



**UNISANGIL**  
VIGILADA MINEDUCACIÓN

Aportes de la Ingeniería para  
**EL DESARROLLO  
DE LAS REGIONES**



ISBN: 978-628-96208-0-1

FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES E INGENIERÍA

## DIRECTIVOS

*Patricia Isabel Moreno Lequerica*

Rectora

*Marcela Ordoñez Rodríguez*

Vicerrectora Académica

*José Manuel Serrano Jaimes*

Vicerrector Administrativo y Financiero

*William Guerrero Salazar*

Decano Facultad de Ciencias Naturales e Ingeniería

*Yohana Patricia Medina Vargas*

Directora Institucional Departamento de Extensión

*Wilson Gamboa Contreras*

Director Institucional Departamento de Investigación

*Adriana Sofía Rodríguez Múnera*

Directora sede Yopal

*Camilo Andrés Ruiz Bernal*

Subdirector Académico sede Yopal

*Mary Luz Niño Rojas*

Directora sede Chiquinquirá

## COMITÉ ACADÉMICO

### *Sede San Gil*

<i>Sandra Johana Benítez Muñoz</i>	Coordinadora de Investigación de la Facultad CIF
<i>Yaneyda Zulay Longas Flórez</i>	Directora Departamento de Ciencias Básicas Coordinadora de Extensión de la Facultad CEF
<i>Edgar Rodríguez Díaz</i>	Director del Programa de Especialización en Gestión Integrada del Recurso Hídrico
<i>Diana Patricia Torres Solano</i>	Directora de los Programas de Ingeniería Ambiental e Ingeniería Agrícola
<i>Gustavo Adolfo López Salazar</i>	Director Programa de Ingeniería de Sistemas
<i>Ana Rocío Córdoba Malaver</i>	Directora de los Programas de Ingeniería de Mantenimiento e Ingeniería Electrónica
<i>Henry Javier Barón González</i>	Docente Investigador del Programa de Ingeniería de Sistemas
<i>Luz Yamile Caicedo Chacón</i>	Docente Investigador del Programa de Ingeniería de Sistemas
<i>Julián Andrés Ramírez Bautista</i>	Docente investigador del Programa de Ingeniería de Mantenimiento
<i>Sergio Andrés Peña Perea</i>	Docente investigador del Programa de Ingeniería Ambiental
<i>Rafael Antonio Estupiñán Pinto</i>	Docente del Programa de Ingeniería Ambiental Coordinador del Laboratorio de Aguas
<i>Víctor Raúl Camargo Colmenares</i>	Docente tiempo completo del área de Ciencias Básicas

### *Sede Yopal*

<i>Lina Marcela Lozano Jácome</i>	Coordinador de Investigación de la Facultad CIF
<i>Lina Paola Orduz Amaya</i>	Directora del Programa de Ingeniería Ambiental
<i>Wilson Arturo Gómez Becerra</i>	Director del Programa de Ingeniería Electrónica
<i>Alexis Olvany Torres Chapeta</i>	Director del Programa de Ingeniería de Sistemas
<i>Javier Rivera Acosta</i>	Director del Programa de Ingeniería Agrícola
<i>Andrés Gonzalo Hernandez Ortega</i>	Coordinador de Ciencias Básicas
<i>Fredy Yesid Nocua Mesa</i>	Docente Investigador del Programa de Ingeniería electrónica
<i>Abdias Gómez Duarte</i>	Docente Investigador del Programa de Ingeniería Sistemas
<i>Victor Manuel Torres Lozano</i>	Docente Investigador del Programa de Ingeniería Ambiental
<i>Diego Alexander Pita Pedraza</i>	Docente ciencias básicas
<i>Liliana Carolina Luis Rincón</i>	Docente ciencias básicas
<i>Paola Andrea Vargas Moreno</i>	Docente ciencias básicas

### *Sede Chiquinquirá*

<i>Edisson Rafael Caicedo Rojas</i>	Director del Programa de Ingeniería de Sistemas Coordinador de Investigación de la Facultad CIF
-------------------------------------	--

## COMITÉ CIENTÍFICO

*Julián Andrés Ramírez Bautista*

Doctor en tecnología avanzada  
Magíster en tecnología avanzada  
Ingeniero electrónico

*Víctor Manuel Torres Lozano*

Maestría en ingeniería  
Ingeniero agrícola

*Luz Yamile Caicedo Chacón*

Estudiante doctorado en ingeniería  
Máster en business intelligence  
Especialista en pedagogía de la virtualidad  
Ingeniera de sistemas

*Henry Javier Barón González*

Maestrante en gestión aplicación y desarrollo de software  
Especialista telecomunicaciones  
Ingeniero de sistemas

*Abdías Gómez Duarte*

Magister en dirección estratégica en tecnologías de la información  
Especialización en aplicación de TIC para la enseñanza  
Ingeniero de sistemas

*Liliana Carolina Luis Rincon*

Magister en ingeniería de materiales y procesos  
Química

*Javier Rivera Acosta*

Máster en economía y gestión agraria  
Ingeniero agrícola

*Edisson Rafael Caicedo Rojas*

Magister en ingeniería del software y sistemas informáticos  
Ingeniero de sistemas

*Edgar Rodríguez Díaz*

Magister en desarrollo sostenible y medio ambiente  
Especialista en ordenamiento y gestión integral de cuencas hidrográficas  
Ingeniero agrónomo

*Diana Patricia Torres Solano*  
Magister en desarrollo sostenible y medio ambiente  
Especialista en química ambiental  
Ingeniera ambiental

*Ana Rocío Córdoba Malaver*  
Estudiante doctorado en ingeniería  
Magister en tecnología avanzada  
Ingeniera de mantenimiento

*Fredy Yesid Nocua Mesa*  
Estudiante maestría en ingeniería con énfasis en electrónica  
Ingeniero electrónico

*Rafael Antonio Estupiñán Pinto*  
Estudiante maestría en sostenibilidad  
Ingeniero químico

*Lina Paola Orduz Amaya*  
Maestría en desarrollo sostenible y medioambiente  
Ingeniera ambiental y sanitaria

*Lina Marcela Lozano Jácome*  
Estudiante maestría en biología  
Bióloga

*Andrés Gonzalo Hernández Ortega*  
Estudiante de maestría en ingeniería con énfasis en ingeniería electrónica  
Ingeniero electrónico

