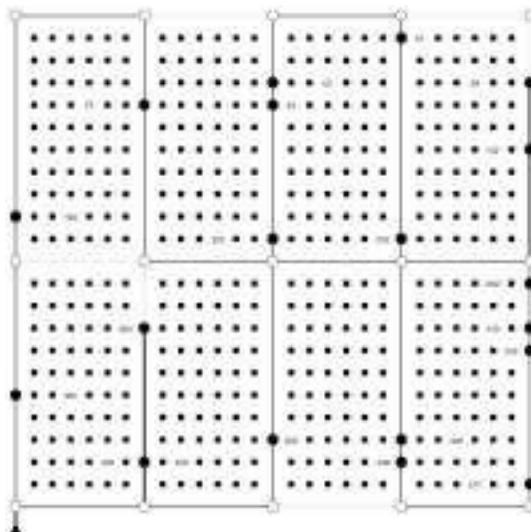


Fig. 2. Ruta de la heurística s-shape en medianas instancias.

Se da inicio a la ruta desde el vértice en la esquina inferior izquierda en donde se atraviesa el pasillo en su totalidad al llegar al pasillo de cruce posterior del almacén, se visitan uno a uno los subpasillos pertenecientes al segundo bloque, en el cuarto subpasillo del bloque dos no es necesario recorrer completamente el subpasillo ya que es el último del bloque, por esta razón se recoge el último producto y se regresa al pasillo de cruce de donde se partió al cambiar de bloque se inicia con el subpasillo más cercano al último del segundo bloque y se explora en dirección descendente, al terminar de recorrer todos los subpasillos con producto el recolector regresa al punto de inicio.

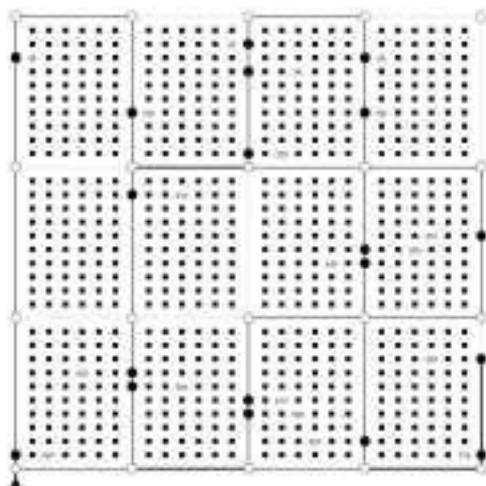


Fig. 3. Ruta de la heurística s-shape en grandes instancias.

Se da inicio a la ruta desde el vértice en la esquina inferior izquierda en donde se atraviesa el pasillo en su totalidad al llegar al pasillo de cruce posterior del almacén, se visitan uno a uno los subpasillos pertenecientes al tercer bloque, el cuarto subpasillo del bloque tres se omite debido a que no tiene productos por recolectar por lo tanto se regresa al pasillo de cruce de donde se partió, al cambiar de bloque se inicia con el subpasillo más cercano al último del tercer bloque y se explora en dirección descendente, al terminar de recorrer todos los subpasillos con producto el recolector regresa al punto de inicio, tener en cuenta que hay subpasillos que no se recorren puesto que no se tienen productos por recolectar de igual forma en el caso de los últimos bloques no es necesario recorrerlo completamente, se recoge el ultimo producto que se tiene por recolectar y se regresa al pasillo de cruce donde se partió. Dicho lo anterior se valida la ruta de la heurística s-shape realizada en el programa Python.

## 6 Resultados

### 6.1 Diseños experimentales

138

El diseño experimental es  $2^2$ , los factores A (tipo de ordenamiento) y B (heurísticas). Los niveles de B son S-shape y la brecha más grande, para A es ordenamiento ABC o NO ABC, se analizaron que factor (A, B o AB) influye mayormente en la distancia.

Los resultados obtenidos para el análisis de varianza del almacén pequeño permiten evidenciar que el factor (tipo de almacenamiento) ABC o NO ABC, las heurísticas y la iteración entre los dos factores tiene un efecto significativo en la distancia, ya que el valor  $p$  es menor a 0,05.

Tabla 1. Análisis de variancia para instancias pequeñas.

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
<b>EFECTOS PRINCIPALES</b>					
<b>X:ABC</b>	1885,77	1	1885,77	7,66	<b>0,0059</b>
<b>Y: HEURISTICA</b>	229446	1	229446	932,43	0
<b>INTERACCIONES</b>					
<b>XY</b>	1325,84	1	1325,84	5,39	<b>0,0208</b>
RESIDUOS	87602,5	356	246,074		
<b>TOTAL (CORREGIDO)</b>	<b>324394</b>	<b>359</b>			

Tabla 2. Análisis de variancia para instancias medianas.

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
<b>EFECTOS PRINCIPALES</b>					
<b>X:ABC</b>	1033,81	1	1033,81	1,49	<b>0,2231</b>
<b>Y: HEURISTICA</b>	470241	1	470241	677,57	0
<b>INTERACCIONES</b>					
<b>XY</b>	596,299	1	596,299	0,86	<b>0,3546</b>
RESIDUOS	247068	356	694,011		
<b>TOTAL (CORREGIDO)</b>	<b>720312</b>	<b>359</b>			

Tabla 3. Análisis de variancia para instancias grandes.

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
<b>EFECTOS PRINCIPALES</b>					
<b>X:ABC</b>	4081,96	1	4081,96	2,07	<b>0,1512</b>
<b>Y: HEURISTICA</b>	213131	1	213131	108,03	0
<b>INTERACCIONES</b>					
<b>XY</b>	123,122	1	123,122	0,06	<b>0,8029</b>
RESIDUOS	670757	340	1972,81		
<b>TOTAL (CORREGIDO)</b>	<b>1089390</b>	<b>343</b>			

## 6.2 Diferencia entre distancias según grupo

En el siguiente apartado se muestran las distancias reportadas para muestras pequeñas (20 unidades). Según la división que se hizo respecto a una organización ABC, NO ABC

139

Tabla 3. Consolidado de valores diagrama cajas y bigotes tipo de almacenamiento ABC/NO ABC para instancias pequeñas.

Tamaño de almacén	Tamaño de muestra (n)	Heurística	Tipo de almacenamiento	Distancia promedio
Pequeño	20	S-shape	NO ABC	129
Pequeño	20	S-shape	ABC	129
Pequeño	20	Brecha más grande	NO ABC	160
Pequeño	20	Brecha más grande	ABC	159
Pequeño	40	S-shape	NO ABC	132
Pequeño	40	S-shape	ABC	132
Pequeño	40	Brecha más grande	NO ABC	188
Pequeño	40	Brecha más grande	ABC	190
Pequeño	60	S-shape	NO ABC	132
Pequeño	60	S-shape	ABC	132
Pequeño	60	Brecha más grande	NO ABC	198
Pequeño	60	Brecha más grande	ABC	196

En los resultados obtenidos se evidencia que no existe una diferencia relevante entre las distancias promedio teniendo en cuenta el tipo de almacenamiento por lo tanto se puede decir que no es significativo en la distancia el tipo de almacenamiento.

Los resultados obtenidos para el análisis de varianza de los almacenes pequeño, median y grande permiten evidenciar que el factor (tipo de almacenamiento) ABC o NO ABC y la iteración entre los dos factores no tiene un efecto significativo en la distancia, ya que el valor p es mayor a 0,05, por el contrario, el factor de las heurísticas si tiene un efecto significativo en las distancias debido a que el valor p es menor a 0,05.

## 7 Conclusiones

Posterior a la revisión de la literatura se logra concluir que con el pasar de los años se evidencia un crecimiento exponencial en las publicaciones donde se observa el interés de investigar sobre el picking routing problem puesto que se considera una operación crítica para la mayoría de las empresas dado que la recolección de ordenes es la actividad más costosa en un almacén debido a que representan gran parte de los costos operativos.

140

Como resultado de los análisis de variancias del diseño de experimentos 2<sup>2</sup> aplicado a la heurística y al tipo de almacenamiento, se encontró que el factor heurística es el que tiene mayor impacto sobre el valor distancia, también se

observa que entre más grande sea el almacén el factor tipo de almacenamiento no presentan un gran impacto sobre la distancia que se debe recorrer para recolectar las ordenes en su totalidad.

Tras el análisis, podemos deducir que para la heurística s-shape en instancias pequeñas la distancia tiende a ser la misma entre más grande sea el número de ordenes por recolectar, en instancias medianas y grandes entre más grande sea el número de ordenes por recolectar el rango de distancias entre la máxima distancia y la mínima distancia tiende a disminuir. Tras el análisis, podemos deducir que para la heurística la brecha más grande en instancias pequeñas entre más grande sea el número de ordenes por recolectar el rango de las distancias entre la máxima distancia y la mínima distancia tiende a disminuir, para las instancias medianas y grandes el rango mínimo que se obtiene entre la máxima distancia y la mínima distancia es cuando el número de órdenes por recolectar es el tamaño mediano.

Teniendo en cuenta los resultados totales que se obtuvieron en la instancia pequeña, mediana y grande pudimos evidenciar que la heurística la brecha más grande obtuvo mejores resultados en un 2,4% en cambio la heurística s-shape obtuvo mejores resultados en un 97,6%, al entrar en detalles con los tres tamaños de ordenes por recolectar que se tuvieron en cuenta, se puede evidenciar que la heurística la brecha más grande obtuvo mejores resultados que la heurísticas shape solamente en instancias grandes y tamaño pequeño de órdenes a recolectar, sin embargo solo representan el 21% de la iteraciones, el 79% restante corresponde a mínima distancia de la heurística s-shape. El tipo de almacenamiento ABC, es un método de clasificación de inventarios que permite asociar a cada SKU, con una clase o categoría de productos, con respecto a su importancia para la empresa, al ser un tipo de inventario que ayuda a las organizaciones a identificar que productos son críticos para el éxito y rentabilidad del negocio, en esta investigación se abordó este tipo de almacenamiento y se quiso identificar si era significativo en la distancia, después de realizar los análisis de varianzas correspondientes se logró concluir que en esta investigación este tipo de almacenamiento no fue significativo.

**141**

## References

- [1] Arriola, R., y Ramos, F. (2019). Framework basado en heurísticas que optimizan la ruta para recolectar productos en almacenes. (Tesis de pregrado). Universidad autónoma de ciudad Juárez, Ciudad Juárez, México.
- [2] Camacho, S., y Ramírez, G. (2020). Un modelo multiobjetivo para el problema de ruteo de vehículos para la distribución de ayudas humanitarias para

- un cismo en la ciudad de Bucaramanga. (Tesis de pregrado). Universidad industrial de Santander, Santander, Colombia.
- [3] García, J. (2006). Modelado mediante optimización combinatoria. [Archivo pdf]. Personales upv. Recuperado el 16 de noviembre de 2021 de <http://personales.upv.es/jpgarcia/LinkedDocuments/MCOIOptimizacionCombinatoria.pdf>.
- [4] Garza, G. (2018). Metodología para optimización de proceso de preparación de pedidos en rutas de distribución secundaria mediante rediseño de almacén de vehículo de carga. (Tesis de maestría). Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey, Monterrey, México.
- [5] Hernández, B. (22 de diciembre de 2018). Software vosviewer bibliometría. Investiga yeduca. Recuperado el 30 de septiembre de 2021 de <https://www.investigayeduca.com/software-vosviewerbibliometria/#:~:text=El%20software%20VOSviewer%20versi%C3%B3n%201.6,citas%20o%20relaciones%20de%20autor%C3%ADas>.
- [6] Hillier, F., y Lieberman G. (2017). Introducción a la investigación de operaciones. McGrawHill. [https://dudasytareas.files.wordpress.com/2017/05/hillier\\_lieberman.pdf](https://dudasytareas.files.wordpress.com/2017/05/hillier_lieberman.pdf).
- [7] Jiménez, V., Manotas, D. y Villota, R. (2013). Configuración de pasillos en centros de distribución basada en modelos no tradicionales: modelo espina de pescado. SciElo. Recuperado el día 10 de noviembre del 2021 de [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1900-38032013000100014](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1900-38032013000100014).
- [8] Juarez, J. (06 de septiembre de 2013). Método heurístico. Slideshare. Recuperado el 13 de noviembre de 2021 de <https://es.slideshare.net/profjavierjuarez/metodo-heurstico-1>.
- [9] López, J. F. (19 de febrero de 2019). logística de almacenamiento. Economipedia.com. Recuperado el 13 de noviembre de 2021 de <https://economipedia.com/definiciones/logistica-de-almacenamiento.html>.
- [10] Melian, B., Moreno, J. y Moreno, J. (2003). Inteligencia artificial. Iberoamericana de inteligencia artificial. <https://sci2s.ugr.es/sites/default/files/files/Teaching/GraduatesCourses/Metaheuristica%20Bibliography/metaheuristicas-vision-global.pdf>.
- [11] Masaé M., Glock C. & Grosse E. (2020). Order picker routing in warehouses: A systematic literature review. Revista internacional de economía de la producción. Recuperado el 12 de noviembre de 2021, de la base de datos ScienceDirect.
- [12] Merlano, K., y Castellano K. (2021). Un Algoritmo de Búsqueda Tabú para El Problema de Enrutamiento de un Recolector (SPRP) en un Almacén de Comercio Electrónico con Almacenamiento Disperso y Múltiples Depósitos. (Tesis de pregrado). Universidad industrial de Santander, Santander, Colombia.
- [13] Niño, A., y Vargas, J. (2018). Algoritmo memético para el problema de localización y ruteo de vehículos con ventanas de tiempo en el proceso de recolección de residuos sólidos en el centro de la ciudad de Bucaramanga de la empresa de aseo de Bucaramanga-EMAB. (Tesis de pregrado). Universidad industrial de Santander, Santander, Colombia.

- [14] Ömer, Ö. & Deniz H., (2018). A discrete cross aisle desing model for order picking warehouses. Elsevier. Recuperado el 13 de noviembre de 2021, de la base de datos ScienceDirect
- [15] Platziteam. (01 de marzo de 2021). Que es Python y por qué empezar a programar con este lenguaje. Platzi. Recuperado el día 15 de noviembre del 2021 de [https://platzi.com/blog/python/?utm\\_source=google&utm\\_medium=cpc&utm\\_campaign=12915366154&utm\\_adgroup=&utm\\_content=&gclid=EA1alQobChMI6L2E2KOb9AIVAoG-Ch1vpgseEAAYAiAAEgI\\_A\\_D\\_BwE&gclsrc=aw.ds](https://platzi.com/blog/python/?utm_source=google&utm_medium=cpc&utm_campaign=12915366154&utm_adgroup=&utm_content=&gclid=EA1alQobChMI6L2E2KOb9AIVAoG-Ch1vpgseEAAYAiAAEgI_A_D_BwE&gclsrc=aw.ds).
- [16] Rivera, P., y Jaramillo, O. (2020). Solución del problema de ruteo de vehículos capacitado (CVRP) usando el algoritmo de aprendizaje reforzado Q Learning. (Tesis de pregrados). Universidad industrial de Santander, Santander, Colombia.
- [17] Sáenz, E. (2020). Desarrollo de un modelo matemático para el problema de ruteo de inventario con múltiples depósitos (MDIRP). (Tesis de pregrado). Universidad industrial de Santander, Santander, Colombia.
- [18] Shetty, N., Sah, B. & Hoon, S. (2020). Route optimization for warehouse order picking operations via vehicle routing and simulation. SpringerLink. Recuperado el 10 de noviembre de 2021, de <https://bibliotecavirtual.uis.edu.co:2142/article/10.1007/s42452-020-2076-x>.
- [19] Mecalux. (11 de noviembre 2020). Las ventajas del método ABC para la clasificación de inventarios en el almacén. Mecalux. Recuperado el 20 de noviembre de 2021, de <https://www.mecalux.com.co/blog/metodo-abc-clasificacion-almacen>.
- [20] Pascual Montero.(2019).Modelado y resolución del problema de rutas de preparación de pedidos conjuntos.Recuperado el 20 de noviembre de 2021 de <https://idus.us.es/bitstream/handle/11441/94779/TFM-9624-pASCUAL%20MONTERO.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.
- [21] CHOE, Kyung. SHARP, Gunter (1991). Small parts order picking: design and operation. Recuperado el 11 de noviembre de 2021 de <http://www2.isye.gatech.edu/~mgoetsch/cali/Logistics%20Tutorial/order/article.htm>.
- [22] Makusee Masaë, Christoph H, Glock a & Eric H. Grosse.(2020).Order picker routing in warehouses: A systematic literature review. Recuperado el 21 de noviembre de <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0925527319304050>.
- [23] Sadia Quader, Krystel K & Castillo Villa.(2018).Design of an enhanced multi-aisle order-picking system considering storage assignments and routing heuristics.Recuperado el 20 de noviembre de 2021 de <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0736584516300072>.
- [24] DE KOSTER, René. DUC, Le. ROODBERGEN, Kees. Design and control of warehouse order picking: A literature review. En: European Journal of Operational Research. 182(2), (2007); p. 481–501.
- [25] Arboleda, J. y Castillo, J.A. (2016). Modelo integrado de clasificación abcmulticriterio, aplicado en el área de picking de un centro de distribución de repuestos. Colección Académica de Ciencias. Estratégicas, 3(2), 15–34.

# A RECONFIGURABLE PARTIALLY DECOUPLED PARALLEL ROBOT FOR R-STEM EDUCATION

Julio Hernando Vargas-Riaño 1, Oscar Agudelo-Varela 2, and Angel Valera 1

1 Universitat Politècnica de Valencia,

Instituto de Automática e Informática Industrial ai2, Valencia, Spain

2 Universidad de los Llanos, Facultad de Ciencias Básicas e Ingeniería, Villavicencio, Km 12  
vía Puerto López, Vereda Barcelona, Villavicencio, Meta, Colombia

[julio\\_h\\_vargas\\_r@ieee.org](mailto:julio_h_vargas_r@ieee.org)

**Resumen.** The field of robotics combines science and engineering, offering theoretical and practical learning experiences. Aim: This paper strongly advocates for introducing reconfigurable, partially decoupled parallel robots in R-STEM education. These robots enhance understanding of complex concepts such as linear transformations and rigid body motion. Materials and Methods: The development process involved using the Product of Exponentials method, creating 3D models in GeoGebra for evaluate the inverse geometrical model and we used SolidWorks. Results: We perform several evaluations with the GeoGebra inverse geometric model. The dimensions were used for the CAD model, finally we get results for motion study in SolidWorks. Conclusions: The educational potential of these robots is demonstrated through inverse kinematic simulations in GeoGebra and the creation of 3D-printable CAD models..

**Palabras clave:** Parallel robots, R-STEM, Product of Exponentials, Geometric Algebra, Linear Transformations.

**144**

## 1 Introducción

Parallel robots consist of a platform or end-effector controlled by multiple serial kinematic chains called limbs [1]-[3], which are attached to the ground or a base reference coordinate system. Each limb is a simple kinematic chain with only one active joint, with the simplest being a prismatic joint. The absence of grounded rotational motors helps avoid dynamic issues such as rotational momentum and the Coriolis effect.

The limbs are typically represented by spherical (S), universal (U), revolute (R), and prismatic (P) joints, where the underlined or bold letters correspond to the actuated joints. Parallel robots are popular due to their superior characteristics compared to their serial counterparts. They offer advantages in stiffness, speed, and accuracy and have been widely used in various applications, including CNC machines, flight simulators, antenna platforms, guidance systems, gaming, and maritime applications [4], [5].

Robotics education focusing on science, technology, engineering, and mathematics (R-STEM) is crucial for understanding the connection between mathematics, geometry, physics, electronics, and programming. However, it often focuses primarily on serial and mobile robots, leaving a gap in the application of parallel robots. Screw theory provides a solid foundation for understanding the physical representation of groups of movements [6]–[9]. Unlike Euler angles, which can lead to issues such as gimbal lock, Screw Theory and its connection to Geometric Algebra offer a more robust geometric interpretation of physical and mathematical concepts.

Robotics is a complex field that includes various areas such as geometry, electronics, programming, and control theory. Undergraduate robotics courses typically focus on mobile and serial robots. Recently, fundamental concepts in STEM education have expanded to include Artificial Intelligence and Data Science, with robotics-based STEM (R-STEM) becoming a growing field [10] [11] [12]. In a historical overview of K-12 STEM education provided in [13], it is stated that robotics-based STEM (R-STEM) is a growing field.

This work proposes a parallel robot as a tool to understand the concepts of geometry through Screw Theory, using a reconfigurable six-degrees-of-freedom parallel robot as a case study. This approach offers a valuable tool for STEM education, focusing on the mathematical tools and progressing through the geometrical representation and physical realization of kinematic chains.

## 2 Metodología

145

This section details the process from the initial design concept to the CAD modeling and validation.

## 2.1 Schematic Initial Concept

The schematics are depicted in Fig. 1. We designed the four degrees of freedom (DoF) schematic based on type synthesis using Screw Theory. Figure 1a presents the schematic for the 4-DoF configuration.

In this configuration, the platform is attached to a central mast, with the DoF along the z-axis. The kinematic chain is composed of a prismatic actuator followed by a spherical joint. The remaining three limbs are universal, with a prismatic active joint ending in a spherical joint attached to the platform.

Similarly, the robot can be configured for five DoF. Figure 1b shows the 5-DoF schematic of the parallel robot. In this configuration, the two internal limbs are RPS kinematic chains. The motion of the platform's center is constrained to the x-z plane, while the external limbs can adjust the orientation, given a fixed position.

Finally, the six DoF configuration is depicted in Figure 1c. In this setup, the central limbs are UPS kinematic chains, all converging at the platform's central point. This configuration forms a tetrahedral structure, which has important structural characteristics. The platform's position is determined by the lengths of the central limbs.

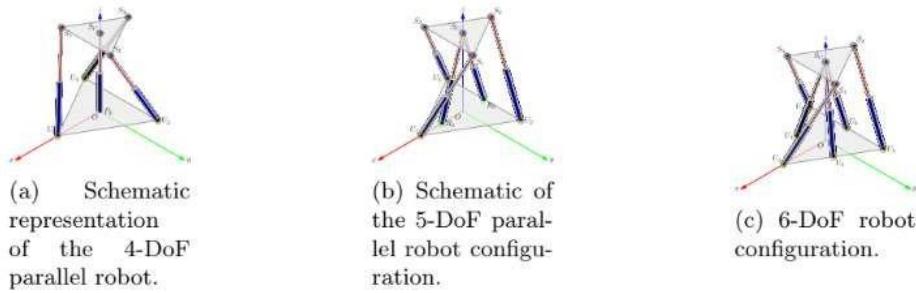


Fig. 1. Robot schematics with 4, 5, and 6 degrees of freedom configurations.

146

## 3 Resultados

### 3.1 GeoGebra Construction

GeoGebra is a popular software tool used in STEM education. In this work, we utilized it for visualizing the inverse geometric model. We created a standard size range from 1 to 5 units. The complete construction includes rota-

tion about an axis, specified by introducing the x and y positions of a direction vector, as well as the rotation angle. Figure 2 shows the sliders and segment values for the 6-DoF configuration.

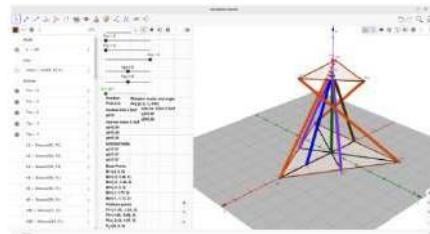


Fig. 2: Screenshot of the GeoGebra model interface.

In the visualization, the external limbs are represented in orange. The internal limb distances are shown in green for the 4-DoF configuration, blue and brown for the 5-DoF configuration, and brown and violet for the 6-DoF configuration. A limb is common to both the 5-DoF and 6-DoF configurations.

### 3.2 Practical Realization

Designing a spherical concurrent joint in practice poses significant challenges. Alternatives such as using magnetic attachments and lubricants exist, but they tend to lack robustness. We found that three revolute joints can form a gimbal structure, effectively functioning as a spherical mechanism. We used this approximation for the physical realization of the configurable robot. The designs are summarized in Figure 3.

For the 4-DoF configuration, we designed the schematic by placing three consecutive revolute joints R1, R2, and R3 from the central point, as shown in Figure 3a. The design for the 5-DoF configuration is shown in Figure 3b, and the 6-DoF configuration is presented in Figure 3c.

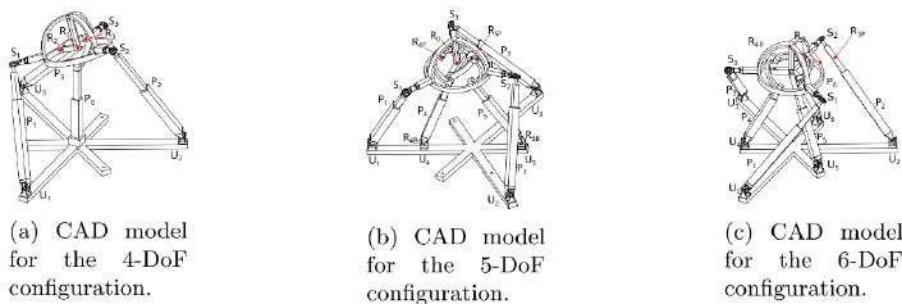


Fig. 3: CAD models for the 4, 5, and 6 degrees of freedom robot configurations

In this work, we employed the Product of Exponentials (PoE) approach to solve the Inverse Geometric Problem (IGP). The IGP involves determining the required limb lengths for a given position and orientation of the parallel robot's platform. We computed the pose using the homogeneous transformation matrix.

## 4 Conclusiones

Parallel robots are not yet widely incorporated into R-STEM education, despite their potential to enhance understanding of structural properties, statics, and rigid body movement through their closed-loop configurations. Reconfigurable parallel robots offer a low-cost alternative for teaching, given their minimal parts count and the feasibility of 3D printing robotic limbs using a standard desktop 3D printer. The integration of Screw Theory and Geometric Algebra into the study of parallel robots serves as an excellent example of how advanced mathematical concepts can be applied to engineering education. These mathematical tools provide a robust foundation for understanding the complex kinematics and dynamics involved in parallel robot design and operation.

## References

- [1] J. P. Merlet, Parallel Robots (Solid mechanics and its applications 128), 2. ed., J.-P. Merlet, Ed. Dordrecht: Springer, 2006, 394 pp., isbn: 9781402041327. [2] H. D. Taghirad, Parallel Robots: Mechanics and Control. CRC Press, Feb. 20, 2013, 537 pp., isbn: 978-1-4665-5576-1.
- [3] J. Angeles, Fundamentals of Robotic Mechanical Systems, Theory, Methods, and Algorithms (Mechanical Engineering Series), 2nd ed. 2003. New York, NY: Springer New York, 2003, 152358 pp., isbn: 9780387224589.
- [4] R. A. Jarvis, Design and Applications of Parallel Robots, The Tenth International Symposium (Springer Tracts in Advanced Robotics 6), A. Zelin sky, Ed. Berlin: Springer, 2003, pp. 161-173, 574 pp., isbn: 9783540364603. [Online]. Available: [http://link.springer.com/chapter/10.1007/3 - 540 - 36460-9\\_11](http://link.springer.com/chapter/10.1007/3 - 540 - 36460-9_11).
- [5] E. Ottaviano, "Parallel manipulators," in Advanced Mechanics in Robotic Systems, N. E. Nava Rodríguez, Ed., London: Springer London, 2011, pp. 59-73, isbn: 978-0-85729-588-0. doi: 10.1007/978-0-85729-588-0\_4. [Online]. Available: [https://doi.org/10.1007/978-0-85729-588-0\\_4](https://doi.org/10.1007/978-0-85729-588-0_4) (visited on 10/25/2018).
- [6] K. M. Lynch and F. C. Park, Modern robotics: mechanics, planning, and control. University Press, 2017.

- [7] J. Gallardo-Alvarado, Kinematic Analysis of Parallel Manipulators by Algebraic Screw Theory. Springer, Jun. 16, 2016, 389 pp., Google-Books-ID: bOh6DAAAQBAJ, isbn: 978-3-319-31126-5.
- [8] A. Müller, "Screw and lie group theory in multibody kinematics," *Multi-body Syst Dyn*, vol. 43, no. 1, pp. 37-70, May 1, 2018, issn: 1573-272X. doi: 10.1007/s11044-017-9582-7. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1007/s11044-017-9582-7> (visited on 06/15/2021).
- [9] C. Qiu and J. S. Dai, *Analysis and Synthesis of Compliant Parallel Mechanisms—Screw Theory Approach*. Springer Nature, Jun. 23, 2020, 178 pp., Google-Books-ID: Ff7sDwAAQBAJ, isbn: 978-3-030-48313-5.
- [10] D. Darmawansah, G.-J. Hwang, M.-R. A. Chen, and J.-C. Liang, "Trends and research foci of robotics-based STEM education: A systematic review from diverse angles based on the technology-based learning model," *International Journal of STEM Education*, vol. 10, no. 1, p. 12, Feb. 10, 2023, issn: 2196-7822. doi: 10.1186/s40594-023-00400-3. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1186/s40594-023-00400-3> (visited on 02/02/2024).
- [11] M. S. Khine, Ed., *Robotics in STEM Education*, Cham: Springer International Publishing, 2017, isbn: 978-3-319-57785-2 978-3-319-57786-9. doi: 10.1007/978-3-319-57786-9. [Online]. Available: <http://link.springer.com/10.1007/978-3-319-57786-9> (visited on 02/02/2024).
- [12] H. Ateş and C. Gündüzalp, "A unified framework for understanding teachers' adoption of robotics in STEM education," *Educ Inf Technol*, Dec. 15, 2023, issn: 1573-7608. doi: 10.1007/s10639-023-12382-4. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1007/s10639-023-12382-4> (visited on 02/02/2024).
- [13] L. Armstrong and A. Tawfik, "The history of robotics and implications for k-12 STEM education," *TechTrends*, vol. 67, no. 1, pp. 14-16, Jan. 1, 2023, issn: 1559-7075. doi: 10.1007/s11528-022-00816-8. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1007/s11528-022-00816-8> (visited on 02/02/2024).

# StarkSw4BPMN

## GENERADOR DE CÓDIGO

## PARA SISTEMAS DE

## INFORMACIÓN EXTERNOS

## INTEGRADOS EN UN

## SOFTWARE BASADO EN

## BPMN

Olga Lucero Vega Márquez<sup>1,2</sup>, Luis Casallas<sup>1</sup> and Yiener Castro<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Universidad de los Llanos, km 12 vía Barcelona, Villavicencio, Colombia, {olvegam, luis.ca-sallas, yeiner.castro}@unillanos.edu.co, <sup>2</sup> Universidad Nacional de Colombia, Carrera 45 No 26-85, Bogotá D.C., Colombia, ovegam@unal.edu.co

**Resumen.** El Business Process Management (BPM) es una disciplina centrada en la mejora continua de los procesos empresariales mediante su diseño, automatización y medición. Este trabajo presenta una herramienta que genera automáticamente artefactos necesarios para construir sistemas de información integrados en un software basado en BPMN. Utilizando el framework Spring Boot, esta herramienta facilita la creación de prototipos adaptados a diferentes tipos de organizaciones..

**Palabras clave:** BPM, BPMN, software, framework, herramienta.

**150**

## 1 Introducción

La digitalización de los procesos de negocio es crucial para mantener la competitividad en un mercado dinámico. La adopción de Business Process Management (BPM) y la notación Business Process Model and Notation (BPMN) permite modelar, automatizar y mejorar estos procesos [2] [4]. BPM busca la mejora continua de los procesos empresariales a través de su diseño, automatización y medición, permitiendo a las organizaciones optimizar sus operaciones y adaptarse rápidamente a las demandas del mercado.

BPMN es un estándar gráfico ampliamente utilizado para modelar procesos de negocio de manera clara y comprensible [8]. Proporciona una representación visual de los flujos de trabajo, actividades y eventos, lo que facilita la comunicación entre analistas de negocio, desarrolladores y gerentes.

La enseñanza y práctica de estas tecnologías requieren desarrollos de software basados en procesos de negocio, los cuales pueden ser costosos y demandantes en términos de tiempo y recursos humanos [3]. Para abordar estos desafíos, este proyecto propone el desarrollo de una herramienta que genere los componentes necesarios para construir sistemas de información externos a un modelo de proceso de ejecución y que son orquestados por éste. Estos sistemas serán generados sobre el framework Spring Boot [7][6] facilitando la creación de prototipos, reduciendo significativamente el tiempo y los recursos necesarios para desarrollarlos. Adicionalmente, la herramienta permitirá a estudiantes y profesionales aprender y practicar la evolución de sistemas de información basados en procesos de negocio, contribuyendo al desarrollo de habilidades críticas en el manejo de tecnologías BPM y su aplicación en el mundo real [5].

## 2 Metodología

Debido a que esta investigación parte de un problema cuya solución se logra a través de la construcción de un artefacto, esta investigación es guiada por la metodología DSR, o Design Science Research de sus siglas en inglés [1], que se traducen como Investigación en la Ciencia del Diseño. La DSR es un enfoque de investigación usada en Ingeniería para responder a preguntas como “¿Qué hacer?”, “¿Cómo hacerlo?”, “¿Con qué hacerlo?” o “¿Cómo mejorararlo?”, las cuales implican resolver problemas en un dominio determinado. Las respuestas a este tipo de preguntas se centran en el diseño de artefactos que pueden ser estrategias, procedimientos, productos, servicios, procesos, o cualquier otra cosa que pueda ayudar a las personas a lograr sus objetivos. Esta metodología se desarrolla siguiendo una serie de fases que se relacionan de la forma en que se muestra en la Figura 1.

**151**

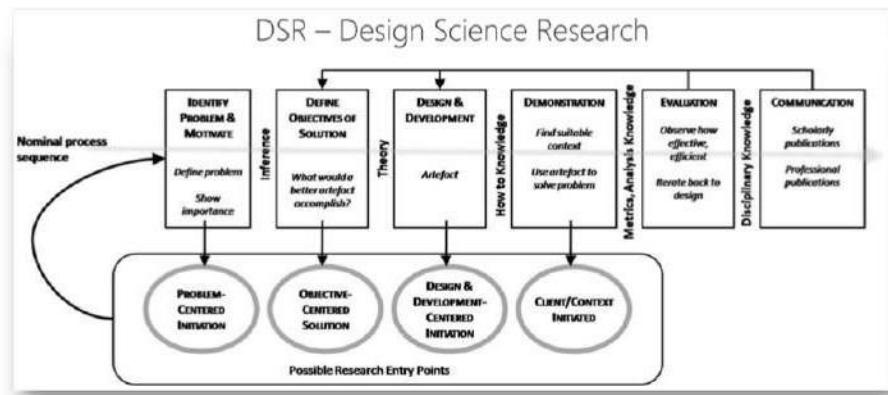


Figura 1. Design Science Research Methodology, tomado de.[1]

## 2.1 Identificación del problema

La falta de herramientas automatizadas para la generación de componentes de software basados en BPMN dificulta la implementación y enseñanza de BPM, ya que la creación manual de estos desarrollos consume tiempo y recursos significativos, elevando los costos y limitando la capacidad de mostrar su aplicación en diversas organizaciones [3]. La herramienta propuesta soluciona este problema al automatizar la generación de estos componentes, permitiendo a estudiantes y profesionales concentrarse en el diseño y mejora de los procesos, en lugar de en tareas repetitivas o por fuera de la disciplina BPM como lo es la creación de un sistema de información externo al proceso de negocio.

## 2.2 Objetivos de la solución

Este trabajo será guiado por un objetivo general que se logrará a través de unos objetivos específicos. Todos éstos se describen a continuación:  
Objetivo General Desarrollar una herramienta que permita la generación automática de sistemas de información externos a un modelo de procesos de negocio en ejecución partiendo de un modelo BPMN.

152

### Objetivos Específicos

Crear una herramienta que, a partir de un modelo BPMN, genere el esqueleto de los sistemas de información externos involucrados [10].

Proveer a aprendices y expertos en desarrollo de software un esqueleto de sistema de información basado en procesos de negocio.

Reducir el tiempo y recurso humano necesarios para desarrollar un sistema de información basado en procesos de negocio.

## 2.3 Diseño y desarrollo

El desarrollo de la herramienta se llevará a cabo utilizando el framework SCRUM, dividiendo el proyecto en Sprints y realizando iteraciones rápidas con retroalimentación constante. La herramienta generará componentes de software basados en modelos BPMN, utilizando el framework de Java Spring Boot.[9][7].

## 2.4 Comunicación

La comunicación del avance y los resultados se realizará mediante la elaboración de artículos científicos que puedan ser sometidos a ponencia o revista científica especializada, en cualquier caso se realizará por lo menos una presentación en conferencia especializada, con el objetivo de compartir los resultados y recibir retroalimentación de la comunidad académica y profesional.

# 3 Resultados

La herramienta desarrollada permitirá la generación automática de componentes de software basados en modelos BPMN, reduciendo significativamente el tiempo y los recursos necesarios para desarrollar estos sistemas. Se realizarán pruebas piloto en diversos escenarios de procesos de negocio, mostrando su utilidad.

# 4 Conclusiones

La herramienta propuesta representa un avance significativo en la automatización de la generación de componentes de software basados en BPMN y Spring Boot [6]. Su implementación facilitará la creación de sistemas de información integrados, lo cual será un valioso recurso educativo para la enseñanza y práctica de BPM.

---

153

## References

- [1] vom Brocke, J., Hevner, A., Maedche, A.: *Introduction to Design Science Research*. Springer International Publishing (2020), <https://www.springerprofessional.de/en/introduction-to-design-science-research/18409690>.
- [2] Camunda: Camunda bpmn & workflow automation platform. <https://camunda.com> (2024), [Accedido: 07-Jun-2024].
- [3] Cruz, Y.E., Zamora, C.I.C., Paz, C.R.L., Jorge, R.A.: Adopción de tecnologías de gestión de procesos de negocio: una revisión sistemática. *Ingeniería. Revista Chilena de Ingeniería* 28(1), e1 (2020), <https://doi.org/10.4067/s0718-33052020000100041>, [Accedido: 07-Jun-2024].
- [4] Dumas, M., Rosa, M.L., Mendling, J., Reijers, H.A.: *Fundamentals of Business Process Management*. Springer (2024), [Online]. Disponible: <https://doi.org/10.1007/978-3-642-33143-5> [Accedido: 07-Jun-2024].
- [5] Harmon, J.: *Business Process Change: A Business Process Management Guide for Managers and Process Professionals*. Elsevier, 4th edn. (2024), [Accedido: 12-Jun 2024].
- [6] IBM: Aplicaciones empresariales (java ee). In: *IBM WebSphere Application Server Network Deployment 8.5.5*. IBM (2024), [Accedido: 07-Jun-2024].
- [7] IBM: ¿qué es java spring boot? <https://www.ibm.com/mx-es/topics/java-spring-boot> (2024), [Accessed: 07-Jun-2024].
- [8] Object Management Group: Notation, object management group business process model and. <http://www.bpmn.org> (2012), [Accedido: 07-Jun-2024].
- [9] Peffers, K., Tuunanen, T., Rothenberger, M.A., Chatterjee, S.: A design science research methodology for information systems research. *Journal of Management Information Systems* 24(3), 45-77 (2007).
- [10] Vega-Márquez, O.L., Duarte, H.: *Business process models evolution using traceability between bpmn and its supporting software*. Tech. rep., Universidad de los Llanos y Universidad Nacional de Colombia (2020).

# DISEÑO DE UN SISTEMA AUTOMATIZADO EN GRANJAS DE ENGORDE DE CERDOS

Javier Eduardo Martínez Baquero 1[0000-0003-4377-7867], Luis Alfredo Rodríguez Umaña 2[0000-0001-7346-5640] y Nelson Baquero Alvarez 3[0000-0001-6434-9250]  
1, 2, 3 Facultad de Ciencias Básicas e Ingeniería, Universidad de los Llanos, Villavicencio, Colombia  
jmartinez@unillanos.edu.com

**Resumen.** En los últimos años, el consumo de carne de cerdo en Colombia ha aumentado constantemente, lo que ha hecho necesario implementar técnicas para satisfacer esta creciente demanda y mejorar la producción. Partiendo de esta premisa, se ha diseñado un sistema automatizado para granjas de engorde de cerdos, que cuenta con un software que permite monitorear y controlar las condiciones del hábitat como temperatura, humedad, alimentación e iluminación. El programa se ha desarrollado utilizando LabVIEW® para aprovechar su interfaz gráfica. El panel frontal muestra lecturas en tiempo real de dichas variables, lo que permite al operador realizar los ajustes necesarios para garantizar unas condiciones óptimas. Este diseño pretende simplificar el proceso de control y supervisión para los productores durante el engorde de cerdos, aumentando la producción, optimizando el consumo de pienso y mejorando el confort de los animales, permitiéndoles así cumplir con los estándares de calidad a nivel industrial y competitivo.

**Palabras clave:** Automatización, diseño, interfaz, granja porcina, variables.

## 1 Introducción

**155**

La práctica de cría y engorde de cerdos es una de las más antiguas y arraigadas de la agricultura, con numerosas explotaciones porcinas que compiten en un mercado cada vez más abierto y competitivo. En este contexto, resulta cada vez más esencial que estas explotaciones sean productivas, rentables y sostenibles. La aplicación de tecnologías modernas y prácticas de gestión eficientes es crucial para satisfacer estas demandas y garantizar el éxito a largo plazo del sector [1].

La cría intensiva de cerdos requiere importantes inversiones en edificios, equipos, instalaciones y materiales, no sólo para criar a los cerdos, sino también para instalar sistemas completos de gestión de residuos y estiércol [2]. Esto evidencia la gran inversión que una granja porcina precisa, a pesar de la gran inversión que las granjas requieren para afrontar todas estas exigencias, la visión hasta antes reciente es que, al ser un régimen altamente mecanizado, el número de empleados en una granja resulta muy bajo y se desarrollan ajenos al confort de las personas empleadas[3].

La producción porcina se espera que aumente en un 3.8% del 2015 al 2025, en respuesta al crecimiento observado de la demanda por carne de cerdo a medida que China y Europa del Este se recuperan de recientes contracciones. Aunque la producción de cerdos está concentrada principalmente en granjas comerciales, las prácticas informales de producción a menudo son prevalentes y pueden obstaculizar intervenciones de lucha contra la enfermedad, mitigación de las emisiones de gases de efecto invernadero y, en general, desarrollo y sostenibilidad de la producción. Este proyecto se presenta el diseño de la automatización de un sistema de alimentación y climatización en una granja de ceba de cerdos, controlando la actividad de distribución de alimentos, iluminación, humedad y temperatura al interior de las instalaciones [4][5].

## 2 Metodología

La línea investigativa del proyecto se realiza describiendo cada una de las fases y/o etapas las técnicas que se utilizaron para alcanzar el objetivo. A continuación se describen:

### **Fase 1. Recopilación de Información**

En esta fase inicial, se recopiló información relacionada con la población porcina objeto de estudio con el fin de determinar sus comportamientos y necesidades. Esta evaluación tenía como objetivo identificar los requisitos para la automatización de las instalaciones de la granja.

**156**

### **Fase 2. Diseño del Sistema**

A partir de la información encontrada durante la visita de campo, se realizó una evaluación para determinar qué variables eran las más críticas en el proceso. Se descubrió que la temperatura es el factor más significativo en el engorde de cerdos, ya que influye de manera crucial en la cantidad de alimento ingerido. Una vez identificada la temperatura como la variable más crítica, se implantó un sistema de control PID[6], como se muestra en la ecuación (1)

para gestionarla eficazmente [7][8].

$$PID = Kp \left( 1 + \frac{1}{TiS} + TdS \right) \quad (1)$$

De esta manera, basado en el diagrama de bloques de la figura 1, se diseña el Sistema de control, ya que su tiempo de respuesta es rápido; la siguiente variable en nivel de criticidad es la humedad relativa del corral, por ultimo se tiene la variable iluminación del habitat, dado que, con la adecuada cantidad de luz que reciben los cerdos se incrementa el consumo de alimento.

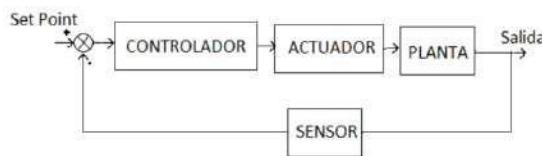


Figura 1. Diagrama de bloques sistema de control.

Tras un análisis exhaustivo de los softwares con licencia libre disponibles en el mercado y considerando la experiencia con LabVIEW®, se concluye que este es el más adecuado.

Se llevó a cabo la implementación del diseño, proporcionando una interfaz HMI muy amigable y clara para que el operador pueda supervisar el proceso en sus diferentes etapas, dando la opción de ajustar las condiciones iniciales según la época de año (invierno–verano), como se aprecia en la Figura 2..

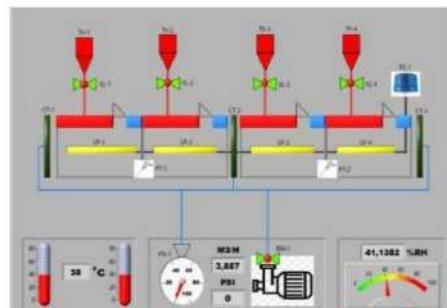


Figura 2. Interfaz del sistema

### 3 Resultados y Discusión

En el diseño del sistema se implementa una serie de variables para diferentes procesos, los cuales se estructuraron y acoplaron dando como resultado el objetivo propuesto.

Se tuvo en consideración que este tipo de animales es muy sensible a los cambios que se pueden producir en el ambiente y a la concentración de NOX, CO2, por lo que la climatización de la instalación tiene que cumplir con cierta estabilidad en cuanto al sistema de iluminación, intensidad luminosa, sistema de ventilación, Sistema de humidificación y sistema de distribución de alimento. La Figura 3 muestra el panel de control del sistema propuesto, mientras que la figura 4 muestra la interfaz HMI del sistema en funcionamiento.



Figura 3. Panel de control

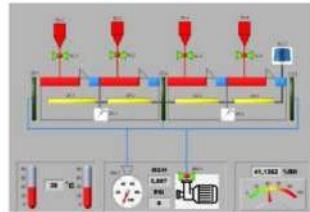


Figura 4. Interfaz del sistema simulado

### 4 Conclusiones

Un sistema automatizado para granjas de engorde de cerdos representa un avance significativo en la gestión ganadera moderna. Utilizando tecnología de punta para monitorizar y controlar condiciones ambientales como la temperatura, la humedad, la alimentación y la iluminación, los productores pueden optimizar el bienestar y la productividad de los animales. La integración del software LabVIEW® permite visualizar los datos en tiempo real y realizar ajustes precisos, lo que permite a los operarios mantener unas condiciones óptimas de forma eficaz. Este sistema no sólo simplifica el proceso de gestión de operaciones a gran escala, sino que también garantiza que las granjas cumplan las normas industriales de calidad y competitividad. Dado que la demanda de carne de cerdo sigue aumentando, este tipo de soluciones automatizadas son esenciales para cumplir los objetivos de producción al tiempo que se minimiza el consumo de recursos y se mejora la salud y el confort general de los animales.

# References

- [1] F. Sagaró-Zamora and E. Ferrer-Hernández, "Alimentación para cerdos de ceba en condiciones locales de agricultura familiar," *Cienc. en su PC*, vol. 1, no. 4, pp. 22–35, 2021, [Online]. Available: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=181371071012>.
- [2] A. Y. V., C. Ga. D., N. Acosta Lozano, and M. D., "Comportamiento productivo de cerdos en ceba con la inclusión de harina de vísceras de pollos en la alimentación bajo condiciones de la región amazónica Productive performance of fattening pigs with the inclusion of viscera meal in poultry feed under condi," *Livest. Res. Rural Dev.* ., vol. 33, no. 7, pp. 4–13, 2021, [Online]. Available: <https://www.lrrd.org/lrrd33/7/3396crist.html>.
- [3] H. Cui, "Automated optical inspection for quality control in food processing: A review," *Trends Food Sci. Technol.*, vol. 94, 2019.
- [4] M. Kumar, "Automation in food processing industry: A review," *Int. J. Comput. Appl.*, vol. 177, no. 25, pp. 37–44, 2020.
- [5] P. A. Quinteros, M. C. Zurita, N. C. Zambrano, and L. M. Esthela, "Automatización de los procesos industriales," *J. Bus. Entrep. Stud.*, vol. 4, no. 2, pp. 123–131, 2020, [Online]. Available: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7888290>.
- [6] W. Perez-Torrado, E. Espinel-Blanco, and T. Velásquez-Pérez, "Design of a proportional integral derivative controller of temperature regulated for a nursery," in *Journal of Physics: Conference Series*, 2021, vol. 1938, no. 1. doi: 10.1088/1742- 6596/1938/1/012020.
- [7] P. Sulakhe, V. P. Rajderkar, and T. Guhe, "Comparison Between PID and SMC Controller to Control the Speed of DC Separately Excited Motor," in *Lecture Notes in Electrical Engineering*, 2024, vol. 1109, pp. 333–341. doi: 10.1007/978-981-99-8289- 9\_25.
- [8] M. Wang et al., "Environmental control and energy saving effect of heat lamp with variable power heating for piglets," *Nongye Gongcheng Xuebao/Transactions Chinese Soc. Agric. Eng.*, vol. 35, no. 15, pp. 182–191, 2019, doi: 10.11975/j.issn.1002- 6819.2019.15.023.

# FORMALISMO MATRICIAL PARA LA IDENTIFICACIÓN DE PARÁMETROS EN MOTORES DE DC CON ESCOBILLAS

C. Padilla<sup>1</sup>, W.A. Hernandez B.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Universidad de los Llanos, Villavicencio, Colombia

[cdpadilla@unillanos.edu.co](mailto:cdpadilla@unillanos.edu.co)

**Resumen.** Los motores de DC con escobillas tienen amplio uso en diversas aplicaciones desde movilidad hasta robótica debido a su relativo bajo costo de fabricación y control. Es necesario por tanto tener modelos confiables de este tipo de motores y para ello se usan técnicas para encontrar el valor de los distintos parámetros presentes en esos modelos. En este trabajo se presentan los resultados obtenidos usando un modelo obtenido a partir de primeros principios ampliamente conocido en la literatura y un método matricial para encontrar los valores de los parámetros. Son presentados los resultados numéricos de los parámetros y los resultados obtenidos de las simulaciones del modelo en comparación con las mediciones experimentales.

**Palabras clave:** Motor DC con escobillas, modelado, formalismo matricial, identificación.

## 1 Introducción

**160**

Los motores de DC con escobillas son usados en diversas aplicaciones como movilidad eléctrica y mecatrónicos debido a su gran rango de velocidades y relativo bajo costo de construcción y control [1] [2] [3]. Dado su amplio uso es necesario tener un modelo para poder implementar estrategias de control, para ello hay principalmente dos estrategias. Por una parte la identificación de sistemas donde, ya sea por medio de mínimos cuadrados, redes neuronales y lógica difusa entre otros, se logra obtener un modelo matemático a partir de señales de entrada y salida del sistema [4]. La segunda estrategia es el modelado a partir de primeros principios ya sea modelos de

primer orden [5] o modelos más completos [3] [6]. Una vez obtenido el modelo del motor existen diversas estrategias de control tratadas ampliamente en la literatura [1]. En este trabajo se presenta la identificación de los parámetros de un motor DC con escobillas usando el modelo lineal presentado en la literatura [6] [7] y el método matricial presentado en [6]. Los valores de los parámetros son presentados y el resultado de la simulación del modelo es comparado con las mediciones experimentales.

## 2 Metodología

El modelo del motor DC con escobillas viene dado por el siguiente conjunto de ecuaciones escritas en forma matricial

$$\underbrace{\begin{bmatrix} \left[ \frac{di}{dt} \right]_{nT} & i(nT) & \omega(nT) & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -i(nT) & \left[ \frac{d\omega}{dt} \right]_{nT} & \omega(nT) \end{bmatrix}}_{\overline{\overline{W}}(nT)} \underbrace{\begin{bmatrix} L \\ R \\ K_T \\ J \\ f \end{bmatrix}}_{\overline{K}} = \underbrace{\begin{bmatrix} v(nT) \\ 0 \end{bmatrix}}_{\overline{y}(nT)} \quad (1)$$

Donde  $K_T$  es la constante de torque,  $f$  es el coeficiente de fricción viscosa,  $J$  es el momento de inercia del rotor,  $R$  y  $L$  son la resistencia e inductancia del rotor. Las señales en este caso son el voltaje  $v(t)$ , la corriente  $i(t)$  y la velocidad angular  $\omega(t)$  [6]. Además las señales se han discretizado usando  $t = nT$  siendo  $n = 1, 2, 3, \dots, N$  el número de muestra y  $T$  el periodo de muestreo. Escribiendo de forma compacta el sistema las matrices y pre-multiplicando a ambos lados por la matriz  $W(nT)$  se obtiene

$$\overline{\overline{W}}^T(nT) \overline{\overline{W}}(nT) \overline{K} = \overline{\overline{W}}^T(nT) \overline{y}(nT) \quad (2)$$

El sistema 2 es tal que  $WT(nT)W(nT) * M55$  y  $WT(nT)y(nT) * M51$  son matrices que se calculan para cada muestra  $n$  y  $K * M51$  contiene los valores de los parámetros que se quieren encontrar. Como la matriz  $WT(nT)W(nT)$  en general no invertible se toma como matriz la que se obtiene al sumar todas las matrices calculadas hasta la  $N$ -ésima muestra. Realizando el mismo procedimiento de suma para  $WT(nT)y(nT)$  se obtiene

$$\underbrace{\sum_{n=1}^N W^T(nT)W(nT)}_{RW} \overline{K} = \underbrace{\sum_{n=1}^N W^T(nT)y(nT)}_{RWy} \quad (3)$$

**161**

Es decir que tenemos el sistema

$$\overline{\overline{R}}_W \overline{K} = \overline{R}_{W_y} \quad (4)$$

donde, suponiendo que  $RW$  es invertible, es posible obtener el vector de constantes  $K$  de la forma

$$\overline{K} = \overline{\overline{R}}_W^{-1} \overline{\overline{R}}_{W_y} \quad (5)$$

Para medir las señales del motor, se implementó un circuito que conecta el sensor INA 219 y un encoder de cuadratura al microcontrolador ESP 32, como se muestra en la Figura 1. Mediante comunicación I2C, el sensor envía las señales de voltaje y corriente del microcontrolador. Utilizando interrupciones, se leen los pulsos del encoder y se calcula la velocidad angular del motor. Todos los datos obtenidos son almacenados en formato csv dentro del microcontrolador y este es transferido a un computador para ser analizados con Python.