## COMPILADOR

*Sandra Johana Benítez Muñoz*

Coordinadora de Investigación Facultad de Ciencias Naturales e Ingeniería, UNISANGIL  
Sede San Gil

## COORDINACIÓN EDITORIAL

Departamento de Investigación UNISANGIL

## REVISOR LINGÜÍSTICO

Luis Fernando García Núñez

## DISEÑO Y DIAGRAMACIÓN

Departamento de Mercadeo y Comunicaciones, UNISANGIL

## TRADUCCIÓN

Instituto de Idiomas UNISANGIL

ISBN: 978-628-96208-0-1  
Título: *Aportes de la ingeniería para el desarrollo de las regiones*  
Formato: Digital, 67 páginas  
Autores: Varios  
Tema: Ingeniería (generalidades)  
Editorial: Unisangil Editora  
País: Colombia  
Idioma: Español  
Fecha edición: Diciembre de 2023  
Fecha publicación: Febrero de 2024

Fundación Universitaria de San Gil - UNISANGIL  
[www.unisangil.edu.co](http://www.unisangil.edu.co)

*Facultad de Ciencias Naturales e Ingeniería*  
[fingenieria@unisangil.edu.co](mailto:fingenieria@unisangil.edu.co)  
[ies@unisangil.edu.co](mailto:ies@unisangil.edu.co)

San Gil, Santander  
Km 2 vía San Gil - Charalá  
Teléfonos: (607) 685 2925 - 685 2926 - Ext 2119

Yopal, Casanare  
Km 2 vía Matepantano  
Teléfonos: (608) 661 2616

Chiquinquirá, Boyacá  
Calle 18 # 12-18  
(608) 7405878 ext 2322

*Editorial*  
[unisangileditora@unisangil.edu.co](mailto:unisangileditora@unisangil.edu.co)

*Esta obra es propiedad intelectual de sus autores y los derechos de publicación han sido legalmente transferidos a la editorial. Las opiniones expresadas en este documento son de exclusiva responsabilidad de los autores y no comprometen a la Fundación Universitaria de San Gil, UNISANGIL, como tampoco a las demás entidades que apoyaron su elaboración.*

Licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International  
(CC BY-NC-ND 4.0)  
<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>



## CONTENIDO

	pág.
PRESENTACIÓN .....	10
CIENCIAS BÁSICAS Y EDUCACIÓN .....	11
<i>Capítulo 1. Diseño y construcción de un banco de pruebas didáctico para las prácticas de laboratorio de redes con fibra óptica del programa de Ingeniería de Sistemas de UNISANGIL sede Yopal.....</i>	<i>12</i>
<i>Henry Alexander Rodríguez Carrillo, Aura Yaneth García Alfonso,</i>	
<i>Ángela Julieth González Prieto</i>	
TRANSFORMACIÓN DIGITAL .....	18
<i>Capítulo 2. Plataforma INFOSAGRO: Resultado de investigación en la gestión del desarrollo rural de Santander.....</i>	<i>19</i>
<i>Josué David Beltrán Beltrán</i>	
<i>Capítulo 3. Necesidades y tendencias de la industria del software y su incidencia en la formación profesional del ingeniero de sistemas de UNISANGIL .....</i>	<i>23</i>
<i>Henry-Javier Barón-González, Jenifer Tatiana Castro Galvis,</i>	
<i>Diovis Antonio Muñoz Vásquez</i>	
<i>Capítulo 4. Diseño de una red centralizada para la institución educativa “José María Silva Salazar del municipio de Buenavista - Boyacá” .....</i>	<i>29</i>
<i>Brayan Santiago Peña Peña, David Alejandro Guerrero Amador, Marlon Fabian Pinzon Gamboa, Wilmer Andres Franco Reyes, Edison Rafael Caicedo</i>	
CIENCIA AMBIENTALES Y DE LA TIERRA .....	33
<i>Capítulo 5. Caso de Estudio: Implementación de la Resolución 699 de 2021 y las dificultades en el cumplimiento de los límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales de aguas residuales domésticas al suelo.....</i>	<i>34</i>
<i>Juan Carlos Lozano Sierra</i>	

<i>Capítulo 6. Evaluación de la calidad del agua de consumo humano y posible efecto adverso en la salud oral de la población de del municipio de Orocué entre los años 2018 a 2022.....</i>	<i>40</i>
<i>Lady Yuleima Montaña, Juan Carlos Lozano Sierra, Liliana Pérez</i>	
<i>Capítulo 7. Dispositivo electrónico no invasivo para monitoreo de ubicación y variables fisiológicas de bovinos.....</i>	<i>45</i>
<i>Jehison Andrés Rodríguez Solano, Juan Esteban Rico Patiño, Julián Andrés Ramírez Bautista</i>	
<i>Capítulo 8. Avances en las técnicas de inmovilización de la enzima lacasa para la detección de fenol en aguas de producción de la industria del petróleo y gas: una revisión.....</i>	<i>50</i>
<i>Ana Rocío Córdoba Malaver, Sebastián Roa Prada</i>	
<i>Capítulo 9. Micro turbina hidráulica de flujo superficial basada en el rediseño de una turbina eólica</i>	<i>56</i>
<i>Sergio Andrés Peña Perea, Freddy Alexander Jara Mora, Jorge Alberto Neira Tavera, Luz Karime Reyes Chaparro</i>	
<b>INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA PARA LA INDUSTRIA .....</b>	<b>61</b>
<i>Capítulo 10. Dispensador automático de alimento para gallinas, para mejorar la práctica avícola.....</i>	<i>62</i>
<i>María Paula Rodríguez Remolina, Stefany Lorena Rueda Murillo, Leonardo Guerrero Salazar</i>	

## PRESENTACIÓN

La Facultad de Ciencias Naturales e Ingeniería de UNISANGIL se enorgullece en presentar el libro de divulgación "*Aportes de la ingeniería para el desarrollo de las regiones*", un compendio que refleja la culminación de la integración de conocimientos científicos generados por docentes e investigadores. A través de estrategias innovadoras, continuamos consolidando la conexión entre la academia y la sociedad, permitiendo que la ingeniería contribuya significativamente a la solución de las crecientes necesidades regionales.

Este libro, se organiza en cuatro secciones, cada una centrada en un eje temático de acuerdo con las tendencias actuales de la ingeniería: Ciencias Básicas y Educación, Transformación Digital, Ciencias Ambientales y de la Tierra, e Ingeniería y Tecnología para la Industria. Cada sección revela cómo la ingeniería no solo responde a los retos contemporáneos, sino que lidera el camino hacia soluciones innovadoras y sostenibles.

Expresamos nuestra profunda gratitud a los autores, cuya dedicación y experiencia han dado vida a este compendio. Reconocemos también el papel fundamental desempeñado por los integrantes del Comité Académico y del Comité Científico, quienes han guiado y orientado las investigaciones que conforman este libro. Este proyecto no solo es un logro académico, sino también un testimonio de la colaboración efectiva entre la academia, la industria y la sociedad.

Los invitamos a explorar las páginas de este libro, donde cada capítulo es un testimonio del compromiso de la ingeniería con el desarrollo regional. Estamos seguros de que encontrarán inspiración y conocimientos que resonarán en diversos ámbitos para continuar con los procesos formación académica y de transferencia de conocimiento.

*Facultad de Ciencias Naturales e Ingeniería*  
*UNISANGIL*

# CIENCIAS BÁSICAS Y EDUCACIÓN

---

## Capítulo 1

# Diseño y construcción de un banco de pruebas didáctico para las prácticas de laboratorio de redes con fibra óptica del programa de Ingeniería de Sistemas de UNISANGIL sede Yopal

*Design and construction of a didactic test bench for the laboratory practices of fiber optic networks of the Systems Engineering program at UNISANGIL Yopal campus*

Henry Alexander Rodríguez Carrillo, Aura Yaneth García Alfonso,  
Ángela Julieth González Prieto

Fundación Universitaria de San Gil - UNISANGIL  
Facultad de Ciencias Naturales e Ingeniería  
Yopal, Colombia

henryrodriguez@unisangil.edu.co  
auragarcia@unisangil.edu.co  
angelagonzalezprieto@unisangil.edu.co

### RESUMEN

Este documento presenta los resultados del diseño y construcción de un banco de pruebas didáctico para las prácticas de laboratorio de redes con fibra óptica del programa de Ingeniería de Sistemas de la Fundación Universitaria de San Gil – UNISANGIL sede Yopal, en respuesta a la identificación de la falta de prácticas de laboratorio en las asignaturas Comunicación de Datos y Redes de Comunicación y a la necesidad de que los estudiantes desarrollen aptitudes profesionales requeridas en tecnologías de comunicación óptica en redes de datos, siendo esta un área de alta tendencia. Para lograr el montaje de esta herramienta didáctica, se desarrollaron cuatro fases teniendo en cuenta la metodología en cascada y se llevaron a cabo diferentes actividades de captura de información para cumplir con los objetivos de diseñar y construir el banco de pruebas didáctico junto con la elaboración de la documentación necesaria para que los estudiantes del programa realicen prácticas de redes con fibra óptica.

**Palabras claves:** comunicación, redes de datos, fibra óptica.

### ABSTRACT

This document presents the results of the design and construction of a didactic test bench for laboratory practices in fiber optic network within the Systems Engineering program at the University Foundation of San Gil - UNISANGIL Yopal campus. This initiative is a response to the identified lack of laboratory practices in the subjects of Data Communication and Communication Networks and the necessity for students to develop professional skills required in optical communication technologies in data networks, an area experiencing high trends. To achieve the setup of this didactic tool, four phases were developed following the Waterfall Methodology, and various information gathering activities were carried out to meet the objectives of designing and building the didactic test bench, alongside the preparation of necessary documentation to enable students in the program to engage in fiber optic network practices.

**Keywords:** communication, data networks, fiber optic.

## I. INTRODUCCIÓN

El servicio de fibra óptica es una de las tecnologías de más rápido crecimiento en Latinoamérica según el Ministerio de las Tecnologías de la Información y las Comunicaciones – MinTIC [1] en el año 2020, lo cual se reafirma en el año 2022 con las estadísticas expuestas por el portal informativo Forbes [2] que resume la motivación de muchos consumidores y empresas por migrar hacia tecnologías de mayor velocidad como la fibra óptica debido al gran auge en las actividades de teletrabajo, los servicios de streaming y los cambios en las modalidades de enseñanza formal e informal presentadas durante la pandemia.

Ahora bien, el principio de un sistema de comunicaciones ópticas es transmitir una señal a través de una fibra óptica hacia un receptor distante, donde “La señal eléctrica se convierte en el dominio óptico en el transmisor y se vuelve a convertir en la señal eléctrica original en el receptor. De esta manera, la comunicación por fibra óptica obtiene varias ventajas sobre otros medios de transmisión, como la comunicación por cobre y radio” [3], puesto que por su “gran capacidad de transmisión (por la posibilidad de emplear pulsos cortos y bandas de frecuencias elevadas), su reducida atenuación de la señal óptica, la inmunidad frente a interferencias electromagnéticas, sus cables ópticos de pequeño diámetro (ligeros, flexibles y de vida media superior a los cables de conductores) y por su bajo coste potencial a causa de la abundancia del material básico usado en su fabricación (óxido de silicio)” [4], aportan al desarrollo mediante el crecimiento industrial, sostenibilidad y eficiencia de administraciones y empresas [5], entre otros.

Así que, teniendo en cuenta estos y otros beneficios, se han desarrollado proyectos académicos y empresariales como método de apoyo para dar a conocer y poner en práctica su uso, tales como: Banco de pruebas didáctico para la implementación y testeo de una red óptica pasiva para acceso banda ancha hasta el hogar [6], Diseño e implementación de un modelo educativo de fibra óptica para desarrollo de prácticas en el laboratorio de comunicaciones ópticas [7], Implementación de maqueta para el estudio de redes ópticas pasivas con capacidad de Gigabit (G-Pon) [8], Diseño y construcción de una red de fibra óptica para análisis de topologías y transmisión de señales en dispositivos para redes WDM-PON [9], Estudio y configuración de calidad de servicio para protocolos IPv4 e IPv6 en una red de fibra óptica WDM [10], entre otros.