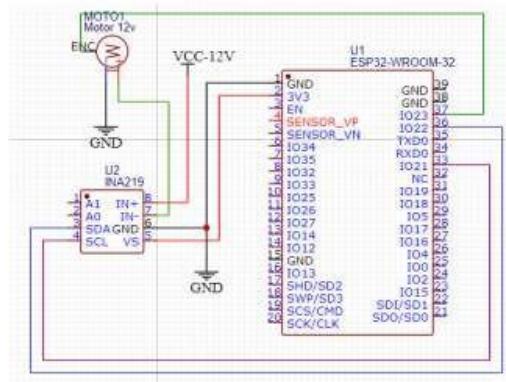


Fig 1. Esquemático del circuito para captar las señales del motor.

## 3 Resultados

Se tomaron datos del voltaje, corriente y velocidad angular del motor durante 5 minutos con un periodo de muestreo de 10 ms. Se implementó el método propuesto por Chiasson en [6] para obtener el valor de los parámetros y se simuló el comportamiento de la corriente y velocidad angular del motor.

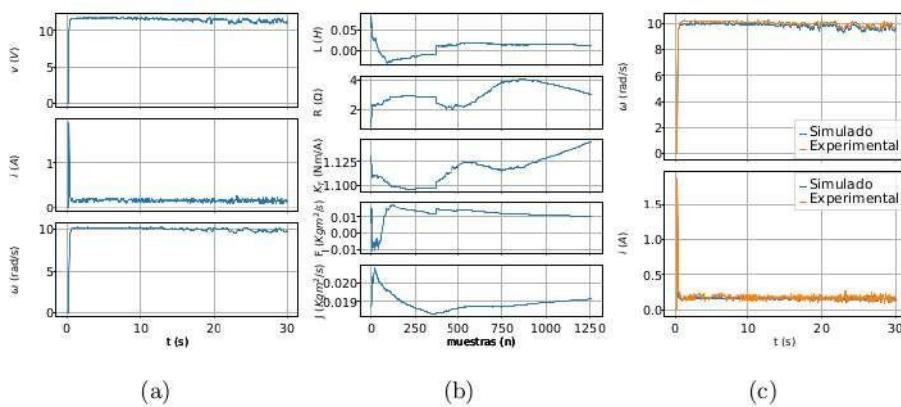


Fig 2. a) Señales obtenidas para en el motor para 30 s de muestreo. b) Valor de los parámetros como función del tiempo para aproximadamente 5 minutos. c) Resultado de la simulación del modelo para la velocidad angular y la corriente usando los parámetros estimados y asumiendo como entrada el voltaje del motor.

La Figura 2a muestra el comportamiento de los primeros 30 segundos de señal, obtenido de las diferentes variables del motor. Estos datos fueron procesados mediante el método matricial para obtener el valor de los parámetros del motor y su comportamiento en el tiempo, como se ve en la Figura 2b. Los valores de inductancia, fricción viscosa y el momento de inercia, tienden a estabilizarse a medida que pasa el tiempo. Por otro lado, se aprecian fluctuaciones en el valor de la resistencia y la constante de torque que pueden deberse al calentamiento del motor en el tiempo.

Con los valores de los parámetros que se obtuvieron y utilizando el modelo matemático del motor de DC presentado en [6], se realizó la respectiva simulación de la evolución de la corriente y velocidad angular del motor en el tiempo usando como entrada el valor medido de voltaje. En la Figura 2c, se observa la concordancia entre el comportamiento teórico y el experimental de estas variables, demostrando que los valores obtenidos son adecuados.

## 4 Conclusiones

163

Se implementó el método para la implementación de los parámetros del motor de DC con escobillas propuesto en [6] y se observó que los parámetros son capaces de producir, a partir de la simulación del modelo teórico, resultados similares a los obtenidos en las mediciones. Para la inductancia, coeficiente de fricción y momento de inercia los valores obtenidos tienden a estabilizarse, mientras que para la resistencia y la constante de torque existen fluctuaciones mayores. El método resultó ser computacionalmente económico.

co, pues la operación con mayor complejidad es la inversión de una matriz 5x5 que puede ser llevada a cabo usando el método de descomposición LU.

## References

- [1] D.A. Barkas, G.C. Ioannidis, C.S. Psomopoulos, S.D. Kaminaris, G.A. Vokas, *Electronics* 9(6) (2020). DOI 10.3390/electronics9060887. URL <https://www.mdpi.com/2079-9292/9/6/887>.
- [2] K. Hameyer, R. Belmans, *IEEE Transactions on Industrial Electronics* 43(2), 247 (1996). DOI 10.1109/41.491348.
- [3] B.D. Hirpo, W. Zhongmin, *International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT)* 6(10), 327 (2017).
- [4] B. Arifin, A.A. Nugroho, B. Suprapto, S.A.D. Prasetyowati, Z. Nawawi, in 2021 8th International Conference on Electrical Engineering, Computer Science and Informatics (EECSI) (2021), pp. 257–262. DOI 10.23919/EECSI53397.2021.9624259.
- [5] J. Chotai, K. Narwekar, in 2017 International Conference on Advances in Computing, Communication and Control (ICAC3) (2017), pp. 1–5. DOI 10.1109/ICAC3.2017.8318792.
- [6] J. Chiasson, *Modeling and High-Performance Control of Electric Machines* (John Wiley & Sons, 2005).
- [7] K. Ogata, *Modern Control Engineering* (Pearson, 2010)

# DISEÑO DE UN SISTEMA DE PRESCRIPCIÓN DE RIEGO BASADO EN LA MEDIDA DE LA TEMPERATURA DE LAS HOJAS

Luis D. Sánchez 1[0009-0004-2671-1879], Andrés F. Jiménez1[0000-0001-8308-7815] y  
Luis A. Rodríguez1[0000-0001-7346-5640]

1 Universidad de los Llanos, Facultad de Ciencias Básicas e Ingeniería. Grupo de Investigación MACRYPT, FarmTechnology, Villavicencio, Colombia.  
luis.sanchez.rincon@unillanos.edu.co

**Resumen.** La determinación de las prescripciones de riego basada en la medición de la temperatura de las hojas permite estimar el estrés hídrico de las plantas. Entre los métodos utilizados para evaluar este estrés se encuentran el Índice de Estrés Hídrico del Cultivo (CWSI) y el Método de Umbral de Temperatura-Tiempo (TTT). El objetivo de este estudio fue diseñar un sistema para medir la temperatura de las hojas en cultivos agrícolas mediante un sensor de temperatura infrarroja. Este método de determinación de necesidades de riego es no invasivo y fácil de implementar en el campo. El diseño presentado incluye tanto el aspecto físico como el funcionamiento del sistema. Se desarrolló un esquema para configurar una red de sensores, de manera que la información recabada se integre en un sistema basado en un modelo de agente inteligente. Este modelo permite al agente recopilar, procesar y analizar datos en el entorno, utilizando algoritmos de inteligencia artificial para inferir las prescripciones de riego y aplicar estas prescripciones directamente en el campo.

**Palabras clave:** Agricultura de precisión; estrés hídrico; hojas; red de sensores; temperatura.

---

165

# 1 Introducción

Actualmente, el cambio climático y el uso inadecuado de los recursos han llevado a una escasez de agua a nivel mundial [1]. En el ámbito de la agricultura de precisión, el riego de precisión permite determinar las cantidades exactas de agua a aplicar, así como el lugar y el momento adecuado para hacerlo [2]. En este contexto, se han desarrollado diversas tecnologías para la prescripción del riego, entre las cuales se incluyen sensores de humedad del suelo, estaciones meteorológicas y sensores de dosel [3]. Entre los sensores de dosel, los infrarrojos son ampliamente utilizados para evaluar el estrés hídrico en sistemas de riego por goteo, aspersión y pivotes centrales [4].

A medida que aumenta la tierra cultivada también lo hace la demanda de agua y por ende se deben implementar estrategias de prescripción de riego confiables para aumentar el uso eficiente del agua (WUE, Water Use Efficiency, en inglés) [5]. Una de las limitaciones de los métodos de programación de riego por sensores de humedad del suelo o la evapotranspiración es que estos tienen demandas de adquisición y análisis de datos relativamente grandes, limitando así su aplicabilidad [6].

El índice teórico de estrés hídrico (CWSI) [7] y el umbral de temperatura-tiempo (TTT) [8] han tenido resultados prometedores en la programación del riego para múltiples cultivos [9]. Para ambos casos se usan sensores infrarrojos (IRT, Infrared Thermometer, en inglés) para medir la temperatura de la cobertura de las hojas. Al medir esta temperatura, los valores se transforman en índices para determinar cuándo las plantas están estresadas y de esta forma programar el riego [9]. Este método de prescripción de riego es no destrutivo y de bajo costo [10]. El método CWSI usa la diferencia entre la temperatura del dosel ( $T_d$ ) y del aire ( $T_a$ ) (es decir,  $T_d - T_a$ ) en relación a una función del déficit de presión de vapor para su límite inferior. El límite superior es un valor constante y depende de las características del cultivo y las condiciones climáticas del sitio. Por otro lado, el método TTT especifica que las plantas tienen estrés hídrico cuando la temperatura de las hojas está por encima de un umbral de temperatura y un período de tiempo preestablecidos durante 24 horas.

**166**

Este trabajo muestra el diseño de una red de sensores de medición de temperatura de las hojas, con fundamentos en inteligencia artificial e IoT. El propósito es el de desarrollar este tipo de tecnologías en las condiciones sitio-específicas Colombianas.

## 2 Metodología

Este estudio se desarrolló en las instalaciones de la Universidad de los Llanos, kilómetro 12 de la vía Villavicencio – Puerto López, departamento del Meta, Colombia. Las características climáticas de la región corresponden a una temperatura media de 26°C y una precipitación media anual de 2.933 mm. En Colombia no se tienen estudios publicados en donde se utilicen los sensores de la temperatura de las hojas para la determinación de prescripciones de riego.

El sistema desarrollado en este proyecto consiste en un agente inteligente para la prescripción de riego basado en la temperatura del dosel (Figura 1). El agente inteligente consiste de los sistemas de percepción, actuación, transmisión y del servidor Web. En este documento se hace referencia al sistema de percepción. En posteriores trabajos se proyecta abordar lo referente a los cálculos de CWSI y TTT, además de la actuación en la aplicación de riego en el campo. El sistema de percepción utiliza una red de nodos de sensores IRT.

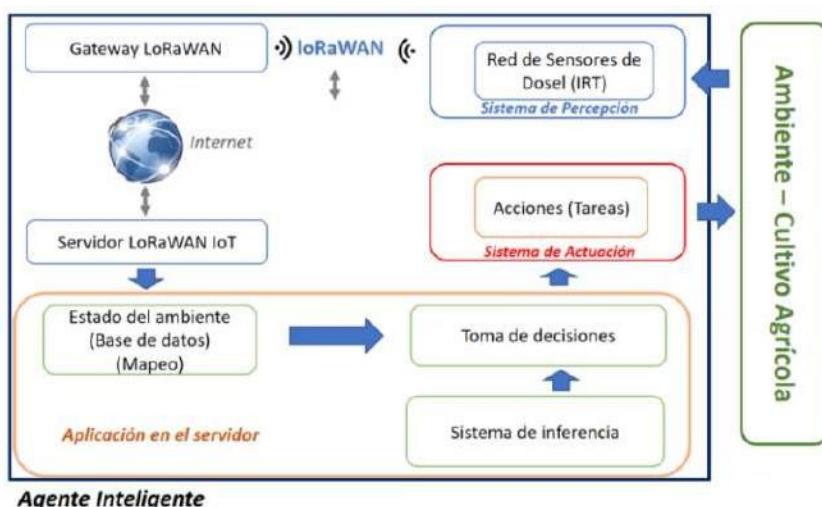


Fig. 1. Arquitectura del agente inteligente IRT. Fuente: Autores

La arquitectura de los nodos de sensores se basa en dispositivos de bajo costo y disponibilidad en el mercado colombiano. Estos nodos componen el sistema de percepción (Figura 2). Cada nodo sensor tiene un sensor de temperatura GY-906-DCI, dos baterías recargables de 3.3V, un panel solar de 5W y un regulador de potencia para asegurar el suministro de energía en campo abierto. El cerebro o sistema de procesamiento es un arduino nano, quien recibe y envía los datos hacia la estación central formada por una Raspberry Pi® Zero W (Raspberry Pi Foundation).

Posteriormente, la raspberry envía los datos remotamente mediante un módulo LA66 LoRaWAN™ (Dragino technology development co.LTD). Los dispositivos LA66 llegan a tener alcances hasta de 20km, dependiendo del tipo de antena usada, con un voltaje de operación entre 1.8V y 3.7V, y un rango de frecuencia de 150MHz a 960MHz. El módulo LA66 envía los datos a un Gateway LoRaWAN™ – LPS8-v2 (Dragino technology development co.LTD). El usuario define los tiempos de transmisión de datos hacia el Gateway LoRaWAN™, que posteriormente los envía a un Servidor LoRaWAN™ IoT. La información es recopilada mediante una aplicación web y visualizada en dispositivos con conexión a internet.

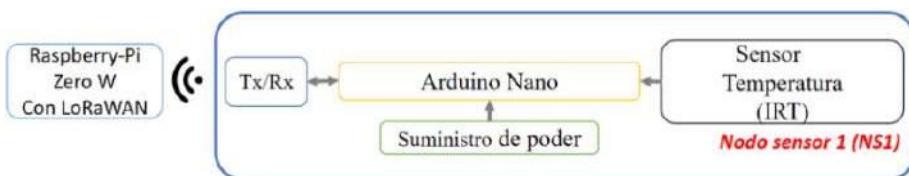


Fig. 2. Arquitectura del nodo sensor IRT. Fuente: Autores

### 3 Resultados y Discusión

La Figura 3 muestra el diagrama con los componentes electrónicos de un nodo sensor.

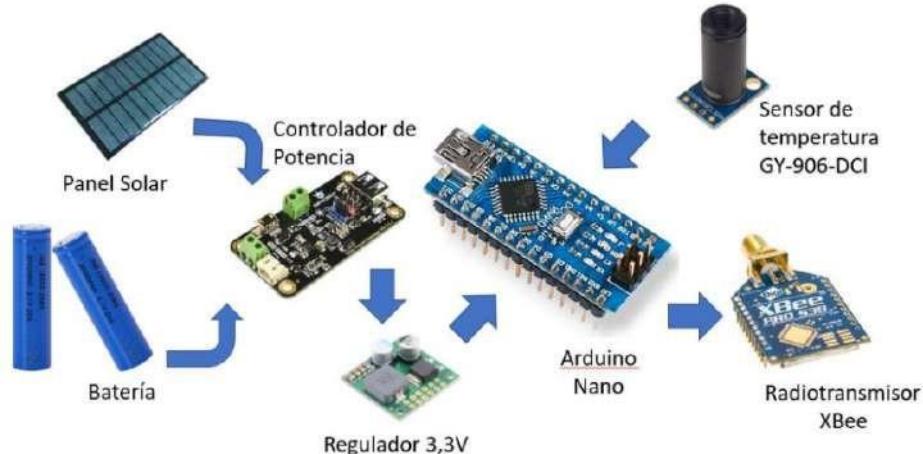


Fig. 3. Componentes de un nodo sensor IRT. Fuente: Autores.

Actualmente, los agricultores colombianos no utilizan sistemas tecnificados para la prescripción del riego. En general, el enfoque es aplicar una cantidad fija de agua diaria por área de cultivo, con algunos intervalos en los días o regar hasta saturar el suelo. Este proyecto tiene como objetivo contribuir

al desarrollo sostenible de la agricultura en Colombia al facilitar la toma de decisiones sobre el momento adecuado para regar. Esto permitirá evitar el estrés hídrico en las plantas y mejorar la producción agrícola mediante la implementación de tecnologías que aún no se han adoptado en el país.

## 4 Conclusiones

Los resultados de este estudio presentan un enfoque integral para el manejo automático del riego, basado en tecnologías de medición de temperatura de las hojas utilizando sensores infrarrojos (IRT). El sistema propuesto incluye especificaciones técnicas para la adquisición de datos y el diseño general de los componentes de la red de sensores. Todos los componentes electrónicos empleados están disponibles en el mercado colombiano. La arquitectura del sistema es robusta y adecuada para la recolección de datos en campo. En futuros trabajos, se llevará a cabo una evaluación de materiales para la protección de los sistemas electrónicos, dado que los sensores estarán expuestos a las condiciones ambientales exteriores. Se agradece a la Universidad de Los Llanos (DGI) – Villavicencio, Colombia, por el financiamiento y apoyo en el desarrollo del proyecto: Análisis de las características temporales y espaciales de parámetros de un cultivo agrícola utilizando datos de radar de apertura sintética y teledetección óptica, con código C07-F02-004-2024.

## References

- [1] Khilchevskyi, V., & Karamushka, V. (2021). Global water resources: distribution and demand. In *Clean Water and Sanitation* (pp. 1–11). Cham: Springer International Publishing.
- [2] Evett, S. R., O'Shaughnessy, S. A., Andrade, M. A., Kustas, W. P., Anderson, M. C., Schomberg, H. H., & Thompson, A. (2020). Precision agriculture and irrigation: Current US perspectives. *Trans. ASABE*, 63(1), 57–67.
- [3] Abioye, E. A., Abidin, M. S. Z., Mahmud, M. S. A., Buyamin, S., Ishak, M. H. I., Abd Rahman, M. K. I., ... & Ramli, M. S. A. (2020). A review on monitoring and advanced control strategies for precision irrigation. *Computers and Electronics in Agriculture*, 173, 105441.
- [4] Bhatti, S. (2022). Thermal Sensing for Automated Irrigation Management of Maize and Soybean in Nebraska (Doctoral dissertation, The University of Nebraska–Lincoln). [5] Bwambale, E., Abagale, F. K., & Anornu, G. K. (2022). Smart irrigation monitoring and control strategies for improving water use efficiency in precision agriculture: A review. *Agricultural Water Management*, 260, 107324.
- [6] Zinkernagel, J., Maestre–Valero, J. F., Seresti, S. Y., & Intrigliolo, D. S. (2020). New technologies and practical approaches to improve

- irrigation management of open field vegetable crops. *Agricultural Water Management*, 242, 106404.
- [7] Jackson, R. D., William, K. P., & Choudhury, B. J. (1988). A reexamination of the crop water stress index. *Irrig. Sci.*, 9, 309–317.
- [8] Wanjura, D. F., & Upchurch, D. R. (1997). Accounting for humidity in canopy-temperature controlled irrigation scheduling. *Agric. Water Mgmt.*, 34(3), 217–231.
- [9] O'Shaughnessy, S. A., Andrade, M. A., & Evett, S. R. (2017). Using an integrated crop water stress index for irrigation scheduling of two corn hybrids in a semi-arid region. [10] DeJonge, K. C., Taghvaeian, S., Trout, T. J., & Comas, L. H. (2015). Comparison of canopy temperature-based water stress indices for maize. *Agric. Water Mgmt.*, 156, 51–62.

# SISTEMA INTELIGENTE PARA LA DETECCIÓN Y COSECHA EN CULTIVOS DE FRESA CON MANTILLO

David S. Parra 1[0009-0004-8278-0414], Cristian S. León 1[0009-0006-6310-5338] y Andrés F. Jiménez1[0000-0001-8308-7815]

1 Universidad de los Llanos, Facultad de Ciencias Básicas e Ingeniería. Grupo de Investigación MACRYPT, FarmTechnology, Villavicencio, Colombia.

david.parra.carrillo@unillanos.edu.co

**Resumen.** El uso de sistemas inteligentes para la cosecha de frutos en huer-  
tos modernos permite mejorar la eficiencia en recolección y reducir los daños  
físicos de operarios derivados de las posturas inadecuadas. Estos sistemas  
inteligentes integran plataformas robóticas, inteligencia artificial, internet de  
las cosas y computación en la nube. Este artículo da a conocer los avances en  
el desarrollo de un prototipo de plataforma robótica inteligente para la detec-  
ción y recolección de frutos. El prototipo inicialmente ha sido diseñado para  
cultivo de fresa con mantillo. El diseño de la plataforma de recolección está  
equipada con un manipulador servo-visual robótico de seis grados de libertad,  
una pinza para captura y corte, una cámara RGB, un sensor de profundidad  
y un sistema de computación embebido. Para la detección y clasificación de  
fresas en condiciones de cosecha se usa un sistema de visión basado en una  
red neuronal convolucional. Se presenta el diseño de la estructura del sistema  
de recolección además de los resultados del sistema de detección y clasifica-  
ción del fruto. Se realizó un sistema de clasificación de frutos cosechables (fc)  
y no cosechables (fnc), permitiendo encontrar precisiones de 99,3 % para fc  
y 99,3 % para fnc, lo que demuestra que este enfoque tiene viabilidad para  
aplicaciones en la robótica aplicada a cultivos frutales.

**Palabras clave:** Agricultura de precisión, aprendizaje profundo, frutales; robótica, tratamiento digital de imágenes.

171

# 1 Introducción

En la actualidad los sistemas productivos agrícolas tienen el desafío de mantener la despensa de la población humana en crecimiento, enfrentando limitaciones en los recursos disponibles y la obligación de implementar técnicas sostenibles con el medio ambiente [1]. En el manejo de frutales y su recolección, existe la necesidad de mejorar la eficiencia en la recolección y evitar los problemas de postura de los operarios al realizar estas actividades [2].

La fresa es un cultivo que tiene costos de producción significativos, en donde gran parte de este costo corresponde a la mano de obra, lo cual puede generar incertidumbres en la operación en campo para los productores [3]. Este costo de operación depende del tipo de fresa, el tipo de producción y el rendimiento. En algunos países el costo puede llegar al 60% solo para cosecha, por lo cual, la recolección automatizada es una oportunidad de investigación y desarrollo. Esta recolección basada en sistemas inteligentes robóticos tiene desafíos relacionados con el manejo del fruto [4], la selectividad del fruto [5], variaciones de color y tamaño, además de que en algunos casos existe la dificultad de recolectar fresas individuales cuando existen racimos [6].

Generalmente los sistemas inteligentes de recolección de fresas tienen un sistema de visión para la detección de fresas, una pinza para recoger las fresas, un brazo para mover la pinza hasta las bayas y una plataforma que permite el manejo del espacio de trabajo del robot y proporciona su movilidad [7]. Se han desarrollado sistemas robóticos para la recolección de fresa. En [5], se enfocan en la detección de pedúnculos, con una métrica de éxito del 41,3% al usar una pinza de succión y del 34,9% al usar un cortador tipo tijera, con un tiempo de 11,5s por fruto recogido. Además, se han desarrollado robots comerciales como AGROBOT (Huelva, España), OCTINION (Lovaina, Bélgica) y Harvest CROO (Florida, EE. UU.) [6].

Los avances en la electrónica, la informática y las comunicaciones han permitido la obtención de tecnologías sofisticadas para el manejo agrícola. Estas tecnologías incluyen el aprendizaje profundo, el internet de las cosas, la computación en la nube, las redes de sensores, la visión artificial. Para el análisis de imágenes, especialmente en la clasificación de frutos se han desarrollado procesos investigativos para la evaluación de diferentes redes neuronales convolucionales. Este estudio se centra en el desarrollo de un prototipo para la recolección de frutales, inicialmente en fresas. El sistema permite el movimiento de un brazo robótico sobre la planta y seleccionar los frutos que estén disponibles para cosecharse.

## 2 Metodología

Para este proyecto, se diseñó una plataforma robótica utilizando el software CAD 3D Autodesk Inventor. El diseño contempla un brazo que se desplaza a lo largo de perfiles de aluminio de 20x20 mm y 20x40 mm, seleccionados para minimizar el peso total de la estructura. El sistema de movimiento emplea motores NEMA 17 para el control de los ejes X, Y y Z. El brazo robótico se mueve mediante un tornillo sin fin, lo que proporciona una mayor precisión en comparación con un sistema de poleas.

Para el sistema de reconocimiento se usaron 520 imágenes divididas en dos clases, frutos con características de ser cosechados y frutos no aptos para cosecha. El procesamiento de las imágenes y el entrenamiento de los modelos de clasificación se realizaron utilizando Matlab® R2024A en una estación de trabajo, equipada con un procesador I5-10300H de Intel y 2.50 GHz, tarjeta gráfica NVIDIA GeForce GTX 1650 de 4GB, 12 GB de memoria RAM y sistema operativo Windows 11 Home. La metodología del estudio se estructuró en varias etapas. En primer lugar, se realizó una expansión del conjunto de datos de entrenamiento mediante una rotación cada 45°, ajuste del brillo y del contraste, se aplicó un zoom a cada imagen, se añadió ruido gaussiano y finalmente, se invirtieron las imágenes para generar un efecto espejo. Como resultado de estas técnicas, se obtuvieron 33000 imágenes, de las cuales 20000 se utilizaron para el entrenamiento y las 13000 restantes para la validación, esto para cada clase. A continuación, se entrenó una red neuronal convolucional (RNC) con una capa de entrada, cuatro capas convolucionales ocultas y una capa de salida completamente conectada. Las capas convolucionales fueron seguidas de procesos de normalización y agrupamiento (“pooling”), para de esta forma estabilizar la distribución de las activaciones y mejorar el desempeño del entrenamiento. El modelo de clasificación se verificó generando la matriz de confusión para determinar la precisión en la clasificación.