Estos desarrollos pretenden suplir la necesidad de tener personal idóneo, capaz de implementar sistemas de mayor cobertura y velocidad en redes de telecomunicaciones para los hogares, negocios y/o empresas, situación que no solo se requiere a nivel local, sino que también tiene un alcance nacional y global. Razón por la cual, se pretende que los

futuros egresados desarrollen las capacidades necesarias sobre la aplicación de la fibra óptica con el uso de un banco de pruebas didáctico que implementa y testea redes con fibra óptica empleando los equipos tecnológicos necesarios para realizar las prácticas en el laboratorio de redes del programa de Ingeniería de Sistemas de UNISANGIL sede Yopal, manteniendo así, un perfil profesional vanguardista acorde a las necesidades actuales.

## II. METODOLOGÍA Y DESARROLLO

El paradigma aplicado para el desarrollo metodológico fue el Modelo en Cascada, el cual “sigue una secuencia lineal, esto permite identificar unas etapas específicas a las cuales se les debe dar cumplimiento en orden, a medida tal que se van implementando las adecuaciones pertinentes y las pruebas para mitigar los errores que se puedan presentar, hay que recordar que es un proceso sistémico, analítico, disciplinado y técnico...” [11]; de esta manera, las fases propuestas se ejecutaron en secuencia lineal, así: formulación, análisis y diseño, montaje y validación.

### A. Fase de formulación

Una de las necesidades evidenciadas mediante observación directa en el programa de Ingeniería de Sistemas fue la falta de una herramienta pedagógica para el uso de redes de fibra óptica y guías para prácticas de laboratorio en las asignaturas Comunicación de Datos y Redes de Comunicación, la cual se formuló como problema así: ¿Qué herramienta pueden usar los estudiantes del programa de Ingeniería de Sistemas de la Fundación Universitaria de San Gil – UNISANGIL para realizar prácticas físicas de redes con fibra óptica y fortalecer sus destrezas y conocimientos?

De acuerdo a lo anterior, se plantea una solución con el desarrollo de la propuesta formalizada teniendo en cuenta que para los 120 estudiantes del programa de Ingeniería de Sistemas en la sede Yopal “Actualmente se cuenta con 89 equipos de cómputo distribuidos en 5 aulas de informática: 3 especializadas (MAC, Redes de Comunicación e Impresión 3D) y 2 para otras asignaturas como Arquitectura de Computadores y Sistemas Operativos” [12]; además, aunque en el aula de Redes de Comunicación hay algunos implementos para el diseño e instalación de redes y software de simulación que permiten a los estudiantes realizar prácticas de laboratorio, se requiere herramientas complementarias más actualizadas, que ayuden a tener un acercamiento real en las actividades principales del campo de las telecomunicaciones.

Dado que en el sector de la educación es muy útil la implementación de herramientas tecnológicas para desarrollar las habilidades necesarias en las diferentes áreas (como telecomunicaciones) con variables reales; el campus

universitario brinda el espacio para que los estudiantes realicen prácticas de laboratorio en la asignatura de Redes de Comunicación, pero este no cuenta con todas las herramientas para ejecutarlas, por lo cual las habilidades obtenidas no son suficientes y las oportunidades laborales se ven reducidas. Por lo tanto, se pretende que los futuros egresados desarrollen las capacidades necesarias para ser más competitivos en el campo profesional, con el diseño y construcción de un banco de pruebas didáctico para las prácticas de laboratorio de redes con fibra óptica del programa de Ingeniería de Sistemas de la Fundación Universitaria de San Gil – UNISANGIL sede Yopal, mediante el cumplimiento de las siguientes actividades: diseño de un banco de pruebas teniendo en cuenta elementos y normas técnicas de redes de fibra óptica, ensamblaje del banco de pruebas empleando componentes de fibra óptica y elaboración de 5 guías para el desarrollo de prácticas de laboratorio de las asignaturas de Comunicación de Datos y Redes de Comunicación en conjunto con un manual de operación del banco de pruebas.

### *B. Fase de análisis y diseño*

En esta fase se realizaron actividades de captura y definición de requerimientos, búsqueda de información y estudio de recursos y modelado del banco de pruebas.

*1) Captura y definición de requerimientos:* Se especificaron las características del proyecto mediante entrevistas, encuestas y una visita de campo, con lo cual se validó la pertinencia del proyecto.

En cuanto a las entrevistas se aplicaron 5 preguntas abiertas con el objetivo de conocer la percepción de la directora del programa de Ingeniería de Sistemas y 2 docentes que dictan las asignaturas Comunicación de Datos y Redes de Comunicación, relacionadas con las estrategias pedagógicas de éstas. Los interrogantes se formularon así: 1) De acuerdo a su experiencia con el programa de Ingeniería de Sistemas de UNISANGIL, ¿Qué necesidades hay en el laboratorio de las asignaturas de Comunicación de Datos y Redes de Comunicación?; 2) Según las tendencias y necesidades actuales, ¿los equipos e implementos que hay en el laboratorio de Comunicación de Datos y Redes de Comunicación de UNISANGIL son suficientes para el aprendizaje y desarrollo de competencias en la rama Redes de Telecomunicaciones? ¿por qué?; 3) ¿Considera importante que los profesionales en Ingeniería de Sistemas adquieran competencias en el uso de fibra óptica? ¿por qué?; 4) ¿Considera que la implementación de un banco de pruebas para redes de fibra óptica aporta al desarrollo pedagógico de las asignaturas de Comunicación de Datos y Redes de Comunicación? y 5) ¿Qué tipos de prácticas considera pertinentes realizar para el desarrollo de competencias en el uso de fibra óptica de estudiantes de Ingeniería de Sistemas de UNISANGIL?

Las respuestas evidencian su posición respecto a la ausencia de software (simuladores), hardware (equipos, herramientas e implementos), infraestructura (laboratorios) y guías de laboratorio para el desarrollo práctico de las asignaturas, ya que la cantidad de equipos e implementos no alcanzan para todos los estudiantes y algunos de los equipos ya son obsoletos; también señalan que es importante que los profesionales en Ingeniería de Sistemas adquieran destrezas en el uso de fibra óptica, por la competencia en el mercado laboral y por las ventajas que tiene en calidad, tiempo y costo, permitiendo implementar nuevas tecnologías. También, apoyan el desarrollo del banco de pruebas considerando que resulta de ayuda para comprender mediante la práctica, permite afianzar conceptos y brinda mejoras a las estrategias y labores del docente. Además, sugieren temas a tener en cuenta para el desarrollo de prácticas, tales como: buenas prácticas en el uso de fibra óptica, normatividad, equipos, componentes, testeo, medición de fallas, fusión, conectorización y ponchado. Dichas respuestas fueron documentadas en historias de usuario.

Referente a las encuestas, se aplicaron por medio de un formulario en línea 5 preguntas de selección múltiple a 20 estudiantes del programa de Ingeniería de Sistemas que habían cursado las asignaturas Comunicación de Datos y Redes de Comunicación recientemente, con el fin de obtener la información más actual posible sobre la percepción que tienen los estudiantes respecto a la pedagogía de estas asignaturas. Las preguntas fueron las siguientes: 1) ¿Cómo calificas el aprendizaje y la experiencia obtenidos sobre fibra óptica en las asignaturas Comunicación de Datos y Redes de Comunicación?, con opción de selección múltiple (Mala, Regular, Buena, Muy Buena, Excelente); 2) Según las tendencias y necesidades actuales, ¿los equipos e implementos que hay en el laboratorio de Comunicación de Datos y Redes de Comunicación de UNISANGIL son suficientes para el aprendizaje y desarrollo de competencias en el área de redes de Fibra Óptica? ¿por qué?; 3) Seleccione ¿qué temáticas sobre fibra óptica le gustaría que se hubieran impartido en las asignaturas Comunicación de Datos y Redes de Comunicación?, con opción de selección de varias opciones (Fusión o empalme, Conectorización y ponchado, Normatividad, Testeo, Tendido, Localización de fallos, Transmisión y recepción mediante una red de fibra óptica, Elementos y equipos empleados en redes de fibra óptica); 4) ¿Le gustaría que hubieran implementado prácticas con fibra óptica en las asignaturas de Comunicación de Datos y Redes de Comunicación? ¿por qué? y 5) Si existieran guías para el desarrollo de prácticas de laboratorio con fibra óptica, ¿creería conveniente incluir vídeos para el desarrollo de cada práctica? ¿por qué?

Luego, se documentaron las respuestas en un gráfico estadístico con cada pregunta y se realizó el análisis,

concluyendo que la pedagogía en las asignaturas debe mejorar en cuanto a la práctica, lo cual se debe a la falta de instrumentos necesarios y funcionales para el desarrollo de ejercicios reales; además, los estudiantes expresaron el interés por aprender y conocer lo práctico sobre el área de las Telecomunicaciones.

También, se realizó una visita de campo al aula de clase donde se dictan las asignaturas, allí se encuentran los dispositivos, elementos y herramientas para uso en redes de fibra óptica y en telecomunicaciones; esto con el fin de conocer la cantidad y descripción de recursos existentes que pudieran contribuir en la construcción del banco de pruebas y en la elaboración de las guías.

2) *Búsqueda de información y estudio de recursos:* Se documentaron los marcos de referencia (contextual, referencial, conceptual y tecnológico) mediante revisión bibliográfica; también se especificó el presupuesto y el cronograma evaluando los recursos monetarios necesarios para ejecutar el proyecto y estructurando el orden en que se desarrollaría.

3) *Modelado del banco de pruebas:* Según los equipos y herramientas adquiridos se modeló el banco de pruebas con el desarrollo de un prototipo, el cual representa su funcionamiento y estructura física.

El prototipo del banco de pruebas para redes con Fibra Óptica (FO) es un sistema diseñado para realizar prácticas y validaciones de componentes y enlaces de FO. Su objetivo es simular un enlace entre dos edificios ubicados en ciudades diferentes. El diseño se planteó de forma modular, de modo que facilite identificar todos los elementos y se pueda reconocer de manera visual el recorrido que la fibra óptica hace de un edificio a otro, simulando una Red de Área Extensa (WAN, por sus siglas en inglés) con una Red de acceso por fibra óptica FTTB (Fiber To The Building).

El montaje del banco de pruebas se diseñó con los siguientes elementos: rack vertical abierto, base soporte, mesa de banco de pruebas, rollo de fibra óptica monomodo de 48 hilos span 200, 2 ODF de 24 puertos, 2 switches H3C de 24 puertos S3610-28P Series ethernet, 2 muflas domo mini de 48 hilos, multitoma para rack y 2 módulos SFP Mini GBIC. Estos elementos se integraron con el fin de crear un entorno completo que permita realizar pruebas, configuraciones y evaluaciones precisas de componentes y enlaces de fibra óptica. Adicionalmente, en el montaje se señala con marquillas que en el rack vertical los elementos de la parte superior pertenecen al edificio 1 (Switch y ODF) y los elementos de la parte inferior corresponden al edificio 2. El prototipo se diseñó como se muestra a continuación:

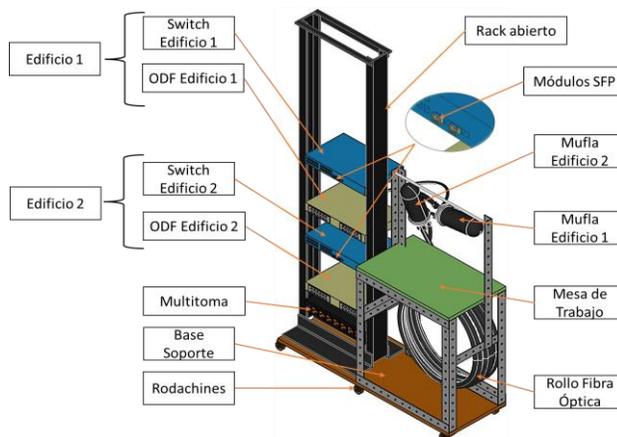


Fig. 1 Prototipo banco pruebas didáctico para prácticas con redes de FO.

### C. Fase de montaje

Se desarrolló en seis actividades, descritas a continuación:

1) *Fabricación y ensamblaje de soporte para el banco de pruebas:* Se realizó de acuerdo con el diseño propuesto en la fase anterior, por lo tanto, se armó una mesa de trabajo con dos soportes para las muflas simulando la conexión entre dos edificios. Para armar el banco de pruebas se realizó la toma de medidas, cortes y montaje de cada una de las piezas necesarias como: base de soporte del banco de pruebas, mesa de trabajo, rodachines, parales metálicos y el rack abierto.