## 3 Resultados y Discusión

173

En el análisis de los resultados obtenidos para la clasificación de frutos disponibles y no disponibles para cosecha mediante la red neuronal convolucional se obtuvo la curva de aprendizaje de la Figura 1. El modelo aplicado evidencia la capacidad para clasificar los frutos de fresa.

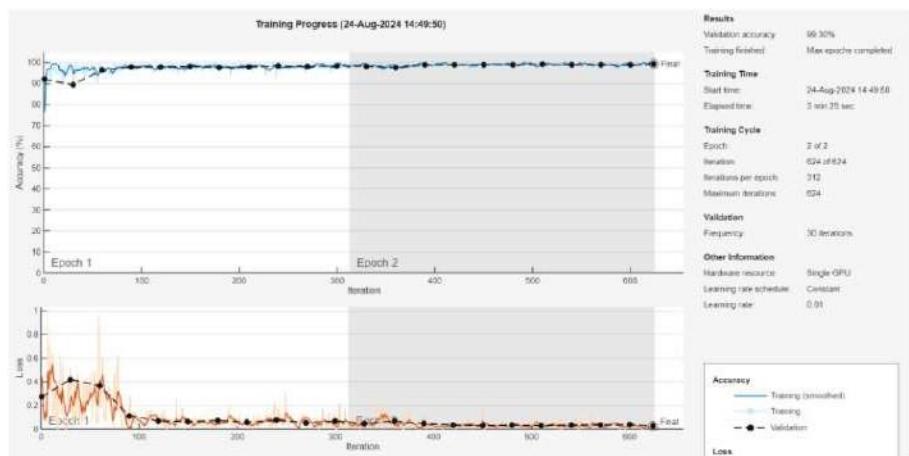


Fig 1. Precisión del modelo entrenado por clase.

En la determinación de fc, el modelo alcanzó una precisión de 99,3% y para fnc de 99,3%. Lo que explica que el modelo permite reconocer efectivamente los frutos que se deben cosechar. Estos resultados establecen la capacidad del modelo para clasificar las muestras en categorías cualitativas seleccionadas. De igual forma las curvas de pérdida tanto para el entrenamiento como para la validación muestran una disminución constante y se mantienen bajas, lo que fortalece la idea de un modelo robusto y preciso.



174

Fig 2. Matriz de Confusión resultante.

Los resultados favorecen el uso de la red neuronal convolucional como se aprecia en la Figura 2, donde se evidencia la matriz de confusión. Al analizar la matriz fue posible observar que el modelo tiene un rendimiento muy alto en la clasificación de fc y fnc. De las 13664 imágenes de fc usadas en la validación, el modelo clasificó correctamente 13573, lo que corresponde a una precisión del 99,3%. Sin embargo, cometió 91 errores al clasificar estos fc

como fnc (0,7%). Por otro lado, de las 13024 imágenes de fnc usadas en la validación, el modelo clasificó correctamente 12928, alcanzando una precisión del 99,3%, con solo 96 errores (0,7%). Estos resultados muestran que el modelo es muy eficiente para distinguir entre las dos clases.

El diseño del sistema robótico para la recolección de frutos se aprecia en la Figura 3. Una vez realizado el análisis de imagen mediante el reconocimiento basado en inteligencia artificial utilizando redes neuronales, el sistema identifica la fresa. A continuación, se activa el movimiento del brazo robótico para posicionarse sobre el fruto. La garra robótica desciende, agarra la fresa y procede a cosecharla.



Fig 3. Diseño del prototipo de plataforma robótica para recolección de fresas.

Fuente: Autores.

## 4 Conclusiones

En este trabajo se muestran los avances en el desarrollo de un prototipo de robot inteligente para la recolección de frutos de fresa. Se diseñó la infraestructura mecánica del sistema. Se definieron los fundamentos de movilidad y recolección de frutos mediante el brazo robótico. Este estudio muestra la eficacia de las redes neuronales convolucionales (RNC) en la determinación precisa de frutos aptos para la cosecha del cultivo de fresa, con una precisión de 99,30 %. Este tipo de robot es especialmente útil en cultivos donde se requiere precisión y cuidado en la manipulación del producto, en este caso las fresas. Además, la automatización de la cosecha puede aumentar la eficiencia y reducir los costos de mano de obra. Esta investigación establece una base sólida para futuras innovaciones en el uso de la inteligencia artificial y la robótica en las ciencias agropecuarias, prometiendo transformar la gestión de recursos agrícolas y potenciar la productividad en la agricultura moderna.

**175**

Se agradece a la Unillanos por el proyecto: "Diseño de un prototipo para microscopía de alta resolución basado en la técnica de ptcografía de Fourier" código C10-F02-007-2024.

## References

- [1] Barrett, C. B. (2021). Overcoming global food security challenges through science and solidarity. *American Journal of Agricultural Economics*, 103(2), 422–447.
- [2] Aiello, G., Vallone, M., & Catania, P. (2019). Optimizing the efficiency of olive harvesting considering operator safety. *Biosystems Engineering*, 185, 15–24.
- [3] Yamamoto, S., Hayashi, S., Yoshida, H., & Kobayashi, K. (2014). Development of a stationary robotic strawberry harvester with a picking mechanism that approaches the target fruit from below. *Japan Agricultural Research Quarterly: JARQ*, 48(3), 261–269.
- [4] Dimeas, F., Sako, D. V., Moulianitis, V. C., & Aspragathos, N. A. (2015). Design and fuzzy control of a robotic gripper for efficient strawberry harvesting. *Robótica*, 33(5), 1085– 1098.
- [5] Hayashi, S., Shigematsu, K., Yamamoto, S., Kobayashi, K., Kohno, Y., Kamata, J., & Kurita, M. (2010). Evaluation of a strawberry-harvesting robot in a field test. *Biosystems engineering*, 105(2), 160–171.
- [6] Xiong, Y., Peng, C., Grimstad, L., From, P. J., & Isler, V. (2019). Development and field evaluation of a strawberry harvesting robot with a cable-driven gripper. *Computers and electronics in agriculture*, 157, 392–402.
- [7] Grimstad, L., & From, P. J. (2017). The Thorvald II agricultural robotic system. *Robotics*, 6(4), 24.

# AUTOMATIZACIÓN DE PROCESOS DE GESTIÓN CONTABLE EN UNA EMPRESA LOCAL ATRAVÉS DE HERRAMIENTAS DE MICROSOFT Y PYTHON

Julián León, Andrés González

Universidad Industrial de Santander, Escuela de Ingeniería de Sistemas e Informática, Bucaramanga-Colombia,

julian2191941@correo.uis.edu.co

**Resumen.** La generación manual de reportes contables en una empresa local consume tiempo excesivo, afectando la eficiencia operativa. Este trabajo busca automatizar el proceso de generación y envío de reportes contables, reduciendo significativamente el tiempo requerido y aumentando la precisión. Para ello, se integraron herramientas de Microsoft Power Platform (Power Automate y Power Apps) con scripts en Python conectándose a bases de datos, realizando procesamiento de datos, y generación de reportes automatizados. La automatización permitió reducir el tiempo de ejecución de 135 horas por trimestre a un máximo de 20 minutos, disminuyendo el esfuerzo anual de 540 horas a aproximadamente 2 horas. La integración de Python con Microsoft Power Platform es una solución eficaz para la automatización de procesos contables cuya característica es el tratamiento de grandes volúmenes de datos, liberando recursos significativos y mejorando la eficiencia operativa.

177

**Palabras clave:** Automatización, Microsoft Power Platform, Python.

## 1 Introducción

En el contexto empresarial, la generación eficiente de reportes es parte importante en aras de la toma de decisiones informadas y el cumplimiento de obligaciones regulatorias. La creación de estos reportes implica un recurso empresarial laborioso y manual, que demanda mucho tiempo debido a la recolección de información de diversos orígenes. Este enfoque no solo consume tiempo que puede ser mejor invertido, sino que también está propenso a errores manuales y la duplicidad de esfuerzos por parte de los empleados. Este trabajo presenta una propuesta para solventar este problema, que comprende la innovación en la automatización de la generación de reportes contables, cuya arquitectura integra herramientas de Microsoft Power Platform y Python. Se propone el uso de herramientas de Microsoft Power Platform, donde la integración entre sus herramientas genera un gran valor añadido a sus capacidades [1]. Microsoft Power Automate que ofrece una gran facilidad al orquestar flujos de trabajo automatizados [2], el uso de Scripts de Python capaces de hacer conexión a los diferentes orígenes de datos así como hospedar la principal lógica de su tratamiento [3], y finalmente Microsoft Power Apps para la mejora en la interacción y control del usuario sobre las soluciones digitales automatizadas [4,5].

Este artículo explora la implementación técnica de esta solución, discutiendo la incorporación de Microsoft Power Automate y Microsoft Power Apps con Python, evaluando así su impacto por medio del desarrollo de servicios, partiendo de la flexibilidad que ofrece a la hora de tratar datos, en la eficiencia operativa de la gestión contable.

## 2 Metodología

La solución propuesta integra múltiples tecnologías para automatizar la generación y envío de reportes contables. En la Figura 1 se presenta la arquitectura de la solución que se compone de tres componentes principales: (1) la interfaz gráfica de usuario (GUI) desarrollada en Power Apps, (2) los flujos de trabajo automatizados mediante Power Automate, y (3) los scripts de Python responsables de la conexión a bases de datos y el procesamiento de datos.

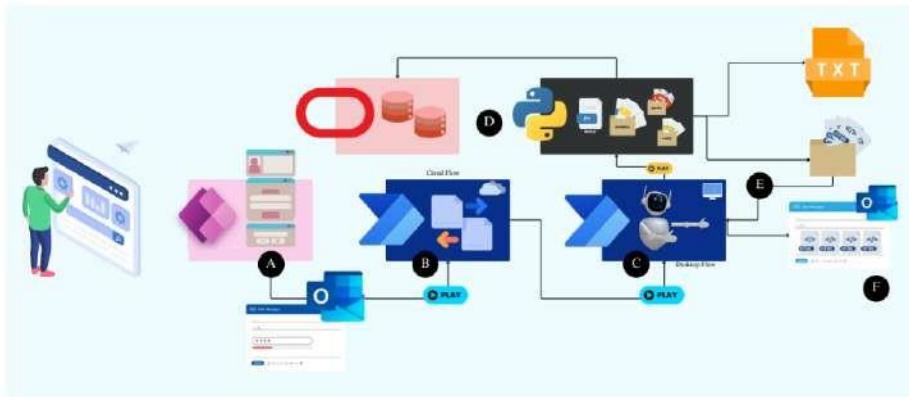


Fig. 1. Arquitectura y flujo lógico del funcionamiento.

## 2.1. Captura de Parámetros

El usuario interactúa con una interfaz gráfica construida en Power Apps Figura 1 (A). Diseñada para capturar parámetros clave para la creación del reporte. Estos parámetros definen un intervalo temporal que permite la extracción de la información en el periodo de tiempo a reportar. La interfaz tiene un enfoque intuitivo y simplificado, permitiendo que el usuario no interactúe de manera directa con el código subyacente.

## 2.2. Disparo del Flujo de Nube

Por consiguiente a la acción del botón de generación de reporte en la interfaz, se desencadena un flujo de nube construído en Power Automate Figura 1 (B). Este flujo actúa como un middleware, transfiriendo los parámetros capturados hacia una cuenta técnica vía Outlook. Esta cuenta técnica reside en un servidor donde reside la lógica de negocio, esto asegura la seguridad del código fuente. Este envío desencadena un flujo de nube hospedado en el servidor, para invocar el flujo de escritorio y transferir los parámetros.

## 2.3. Ejecución del Flujo de Escritorio

179

Posterior a la invocación del flujo de escritorio, recibe los parámetros en variables. Este flujo es el responsable de invocar el script principal, pasando los parámetros en la línea de comandos, estos son necesarios para la conexión a las bases de datos y el proceso que el proyecto efectúa Figura 1 (C). El script se conecta a bases de datos Oracle utilizando la biblioteca `python-oracledb`, configurada para operar en modos delgado o grueso dependiendo de la versión específica de la base de datos.

## 2.4. Conexión a Bases de Datos y Extracción de Datos

El módulo de conexión del script de Python establece conexiones con las bases de datos Oracle Figura 1 (D). Este enlace se realiza según la versión de la base de datos. Se usa el modo delgado (thin mode) para versiones 12 en adelante, o en su defecto el modo grueso (thick mode) para versiones desde 9.2 en adelante, que usa un enlace por medio de librerías de cliente instantáneo (Oracle Instant Client Library). La extracción de los datos se realiza por medio de consultas (Queries) SQL parametrizados, que recibirán los parámetros que ofrece el flujo de escritorio al ejecutar el Script [6].

## 2.5. Tratamiento de Datos

Teniendo conexión exitosa y la información de queries, los módulos de tratamiento manejan la limpieza y transformación de los datos extraídos. Este proceso se lleva a cabo por medio de la biblioteca Pandas, donde su formato de aplicación es por medio de DataFrames, aplicando filtros, cambio de signo, cambio de tipo de dato o formato, eliminación de valores nulos y demás Figura 1 (D). Pandas ofrece una flexibilidad grande para el procesamiento de los datos [7]. Creando la posibilidad de incluir información adicional en archivos de Excel que contengan conciliaciones hechas por otros canales de la organización. La integración de los datos de ambas bases de datos se realiza mediante la concatenación de Data Frames, generando un conjunto de datos final listo para su reporte. Finalmente este proceso hospeda el reporte en un archivo plano y otras características de su formato expedido por la entidad regulatoria en una carpeta local compartida con el usuario [8]. Adicional a esto se crean tablas HTML con la información individualizada de cada ítem, para posterior envío de detalle a cada entidad Figura 1 (E).

## 2.6. Notificación a Entidades Reportadas

Como paso final, el flujo de escritorio obtiene el contenido de la carpeta donde están las tablas HTML, recorre una por una adjuntándola en el cuerpo de un correo previamente parametrizado, y lee un archivo excel que relaciona el código de la entidad con el correo al que se debe enviar el detalle Figura 1 (F).

180

# 3 Resultados y Discusión

La implementación de la solución propuesta se realizó en una empresa local la cual asume los costos del licenciamiento de las herramientas de Microsoft. Se usaron las bases de datos de la empresa, donde sus particularidades en la

información extraída son DataFrames de dimensiones aproximadas 5x3000 y 21x27000, incluyendo la información de conciliaciones en archivos de Excel. Con la automatización, se obtuvieron resultados de entre 15 a 20 minutos por cada ejecución que es requerida cada trimestre según especifica la entidad regulatoria, lo que equivale a un aproximado entre 60 y 80 minutos. De acuerdo a las variaciones en la carga de trabajo, que representa el aumento o disminución de ítems.

La proporción comparada con el tiempo necesario para la generación del reporte antes de la automatización es reflejada en la Figura 2, teniendo un consumo de horas donde la media mensual de 45 horas, mientras que posterior a la automatización se tiene una media mensual de 80 minutos.

## 4 Conclusiones

La integración de Python en entornos de Microsoft ha demostrado ser una solución poderosa y flexible para automatizar procesos, incluyendo la generación de reportes contables. La capacidad proporcionada por Python en el manejo de grandes volúmenes de datos, su vasta gama de bibliotecas especializadas como Pandas, y su facilidad a la hora de hacer conexión a las bases de datos permite realizar tratamiento de datos que serían difíciles, o ineficientes utilizando únicamente herramientas nativas de Microsoft. Teniendo un volumen de datos grueso donde la generación de estos reportes sin la automatización requiere aproximadamente 27 minutos por ítem, teniendo un total promedio de 300 ítems por trimestre. Un tiempo de ejecución de 8120 minutos o 135 horas, al año un total de 540 horas al año Figura 2 (a).

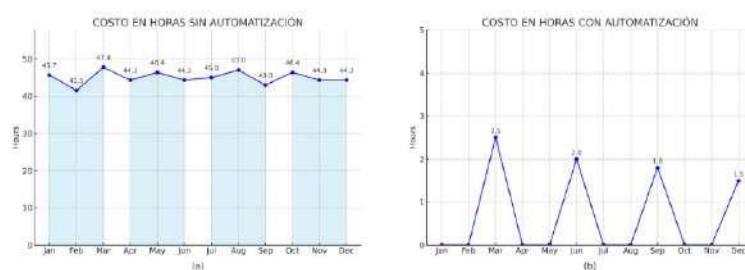


Fig 2. Costo en horas para relizar el reporte (a) antes de la automatización (b) después de la automatización.

La reducción del tiempo operativo se reduce en un 99.7 %, una liberación significativa de recursos que pueden ser redirigidos en actividades de mayor valor añadido dentro de la organización Figura 2 (b). Este ahorro de tiempo no solo mejora la eficiencia operativa, sino que también impacta directamente

en los costos asociados a la generación de reportes, lo que es clave para el cálculo del retorno sobre la inversión (ROI).

## References

- [1] H. Narayn, *Building the Modern Workplace with SharePoint Online: Solutions with SPFx, JSON Formatting, Power Automate, Power Apps, Teams, and PVA*. APRESS, 2023.
- [2] H. Vartiainen, "Lean management empowerment: Elevating employee experience through rpa implementation with microsoft power automate," 2024.
- [3] T. Rattenbury et al., *Principles of Data Wrangling: Practical Techniques for Data Preparation*. O'Reilly Media, 2017.
- [4] P. Simon, *Low-Code/No-Code: Citizen Developers and the Surprising Future of Business Applications*. Racket Publishing, 2022.
- [5] tapanm MSFT. (2024) Documentación oficial de microsoft power apps – power apps. [Online]. Available: <https://learn.microsoft.com/es-es/power-apps/> 6. Oracle, *Introduction to the Python driver for Oracle Database*, Oracle, 2024, [https://pythonoracledb.readthedocs.io/en/latest/user\\_guide/introduction.html](https://pythonoracledb.readthedocs.io/en/latest/user_guide/introduction.html)
- [7] T. pandas development team, *pandas documentation*, pandas 2.2.2 documentation, 2024, <https://pandas.pydata.org/docs/index.html>.
- [8] J. Kazil and K. Jarmul, *Data Wrangling with Python: Tips and Tools to Make Your Life Easier*. O'Reilly Media, 2016.

# DIGITAL GOVERNMENT POLICY ASSESSMENT AT LOCAL GOVERNMENTS OF COLOMBIA

Juan-Manuel Rojas P.<sup>1</sup> and Diana M. Cardona-Román<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Universidad Nacional Abierta y a Distancia – UNAD, <sup>2</sup> Universidad de los Llanos

[juan.rojas@unad.edu.co](mailto:juan.rojas@unad.edu.co)

**Resumen.** This work provides a comprehensive review of research on evaluating e-government and e-participation initiatives across three dimensions: domain, scope, and objective. It focuses on evaluating digital government policies, particularly the effectiveness of digital services that promote citizen e-participation. Using content analysis and a case study evaluating citizen services in region Meta-Colombia, the study reveals progress in providing online information (e-information) but deficiencies in offering online services (e-services) and citizen participation (e participation). Despite reliance on website evaluations, progress in web based service delivery remains lacking. The research enhances understanding of e-government evaluation and highlights the need for more robust policy implementation tailored to citizen needs.

**Palabras clave:** Assessment, E-participation, E-government, Digital Government, Public policies.

## 1 Introducción

183

E-government refers to the use of Information and Communication Technology (ICT) to improve the efficiency, effectiveness, accessibility, and accountability of government services to citizens. Key features of e-government include electronic service delivery, electronic workflow management, electronic voting systems, and enhanced electronic productivity tools. [15] The United Nations E-Government Survey [19], in its 2022 edition, Latin American and Caribbean countries showed progress in digital government, with several surpassing the global average E Government Development Index (EGDI). The Bahamas, Chile, Costa Rica, and Uruguay emerged as outstanding examples

of digital government excellence in the region. Despite significant regional differences, Colombia faces hurdles in ensuring widespread Internet access, cultivating digital literacy, and bridging the urban-rural divide. This work addresses the following issue: How to evaluate digital government policies in the municipalities of Meta Colombia?

## 2 e-Government and Public Policy Assessment

In Colombia, the concept of e-government has evolved into digital government, based on the Handbook for the Implementation of Digital Government by [13], as the progress achieved so far has helped consolidate a state policy to improve service delivery to citizens. The state policy now prioritizes administrative efficiency and citizen empowerment over mere automation and online services. The goal of Public Policy Evaluation is to assess the progress or development of a public intervention and its deployment tools, identify the risks and factors that may influence the results and the fulfillment of the defined objectives, and propose recommendations for improving the intervention [4]. The United Nations has introduced the E-Participation Index (EPI), which has been used since 2003 to evaluate eParticipation initiatives worldwide. However, the index lacks some aspects of measurement [17]. [9] proposes a conceptual evaluation about the maturity level of e-government in countries using the TOE (Technology Organization–Environment) theory. Otherwise, [5] to show an assessment of the maturity level of e-government in a city using a model with three dimensions and 12 characteristics based on the analysis of the websites of selected entities.

## 2 Metodología

For the systematic literature review, the PICOC method was used to structure the search keywords into the online tool Parsifal [3]. The categories were defined as follows:

**184**

Population: e-gov, e-government, electronic government, IT services, citizen  
Intervention: assessment, evaluation, evaluate, assess, evaluating, appraisal  
Comparison: model, framework, public sector, public policy, program, strategy  
Outcome: e-participation, maturity model

### Context: 5 years

The search string with the keywords of PICOC and used to query the ACM and Scopus databases was as follows: ("e-gov" OR "e-government" OR "electronic government") AND ("e-participation") AND ("assess" OR "assessment")

OR “evaluate” OR “evaluating” OR “appraisal”) AND (“framework” OR “models” OR “program” OR “public policy” OR “public sector”)

The selected research papers were categorized according to specific criteria: domain, scope, and objective. The domain indicates the sector in which the study was conducted, such as local, or regional. Scope focuses on the type of service provided to citizens, whether internal, procedural, or external. Finally, the objective verifies whether the document evaluates the application of a model or framework, or examines e-participation.

The maturity assessment matrix for websites developed by [6] was used as a basis. The matrix consists of 12 items distributed across three dimensions: e information, e-services and e-participation, with each item representing the four maturity levels for each dimension. The 29 territorial entities or municipalities analyzed for the diagnosis were: Acacías, Barranca de Upía, Cabuyaro, Castilla La Nueva, Cubarral, Cumaryl, El Calvario, El Castillo, El Dorado, Fuente de Oro, Granada, Guamal, La Macarena, Uribe, Lejanías, Mapiripán, Mesetas, Puerto Concordia, Puerto Gaitán, Puerto Lleras, Puerto López, Puerto Rico, Restrepo, San Carlos de Guaroa, San Juan de Arama, San Juanito, San Martín de los Llanos, Villavicencio, and Vista Hermosa.

## 3 Resultados y Discusión

### 3.1 Domain: To which sector is the research applied?

The domain was grouped into two sectors.

Local Public Administrations Research in this domain includes studies related to local governments [10] [7] [16].

Regional Governments Research in this domain includes studies related to a country or several cities within a country [12] [1].

### 3.2 Scope: What types of services were evaluated?

The types of services can be grouped into three categories.

External Services: These services are primarily provided online through Internet applications or Web services and online services [7] [8] [10].

Internal Services: Some studies have focused on the internal aspects of e government ICT resources [16] [18], maturity levels, or theoretical aspects analyzed to understand e-participation at different levels [8].

**185**

Procedural: The review also included studies that used UN e-government surveys as a starting point for evaluating e-governance initiatives [1] [12].

### **4.3 Objective: What aspects of e-government are evaluated?**

Some of the articles deal with content analysis and maturity models [5] [8], others include e-participation models [14], or dimensions of an evaluation model [11], and others show the digital perception of the government [2] [18].

### **4.4 Maturity Model applied in local governments of Colombia: Meta municipalities**

The maturity model have four level: Initial, Executed, Managed, and Optimized. The municipalities of Villavicencio, Granada, Puerto Lopez and Castilla La Nueva stand out for having reached the "Executed Level". However, their progress is limited by the fact that they do not meet the established criteria, especially in the dimensions of e-services and e-participation. The e-information dimension is the most established among Meta's municipalities, with all sites surveyed offering basic information, FAQs, and regular updates, that it, Initial level in 100 %. In the other three levels, the development is relatively uniform at about 30 %, suggesting a concerted effort to provide comprehensive information on their web platforms. The e-services dimension shows that the maturity level does not exceed 50 percent, indicating limited development in the availability of service information. The scenario depicted in the E-participation dimension is equally disheartening, with the highest percentage for any criterion not exceeding 40 %. Criteria in this dimension encompass active social network presence, typically met by most evaluated administrations, and budget publication, often available as a PDF file reachable within three clicks.

## **4 Conclusiones**

**186**

The level of adoption and maturity among the municipalities in Meta department ranges from levels 1 to 2 on the spectrum, indicating a relatively low maturity overall, with only a handful of municipalities reaching the second stage. Notably, the dimensions of e-services and e-information yielded the highest results. However, municipal websites were found to lack essential features such as user guides, tutorials, and advanced search tools. This deficiency was consistent across the evaluation model utilized during the diagnosis and the proposed maturity matrix. Therefore, there's a pressing need

to empower citizens to enhance their awareness of the available features on local government websites, fostering a true sense of digital citizenship.