2) *Instalación de caja de empalme aérea:* Se ubicaron las dos cajas de empalme aéreas tipo domo mini de 48 hilos, en cada uno de los parales. Se instalaron teniendo la facilidad de ejecutar las actividades de prácticas de laboratorio.

3) *Adaptación de dispositivos y elementos de fibra óptica:* Los dispositivos instalados fueron 2 ODF de 24 Puertos con Pigtail, 2 Switches H3C S3610-28P Series ethernet de 24 puertos, 2 Patch panel cat 5E de 24 Puertos, Multitoma para Rack de 12 Salidas. La distribución de los equipos se hizo de manera que se representara la conexión entre dos edificios.



Fig. 2 Instalación de dispositivos de red.

4) *Organización y conexión de cableado a dispositivos activos y pasivos:* Para la conexión de los elementos activos y pasivos de la red, se realizó el empalme por fusión de dos hilos en las cajas de empalme aéreas (muflas) y se dispuso el cableado según la norma técnica TIA-568-C.3, donde se menciona el orden de los colores en los que se fusiona cada FO. Luego, se realizó el empalme de FO desde cada mufla hacia los dispositivos de conexión ODF, para esto se tomó el cable de FO sacando una medida de aproximadamente 50 cm de los tubos holgados para insertarlos en cada ODF y apartando los hilos que se iban a fusionar según el código de colores. Se observan los conectores organizados con sus conectores FC ajustados en el panel frontal.

5) *Conexión de switches:* Los switches se distribuyeron de a uno para cada edificio, y a cada switch se le colocó un módulo SFP Mini GBIC tipo LC dúplex para la comunicación de fibra óptica y así mismo el switch pasa la comunicación a sus 24 puertos disponibles, con lo cual se puede conectar un computador u otro dispositivo a la red de cada edificio.



Fig. 3 Conexión ODF 1 con Switch 1 usando módulo SFP.

6) *Configuración de conexión:* Se realizó la configuración de los dispositivos de red, en este caso fue necesario asignar direcciones IP a los switches y computadores que se usaron para que estuvieran en el mismo dominio de red. Para la configuración de cada switch, se empleó un cable de consola y un adaptador de puerto serial a USB, con este cable se estableció una conexión entre el puerto de consola

de switch H3C y un puerto USB del computador usado en esta actividad.



Fig. 4 Conexión y configuración por cable de consola.

7) *Elaboración de guías de laboratorio:* Se definieron las temáticas a incluir en las guías de laboratorio según las entrevistas y encuestas realizadas y de acuerdo con los equipos y componentes adquiridos. Las 5 guías se denominaron con las siguientes actividades: conceptos básicos e identificación de elementos y equipos usados en redes de fibra óptica, elaboración de un Patch Cord de fibra óptica monomodo con conectores rápidos LC/UPC, empalme por fusión de fibra óptica monomodo, uso de módulo transceptor óptico (SFP o Mini GBIC) con Patch Cord dúplex de fibra óptica monomodo LC/UPC – FC/UPC y comunicación de datos mediante una red de fibra óptica. Dichas guías y el manual de operación se dejaron a libre acceso mediante códigos QR ubicados al costado del banco de pruebas.

De esta manera se concluye con la fase de montaje del banco de pruebas didáctico para realizar prácticas de laboratorio de redes con fibra óptica, teniendo en cuenta los estándares TIA/EIA-568-B.3, ANSI/TIA/EIA-526-7 y ANSI/TIA/EIA-598 [13], Guía para la Instalación de Infraestructura de Fibra Óptica GTC 241:2013 [14] y el Estándar IEEE 802.3 [15].

#### D. Fase de validación

En esta fase se evaluaron los resultados realizando los procedimientos y verificando con listas de chequeo el desarrollo práctico de las guías de laboratorio, identificando la cronología, claridad y coherencia del contenido de los procedimientos y disponibilidad de los materiales; con el fin de validar que los procedimientos y recursos propuestos fueran claros y ejecutables.

### III. CONCLUSIONES

Gracias al análisis y diseño realizado con los diferentes expertos en las asignaturas de interés y visitas de campo, se determinaron los temas de las 5 guías de laboratorio para desarrollar con el banco de pruebas didáctico, aprovechando cada utilidad que posee el desarrollo

tecnológico y teniendo en cuenta que es escalable para mejoras en el futuro.

El diseño y construcción del banco de pruebas didáctico se llevó a cabo teniendo en cuenta elementos y normas técnicas vigentes del uso e implementación de fibra óptica para telecomunicaciones, logrando así que, durante las prácticas de laboratorio, los estudiantes se familiaricen con dichas normas para complementar sus conocimientos del tema.

El uso de la metodología de desarrollo en cascada, permitió que los resultados obtenidos en el diseño del banco de pruebas y la documentación generada del mismo, sean coherentes con la respuesta a las necesidades identificadas durante las fases de formulación y análisis. Además, contribuyó a cumplir con las actividades, aunque se pudieran presentar imprevistos de diferente tipo.

Según los resultados tomados de la validación de las guías de laboratorio, la implementación del diseño y construcción del banco de pruebas didáctico cumple con el objetivo propuesto, promoviendo el desarrollo de aptitudes y habilidades en el campo profesional de la fibra óptica.