## References

- [1] Alarabiat, A., Soares, D., Ferreira, L., Sá-Soares, F.D.: Analyzing e-governance assessment initiatives: An exploratory study. In: ACM International Conference Proceeding Series (2018).
- [2] Arfeen, M.I., Nielsen, M.M.: Digital government initiatives in balochistan: A case study. In: ACM International Conference Proceeding Series. vol. Part F132087 (2017).
- [3] autor, S.: Parsifal (11 2022), <https://parsif.al/>
- [4] Casillas, C., Diaz, L., Lago, E., Macia, M.: Guidelines for the implementation evaluation of public policies, vol. 1. Institute for the evaluation of public policies (2020)
- [5] Dias, G.P., Bruzza, M., Tupia, M.: Local e-government sophistication in ecuador: The case of the manabí province. In: 2019 6th International Conference on Democracy and eGovernment, ICEDEG 2019 (2019)
- [6] Dias, G.P., Costa, M.: Significant socio-economic factors for local e-government development in portugal. *Electronic Government* 10 (2013)
- [7] Dias, G.P.: Adoption and use of mobile applications by local governments: The case of portugal. In: ACM International Conference Proceeding Series (2021)
- [8] Dias, G.P., Tupia, M., Reyes, J.M.M.: Evaluation of local e-government maturity in the lima metropolitan area. In: Advances in Intelligent Systems and Computing. vol. 930 (2019)
- [9] Krishnan, S., Teo, T.S., Lymm, J.: Determinants of electronic participation and electronic government maturity: Insights from cross-country data. *International Journal of Information Management* 37, 297–312 (8 2017). <https://doi.org/10.1016/j.ijinfomgt.2017.03.002>
- [10] Lameiras, M., Silva, T., Tavares, A.: An empirical analysis of social media usage by local governments in Portugal. In: ACM International Conference Proceeding Series (2018)
- [11] Lessa, L., Tsegaye, A.: Evaluation of the public value of e-government services in ethiopia: Case of court case management system. In: ACM International Conference Proceeding Series. vol. Part F148155 (2019)
- [12] Ma, L., Zheng, Y.: "good wine needs bush": A multilevel analysis of national e-government performance and citizen use across European countries. In: ACM International Conference Proceeding Series. vol. 08-10-June-2016 (2016) 13. MinTIC: Manual de Gobierno Digital (12 2018)
- [14] Mustafa, A.A., Faizal, M.A., Said, A.M.B.A.: Introducing a new citizen-centric model of e-participation in iraq. *Journal of Theoretical and Applied Information Technology* 97 (2019)

- [15] in New Delhi, U.O.: E-government toolkit for developing countries. UNESCO (2005)
- [16] Oredo, J.: Evaluating the impact of e-government initiatives on citizens: Empowerment or tokenism? In: 2022 IST-Africa Conference, IST-Africa 2022 (2022) 17. Pirannejad, A., Janssen, M., Rezaei, J.: Towards a balanced e-participation index: Integrating government and society perspectives. Government Information Quarterly 36(4), 101404 (2019)
- [18] Ramos, L.F.M., Lameiras, M., Soares, D., Amaral, L.: Who is behind the scenes of the ict backstage? a study of the ict resources in local governments. In: ACM International Conference Proceeding Series (2021)
- [19] UNDESA: E-Government Survey 2022. United Nations (2022)

# METODOLOGÍAS PARA LA EVALUACIÓN DE LA SOSTENIBILIDAD EN PROYECTOS VIALES

Yeison Ciprian Linares 1 & Camilo Lesmes Fabián 2

1 Estudiante, Escuela de Ingenierías, Corporación Universitaria del Meta – UNIMETA. Villavicencio, Meta, Colombia; 2 Docente, Escuela de Ingenierías, Corporación Universitaria del Meta – UNIMETA. Villavicencio, Meta, Colombia.

Yeisonalbeiro.ciprianlinares@academia.unimeta.edu.co

**Resumen.** Los proyectos viales son fundamentales para el desarrollo de cualquier región, ya que facilitan la conectividad y el transporte eficiente de personas y mercancías. Sin embargo, su implementación no está exenta de desafíos y repercusiones significativas en el ámbito ambiental, económico y social. Es posible evaluar el nivel de sostenibilidad de un proyecto vial para asegurar que el desarrollo de infraestructura no solo cumpla con los objetivos económicos y sociales, sino que también respete y preserve el medio ambiente. Sin embargo, muchas de las metodologías de evaluación de sostenibilidad provienen de países industrializados y, por lo tanto, deben ser adaptadas al contexto colombiano antes de ser implementadas de manera efectiva. De esta manera, la realización de un diagnóstico de sostenibilidad en proyectos viales es altamente prioritaria para establecer un plan de manejo ambiental efectivo, conforme a la normatividad ambiental. Este diagnóstico permite identificar y evaluar los impactos ambientales, sociales y económicos de los proyectos, proporcionando una base sólida para la implementación de medidas correctivas y preventivas. En el contexto de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) y con miras a su cumplimiento para el año 2030, este plan de manejo ambiental evolucionará hacia un “Plan de Manejo Sostenible”. Este proyecto de investigación busca revisar la información en cuanto a la definición de sostenibilidad en proyectos viales, de manera que se puedan identificar los parámetros para la generación de planes de manejo sostenible y se pueda argumentar su importancia.

**Palabras clave:** Vias Sostenibles, Plan de Manejo Sostenible, Ingeniería Civil Sostenible.

**189**

# 1 Introducción

## 1.1 Sostenibilidad en Proyectos Viales

Generalmente conocidos como el conjunto de elementos administrativos y técnicos, los proyectos viales son iniciativas de construcción y mantenimiento de infraestructuras de transporte que generan propuestas de diseño a partir de la planificación territorial y la política vigente [1]. Lo anterior, en aras de potenciar la movilidad partiendo de la creación de nuevas infraestructuras viales y de mejorar las condiciones y características en las vías existentes [2]. En ese contexto, la evaluación de la sostenibilidad en proyectos viales surge como una herramienta de análisis integrado que permite la toma de decisiones informadas para mejorar el desempeño sostenible de la infraestructura vial de acuerdo a los distintos enfoques relacionados con la eficiencia económica, los beneficios sociales, la resiliencia infraestructural y el impacto ambiental de este tipo de proyectos. A pesar de existir un común acuerdo entre los expertos ingenieros sobre la importancia de estos procesos, no existe una metodología para la evaluación de la sostenibilidad en proyectos viales para el contexto colombiano, por lo que conviene tanto revisar las metodologías publicadas en otras latitudes, como adaptarlas a las condiciones colombianas. A continuación, se revisan las metodologías más relevantes.

## 1.2 Metodologías para Evaluar la Sostenibilidad en Proyectos Viales

Para determinar si un proyecto vial es sostenible, surgen diferentes guías y metodologías para evaluar la sostenibilidad en proyectos viales considerando aspectos ambientales, sociales, económicos e infraestructurales, teniendo en cuenta los lineamientos de normativas tanto internacionales como locales. A continuación, se describen algunas de las metodologías tanto internacionales como a nivel Colombia para certificar un proyecto vial como infraestructura vial sostenible.

**190**

- GREENROADS: Es un sistema de evaluación de carreteras sostenibles creado en 2007 por la Universidad de Washington y la empresa CH2M, que analiza proyectos viales nuevos, renovados o rehabilitados en términos económicos, sociales y ambientales. El sistema establece requisitos mínimos obligatorios y otorga puntos por medidas voluntarias que fomentan la sostenibilidad. Basado en la implementación de estándares y normas, GreenRoads se centra en siete dimensiones: ecología, equidad, economía, alcance, expectativas, experiencia y exposición. Así mismo, incluye 11 prerequisitos obligatorios

necesarios para la certificación como “vía verde” y 108 créditos voluntarios organizados en 6 categorías y 38 subcategorías; además cuenta con 10 créditos adicionales que evalúan la creatividad y el esfuerzo como una categoría. Los proyectos se clasifican en diferentes niveles según su puntaje total, evaluando aspectos como el medio ambiente, la gestión de aguas pluviales, el manejo de residuos, el uso de materiales reciclados y la promoción del transporte no motorizado, con el objetivo de beneficiar a las comunidades y al entorno con una mentalidad sostenible [26].

- **SUSTAINABLE ROADS:** La metodología Sustainable Roads, desarrollada por la Federación de Carreteras de la Unión Europea (EFR), promueve infraestructuras de transporte más sostenibles en Europa, coordinando las opiniones del sector vial y actuando como una plataforma de investigación y diálogo sobre temas de sostenibilidad. Su funcionamiento se centra en reducir los impactos ambientales mediante las mejores prácticas de diseño y planificación, construcción, operación y conservación de carreteras, así como en el financiamiento de la sostenibilidad. Esta metodología incluye la evaluación en diversas etapas del proyecto y abarca varios criterios de sostenibilidad, tales como la seguridad vial, la sostenibilidad general, y el financiamiento del proyecto. Cada proyecto puede tener diferentes criterios y puntajes según el enfoque de calificación específico, lo que permite una aplicación flexible y adaptada a las necesidades y prioridades locales [27].
- **CEEQUAL:** Environmental Quality Assessment in Civil Engineering (CEEQUAL) es un sistema internacional de evaluación de la sostenibilidad desarrollado en el Reino Unido en 2002, dirigido a proyectos de ingeniería civil e infraestructura. Su objetivo es evaluar y calificar el desempeño económico, social y ambiental de los proyectos, promoviendo prácticas sostenibles y alineadas con las estrategias gubernamentales del Reino Unido. El sistema incluye nueve categorías: estrategia del proyecto, gestión de proyectos, personas y comunidades, uso del suelo y paisaje, entorno histórico, ecología y biodiversidad, entorno acuático, recursos físicos (uso y gestión), y transporte, con un total de 48 subsecciones. Los proyectos son evaluados por evaluadores capacitados que utilizan un esquema de puntuación, otorgando uno de cuatro niveles de logro: Aprobado (25% – 39%), Bueno (40% – 59%), Muy Bueno (60% – 74%) y Excelente (75% – 100%). CEEQUAL ofrece dos manuales, uno para proyectos individuales y otro para contratos a plazo, y considera la reevaluación de sus ponderaciones según las prioridades ambientales, sociales y económicas de diferentes países [28].
- **INVEST:** La metodología INVEST (Infrastructure Voluntary Evaluation Sustainability Tool), desarrollada por la Federal Highway Administration (FHWA) en 2009, está diseñada para integrar las mejores prácticas de sostenibilidad

en el ciclo de vida completo de los proyectos de transporte, incluyendo la planificación del sistema, desarrollo del proyecto, operaciones y mantenimiento. Su funcionamiento se basa en la evaluación voluntaria de proyectos de infraestructura, reconociendo esfuerzos adicionales que van más allá de las prácticas comunes. La herramienta cuenta con 81 criterios organizados en cuatro módulos: Planificación de Sistemas para Estados (SPS), Planificación de Sistemas para Regiones (SPR), Desarrollo de Proyectos (PD) y Operaciones y Mantenimiento (OM). Cada módulo se compone de criterios específicos evaluados por separado, con el módulo PD incluyendo 33 criterios organizados en siete tablas de calificación, dependiendo del tipo y localización del proyecto [29].

- **ENVISION:** La metodología ENVISION, desarrollada por el programa Zofnass para infraestructura sostenible de la Universidad de Harvard y el Institute for Sustainable Infrastructure (ISI), es un sistema de calificación que mide la sostenibilidad de proyectos de infraestructura desde el diseño hasta el mantenimiento. Este sistema evalúa la interacción del proyecto con su entorno y sus beneficios económicos, sociales, ambientales y comunitarios, utilizando dos enfoques: Performance Contribution y Path Contribution. De este modo, el sistema consta de 60 criterios de sostenibilidad divididos en cinco categorías: calidad de vida, liderazgo, asignación de recursos, mundo natural y clima y riesgo. Permite a diversos actores tomar decisiones informadas y obtener reconocimiento público por sus logros en sostenibilidad [30].

- **GreenLITES:** La metodología GreenLITES (Green Leadership In Transportation Environmental Sustainability), desarrollada por el New York State Department of Transportation (NYSDOT), es un programa de calificación en sostenibilidad ambiental para proyectos de transporte. Se enfoca en proteger el medio ambiente, conservar los recursos naturales, preservar las características paisajísticas y promover un crecimiento inteligente mediante alternativas innovadoras. GreenLITES tiene dos metodologías según la etapa del proyecto: una para la certificación del diseño, que consta de 5 categorías, 18 subcategorías, 175 créditos y 5 niveles de certificación, y otra para la certificación de la operación, que aún no ha sido completamente modelada ni ampliamente aplicada. Este sistema busca reconocer las buenas prácticas y métodos sostenibles en proyectos de transporte [31].

**192**

- **I-LAST:** La metodología I-LAST (Illinois Livable and Sustainable Transportation) es un sistema de calificación y guía creado por el Joint Sustainability Group del Illinois Department of Transportation (IDOT), la American Council of Engineering Companies (ACEC) y la Illinois Road and Transportation Builders Association (IRTBA). Esta metodología es voluntaria y no entra en conflicto con políticas públicas o normas nacionales, I-LAST tiene como objetivos proporcionar una lista de prácticas sostenibles para proyectos viales,

establecer un método de evaluación sencillo y efectivo en términos de habitabilidad, sostenibilidad e impacto ambiental, y fomentar el uso de conceptos sostenibles innovadores. El sistema se compone de 8 categorías (planificación, diseño, medio ambiente, calidad del agua, transporte, iluminación, materiales, innovación y construcción), 50 subcategorías y 155 créditos [32].

Con la anterior revisión, se pueden identificar los indicadores relevantes para evaluar la sostenibilidad en proyectos viales y de acuerdo a la especificidad del contexto colombiano, especialmente las condiciones de la orinoquía, se pueden definir indicadores más específicos.

## 2 Metodología

Investigaciones realizadas por los autores de este proyecto en cooperación con otros colaboradores [10], realizaron la unificación de los indicadores obteniendo una lista de indicadores específicos para el contexto colombiano, los cuales se presentan en la tabla 1.

Tabla 1. Indicadores para la evaluación de la sostenibilidad en proyectos viales en el contexto colombiano.

Categorías	Indicadores
Ambiental	Gestión de residuos sólidos. Plan de prevención de la contaminación. Plan de mantenimiento del sitio. Sistema de gestión Ambiental. Control de escorrentía. Conectividad ecológica. Reducción en el uso de combustibles fósiles. Eficiencia energética. Mitigar la eliminación de especies vegetales. Minimizar el uso de materiales peligrosos. Monitoreo de la calidad del aire. Evaluación del impacto Ambiental.
Económica	Análisis del costo de ciclo de vida. Compra de materiales locales. Reutilización de materiales. Evaluación de la sostenibilidad financiera. Gestión de inventarios. Análisis económico frecuente.
Socio-cultural	Plan de mitigación de ruido. Capacitación Ambiental. Alcance cultural. Planificación comunitaria en el uso del suelo. Preservación histórica, arqueológica y cultural. Preservación de cualidades escénicas, naturales o recreativas.
Seguridad	Auditoría en seguridad. Cumplimiento de la normativa en seguridad vial. Plan de mantenimiento vial. Modernización del sistema de control de tráfico.

## 3 Resultados preliminares y Conclusiones

193

Las anteriores metodologías revisadas y los indicadores de sostenibilidad propuestos para proyectos viales, establecen diagnósticos a partir de los cuales se pueden crear planes de manejo sostenibles, los cuales permiten crear el plan operativo con sus respectivos cronogramas de actividades y presupuestos. Al implementar estos planes de manejo sostenible, el impacto positivo en el ámbito sostenible es alto en los siguientes aspectos:

- a) Manejo Sostenible: Al fomentar la implementación de prácticas ambientales sostenibles se contribuirá a la mejora de la calidad de los recursos naturales en la región, beneficiando tanto a los ecosistemas como a las comunidades locales. Además, el desarrollo de este tipo de proyectos orienta a la conservación de la biodiversidad de forma prioritaria, minimizando los impactos negativos sobre la flora y fauna autóctona de la Orinoquía, lo que en última instancia favorece la sostenibilidad ecológica del proyecto vial en cuestión.
- b) Gobernanza Positiva: El enfoque de este proyecto hace un llamado al régimen administrativo gubernamental para fomentar la supervisión constante del desempeño sostenible de los proyectos viales del país, facilitando la identificación temprana de problemas y la implementación de soluciones adecuadas, promoviendo una gestión responsable y eficiente. Además, el cumplimiento de normativas nacionales e internacionales de sostenibilidad mejorará el desempeño sostenible de la administración pública, facilitando la obtención de futuros financiamientos y apoyos.
- c) Contribución al Conocimiento Científico: Es significativa la contribución al conocimiento científico en el campo de la sostenibilidad en proyectos de infraestructura vial. El acto de integrar enfoques internacionales y contextualizarlos a nivel nacional, proporcionará valiosos datos y experiencias que pueden ser utilizados en futuros estudios y proyectos de países en desarrollo como Colombia. Además, la documentación y diseminación de las prácticas y estrategias de potencial implementación en este proyecto servirán como referencia para la comunidad científica y profesional, fomentando el intercambio de conocimientos y la replicación de metodologías sostenibles en otras regiones y contextos. Este impacto en el conocimiento científico subraya la importancia de la investigación y la innovación en la promoción de prácticas sostenibles en la infraestructura vial.
- d) Impacto de la Formulación de Planes de Manejo Sostenible: La formulación de un plan de manejo sostenible específico para proyectos viales en la Orinoquía establecerá un modelo replicable para otros proyectos viales en Colombia y más allá. Este plan, basado en un análisis detallado de las deficiencias y en la identificación de estrategias de mejora, proporcionará un enfoque estructurado y sistemático para abordar los desafíos de sostenibilidad en proyectos de infraestructura. La planificación y el control operacional detallados asegurarán que las medidas implementadas sean efectivas y que sus impactos positivos se mantengan a largo plazo. Además, este enfoque integral y holístico puede servir como una guía para la formulación de políticas y normativas que promuevan la sostenibilidad en el sector de infraestructura vial, contribuyendo a un desarrollo más equilibrado y responsable a nivel regional y nacional.

# References

- [1] F. Moroso, «Diseño de Proyectos Viales», AIMIV Consultores. [En línea]. Disponible en: <https://aimiv.cl/diseno-de-proyectos-viales/>.
- [2] E. M. Avellaneda y L. N. Castiblanco, «Guía para evaluar la sostenibilidad en proyectos viales adaptada a las condiciones de biodiversidad geográfica de Colombia», Trabajo de Posgrado, Universidad Santo Tomás, Bogotá, 2021. [En línea]. Disponible en: <https://repository.usta.edu.co/handle/11634/33168>.
- [3] S. T. Muench, J. Anderson, y T. Bevan, «Greenroads: A Sustainability Rating System for Roadways», International Journal of Pavement Research and Technology, vol. 3, n.o 5, pp. 270–279, 2010.
- [4] J. E. Hurtado Pedraza y C. O. Ballesteros Guio, «Implementación de metodologías para la evaluación de la sostenibilidad en los procesos constructivos viales», Trabajo de Grado, Universidad Santo Tomás, Tunja, 2020. Accedido: 21 de julio de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://repository.usta.edu.co/handle/11634/30464>.
- [5] J. M. Diaz Sarachaga, D. Jato Espino, B. Alsulami, y D. Castro Fresno, «Evaluation of existing sustainable infrastructure rating systems for their application in developing countries», Ecological Indicators, vol. 71, pp. 491–502, 2016, doi: 10.1016/j.ecolind.2016.07.033.
- [6] L. Reid et al., «Invest v1.3: Sustainable highways self-evaluation tool». Federal High way Administration, 2018. [En línea]. Disponible en: <https://www.sustainablehighways.org/files/4735.pdf>.
- [7] Institute for Sustainable Infraestructure, Zofnass Program for Sustainable, y Infraestrutre, «ENVISION. Sistema de Calificación de Infraestructuras Sostenibles». 2015. [En línea]. Disponible en: [https://research.gsd.harvard.edu/zofnass/files/2016/12/Envision\\_SP.pdf](https://research.gsd.harvard.edu/zofnass/files/2016/12/Envision_SP.pdf).
- [8] R. Szpotowicz y C. Tóth, «Revision of Sustainable Road Rating Systems: Selection of the Best Suited System for Hungarian Road Construction Using TOPSIS Method», Sustainability, vol. 12, n.o 21, Art. n.o 21, ene. 2020, doi: 10.3390/su12218884.
- [9] Illinois Department of Transportation y Illinois Joint Sustainability Group, «Illinois – Livable and Sustainable Transportation Rating System and Guide». 2012. [En línea]. Disponible en: <https://idot.illinois.gov/content/dam/soi/en/web/idot/documents/transportation-system/reports/desenv/i-last-v-2-02.pdf>.
- [10] M. Díaz, L. Castiblanco, C. Lesmes Fabián, y J. Castro, «Ecogeotecnia: Guía para Evaluar la Sostenibilidad en Proyectos Viales – Adaptada a las Condiciones de Biodiversidad Geográfica de Colombia», 2021.

# SELECTING A BPM PLATFORM: BEYOND TRADITIONAL EVALUATION CRITERIA

Olga Lucero Vega-Marquez 1,2\*, Helga Duarte 1

1 Universidad Nacional de Colombia, Departamento de Ingeniería de Sistemas e Industrial, Carrera 45 # 26-85 Edif. Uriel Gutiérrez, Bogotá D.C., 111321, Colombia . 2\*Universidad de los Llanos, Escuela de Ingeniería, Km.12 vía Puerto López, Vereda Barcelona, Villavicencio, 500017, Colombia.

**Resumen.** In this study, we present the methodology that we used to find a free and open-source platform – for making our forthcoming research more accessible and impactful – with the biggest worldwide presence and the most active community around it. Our contribution to academia and industry is the combination, through a standardization table, of comparison criteria with very different scales. On the one hand, traditional criteria such as portability and languages, which are internal to each platform. On the other hand, and the real challenge of this study, aspects such as global presence and community around the platform. The latter, using (i) specialized social networks such as LinkedIn, StackOverflow and Google Trends, and (ii) expert opinion reports, such as Forrester and Gartner. Therefore, our selection goes beyond traditional evaluation criteria.

**Palabras clave:** BPM, BPMs, BPM platform, Business Process Management, Software platform comparison.

196

## 1 Introducción

Business Process Management (BPM) helps organizations become more efficient, reduce time to market, and integrate new technologies into business operations—goals achieved through Business Process Management Systems (BPMS) (Dumas, La Rosa, Mendling, & Reijers, 2018). These systems are essential for managing complex business processes, from design to monitoring. A well-designed BPMS can automate processes but requires a process model as input, with BPMN being the standard graphical language for this purpose

(OMG (Object Management Group), 2015). Integrating various information systems and data sources is crucial for effective BPMS operation, enabling users to monitor all instances of a business process.

The wide variety of available BPMS makes selecting the right one challenging, as the choice depends on the economic capacity and specific goals of each BPM initiative. This study aims to identify a widely-used BPM platform globally to maximize its impact on the BPM community. The methodology and evaluation criteria used to select the most appropriate platform are described, the results are summarized, potential study weaknesses are discussed, and related works are compared, concluding with the reaffirmation of the chosen platform.

we explain the Methodology for selecting the BPM platforms that we compared and the evaluating criteria we used to select the most appropriate one for our purposes. In Results we summarize the scores obtained by each of the BPM platforms evaluated and present the one with the greatest score. Then, in ??, we describe some possible weaknesses of this study. Afterwards, in Related Work, we present other BPM platform comparisons made by other teams and explain how this work differs from them. Finally, in Conclusions, we summarize our findings and reinstate the reasons of our choice.

## 2 Metodología

This study was conducted through a systematic process that included the following steps: sourcing information on BPM (Business Process Management) platforms, screening open-source BPM platforms that offer a BPM execution engine, defining criteria for comparison, applying these criteria to selected platforms, and normalizing the results to make the platforms comparable across various aspects. Below is a description of each step in the comparison process.

**Sources of BPM Platforms:** The primary sources of information were Hesse's BPMN tools matrix (Hesse 2015), which presents 75 BPMN tools, and the Gartner report on BPM platforms (2022), which reviews and rates 65 BPM platforms.

**BPM Platform Screening:** The initial selection process involved choosing platforms from the Gartner list that had at least five user ratings. This selection was then cross-referenced with Hesse's list, resulting in 65 BPM platforms.

Further filtering was done to identify platforms that were both free and open source, and that had a BPM suite with an execution engine for BPMN models. This filtering process narrowed the list down to 10 BPM platforms.

**Criteria Definition:** The criteria for selecting BPM platforms were focused on ensuring that the platforms were open-source, free, and widely supported globally. The criteria included technical support, availability of documentation, presence of own forums, multilingual support, geographic presence, customer success, mentions in expert reports from Forrester and Gartner, job offers related to the platforms on LinkedIn, issues discussed on StackOverflow, and Google Trends data. These criteria aimed to assess the robustness, community support, and global relevance of each platform.

**Criteria Application:** The defined criteria were applied to the selected BPM platforms, and the results were published on a GitHub page. The study reviewed each platform's website to check for technical support, documentation, forums, and language options. For mentions in expert reports, specific Gartner and Forrester reports were consulted. LinkedIn was used to assess job market demand for skills related to each platform, and StackOverflow was searched for questions and issues related to the platforms. Google Trends was employed to compare the search interest for each platform globally over the past 12 months. The evaluation revealed that some platforms, like Camunda, jBPM, and Flowable, consistently scored high across multiple criteria. In summary, the selected criteria were: (i) technical support, (ii) documentation availability, (iii) own forums, (iv) available languages, (v) country presence, (vi) customer success, (vii) mentions in expert reports from Forrester and Gartner (Forrester, 2022; Gartner, 2022), (viii) job offers in LinkedIn (LinkedIn, 2022), (ix) issues in StackOverflow (StackOverflow, 2022), and (x) Google Trends(Google, 2022).

Overall, this methodology allowed for a comprehensive and standardized comparison of BPM platforms, making it easier to identify the most suitable options based on specific needs and criteria.

---

198

### 3 Resultados

The normalization defined in Methodology allowed us to assign comparable numerical values for each criterion for the selection of the final BPM platform. This gave us the matrix presented in Table 1.

Tabla 1. BPM Platforms comparison criteria normalized

BPM Platform	Technical support	Documentation	Own Forums	Operative Systems	Languages	Countries	Success Stories	Forrester	Gartner	Linkedin	Stack Overflow	Google Trends
Activiti Modeler	5	5	5	3	1	1	1	3	4	2	4	1
Bonitasoft	5	5	5	3	5	5	5	4	4	2	2	2
Camunda	5	5	5	3	1	5	5	5	3	5	5	5
Flowable	5	5	5	5	1	5	5	1	4	4	3	4
Imixs-Workflow	5	5	5	5	1	1	1	1	1	1	2	1
jBPM	5	5	1	5	1	1	1	1	1	5	5	3
Modelio	5	5	5	3	1	1	1	1	1	2	4	2
RunaWFE	5	5	5	3	1	1	1	1	1	1	1	1
simpl4	1	5	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1
XML Frames	1	5	1	3	2	1	1	1	1	1	1	1

Source: Vega-Márquez & Duarte

Despite having the possibility of plotting different criteria at once, we decided to purge those criteria that did not provide significant differences for this comparison. For instance, the Documentation criterion was not useful to rank any platform over the others, since all of them fulfilled this requisite and, therefore, had the same rating in it. The same applies for criteria like Technical support, Own Forums and Languages. We further simplified the presentation of the data by excluding RunaWFE, simpl4 and XML Frames from Stories, Forrester, Gartner, Linkedin, StackOverflow and Google Trends criteria showed at a glance that they would rank much lower than other platforms, and could, thus, be ignored at this point. Including them in the radar plot would have made the data presentation more cluttered and would have not provided any relevant information. the comparison. The normalized values of these platforms in the languages, Success.

## 4 Related work

Recent comparisons of BPM platforms (from 2021 and 2022) are available in gray literature, but their independence is questionable, and many are sponsored by unknown entities. These comparisons may not align with the goal of selecting a free and open-source platform. For example, TrustRadius ranks BPM platforms based on criteria such as "Best Value for Price," "Best Feature Set," and "Best Relationship," which are derived from client surveys and analyst reviews. While useful for organizations seeking to implement BPM strategies, these comparisons are not helpful for researchers focused on open-source tools. PeerSpot's comparison, based on the opinions of registered professionals, was also reviewed but similarly lacks relevance for open-source tool research.

## 4 Conclusiones

According to the analysis carried out in the present study, Camunda is the BPM platform that best fits our evaluation criteria (it is free, open-source, is widely used in many countries, and has the largest community around it).

We arrived at this conclusion after comparing the 107 BPM platforms present in the comprehensive list that we built by crossing two sources: (i) the Bpmn-matrix list and (ii) the Business Process Management Platforms Reviews and Ratings page from Gartner. We then selected those platforms that were free and open-source for a more in-depth comparison. Afterwards, we compared the 10 remaining platforms by using the following criteria: (a) Support, comprised of (i) Technical support, (ii) Availability of documentation and (iii) Own forums; (b) Expansion comprised of (iv) Operative Systems, (v) Languages, (vi) Countries, and (vii) Success Stories; (c) Expert opinions taken from (viii) Forrester and (ix) Gartner, (d) Community size, measured by the number of job postings on (x) LinkedIn that require knowledge of a given BPM platform and by the number of threads started on (xi) StackOverflow that mention it; and (e) Search Trends on the web, estimated by analyzing the information provided by (xi) Google Trends.

Then, we realized that some of those criteria were more useful than others to select the BPM platform that best fit our purposes. This was in part due to the fact that all the platforms remaining at this point obtained the same score on several criteria, which made them useless for our comparison. On the other hand, we were able to further reduce the amount of platforms included in the comparison when we noticed that some of them ranked too low in several important criteria. These platforms could be removed from the comparison at this stage without affecting the result whatsoever. Thus, after this purge, our remaining BPM platforms were Activiti Modeler, BonitaSoft, Camunda and Flowable, and our remaining comparison criteria were Success Stories, Forrester, Gartner, LinkedIn, StackOverflow and Google Trends.

**200**

The platform with the largest area in the radar plot turned out to be Camunda. Therefore, this will be the BPM platform that we will use for our next research project. We aspire, thus, to contribute to the evolution of BP-based software. In the meantime, we hope that this study helps other researchers who need to know which of the current free and open-source BPM platforms has the largest presence in the world and the largest community around

them. Similarly, we hope that the methodology developed for this study—our preference of new evaluation criteria over the usual ones—will help other researchers and software industry professionals in their own analyses in other contexts, beyond traditional evaluation criteria.

## References

- [1] Dumas, M., La Rosa, M., Mendling, J., Reijers, H.A. (2018). Fundamentals of business process management: Second edition. [is-bmsd.org.10.1007/978-3-662-56509-4](http://is-bmsd.org.10.1007/978-3-662-56509-4)
- [2] Forrester (2022). Forrester Helps Organizations Grow Through Customer Obsession. Retrieved 2022-03-08, from <https://www.forrester.com/bold>.
- [3] Gartner (2022). Gartner – Delivering Actionable, Objective Insight to Executives and Their Teams. Author. Retrieved 2022-03-08, from <https://www.gartner.com/en>.
- [4] Google (2022). Google Trends. Retrieved 2022-03-08, from <https://trends.google.com/trends/?geo=CO>.
- [5] LinkedIn (2022). LinkedIn: Log In or Sign Up. Retrieved 2022-03-08, from <https://www.linkedin.com/home>.
- [6] OMG (Object Management Group) (2015). BPMN Specification – Business Process Model and Notation. Retrieved 2021-05-13, from <https://www.bpmn.org/>.
- [7] StackOverflow (2022). Stack Overflow – Where Developers Learn, Share, & Build Careers. Retrieved 2022-03-08, from <https://stackoverflow.com/>.

# UNA MIRADA A LA SOSTENIBILIDAD DE LOS PROCESOS PRODUCTIVOS EN LA INDUSTRIA ALIMENTARIA DESDE LA DINÁMICA DE SISTEMAS

Yeini Herrera Sabogal<sup>1</sup>, Luisa Alejandra Ramirez Torres<sup>2</sup> y Luis Fernando Machado Domínguez<sup>3</sup> [0000-0003-3763-0359]

<sup>1</sup> Universidad de los Llanos, Km 12 Vía Puerto López, Meta, Colombia

**Resumen.** La sostenibilidad de los procesos productivos en la industria alimentaria es crucial para enfrentar los desafíos ambientales y satisfacer la creciente demanda alimenticia global. Este estudio propone un modelo de dinámica de sistemas para evaluar la sostenibilidad de los procesos productivos en la industria alimentaria en la región de los Llanos Orientales de Colombia. A través de diagramas causales, se exploran las interacciones entre la producción de alimentos y sus factores, teniendo en cuenta la viabilidad económica, la responsabilidad social y el impacto ambiental en el territorio colombiano. Posteriormente, se simula el diagrama de flujo y se valida el modelo desarrollado. Los escenarios simulados nos muestran que se requiere un fuerte apoyo de las políticas gubernamentales en áreas como tecnología, insumos agrícolas, comercio internacional, dinámica poblacional, mitigación de contaminantes y huella de carbono. El modelo de dinámica de sistemas pronostica un desacelaramiento en la producción de alimentos en Colombia para 2028. Se concluye que la adopción de procesos sostenibles es esencial para el futuro de la industria alimentaria en Colombia.

**202**

**Palabras clave:** Sostenibilidad, industria alimentaria, dinámica de sistemas.

# 1 Introducción

La industria alimentaria es una de las más grandes y diversificadas del mundo, abarcando desde la producción agrícola hasta el processamiento, distribución y venta de alimentos. El interés de los gobiernos por buscar e implementar estrategias para optimizar los procesos inherentes en la industria alimentaria, producen el desarrollo y aplicación de modelos para garantizar la sostenibilidad alimentaria. La simulación de la producción alimentaria actual muestra que se requiere un fuerte apoyo de las políticas públicas y privadas para garantizar la capacidad de producción y sostenibilidad de la industria alimentaria en Colombia, [1]. La sostenibilidad de la industria alimentaria es un tema crucial en el contexto de la agricultura colombiana, un sector que ha sido históricamente uno de los pilares económicos del país. A pesar de contar con ventajas geográficas que favorecen la producción agrícola, Colombia enfrenta desafíos significativos relacionados con la falta de apoyo y políticas agropecuarias eficaces. En este trabajo se realiza un modelo de dinámica de sistemas que permite evaluar e identificar los factores basados en sostenibilidad ambiental, económica y social de la industria alimentaria en los Llanos Orientales de Colombia.

# 2 Descripción del Modelo

## 2.1 Metodología de Dinámica de Sistemas

La dinámica de sistemas (DS) tiene sus inicios con el trabajo de Jay Forrester en los años 50, el cual desarrolló una metodología que permite realizar análisis de las estructuras de los sistemas empresariales. Combinando el estudio de casos y las teorías descriptivas, permite la simulación de sistemas complejos, [2]. La metodología DS está compuesta por 3 fases principales (ver Fig. 1). La primera fase consiste en delimitar el sistema, donde se realiza una investigación exhaustiva para comprender las componentes, limitaciones y variables del sistema. A continuación, en la fase de modelado, se identifican las estructuras de retroalimentación que describen las interacciones entre las variables, se asegura la estabilidad de las ecuaciones y se construye un modelo completo que representa el sistema. Finalmente, en la fase de simulación y evaluación, el modelo se somete a simulaciones para observar el comportamiento bajo diferentes condiciones, se analizan políticas o estrategias para evaluar sus efectos en el sistema, y se lleva a cabo una evaluación de los resultados para validar el modelo.

**203**



Fig. 1. Metodología DS

## 2.2 Modelo Básico

En la actualidad, existen muchas variables que afectan el rendimiento en la producción alimentaria en la región de los Llanos orientales de Colombia. Por ejemplo, la Tecnología implementada en la industria alimentaria y las consecuencias de la falta de modernización, produce un alto costo energético, aumento del consumo del recurso hídrico, aumento de la huella de carbono. Esta investigación mide principalmente la influencia de los factores ambientales, económicos y sociales en los procesos productivos de la industria alimentaria. Para analizar la sostenibilidad de los procesos productivos en la industria alimentaria, este documento ha establecido un sistema complejo que relaciona la tecnología, la población, superficie cosechada, el almacenamiento, los recursos hídricos, calidad del suelo y producción, (ver Fig. 2).

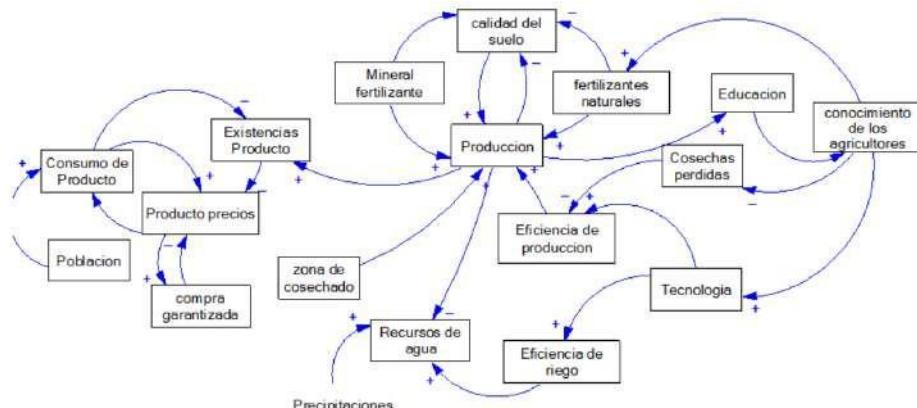


Fig. 2. Diagrama Causal

## 3 Simulación del Modelo

En la Fig. 3 a. se muestra cómo diversos factores afectan la producción alimentaria durante 4 años. La eficiencia de riego y el uso de fertilizantes naturales son clave en este sistema. Se observa un ligero aumento en la producción en 2025, alcanzando su pico, seguido de una disminución en 2026 y 2027, y una recuperación en 2028, lo que refleja cambios en los recursos hídricos y la eficiencia agrícola. Las Fig. 5 b) y c) indican que la eficiencia de riego y de producción siguen una tendencia similar, con una caída notable en 2027 y una recuperación en 2028. Una mayor eficiencia de riego se correlaciona con un aumento en la producción, subrayando la necesidad de mejorarla. En la Fig. 4, la simulación de producción hasta 2028 compara dos escenarios: Óptimo y S1. El escenario S1 muestra incrementos leves en la producción debido a la limitada implementación tecnológica, bajo caudal de ríos, aumento en precios de fertilizantes, y otros factores como tratados de compra segura.

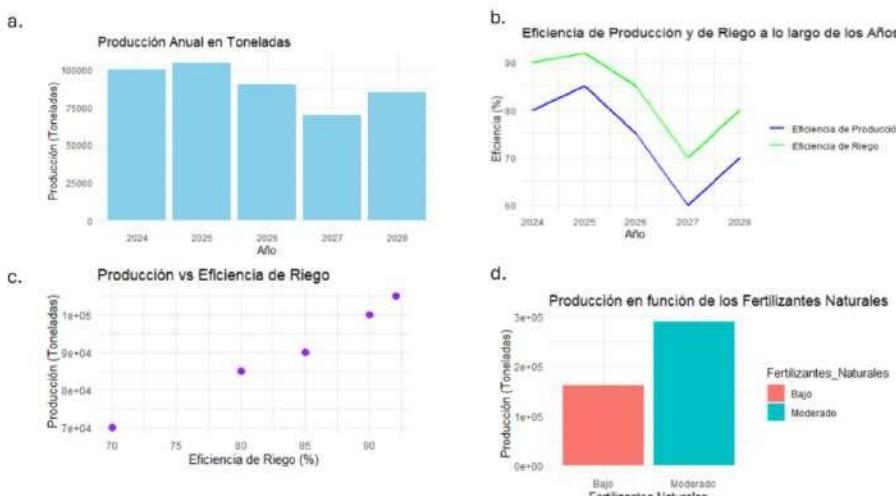


Fig. 3. Simulación de variables



Fig. 4. Tendencias

205

## 4 Conclusiones

Las conclusiones de este estudio destacan la importancia de la sostenibilidad en la industria alimentaria para afrontar los desafíos ambientales y satisfacer la demanda creciente en Colombia. El modelo de dinámica de sistemas desarrollado para la región de los Llanos Orientales evidencia que, sin un fuerte apoyo en políticas gubernamentales centradas en tecnología, insumos agrícolas, comercio internacional, y la mitigación del impacto ambiental, la producción de alimentos podría desacelerarse significativamente hacia 2028. Por lo tanto, se concluye que la adopción de procesos productivos sostenibles es crucial para asegurar un futuro viable para la industria alimentaria en Colombia, garantizando la viabilidad económica, la responsabilidad social, y la preservación del medio ambiente.

## References

- [1] A. Sánchez, "La industria alimentaria en Colombia: situación y perspectivas," *Revista de Economía y Finanzas*, vol. 45, no. 2, pp. 123–140, 2021.
- [2] J. W. Forrester, "Industrial dynamics," *Journal of the Operational Research Society*, vol. 48, no. 10, pp. 1037–1041, 1997.

# MONITOREO DE MATERIAL PARTICULADO CON PURPLE AIR EN LA UNIVERSIDAD DE LOS LLANOS

Brayan Alejandro Camargo<sup>1</sup>[0009-0005-3386-8847]; Brayan Stiwar Grisales<sup>1</sup>[0009-0007-0408-5485]; Luisa F Ramírez-Ríos <sup>2\*</sup>[0000-0002-0973-3847]; Miguel Ángel Ramírez-Niño<sup>3</sup>[0000-0002- 9065-3712]; Miguel Ángel Navarro-Ramírez <sup>3</sup>[0000-0002- 5535-4784]

1 Universidad de los Llanos; Facultad de Ciencias Básicas e Ingeniería Escuela de Ingeniería, Programa de Ingeniería Ambiental, 2 Universidad de los Llanos; Facultad de Ciencias Básicas e Ingeniería; Escuela de Ingeniería. Grupo de Investigación en Gestión Ambiental Sostenible GIGAS, 3 Universidad de los Llanos; Facultad de Ciencias Básicas e Ingeniería Departamento de Biología y Química; Grupo de Investigación QUIMERA

[lffernandaramirez@unillanos.edu.co](mailto:lffernandaramirez@unillanos.edu.co)

**Resumen.** El presente estudio realiza un análisis de la calidad del aire en la Sede Barcelona de la Universidad de los Llanos durante el año 2023, utilizando datos obtenidos por el sensor PurpleAir, un monitor de bajo costo que registra concentraciones de material particulado (PM) en diferentes tamaños. Se llevaron a cabo mediciones del Índice de Calidad del Aire (ICA) en distintos períodos del año, incluyendo épocas de actividad académica y vehicular, así como períodos de receso académico. Para complementar este análisis, se utilizó el software Hysplit para modelar las trayectorias de los contaminantes en la región. Los resultados indican una baja concentración de PM durante la mayor parte del periodo estudiado. Sin embargo, se observó una variación significativa en los niveles de PM2.5 entre los períodos académicos y vacacionales, con valores de ICA que en algunos casos podrían representar riesgos para la salud humana. En contraste, se observó menos variación en la concentración de PM10 manteniéndose dentro de los rangos permisibles.

**207**

**Palabras clave:** Material particulado, PurpleAir, variables meteorológicas, Hysplit, Calidad del aire.

# 1 Introducción

En las últimas décadas la problemática de la contaminación ambiental, ha propuesto nuevos retos en la investigación de contaminantes y sus efectos sobre los ecosistemas (Mendoza et al., 2020). Entre los contaminantes más estudiados se encuentran el material particulado, el monóxido de carbono, los oxidantes fotoquímicos, el ozono, el plomo, y los óxidos de azufre y nitrógeno (Londoño et al., 2011). Definido como el conjunto de partículas sólidas y líquidas suspendidas en la atmósfera (excluyendo el agua pura), se clasifica según su tamaño: PM10 (2.5 a 10  $\mu\text{m}$ ) y PM2.5 (menor de 2.5  $\mu\text{m}$ ) (Jasiura et al., 2023).

En Colombia, la contaminación por material particulado es una de las preocupaciones ambientales más relevantes, debido a sus impactos en la salud pública y el medio ambiente (DNP et al., 2016). Este tipo de contaminación es considerado el tercer generador de costos sociales, después de la contaminación del agua y los desastres naturales (Duarte, 2024). Investigaciones recientes han abordado la presencia y los efectos de estos contaminantes en el país (Rodríguez-Villamizar et al., 2023; Altamar Consuegra et al., 2023; López-Restrepo et al., 2021).

En Villavicencio, la Universidad de los Llanos monitorea en tiempo real el material particulado utilizando el sensor PurpleAir, un dispositivo accesible para la evaluación de la calidad del aire. Este trabajo presenta los resultados de las mediciones de PM10 y PM2.5, comparándolos con los estándares de calidad del aire vigentes en Colombia. Además, se incluyen resultados de modelación de la dispersión de contaminantes con el sistema HYSPLIT, proporcionando un análisis detallado de las trayectorias y distribución de los contaminantes en la región.

# 2 Metodología

208

## 2.1 Mediciones de material particulado

Se recopilaron datos de material particulado utilizando el sensor PurpleAir (PA-II), el cual se encuentra ubicado en la Universidad de los Llanos, sede Barcelona, con coordenadas GPS 4.075, -73.5853 (4°04'30"N, 73°35'07"O). Este sensor está equipado con un contador láser de partículas que mide concentraciones de material particulado en diferentes rangos de tamaño, específicamente PM2.5 y PM10. Los datos se registraron de manera continua con una frecuencia de muestreo diaria para el año 2023. Los datos obtenidos

fueron posteriormente analizados para identificar la exposición a contaminantes atmosféricos en al área de estudio, para época de receso de actividades (mes de enero) y funcionamiento habitual (mes de marzo) del mismo año.

## Modelamiento

Se utilizó el modelo HYSPLIT (Modelo Híbrido de Trayectoria Integrada Lagrangiana de una Sola Partícula), desarrollado por el Laboratorio de Recursos del Aire de la NOAA y la Administración Meteorológica de Australia, para describir la trayectoria y difusión de los contaminantes atmosféricos (Wang et al., 2022). Este modelo permite calcular las trayectorias de las masas de aire y analizar la dispersión de material particulado. Para el estudio, se emplearon datos meteorológicos disponibles en la plataforma del modelo. Se seleccionaron seis días representativos de dos meses del año 2023: enero, correspondiente al periodo de vacaciones, y marzo, durante el periodo académico.

## Índice de Calidad del Aire (ICA)

El ICA es un cálculo para determinar la calidad del aire y relacionarla con un código de colores, los cuales relacionan los posibles efectos negativos a la salud humana. En Colombia se establece bajo los parámetros de la Resolución 2254 de 2017.

## 3 Resultados y Discusión

Los resultados del monitoreo en tiempo real de la calidad del aire para partículas tamaño 2.5 y 10 micras, obtenidas a partir del sensor PurpleAir ubicado en la Universidad de los Llanos, se presentan a continuación.

Tabla 1. Índices de Calidad del Aire para PM10 y PM2.5

Mes	día	PM <sub>10</sub> ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	ICA Calculado	Color	PM <sub>2,5</sub> ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	ICA Calculado	Color
enero	8	5,42 (min-0,02 y max-26,02)	5,02	verde	5,01 (min-0,02 y max-25,13)	20,87	verde
	16	15,73 (min-0,49 y max-48,37)	11,06	verde	14,84 (min-0,02 y max-40,41)	46,58	verde
	24	12,45 (min-2,38 y max-33,72)	11,53	verde	11,36 (min-1,87 y max-32,02)	43,69	verde
marzo	8	41,94 (min-31,61 y max-58,96)	38,83	verde	40,50 (min-31,09 y max-57,55)	108,21	naranja
	16	60,75 (min-39,58 y max-80,56)	58,30	amarillo	58,81 (min-38,12 y max-78,11)	152,46	rojo
	24	69,76 (min-56,26 y max-107,67)	58,03	amarillo	67,71 (min-54,42 y max-103,76)	153,98	rojo

Las mediciones de material particulado (PM) indicaron que, durante la mayoría de los días analizados, los niveles se mantuvieron dentro de los límites establecidos por la Resolución 2254 de 2017. En enero, correspondiente al periodo de vacaciones, la calidad del aire fue buena y cumplió con los estándares de calidad del aire, sin representar riesgos significativos por exposición de 24 horas. Sin embargo, en marzo, se observaron niveles de PM2.5 significativamente altos (ICA de 153.98, categorizado como "Rojo" o emergencia), y PM10 alcanzó un nivel de 58.30 (categoría "Amarillo"), lo que podría representar un posible riesgo para la salud por exposición prolongada en esa área (Xing, Y.F. et al, 2016). El aumento en los índices de contaminación en marzo se atribuyó principalmente al incremento de la actividad vehicular, especialmente por el uso de buses, automóviles, motos y camiones para el transporte de estudiantes y personal universitario.

210

La modelación con HYSPLIT indicó que el material particulado tiende a desplazarse desde el sur de la Universidad hacia el suroeste, concentrándose inicialmente dentro de las instalaciones antes de dispersarse hacia áreas como La Uribe y el sur de Villavicencio, influenciado por los patrones de viento.

Finalmente, se realizó una comparación con otras ciudades de Colombia con altitudes similares para confrontar las mediciones a condiciones de referencia en términos de oxígeno, temperatura y presión. Por ejemplo, Valledupar, a 220 m.s.n.m., presenta concentraciones de PM10 entre 10–15  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  y PM2.5 entre 5–10  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , valores que indican una buena calidad del aire

cuando la actividad urbana es baja. Esto contrasta con los resultados obtenidos en Villavicencio, sin embargo, se resalta la necesidad de un monitoreo continuo y de medidas para reducir la exposición a contaminantes.

## 4 Conclusiones

Durante el periodo académico, los niveles de material particulado alcanzaron valores elevados, lo que representa un riesgo potencial para la salud de estudiantes, docentes y trabajadores debido a la exposición prolongada. La comprensión y monitoreo continuo de estos niveles resultan fundamentales para mitigar posibles impactos en la salud. Es destacable que, siendo una universidad pública, la Universidad de los Llanos cuente con tecnología de sensores para el monitoreo del material particulado, lo cual es menos común en otras universidades del país.

Las trayectorias de los contaminantes mostraron que las condiciones meteorológicas influyen en su dispersión, afectando no solo a diversas áreas de la universidad, sino también a municipios cercanos y más allá del departamento del Meta. Lo anterior es clave para entender los impactos ambientales a nivel regional. Además, se identificó que factores como la proximidad a una vía nacional, la actividad de la base aérea, y eventos atípicos como festividades y turismo, pueden influir en los niveles de contaminación.

## References

- [1] Agudelo-Castañeda, D. M., Herrera, V., Marín, D., Jiménez, J. G. P., Belalcázar Ceron, L. C., Rojas-Sánchez, O. A., Villegas, J. O., López, L., Rojas, O. M., Vicini, M. C., Salas, W., Orrego, A. Z., Castillo, M., Sáenz, H., ... Rojas, N. Y. (2023). Intra-urban variability of long-term exposure to PM<sub>2.5</sub> and NO<sub>2</sub> in five cities in Colombia. <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-2988847/v1>.
- [2] Altamar-Consuegra, A., Aguilar-Arias, J. (2023). Datos de material particulado de 10 µm (PM10) y 2,5 µm (PM2,5) recopilados mediante medición directa, sensores de bajo costo y estaciones públicas de calidad del aire en Fontibón, Bogotá DC, Colombia. *Datos breves*, 49:109323-109323. doi: 10.1016/j.dib.2023.109323.
- [3] Draxler, R. R. (2004). Seminario de capacitación para el uso del modelo HYSPLIT en PC. HYbrid Single Particle Lagrangian Integrated Trajectory Model. National Oceanic and Atmospheric Administration. NOAA, USA.
- [4] Duarte, Marcos. (2024). Relación entre estratificación socioeconómica y exposición al material particulado (PM10 y PM2.5) en el área urbana de Bogotá (Colombia). doi: 10.5821/dissertación-2117-405574.

- [5] DNP–Departamento Nacional de Planeación, MADS–Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, IDEAM– Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, UNGRD–Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres, Instituto Alexander Von Humboldt. 2016. Plan nacional de adaptación al cambio climático. Líneas de acción prioritarias para la adaptación al cambio climático en Colombia. Bogotá D.C., Colombia. Retrieved September 26, 2022, from <https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2022/01/PNACC-2016-linea-accion-prioritarias.pdf>.
- [6] Jasiura, A., Lipczyńska, W., Warchoł, K., Gorzel, M., Justyńska, A., Krafzik, H., Stępień, P., & Kasprzak, H. (2023). Particulate matter – a cancerous threat to our health? *Journal of Education, Health and Sport*, 50(1), 23–36. <https://doi.org/10.12775/JEHS.2023.50.01.002>.
- [7] Londoño, J., Correa, M. A., Palacio, C. A. (2011). Estimación de las emisiones de contaminantes atmosféricos provenientes de fuentes móviles en el área urbana de Envigado, Colombia. *Revista EIA*, (16), 149–162.
- [8] Lopez-Restrepo, S., Yarce, A., Pinel, N., Quintero, O.L., Segers, A., Heemink, A. (2021). Modelado de la calidad del aire urbano mediante una red de sensores de bajo costo y asimilación de datos en el Valle de Aburrá, Colombia. *Atmosphere*, doi: 10.3390/ATMOS12010091.
- [9] Mendoza BS, Villalva SF, Hernández ER, Escalera AMA, Contreras EAC. 2020. Causes and consequences of climate change in livestock production and animal health. Review. *Revista Mexicana De Ciencias Pecuarias*, 11:126–145. <https://doi.org/10.22319/RMCP.V11S2.4742>.
- [10] PurpleAir, Inc. (s. f.). Our technology – PurpleAir Laser particle Counters & arduinos. Consultado en: <https://www2.purpleair.com/pages/technology>.
- [11] Wang, Yanjie, Song Zhang, Qing Hong, Huiying Song, Liying Yang, Kai Yang, Hui Xu, and Fangfang Yu. 2022. “Characteristics, Non-Carcinogenic Risk Assessment and Prediction by HYSPLIT of Bioaerosol Released from Hospital and Municipal Sewage, China.” *Ecotoxicology and Environmental Safety* 246 (November): 114131. <https://doi.org/10.1016/J.ECOENV.2022.114131>.
- [12] Xing, Y.F., Xu, Y.H., & Lian, Y.X. (2016). The impact of PM2.5 on the human respiratory system. Retrieved from <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4740125/>.