#### REFERENCIAS

- [1] MINTIC. Colombia se destaca con crecimiento de las TIC. [En línea]. Bogotá D.C.: Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones. 27 de noviembre, 2020. Disponible en: <https://mintic.gov.co/portal/inicio/Sala-de-prensa/MinTIC-en-los-medios/160575:Colombia-se-destaca-con-crecimiento-de-las-TIC>
- [2] FORBES STAFF. La fibra óptica se disparó en los países de la OCDE por la pandemia. [En línea]. México: Forbes México. 10 de febrero, 2022. Disponible en: <https://www.forbes.com.mx/tecnologia-fibra-optica-se-disparo-en-los-paises-de-la-ocde-por-la-pandemia/>
- [3] VIAVI Reference Guide to Fiber Optic Testing. Vol. 1 – p. 7
- [4] ESPAÑA BOQUERA, María Carmen. COMUNICACIONES ÓPTICAS: Conceptos esenciales y resolución de ejercicios. Propagación de señales en las fibras ópticas. Madrid-España, Ediciones Díaz de Santos, S.A. 389 p. ISBN 84-7978-685-X
- [5] TEJEDOR, Ramón Jesús Millán. Tecnologías de banda ancha por fibra óptica. En: Manual formativo de ACTA. 2013, no. 55, p. 29-36. ISSN 1888-6051.
- [6] TÉLLEZ, Johan; ALVARADO, Ricardo; ROMERO, Leonardo y JAIMES, Gerlein. Banco de pruebas didáctico para implementación y testeo de una red óptica pasiva para acceso banda ancha hasta el hogar. En: I+D Revista de Investigaciones. Enero-junio, 2022. vol. 17. no.1, pp. 137-148.
- [7] AUGUSTO DUARTE, Mercedes Lucila y GUERRERO CULQUI, Fabricio Sebastián. Diseño e implementación de un modelo educativo de fibra óptica para desarrollo de prácticas en el laboratorio de comunicaciones ópticas. Trabajo de grado de Ingeniería electrónica. Guayaquil – Ecuador: Universidad Politécnica Salesiana-Sede Guayaquil. 2020. 166p.
- [8] NÚÑEZ, Héctor; CARVALHO, Gloria; CALOCCHIA, Antonio y BRITO, Freddy. Implementación de maqueta para el estudio de redes ópticas pasivas con capacidad de Gigabit (G-Pon). En: Observador del Conocimiento. Enero-marzo, 2016. vol. 3, no. 2, p. 65-73.
- [9] SERPA, Milena; GÓMEZ, Dario; BORRERO, Armando y GUERRERO, Neil. Diseño y construcción de una red de fibra óptica para análisis de topologías y transmisión de señales en dispositivos para redes WDM-PON. En: Tecno Lógicas. 23 de diciembre, 2009. no. 23, p.55-64.
- [10] ÁLVAREZ MORAGA, Sebastián Andrés y GONZÁLEZ VALENZUELA, Agustín José. Estudio y configuración de calidad de servicio para protocolos IPv4 e IPv6 en una red de fibra óptica WDM. En: Revista Facultad de Ingeniería - Universidad de Tarapacá. 24 de julio, 2005. vol. 13. no. 3, p. 104-113.
- [11] G. Fabián; C. Sandra y L. Diego. “Comparación de las metodologías cascada y ágil para el aumento de la productividad en el desarrollo de software”, Ingeniería Industrial e Ingeniería de Sistemas, tesis, Universidad Santiago de Cali, Cali – Colombia.
- [12] UNISANGIL. (2022) Fundación Universitaria de San Gil, Ingeniería de Sistemas: lo que nos Caracteriza. [En línea]. Disponible en: [https://www.unisangil.edu.co/index.php?option=com\\_content&view=article&id=269&Itemid=364](https://www.unisangil.edu.co/index.php?option=com_content&view=article&id=269&Itemid=364)
- [13] Dirección General de Tecnologías de la Información y Comunicaciones del Estado de Tabasco. Manual para aplicar la norma TIA/EIA 568 [en línea]. Tabasco: DGTIC [citado 25 de febrero de 2023]. Disponible en: <https://tabasco.gob.mx/sites/default/files/Manual-para-aplicar-la-norma-TIA-EIA.pdf>
- [14] INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN. Guía para la instalación de infraestructura de fibra óptica [en línea]. GTC 241:2013. Bogotá D.C.: INCONTEC, 2013. 79 p. [Consultado: 25 de febrero de 2023]. Disponible en: <https://tienda.incontec.org/gp-guia-para-la-instalacion-de-infraestructura-de-fibra-optica-gtc241-2013.html>
- [15] INSTITUTE OF ELECTRICAL AND ELECTRONICS ENGINEERS. Standard for Ethernet. IEEE Std 802.3-2022 [en línea]. Estados Unidos: IEEE, 2022. 7025 p. [Consultado: 20 de marzo de 2023]. Disponible en: <https://ieeexplore.ieee.org/document/9844436>. ISBN: 978-1-5044-8725-2

# TRANSFORMACIÓN DIGITAL

---

## Capítulo 2

# Plataforma INFOSAGRO: Resultado de investigación en la gestión del desarrollo rural de Santander

*INFOSAGRO Platform: Research outcome in rural development management in Santander*

Josué David Beltrán Beltrán

Fundación Universitaria de San Gil - UNISANGIL  
Facultad de Ciencias Naturales e Ingeniería  
Ingeniería de sistemas  
San Gil, Colombia

josuedavidb@unisangil.edu.co

### RESUMEN

La plataforma INFOSAGRO es el resultado de la segunda fase de la investigación "Mapeamiento y Caracterización de las Asociaciones Agropecuarias de las Provincias del Sur de Santander". Su enfoque fue el desarrollo de una herramienta de conexión y promoción de las asociaciones rurales en cada provincia del sur de Santander. Jóvenes investigadores de campo del semillero de investigación en educación financiera EDUFINE contribuyeron a una caracterización detallada de estas asociaciones, facilitando la recopilación de información crucial. Se diseñó un software atractivo, adaptable e intuitivo utilizando la arquitectura de software MVC y la metodología SCRUM para estructurar la lógica del negocio y garantizar comprensión, retroalimentación y flexibilidad.

La plataforma INFOSAGRO se centra en proporcionar información detallada sobre cada asociación, incluyendo ubicación precisa, productos o servicios, galería de imágenes, enlace de WhatsApp, enlaces a redes sociales y un video promocional. Su objetivo es dar visibilidad a las asociaciones rurales, establecer canales de comunicación, llegar a nuevas audiencias y fomentar oportunidades de colaboración. Se busca reducir la competencia desigual y mostrar a la comunidad la importancia de las asociaciones campesinas como agentes de transformación en sus comunidades.

**Palabras claves:** Plataforma interactiva, asociaciones rurales, joven investigador.

### ABSTRACT

The INFOSAGRO platform is the result of the second phase of the research project 'Mapping and Characterization of Agricultural Associations in the Southern Provinces of Santander.' Its focus was on developing a tool for connecting and promoting rural associations in each province of southern Santander. Young field researchers from the EDUFINE research group contributed to a detailed characterization of these associations, facilitating the collection of crucial information. An attractive, adaptable, and intuitive software was designed using the MVC software architecture and SCRUM methodology to structure the business logic, ensuring understanding, feedback, and flexibility.