# MEJORANDO EL RENDIMIENTO Y EXPERIENCIA DE USUARIO DEL SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA ONLINE & 3D DE LA UNIVERSIDAD DE LOS LLANOS

Ricardo Valencia-Barrera, César Díaz-Celis[0000–0003–0056–0932], and Angel Cruz-Roa[0000–0003–3389–8913]

GITECX & AdaLab, Universidad de los Llanos, Villavicencio, Colombia

[ricardo.valencia@unillanos.edu.co](mailto:ricardo.valencia@unillanos.edu.co)

**Resumen.** El uso de Sistemas de Información Geográfica (SIG) en entornos universitarios ha crecido destacando la importancia de experiencias tridimensionales para la exploración del campus como en el campus Barcelona de la Universidad de los Llanos con SIGO 3D. Este trabajo en curso tiene como objetivo mejorar la plataforma SIGO 3D, enfocándose en una más atractiva visualización, rápida renderización, desempeño de la simulación e información adicional proporcionada. La metodología incluye la consolidación de una base de datos que contiene tanto información espacial como no espacial sobre los edificios y espacios del Campus, abarcando datos de aforo, elementos disponibles, horarios, usos y datos de sensores, entre otros. Se integrarán las tecnologías de visualización 3D y desarrollo Web de CesiumJS y Django respectivamente para gestionar esta información de manera dinámica y personalizada. Además, se utilizarán herramientas de modelado como 3D Max®, Maya® o Sketch Up para perfeccionar los modelos 3D existentes. Se explorarán herramientas de gemelos digitales para enriquecer la experiencia de usuario. Se espera que esta mejora proporcione a la comunidad universitaria una plataforma más intuitiva e interactiva, facilitando así decisiones informadas y sostenibles para el desarrollo y mantenimiento del campus.

**213**

**Palabras clave:** Aplicación Web · Campus Universitario · Georeferenciación · Modelos 3D · WebGIS 3D.

## 1 Introducción

Los Web geographic information systems (WebGIS) son cada vez más relevantes porque vuelven la geoinformación más accesible, convirtiéndose en una herramienta clave en la enseñanza y la investigación. Con el uso de internet y recursos en la nube, los componentes de un sistema de información geográfica ahora pueden estar distribuidos globalmente, permitiendo una integración más flexible y potente, reflejando así la evolución hacia los WebGIS [2]. En particular, los modelos 3D del entorno universitario, como los del campus Barcelona de la Universidad de los Llanos denominado SIGO 3D (<https://sigo3d.unillanos.edu.co/>), han mostrado ser herramientas valiosas para la exploración virtual, para la gestión eficiente de recursos y la toma de decisiones en aspectos como la sostenibilidad y la eficiencia energética.

El proyecto SIGO 3D, es pionero en la implementación de entornos virtuales que representa geoespacialmente a la Universidad de los Llanos, cumpliendo con la mayoría de edificaciones del campus Barcelona y un sistema que genera rutas desde la puerta principal hasta el lugar de interés que se quiere encontrar. Actualmente los datos son estáticos, de tal manera que la actualización de estos representa un cambio directo en los archivos del proyecto, datos como el identificador de los modelos cargados en CesiumJS, para importarlos en el proyecto y la ubicación espacial de los puntos que establecen la ruta virtual [1].

La propuesta presentada en este trabajo busca mejorar SIGO 3D, integrando django [4] para la gestión web de datos dinámicos para potenciar la información que se muestra en la interfaz, permitiendo una experiencia de usuario más fluida e intuitiva. Además, se explorará el concepto de gemelos digitales, definido como una réplica virtual dinámica de un objeto, proceso o sistema físico, que se actualiza en tiempo real mediante datos recopilados por sensores, facilitando simulaciones y análisis avanzados al prever problemas, simular respuestas a condiciones variables, y explorar optimizaciones sin los riesgos asociados a experimentos en entornos físicos reales [3].

214

A través de la estructuración de una base de datos y la mejora de los modelos 3D, este proyecto no solo aspira a superar las limitaciones actuales de SIGO 3D v.1.0, sino también a establecer una plataforma que sirva como base para futuras implementaciones tecnológicas.

## 2 Metodología

La arquitectura anterior del proyecto se basaba en una organización centrada en la gestión de configuraciones y recursos estáticos, donde la estructura facilitaba la integración de modelos 3D y la configuración de servidores, pero carecía de modularidad y escalabilidad. Esta disposición funcionaba bien para un proyecto que se centraba en la visualización de datos y la configuración manual de componentes. La nueva arquitectura, sin embargo, adopta un enfoque modular con Django, donde cada componente del sistema se maneja como una aplicación independiente, permitiendo una mejor organización del código, un manejo más eficiente de las funciones CRUD, y una integración más sencilla de nuevos elementos y funcionalidades. Este cambio refleja una evolución hacia una estructura más adaptable y fácil de mantener, que soporta mejor el crecimiento y la complejidad del proyecto a lo largo del tiempo.

### 2.1 Django

Django es un framework de código abierto para aplicaciones web en Python que sigue el patrón Modelo–Vista–Plantilla, organizando la base de datos como modelo, la lógica de control como vista, y la interfaz de usuario como plantilla [4]. Es conocido por facilitar el desarrollo rápido y eficiente de sistemas web complejos, promoviendo una interacción fluida en todo el ciclo de desarrollo [5]. En este trabajo, Django se utilizará para desarrollar la lógica del servidor y manejar dinámicamente la información espacial y no espacial. Se implementará una API para gestionar esta información a través de peticiones CRUD (Crear, Leer, Actualizar, Eliminar), asegurando una interacción fluida y eficiente con la plataforma.

### 2.2 CesiumJS

El uso de CesiumJS es clave para interfaces geoespaciales 3D, permitiendo la visualización interactiva de rutas y la especificación de puntos de inicio y destino, lo cual mejora la interacción del usuario en entornos educativos complejos [6]. Cesium Sandcastle (<https://sandcastle.cesium.com/>) es una herramienta integral para desarrollar y experimentar con aplicaciones geoespaciales en 3D. CesiumJS también maneja archivos CZML para representar elementos en la plataforma. En SIGO 3D V1.0, CesiumJS cargaba mapas, modelos y rutas de forma estática. En la versión 2.0, estas acciones serán dinámicas, explorando nuevas funciones en Cesium Sandcastle para una interacción más fluida y enriquecedora.

---

**215**

## 2.3 Integración entre Django y CesiumJS

El primer paso es crear el proyecto Django que gestione dinámicamente los objetos del mapa 3D, como rutas y objetos CZML, necesarios para la interfaz. En la versión anterior de SIGO 3D v1.0, los elementos CZML eran estáticos, impidiendo la generación dinámica de nuevos objetos según la lógica del programa.

Un ejemplo de este problema es la generación de rutas, actualmente almacenadas en archivos CZML con información de salones, edificios y otras ubicaciones del campus, que se importan a CesiumJS. La propuesta es almacenar los nodos y caminos del campus en la base de datos para crear un grafo que permita al usuario seleccionar puntos de inicio y fin de la ruta, incluyendo su ubicación actual en el campus.

Además, la información no espacial de cada modelo debe ser dinámica, permitiendo actualizar en tiempo real datos como estado, aforo y disponibilidad de los edificios, alineado con el concepto de un gemelo digital del Campus.

## 3 Resultados y Discusión

### 3.1 Dinamización en la generación de rutas mediante algoritmos de grafos

Durante la implementación del proyecto en Django, se identificó cómo se almacenaban los datos para generar rutas desde la entrada principal hasta las ubicaciones en el mapa 3D. La información se estructuró en aristas y vértices, permitiendo modificaciones dinámicas y generando rutas desde un punto inicial elegido por el usuario mediante algoritmos como A\* y Dijkstra [7].

El algoritmo A\* se utiliza para generar rutas desde la ubicación actual del usuario, optimizando el proceso al enfocarse en caminos cercanos al destino y minimizando el procesamiento innecesario. Por otro lado, Dijkstra explora todo el grafo para calcular rutas optimizadas, procesando una vez por cada modificación de caminos en la Universidad. La recopilación de la información espacial se realiza manualmente con aplicaciones móviles, considerando los nodos más naturales y las aristas gestionadas manualmente, asignando el peso basado en la distancia y la velocidad promedio al caminar.

Para calcular la distancia entre dos nodos, se utilizará la fórmula de Haversine para coordenadas geográficas, que es más adecuada para rutas diagonales en

un entorno global:

$$d = 2 \cdot R \cdot \arcsin \left( \sqrt{\sin^2 \left( \frac{\Delta\phi}{2} \right) + \cos(\phi_1) \cdot \cos(\phi_2) \cdot \sin^2 \left( \frac{\Delta\lambda}{2} \right)} \right)$$

donde  $\phi$  es la latitud,  $\lambda$  es la longitud y  $R$  es el radio de la Tierra (aproximadamente 6371 km o 6,371,000 metros) [8].

Esta distancia se utilizará junto con la velocidad promedio de una persona al caminar para calcular el tiempo requerido en recorrer el camino, que será el peso asignado a la arista entre los dos nodos.

### 3.2 Mejora de funcionalidad y modelos 3D

Se implementan funciones avanzadas en CesiumJS para recorridos y simulaciones interactivas. La interfaz será clara e intuitiva, permitiendo el uso de HTML para mejorar la interactividad mediante modificaciones del DOM.

Además de la versión pública, se añadirá un sistema de inicio de sesión para estudiantes y profesores, quienes accederán a información personalizada a través de su cuenta institucional. Los administradores tendrán acceso a datos sobre edificios, recursos y estados. Se incluirá la opción de compartir la ubicación en tiempo real para optimizar recursos y la experiencia universitaria. La representación gráfica se mejorará con herramientas como 3D Max®, Maya® o Sketch Up, optimizando el renderizado y organizando los modelos 3D en capas, que podrán ser visualizadas u ocultas mediante un widget. Se empleará el sistema 3D Tiles en CesiumJS para ajustar el nivel de detalle, transmitiendo solo los tiles visibles y relevantes, y seleccionando los tiles a renderizar según su error geométrico y otras métricas [9].

## 4 Conclusiones

Con los ajustes en SIGO 3D v2.0, se espera una experiencia mejorada para los usuarios del campus. La incorporación de algoritmos de análisis de grafos permitirá calcular rutas rápidamente, mejorando la eficiencia en la navegación. La integración con Django proporcionará una gestión de datos en tiempo real, asegurando que la información esté actualizada y accesible para facilitar la administración de recursos.

**217**

Las mejoras en la visualización de modelos 3D ofrecerán una carga y renderización más fluida, adaptable a diferentes dispositivos y condiciones de red. La organización de modelos en capas permitirá a los usuarios personalizar su vista. Además, la plataforma ofrecerá acceso a información personalizada y la

posibilidad de compartir ubicaciones en tiempo real, mejorando la coordinación y manejo de recursos en el campus.

Este trabajo es parcialmente financiado por el proyecto C10-F02-001-2024 de la DGI/Unillanos, y soportado por la infraestructura del grupo y semillero de investigación GITECX & AdaLab respectivamente.

## References

- [1] J. Quintero Gamez, C. A. Diaz Celis M. Sc, y A. A. Cruz Roa M. Sc, Ph. D., «Adaptación de sistema de información geográfica 3d en la web (3d webgis) para la visualización de edificaciones, objetos y rutas de navegación en el campus Barcelona de la Universidad de los Llanos.», manual técnico, Universidad de los Llanos, 2023.
- [2] V. T. las E. De José María Ciampagna, «WEB GIS», El Blog del Profe José, 10 de septiembre de 2011. <https://elprofejose.com/2011/09/06/web-gis/>.
- [3] International Business Machines Corporation [IBM], «¿Qué es un gemelo digital?», IBM. <https://www.ibm.com/es-es/topics/what-is-a-digital-twin>.
- [4] H. G. R. K. S. Jagota Ashutosh Singh, Arnav Pratap Singh, Mohammad Shabaz, Bhupesh Kumar Singh, Vishal, «Django: Web Development Simple and fast», 25 de mayo de 2021. <https://annalsofrscb.ro/index.php/journal/article/view/6301>.
- [5] C. Vidal-Silva, A. Sánchez-Ortíz, J. C. Serrano, y J. M. Rubio, «Experiencia académica en desarrollo rápido de sistemas de información web con Python y Django», Formación Universitaria, vol. 14, n.o 5, pp. 85–94, oct. 2021, doi: 10.4067/s0718-50062021000500085.
- [6] A. F. M. Alattas, D. V. ME, B. M. Meijers, S. Zlatanova, y V. O. PJM, «3D PGRouting and visualization in Cesium JS using the integrated model of LADM and IndoorGML», en TU Delft Repositories, 2021. [En línea]. Disponible en: <https://repository.tudelft.nl/islandora/object/uuid:ae00cf8-c87c4c9c-a9dc-a806fc342e4f?collection=research>.
- [7] Santifiorino, «GitHub – santifiorino/maps-pathfinding: Discover the differences between A\* and Dijkstra algorithms in city map pathfinding through a Jupyter notebook demonstration. Explore algorithmic efficiencies and road usage patterns in navigating urban landscapes.», GitHub. Disponible en: <https://github.com/santifiorino/maps-pathfinding?tab=readme-ov-file>.
- [8] «GIS FAQ Question –Q5.1–». Disponible en: <https://web.archive.org/web/20041108132234/http://www.census.gov/cgi-bin/geo/gisfaq?Q5.1>.
- [9] «3D Tiles Essentials», Cesium, 30 de junio de 2015. Disponible en: <https://cesium.com/why-cesium/3d-tiles/3d-tiles-essentials/>.

# DISEÑO DE UNA PLATAFORMA WEB PARA UN MODELO DE MEDICIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS DE APRENDIZAJE DEL PROGRAMA INGENIERÍA DE SISTEMAS DE LA UNIVERSIDAD DE LOS LLANOS

Wilquer David Pulido Mora, César Augusto Díaz Célis [0000–0003–0056–0932], Diana Marcela Cardona–Román [0000–0003–0953–5178], and Angel Cruz–Roa [0000–0003–3389–8913]

GITECX & AdaLab, Universidad de los Llanos, Villavicencio, Meta, Colombia

wilquer.pulido@unillanos.edu.co

**Resumen.** Incorporar los Resultados de Aprendizaje (RA) para medir el desempeño de los estudiantes de un programa académico en Colombia es una solicitud del Ministerio de Educación Nacional (MEN) realizada a través del decreto 1330 de 2019. El programa de Ingeniería de Sistemas de la Universidad de los Llanos planteó un modelo de medición jerárquico en tres niveles: micro, meso y macro, no obstante ejecutar la medición y el análisis es un proceso altamente dispendioso, especialmente, si se quieren combinar consultas específicas, de allí la necesidad de solucionar el desafío a través de una plataforma Web. La plataforma web utilizará herramientas como GitHub, Pycharm, Docker, PostgreSQL y Django. El proyecto consta de 5 fases: levantamiento de requerimientos, diseño de la plataforma, desarrollo de la plataforma, pruebas de funcionalidad y rendimiento y la escritura del documento de trabajo de grado, utilizando SCRUM como metodología ágil de desarrollo de software. Como resultados se presenta la arquitectura de software propuesta, un mo-

---

**219**

delo de datos, y los requerimientos (funcionales y no funcionales). El modelo de datos incluye la información de los estudiantes, el curso, el docente, los cortes de calificaciones, las nota obtenidas, el período académico, los RA, la ponderación del RA y el cálculo de los mismos.

**Palabras clave:** Arquitectura de Software · Aseguramiento de Calidad · Modelo de Medición · Resultados de Aprendizaje.

## 1 Introducción

El MEN promulgó el decreto 1330 de 2019, el cual entró en vigor el 25 de julio de 2023; este decreto establece que los programas deben ser diseñados bajo un modelo de RA y así mismo debe implementarse un plan de valoración de los RA para garantizar la calidad de los programas académicos [3]. Según este decreto, los RA son las expectativas de lo que un estudiante debe saber y demostrar al finalizar un programa académico. Como plan de valoración de los RA, se propone un sistema de medición jerárquico ponderado que consta de 3 niveles, micro (nivel de curso), meso (nivel de área) y macro (nivel general), con cada uno aportando a los niveles superiores [5]. Sin embargo, debido a que el cálculo de los RA puede llegar a ser un proceso complejo y susceptible a errores, se presenta el diseño de una plataforma web que implemente un modelo de medición de manera automática, agilizando y facilitando el proceso de evaluación de los RA [6].

## 2 Metodología y Tecnologías

### 2.1 Metodología de desarrollo de software

La metodología de desarrollo de software usada para este proyecto es SCRUM, un marco de trabajo ágil para la gestión de proyectos, y facilita al equipo de trabajo la estructuración y gestión de su trabajo [2]. La metodología SCRUM se resume en la Figura 1:

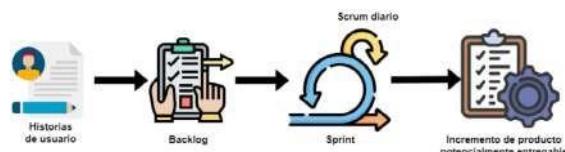


Fig. 1. Metodología SCRUM, adaptado de [1].

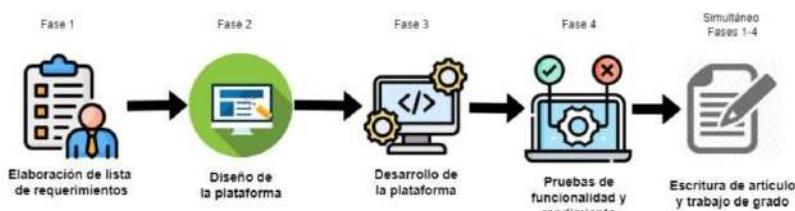
Las historias de usuario es la lista de funcionalidades que tendrá el producto. El backlog es la lista de tareas a realizar para cumplir con las historias de usuario. El Sprint es un período en el cual el equipo se enfoca en unas tareas específicas. El Incremento de Producto Potencialmente Entregable es el conjunto de funcionalidades que el equipo de desarrollo entrega al final de cada Sprint.

## 2.2 Técnologías de software

Las tecnologías a usar son Django, Django Rest Framework (DRF), Docker, PostgreSQL Git y PyCharm. Django es un marco de desarrollo de software para la creación de aplicaciones web mediante el uso de Python [4]. Django usa el patrón Modelo–Vista–Plantilla (Model–View–Template). El modelo representa la estructura de datos, las vistas son métodos que actúan como controladores en el Modelo–Vista–Controlador (MVC) y las plantillas son archivos HTML que se muestran al cliente. Además, también se usará el virtualizador Docker para el despliegue, el gestor de bases de datos PostgreSQL para la gestión de la información y la herramienta de control de versiones Git y el Entorno de Desarrollo Integrado (IDE) Pycharm para el desarrollo de software.

## 2.3 Metodología del Proyecto

La metodología del proyecto consta de cinco fases y para el desarrollo de software se utiliza la metodología Scrum (Ver Figura 2). En la fase 1 se elabora el documento de requerimientos funcionales y no funcionales, en la fase 2 se realiza el diseño de la aplicación a partir de los requerimientos (Mockups, diagramas, etc.), en la fase 3 se codifica, en la fase 4 se realizan pruebas, y en la fase 5 se realiza la escritura del documento de trabajo de grado.



221

Fig. 2. Metodología del proyecto. Imagen de autoría propia, realizada con Draw.io.

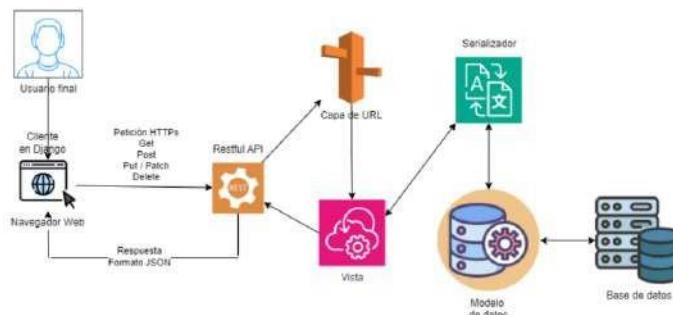
## 3 Resultados y Discusión

### 3.1 Arquitectura de la plataforma web

Se propone como arquitectura para la plataforma al framework DRF, el cual inicia con el modelo de datos que se explica en la sección 3.2, se continúa con el serializador que convierte los datos a formato JSON. Este se comunicará con las vistas basadas en clases las cuales permiten recibir peticiones de tipo GET, POST, PUT, PATCH y DELETE. Además, la plataforma puede también consumir servicios RESTful de terceros mediante la capa de las vistas[4]. En la figura 3 se muestra la arquitectura propuesta.

### 3.2 Modelo de datos

En la Figura 4 se muestran el diseño actual de las tablas del modelo de datos. Las tablas `si_cursoplanestudio` y `si_personavinculacionrol` hacen referencia al curso y a los estudiantes y docentes respectivamente. La tabla `periodo` se refiere al período académico (ej. 2024-2), mientras que la tabla `grupo` se refiere al grupo del curso. Las tablas `ra` y `tipoRA` se refieren a los resultados de aprendizaje, mientras que la tabla `corte` se refiere a un momento de evaluación del curso. Por otro lado, la tabla `curso periodo` es una tabla conectora que especifica el curso y grupo, el docente y el período académico. La tabla `nota` es la calificación que



222

Fig. 3. Arquitectura de DRF, realizada con dbdiagram.io.

obtuvo el estudiante en un curso y corte específico que varía de 0.0 a 5.0, mientras que la tabla `calculo ra` contiene la nota del RA evaluado. Por último, la tabla `ponderación` define el RA que dará aporte al RA de nivel superior, cuyo atributo `peso` es un valor entre 0 y 1.

### 3.3 Requerimientos funcionales y no funcionales

Como parte del proceso del desarrollo del proyecto, se realizó un análisis de las funcionalidades a desarrollar, a partir de ahí, se hizo una lista de requerimientos funcionales y no funcionales:

#### Requerimientos funcionales

- La plataforma debe tener un sistema de inicio de sesión.
- La plataforma debe tener un sistema de creación de usuario disponible únicamente por usuarios administradores.
- La plataforma debe consumir los servicios RESTful del programa Ingeniería de Sistemas para consultar información de estudiantes, cursos, docentes y notas de estudiantes.
- La plataforma permite a los docentes subir archivos Excel (.xlsx) con las notas de los estudiantes.
- La plataforma debe realizar el cálculo de los RA teniendo en cuenta la ponderación.
- La plataforma debe graficar los cálculos de los RA mediante diagrama de barras, circular, de caja y bigotes, y radial para facilitar el análisis del rendimiento de los estudiantes.

#### Requerimientos no funcionales

- La plataforma debe contar con un sistema de verificación de autenticación y autorización de usuarios.
- La plataforma debe cumplir con estándares de usabilidad.
- La plataforma debe tener un puntaje de al menos 80 en rendimiento usando la herramienta PageSpeed Insights de Google.



Fig. 4. Modelo de datos. Elaboración propia, realizada con dbdiagram.io.

## 4 Conclusiones

Se ha logrado avanzar en el diseño de la arquitectura de la plataforma Web para un modelo de medición y análisis de resultados de aprendizaje del programa Ingeniería de Sistemas de la Universidad de los Llanos. Como resultados preliminares se ha avanzado con el levantamiento de requerimientos funcionales y no funcionales. El diseño del modelo de datos permitió el avance del proyecto, toda vez que define la estructura de los datos y garantiza la consistencia de la información. Con esto hecho, las etapas posteriores que incluyen la elaboración de mockups y verificación de requerimientos se podrán realizar de manera efectiva. Este trabajo es parcialmente financiado por el proyecto C03-F02-014-2022 de la DGI/Unillanos, y soportado por la infraestructura del grupo y semillero de investigación GITECX & AdaLab respectivamente.

# References

- [1] Adi, P., Permana, G.: Scrum method implementation in a software development project management. IJACSA) International Journal of Advanced Computer Science and Applications 6 (2015), [www.ijacsa.thesai.org](http://www.ijacsa.thesai.org)
- [2] Atlassian: ¿qué es scrum? [+ cómo empezar] | atlassian (2016), <https://www.atlassian.com/es/agile/scrum>.
- [3] de Educación Nacional Gobierno Nacional, M.: De creto 1330 de 2019 – gestor normativo (11 2019), <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=98270>.
- [4] Gagliardi, V.: Modern django and the django rest framework. Apress eBooks pp. 31–40 (3 2021). [https://doi.org/10.1007/978-1-4842-7144-5\\_3](https://doi.org/10.1007/978-1-4842-7144-5_3).
- [5] González, E.C., Villarraga, B.A.B.: Lineamientos para la formulación y evaluación de resultados de aprendizaje (2020).
- [6] Syahirah, N., Mohd, B.: the impact of accounting software on business. International Journal of Accounting & Business Management 5, 47–55 (2017), <https://www.ftms.edu.my/journals/pdf/IJABM/Apr2017/47-55.pdf>.

# EXPLORACIÓN DE MÉTODOS DE APRENDIZAJE PROFUNDO PARA LA SUPERRESOLUCIÓN DE IMÁGENES DE MICROSCOPIA

Juan Cruz<sup>1,2</sup>, Lina Castañeda<sup>1,2</sup>, Jairo Cuero<sup>1</sup>, César Díaz<sup>2</sup>, Andrés Jiménez<sup>3</sup>, and Angel Cruz-Roa<sup>2</sup>

<sup>1</sup> EYSI, Universidad de los Llanos, Meta, Colombia. <sup>2</sup> GITECX & AdaLab, Universidad de los Llanos, Meta, Colombia. <sup>3</sup> Macrypt, Universidad de los Llanos, Meta, Colombia.  
juan.cruz.useche@unillanos.edu.co

**Resumen.** La observación de materiales o muestras biológicas a escalas menores que las visibles por el ojo humano ha sido fundamental para los avances en diversas áreas científicas y tecnológicas. Técnicas tradicionales de microscopía presentan limitaciones ópticas que afectan la resolución espacial de las imágenes digitales obtenidas, lo cual es un problema significativo en campos como la biología y la ingeniería. En respuesta, han surgido técnicas avanzadas que buscan superar estas limitaciones, como la superresolución, la cual consiste de algoritmos diseñados para aumentar la resolución espacial de una imagen, normalmente a partir de una secuencia de imágenes de más baja resolución. Este trabajo explora métodos de aprendizaje profundo para la superresolución de imágenes de microscopía, como alternativa a la Pticografía de Fourier. A diferencia de esta última, que combina amplitud y fase para reconstruir imágenes de alta resolución, el enfoque propuesto se centra en el uso de algoritmos de aprendizaje profundo (deep learning) para mejorar la resolución espacial de las imágenes de microscopía a partir de entrenar una red neuronal con ejemplos de imágenes de baja y alta resolución. Si bien los avances en esta área aún no son definitivos, resultados preliminares utilizando una red FSRCNN (Fast Super Resolution Convolutional Neural Network) con imágenes de rostros humanos han demostrado la capacidad de aumentar la

resolución de  $64 \times 64$  a  $256 \times 256$  píxeles. Este enfoque sugiere un potencial significativo para aplicaciones en microscopía, donde la alta resolución espacial de las imágenes digitales es crucial, tal como en imágenes de microscopía.

**Palabras clave:** Superresolución de Imágenes · Aprendizaje Profundo · Imágenes de Microscopía · Modelos Generativos · Redes Neuronales Profundas.

# 1 Introducción

La pticografía, introducida por Hegerl y Hoppe en 1970, es una técnica que utiliza luz coherente para recolectar patrones de difracción desde diferentes posiciones de un objeto, los cuales se procesan con algoritmos iterativos para reconstruir imágenes de alta resolución [1]. La pticografía de Fourier, una extensión de la técnica original, aplica la transformada de Fourier a estos patrones, mejorando la resolución espacial y corrigiendo imperfecciones ópticas mediante algoritmos computacionales, lo que optimiza la visibilidad de las muestras [2]. La superresolución (Super-resolution – SR) consiste de algoritmos diseñados para aumentar la resolución espacial de una imagen, normalmente a partir de una secuencia de imágenes de más baja resolución. Las imágenes están formadas por matrices de píxeles RGB que definen su color. Los modelos de superresolución amplían estas matrices, prediciendo nuevos píxeles, por ejemplo, mediante redes neuronales profundas, que al ser entrenadas, capturan gradientes direccionales estadísticamente significativos.

Recientemente, la patología digital busca optimizar diagnósticos a través de sistemas de imágenes avanzados, como la microscopía pticográfica de Fourier (FPM)[1], que ofrece imágenes de alta resolución y fase cuantitativa en amplios campos de visión[2]. Sin embargo, los escáneres FPM enfrentan desafíos en la calidad de las imágenes, afectando la precisión diagnóstica debido a limitaciones en la resolución y sensibilidad [3][4]. Los métodos convencionales de reconstrucción de imágenes FPM tienen problemas como baja resolución temporal y susceptibilidad a aberraciones del sistema[5][6]. El uso de redes neuronales profundas (DNN) en técnicas de superresolución promete mejorar la calidad de las imágenes, reduciendo el tiempo de procesamiento y aumentando la robustez, lo que podría optimizar los diagnósticos y beneficiar la salud pública [7][8].

El aprendizaje profundo (Deep Learning – DL) y la redes neuronales artificiales (Artificial Neural Networks – ANN), o redes neuronales profundas (Deep Neural Networks – DNN), se han vuelto esenciales para optimizar procesos científicos, incluyendo la microscopía. Al entrenar DNN con conjuntos de datos de imágenes de alta y baja resolución, se pueden mapear característi-

cas complejas de las imágenes de baja resolución a sus equivalentes de alta, mejorando significativamente la claridad, su definición y resolución espacial [7]. Este trabajo explora métodos de aprendizaje profundo para la superresolución de imágenes de baja calidad, utilizando enfoques avanzados como los modelos de redes residuales multiescala, para obtener imágenes digitales de alta resolución espacial [3]. Las técnicas avanzadas de superresolución utilizan Redes Generativas Adversariales (Generative Adversary Networks – GAN), compuestas por un generador que crea imágenes realistas y un discriminador que distingue entre imágenes reales y generadas. La arquitectura de la GAN incluye una U-Net para el generador y una red neuronal convolucional (Convolutional Neural Network – CNN) para el discriminador, lo que permite transformar imágenes de entrada en imágenes de salida de manera eficiente, preservando detalles. Estas redes serán exploradas en este estudio para mejorar la superresolución en imágenes de microscopía, una necesidad creciente en el análisis de muestras de microscopía.

## 2 Metodología

La exploración de algoritmos de aprendizaje profundo para la superresolución de imágenes en microscopía, presentada en este trabajo en curso, sigue una metodología conformada por cuatro fases, como se observa en la Figura 1.

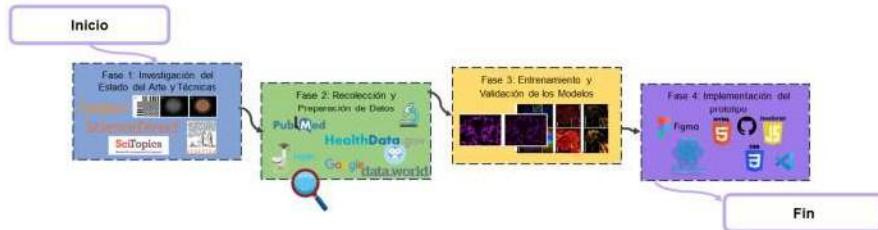


Fig. 1. Metodología planteada

**228**

### 2.1 Revisión del Estado del Arte e Identificación de Técnicas

Se realiza una revisión exhaustiva de la literatura científica para identificar técnicas y avances relevantes en superresolución y aprendizaje profundo, finalmente se seleccionan las arquitecturas de aprendizaje profundo más adecuadas, como ESRGAN (Enhanced Super-Resolution Generative Adversarial Network) y PIX2PIX (Image-to-Image Translation with Conditional Adversarial Networks), considerando herramientas como TensorFlow y PyTorch en el lenguaje de programación Python para su implementación.

## 2.2 Recolección y Preparación de Datos

Se recopilan y preparan datos de imágenes microscópicas en alta y baja resolución de fuentes de conjuntos de datos públicos de imágenes como PubMed y Kaggle, asegurando su calidad para el entrenamiento.

## 2.3 Entrenamiento y Validación

Los modelos son entrenados y validados usando técnicas de validación cruzada y métricas como Relación Señal a Ruido Pico (PSNR, por sus siglas en inglés) y el Índice de Similitud Estructural (SSIM, por sus siglas en inglés) para evaluar la calidad de la resolución de las imágenes, y tener una forma de comparar entre una imagen real de alta resolución y la generada por superresolución. Las fórmulas para el cálculo de estas métricas son:

- PSNR:

$$PSNR = 10 \cdot \log_{10} \left( \frac{MAX_I^2}{MSE} \right)$$

Donde MAXI es el valor máximo posible de un píxel en la imagen (por ejemplo, 255 para una imagen de 8 bits) y MSE es el error cuadrático medio entre la imagen de referencia y la imagen generada.

- SSIM:

$$SSIM(x, y) = \frac{(2\mu_x\mu_y + C_1)(2\sigma_{xy} + C_2)}{(\mu_x^2 + \mu_y^2 + C_1)(\sigma_x^2 + \sigma_y^2 + C_2)}$$

Donde x e y son las dos imágenes que se están comparando,  $\mu_x$  y  $\mu_y$  son las medias de x e y,  $\sigma_x^2$  y  $\sigma_y^2$  son las varianzas de x e y,  $\sigma_{xy}$  es la covarianza de x e y, y  $C_1$  y  $C_2$  son constantes para estabilizar la división.

## 2.4 Implementación del Prototipo

Se desarrolla un prototipo de sistema de superresolución que integra los modelos entrenados, facilitando su aplicación en nuevas imágenes microscópicas para su uso práctico, por ejemplo en imágenes de células o histología. Este enfoque estructurado espera mejorar la precisión y eficiencia en el análisis de imágenes microscópicas mediante la superresolución.

**229**

# 3 Resultados preliminares

En la implementación inicial de la metodología propuesta, se aplicaron técnicas de superresolución a imágenes de rostros humanos utilizando la arquitectura FSRCNN (Fast Super-Resolution CNN), conocida por su eficiencia y

bajo costo computacional. Basada en los avances de Dong et al. [9], FSRCNN optimiza la velocidad y la calidad en la restauración de imágenes, lo cual es crucial para aplicaciones en tiempo real.

El experimento se realizó con aproximadamente 1200 imágenes, distribuidas en entrenamiento, prueba y validación. Las imágenes se escalaron de  $64 \times 64$  a  $256 \times 256$  píxeles en un portátil con procesador Ryzen 5, sin GPU. FSRCNN logró un PSNR de 25.83 dB y un SSIM de 0.7363, acercándose a los valores de redes más complejas como ESRGAN (PSNR de 28.75 dB, SSIM de 0.8256) y CAGFace (PSNR de 27.42 dB, SSIM de 0.816) [10, 11]. Aunque la interpolación bicúbica fue más rápida (0.00102 segundos frente a 0.19310 segundos de FSRCNN), la calidad de imagen producida por FSRCNN fue superior (PSNR de 26.94 dB, SSIM de 0.7670). Además, ESRGAN tardó 1.9544 segundos en la predicción, destacando la eficiencia de FSRCNN para obtener resultados aceptables con menos recursos, siendo una opción viable en aplicaciones con limitaciones computacionales.



Fig. 2. Comparación de resolución espacial de la imagen original, escalamiento por interpolación bicúbica y generada por superresolución con la red neuronal.

## 4 Conclusiones

**230**

Este resultado exitoso con FSRCNN proporciona una primera aproximación para avanzar hacia arquitecturas más complejas, como las Redes Generativas Adversariales (GAN), y aplicarlas en conjuntos de datos que requieren mayor precisión, como los utilizados en imágenes de microscopía. La experiencia obtenida en esta etapa preliminar nos da confianza para afrontar los desafíos que presenta la superresolución en imágenes de alta complejidad y detalle, como es el caso en el campo de la microscopía. Este trabajo es parcialmente financiado por el proyecto C10-F02-007-2024 de la DGII/Unillanos, y sostenido por la infraestructura de los grupos EYSI y GITECX, y el semillero de investigación AdaLab, respectivamente.

# References

- [1] Lars Loetgering et al. "Fourier Ptychography Part II: Phase Retrieval and High-Resolution Image Formation". In: *Microscopy Today* 30 (5 Sept. 2022), pp. 36–39. issn: 1551–9295. doi: 10.1017/s1551929522001055.
- [2] Guoan Zheng et al. Concept, implementations and applications of Fourier ptychography. Mar. 2021. doi: 10.1038/s42254-021-00280-y. [3] Jizhou Zhang et al. "Fourier ptychographic microscopy reconstruction with multiscale deep residual network". In: *Optics Express* 27 (6 Mar. 2019), p. 8612. issn: 10944087. doi: 10.1364/oe.27.008612.
- [4] Marika Valentino et al. "Beyond conventional microscopy: Observing kidney tissues by means of fourier ptychography". In: *Frontiers in Physiology* 14 (2023). issn: 1664042X. doi: 10.3389/fphys.2023.1120099.
- [5] Yongbing Zhang et al. "Fourier ptychographic microscopy with sparse representation". In: *Scientific Reports* 7 (1 Dec. 2017). issn: 20452322. doi: 10.1038/s41598-017-09090-8.
- [6] Yi Fei Cheng et al. "Illumination pattern design with deep learning for single-shot Fourier ptychographic microscopy". In: *Optics Express* 27 (2 Jan. 2019), p. 644. issn: 10944087. doi: 10.1364/oe.27.000644.
- [7] Samir Mitha et al. "MLP–SRGAN: A Single–Dimension Super Resolution GAN using MLP–Mixer". In: (Mar. 2023). url: <http://arxiv.org/abs/2303.06298>.
- [8] Jianwei Zhang et al. "Cascade Convolutional Neural Network for Image Super–Resolution". In: () .
- [9] Chao Dong, Chen Change Loy, and Xiaoou Tang. "Accelerating the Super Resolution Convolutional Neural Network". In: (Aug. 2016). url: <http://arxiv.org/abs/1608.00367>.
- [10] Xintao Wang et al. "ESRGAN: Enhanced super–resolution generative adversarial networks". In: arXiv preprint arXiv:1809.00219 (2018).
- [11] Ratheesh Kalarot, Tao Li, and Fatih Porikli. "Component Attention Guided Face Super–Resolution Network: CAGFace". In: arXiv preprint arXiv:1910.08761 (2019).

# DISEÑO DE UNA PLATAFORMA DE MONITOREO Y ANÁLISIS DE LA DINÁMICA DE MURCIÉLAGOS INSECTÍVOROS

Maykoll Alexis Gómez Fernandez 1[0009–0007–0175–8939], Hermes Duvan Martinez Zambrano 2[0009–0004–3392–9323], César Augusto Díaz Célis 3[0000–0003–0056–0932], and Angel Cruz-Roa 4[0000–0003–3389–8913]

GITECX & AdaLab, Universidad de los Llanos, Villavicencio, Colombia

magomez.fernandez@unillanos.edu.co

**Resumen.** La urbanización y la fragmentación de hábitats naturales están afectando significativamente a los murciélagos insectívoros, especies clave para el control de plagas y la salud de los ecosistemas. Sin embargo, existe una carencia de herramientas eficientes para el monitoreo y análisis de su dinámica. Este trabajo presenta el diseño de una plataforma de monitoreo y análisis de la dinámica de murciélagos insectívoros a partir de información acústica, geo-espacio temporal y ambiental. La plataforma integrará tecnologías de visualización y análisis acústico, sistemas de información geográfica (SIG) y uso de modelos de aprendizaje automático en bioacústica de murciélagos entrenados previamente. El sistema recolectará datos acústicos de las señales de ecolocalización georreferenciadas de los murciélagos en el campus Barcelona de la Universidad de los Llanos, para ser visualizados y analizados para identificar patrones de actividad de acuerdo con su distribución espacial. Entre los resultados esperados de este trabajo el desarrollo de una herramienta accesible para investigadores y conservacionistas, que proporcionará información detallada sobre la dinámica de los murciélagos en diferentes entornos. Esto contribuirá a la conservación de estas especies y al manejo sostenible de sus hábitats, promoviendo una mayor comprensión de su rol ecológico y los efectos de la urbanización en su comportamiento.

232

**Palabras clave:** Analítica de Datos · Bioacústica · Ecolocalización · Murciélagos · Sistemas de Información Geográfico.

# 1 Introducción

La urbanización y la fragmentación de hábitats amenazan la vida silvestre, afectando significativamente la biodiversidad de murciélagos insectívoros [14]. Sin embargo, aún hay una notable falta de estudios que identifiquen los factores específicos que impactan a estos murciélagos. Los murciélagos insectívoros son cruciales en los ecosistemas como depredadores de insectos, muchos de los cuales son vectores de enfermedades o plagas agrícolas [4]. Además, actúan como indicadores importantes de la calidad de los hábitats [6]. Su composición y abundancia están asociadas con diversas perturbaciones humanas, como la degradación de hábitats y la urbanización [5].

El comportamiento de los murciélagos, especialmente su ecolocación mediante señales ultrasónicas, varía durante el forrajeo [8], permitiendo a los investigadores identificar intentos de captura de presas. Sin embargo, analizar manualmente estas grabaciones es complejo, especialmente en ambientes ruidosos como el neotrópico [13]. Para simplificar este proceso, se han desarrollado modelos de computación inteligente que distinguen automáticamente las señales de ecolocación de murciélagos de otros sonidos ambientales [3]. Es crucial contar con una plataforma que permita el registro, monitoreo, visualización y análisis de estos datos para apoyar a biólogos y ecólogos en su investigación. Las aplicaciones web modernas ofrecen beneficios para visualizar datos multimodales, como las señales de ecolocación, facilitando su interpretación y estudio [9]. Estas plataformas son esenciales para optimizar la recolección y análisis de datos, proporcionando herramientas robustas para la investigación y la conservación de la biodiversidad. Este trabajo busca desarrollar una plataforma integrada para el monitoreo y análisis de la dinámica de murciélagos insectívoros, basada en datos acústicos, geo-espacio-temporales y ambientales, facilitando estudios ecológicos y biológicos.

# 2 Metodología

Se propone como metodología de desarrollo de software una metodología ágil conocida como Desarrollo Dirigido por Funcionalidades (Feature-Driven development – FDD) (ver Figura 1), con el fin de abordar las etapas de diseño, construcción y pruebas del prototipo [16]. FDD tiene como rasgo característico la planeación y el diseño por adelantado. En consecuencia, el modelo de objetos, la lista de características y la planeación se hacen al inicio del proyecto. Las iteraciones son incrementos con características identificadas [12].

233



Fig. 1. Diagrama de la metodología FDD, Elaboracion propia

Su ciclo de vida está compuesto por cinco etapas: el desarrollo de un modelo general, la construcción de la lista de funcionalidades, la planeación por funcionalidades, el diseño por funcionalidades y la construcción por funcionalidad [1]. FDD se enfoca en las funcionalidades del sistema y sus interrelaciones para identificar las funcionalidades necesarias, permitiendo desarrollar un sistema de manera más organizado y estructurado [2].

La arquitectura del software (ver Figura 3) combinará React para el frontend, Django REST Framework para el backend, y Dash Plotly para la visualización de datos. La comunicación entre frontend y backend se gestionará mediante API REST, garantizando escalabilidad y una clara separación de responsabilidades.

## 2.1 FASE 1: Desarrollo del modelo general

En esta fase inicial, se construye un modelo conceptual para el monitoreo de murciélagos insectívoros, identificando requisitos clave como la recolección y análisis de datos de comportamiento y ubicación, y su presentación mediante gráficos y reportes. Se colabora con expertos para comprender el entorno y las necesidades del sistema [11].

## 2.2 FASE 2 y 3: Elaborar y Planificar funcionalidades

234

Se definen los objetivos específicos y se elabora una lista de funcionalidades para el monitoreo eficiente, incluyendo captura de datos en tiempo real, almacenamiento seguro, y visualización con Dash Plotly. Esta lista se basa en pruebas, modelo de objetos y documentación de requisitos [10]. Posteriormente, se organiza la implementación de funcionalidades según prioridad y dependencia, enfocándose en características críticas como la captura y procesamiento de datos en tiempo real en las primeras iteraciones, para asegurar una entrega oportuna [15].

## 2.3 FASE 4 y 5: Diseñar y desarrollar funcionalidades

Se desarrolla un diseño detallado para características clave, incluyendo especificaciones de interfaces en React, servicios y API en Django REST Framework, y componentes gráficos en Dash Plotly. Esto asegura una integración efectiva y eficiente de todas las partes del sistema [7]. Posteriormente, se implementan las características del sistema diseñadas previamente, comenzando con las principales funcionalidades para el monitoreo de murciélagos, utilizando prácticas ágiles como integración continua y TDD para garantizar alta calidad [9].

## 3 Resultados Preliminares

El desarrollo de la plataforma de monitoreo y análisis de la dinámica de murciélagos insectívoros se encuentra en sus fases iniciales, con avances significativos en las fases 1 y 2 del proyecto, como veremos a continuación.

En la Fase 1 se ha desarrollado un modelo general de la arquitectura de la plataforma. El diseño preliminar incluye los siguientes componentes:

1. Frontend: Utiliza React para construir una interfaz de usuario dinámica y responsive. La UI estará compuesta por paneles interactivos y gráficos para visualizar datos en tiempo real y realizar análisis.
2. Backend: Basado en Django REST Framework (DRF) para la creación de APIs que manejarán la comunicación entre el frontend y el almacenamiento de datos. DRF permitirá una integración eficiente con la base de datos y garantizará la seguridad y escalabilidad del sistema.
3. Visualización de Datos: En el diseño propuesto para el software (ver Figura 2), implementaremos mapas de calor y gráficos de burbujas (bubble charts) que permitirán observar la presencia de 1, 2 o 3 especies simultáneamente.

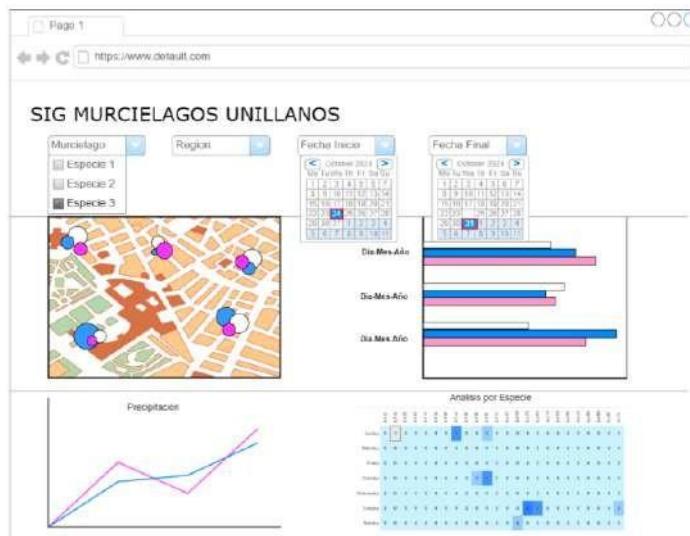


Fig. 2. Mockup del software, diseño propio

En los mapas de calor, la intensidad del color reflejará la densidad de cada especie, con colores más intensos indicando mayor presencia. Los usuarios podrán analizar regiones específicas y visualizar la precipitación en las zonas evaluadas, aportando contexto adicional al análisis de la dinámica de las especies.

4. Base de Datos: Se diseñará una base de datos estructurada para almacenar datos acústicos, ambientales y de ubicación. La base de datos permitirá consultas eficientes y el acceso seguro a los datos.
5. Arquitectura General: La comunicación entre el frontend y el backend se realizará a través de API REST, asegurando una separación clara de responsabilidades y facilitando futuras actualizaciones y mantenimientos.

A continuación (ver Figura 3), se muestra el diseño preliminar de la arquitectura observado anteriormente:

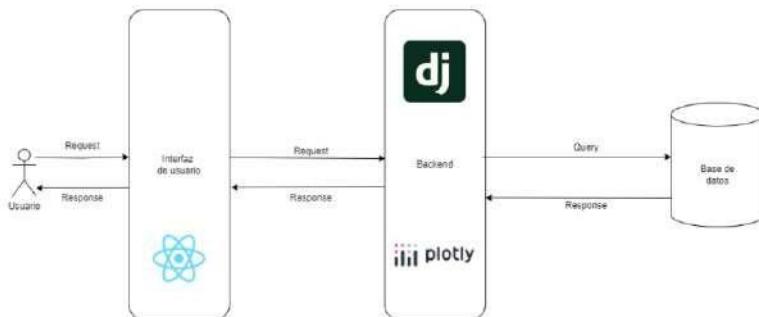


Fig. 3. Diseño preliminar de la arquitectura de la plataforma

### 3.1 Funcionalidades esperadas

En la Fase 2, se ha elaborado una lista preliminar de funcionalidades esperadas para la plataforma:

1. Visualización de Datos:

Mapas de calor para mostrar la intensidad de la presencia de murciélagos.

Bubble charts para representar la cantidad de especies y su distribución temporal y espacial.

Gráficos temporales para analizar patrones de actividad de murciélagos.

2. Análisis de Datos:

Algoritmos para clasificar señales acústicas por especie.

Modelos predictivos para anticipar patrones de actividad basados en datos históricos.

3. Interacción con los Datos:

Filtros y búsquedas para consultar datos según parámetros específicos.

Exploración interactiva de datos en diferentes niveles de detalle.

4. Reportes y Exportación:

Generación de informes detallados y exportación en PDF y CSV.

Exportación de datos brutos o procesados para análisis adicionales.

5. Interfaz de Usuario (UI):

Desarrollo de una UI intuitiva en React.

Dashboard interactivo para mostrar resúmenes y visualizaciones clave.

## 4 Conclusiones

Las funcionalidades preliminares incluyen visualización avanzada con mapas de calor, gráficos temporales y herramientas interactivas para análisis y generación de reportes. Esto permitirá a los investigadores explorar y entender los datos de manera eficiente. En las fases 1 y 2 se ha avanzado en la dirección correcta, pero se identificaron desafíos en la integración tecnológica y refinación de funcionalidades según los requisitos del usuario. La planificación detallada y la iteración continua serán claves para superar estos desafíos en las siguientes fases. La próxima etapa se enfocará en el diseño e implementación detallada de funcionalidades, pruebas continuas y validación en campo, con apoyo de expertos en bioacústica y ecología, asegurando que la plataforma cumpla con las necesidades de los usuarios finales. Este trabajo es parcialmente financiado por el proyecto C10-F02-001-2024 de la DGI/Unillanos, y soportado por la infraestructura del grupo y semillero de investigación GITE-CX & AdaLab respectivamente.

## References

- [1] Ambler, S. (2002). Agile modeling: effective practices for extreme programming and the unified process. John Wiley & Sons, New York.
- [2] Arias Montes, B. (2022). Implementación de métodos de procesamiento y análisis automático de imágenes digitales de láminas completas de histopatología como apoyo a la patología computacional y patómica [Propuesta de grado, Universidad de los Llanos].
- [3] Cantor Muñoz, A. P., & Velandia Garcia, M. F. (2024). Detección de pulsos o secuencias de pulsos en señales de ecolocación de murciélagos neotropicales usando aprendizaje automático o profundo [Trabajo de grado, Universidad de los Llanos].
- [4] Cleveland, C. J., et al. (2006). Economic value of the pest control service provided by Brazilian free-tailed bats in south-central Texas. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 4(5), 238–243.
- [5] Fahrig, L. (2001). How much habitat is enough?. *Biological Conservation*, 100(1), 65–74.
- [6] Fenton, M. B. (1997). Science and the conservation of bats. *Journal of Mammalogy*, 78(1), 1–14.
- [7] Fitzgibbons, L. (s.f.). Feature-driven development (FDD).
- [8] Griffin, D. R. (1958). Listening in the dark: The acoustic orientation of bats and men. Yale University Press.
- [9] Janse, B. (2020). Feature Driven Development (FDD).
- [10] Kanjilal, J. (2023). Introduction to Feature Driven Development.
- [11] NimbleWork, I. (2023). Feature-Driven Development: Evolution vs Revolution.
- [12] Palmer, S. R., & Felising, J. M. (2002). A practical guide to feature-driven development. Pearson, Indianapolis.
- [13] Sanchez Barrera, F. A. (2016). Dinámica temporal de la actividad de dos especies hermanas de murciélagos insectívoros en el piedemonte llanero colombiano [Propuesta de grado, Universidad de los Llanos].
- [14] Savard, J. P. L., Clergeau, P., & Mennechez, G. (2000). Biodiversity concepts and urban ecosystems. *Landscape and Urban Planning*, 48(3–4), 131–142.
15. Singh, V. (2021). Feature Driven Development (FDD): An Agile Methodology.
16. S. Goyal (2007). Major Seminar On Feature Driven Development Agile Techniques for Project Management Software Engineering By Sadhna Goyal Guide: Jennifer Schiller Chair of Applied Software Engineering.



# V Congreso Internacional de Ciencias Básicas e Ingeniería

Unillanos, Cualificación Académica y Acción Social



Facultad de Ciencias  
Básicas e Ingeniería