The INFOSAGRO platform focuses on providing detailed information about each association, including precise location, products or services, image galleries, WhatsApp links, social media links, and a promotional video. Its aim is to provide visibility to rural associations, establish communication channels, reach new audiences, and foster collaboration opportunities. The goal is to reduce unequal competition and showcase to the community the importance of rural associations as agents of transformation in their communities.

**Keywords:** Interactive platform, rural associations, young researcher.

## I. INTRODUCCIÓN

A través de un estudio autorizado y ejecutado en la Fundación Universitaria de San Gil, UNISANGIL, titulado "Territorio solidario en las provincias del sur de Santander y occidente de Boyacá: Hacia una perspectiva de fortalecimiento organizacional" [1], se ha realizado una primera evaluación de las organizaciones solidarias presentes en las provincias del sur de Santander. Destaca que un 8% de estas organizaciones está compuesto por jóvenes, lo que plantea preocupaciones sobre la falta de una sucesión generacional en la agricultura. Además, el 49% de estas organizaciones están dirigidas por mujeres rurales, indicando una fuerte participación femenina en el ámbito rural.

Sin embargo, se ha observado que estas asociaciones rurales, al carecer de información actualizada y permanecer invisibles, enfrentan obstáculos para su fortalecimiento. Esto limita la capacidad del gobierno y otras organizaciones interesadas para apoyarlas, desarrollar políticas públicas efectivas, establecer un marco legal adecuado y brindar asistencia en la producción y comercialización de sus productos.

Según un estudio reciente sobre "Las TIC como herramientas para la transferencia de tecnología y gestión del conocimiento en el sector agropecuario"[2], la mayoría de estas organizaciones considera las Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC) como medios de interacción con sus públicos, lo que facilita la gestión del conocimiento y la innovación en la agricultura.

Además, la aplicación de las TIC podría contrarrestar la tendencia actual de envejecimiento de la fuerza laboral en la agricultura al proporcionar a los jóvenes acceso a información centralizada, inspiración y capacitación, lo que mejora sus oportunidades de ingresos económicos. Por lo tanto, se destaca la necesidad de apoyar la organización y sistematización de datos mediante plataformas digitales que promuevan la visibilidad y la ubicación de los emprendimientos de las asociaciones rurales en las provincias del sur de Santander. La tecnología de geolocalización podría abrir oportunidades para los negocios sostenibles y la bioeconomía, así como facilitar la divulgación del conocimiento a las instituciones educativas y la comunidad en general, lo que beneficiaría a las asociaciones rurales y sus proyectos.

## II. METODOLOGÍA

Para el desarrollo de la plataforma, se optó por utilizar la metodología ágil SCRUM debido a sus prácticas efectivas de trabajo en equipo. SCRUM permite un desarrollo ágil mediante avances programados (sprints), fomentando la retroalimentación, la colaboración y la comunicación

constante entre todos los involucrados. El objetivo principal es lograr un producto de alta calidad y satisfacción.

Para facilitar la participación de los interesados, se establecieron reuniones semanales debido a las diferentes disponibilidades horarias. Estas reuniones se centraron en discutir aspectos relacionados con la recopilación, desarrollo y construcción de la plataforma, siguiendo el esquema recomendado por SCRUM.

Integrando las 5 fases de la ingeniería de software, se puede describir las actividades a llevar a cabo en la ejecución de cada fase.

### A. Documentación de herramientas y asociaciones rurales.

En esta etapa, se examina la documentación de las herramientas y tecnologías para el proyecto, además de recopilar datos relacionados con las asociaciones rurales. Se realiza una búsqueda de herramientas geoespaciales de fácil acceso para futura implementación. Se eligieron el API de MapBox para la cartografía, Figma para el diseño de interfaces, PENTAHO para la carga eficiente de datos y React JS como marco de trabajo para el desarrollo de software.

Para recopilar información sobre las asociaciones, se asigna a los miembros del semillero EDUFINE listas de asociaciones para consultar, desempeñando el papel de jóvenes investigadores en campo. A través de entrevistas, se reúnen datos que se almacenan en una hoja de cálculo para evaluar el estado de las asociaciones, su presencia en línea, sus canales de comunicación, divulgación y su composición demográfica. Luego, se analiza esta información para destacar lo más relevante en la plataforma para los interesados.

### B. Análisis y diseño de software

Para cumplir esta fase, se llevan a cabo los siguientes procesos:

- i. *Identificación de usuarios:* Se definen tres roles para las personas que interactúan directamente con el software y sus respectivos módulos de acceso.
- ii. *Levantamiento de requerimientos:* A partir de la información recopilada por los investigadores de campo y en colaboración con dos docentes asesores que mantienen una comunicación constante con las asociaciones, se detectan y determinan las necesidades esenciales, requisitos y comportamientos que el software debe satisfacer. Esto resulta en un documento de levantamiento de requerimientos.

- iii. *Diseño de diagramas UML:* Se detalla técnicamente el proceso y flujo de cada uno de los eventos identificados que el sistema debe llevar a cabo.
- iv. *Diseño de interfaces y arquitectura de la plataforma tecnológica:* Se crea un esbozo inicial de las interfaces, estableciendo cómo presentar la información y las formas de ejecución. Se elabora el diseño de la base de datos, los esquemas de roles, usuarios y patrones arquitectónicos, integrando los diagramas UML.

### C. Desarrollo de software

Fase en donde se pasa del diseño y maquetación, a la construcción, estructuración y programación de cada uno de los componentes que conformaron la plataforma, su lógica funcional, de negocios y la construcción de la base de datos.

### D. Inteligencia de negocios

Se realiza la construcción y ejecución de las consultas y mecanismos en el proceso de ETL (Extract, Transform, Load, por sus siglas en inglés), para el cargue masivo de los datos, a la base de datos, por ejemplo la información de las asociaciones, municipios y códigos de la actividad económica CIIU.

### E. Validación, pruebas y despliegue

En la fase de validación, pruebas y despliegue, se ejecutan las siguientes actividades con el propósito de concluir el proyecto de manera satisfactoria. Aunque el sistema ha arrojado resultados favorables, se requiere llevar a cabo ciertas mejoras en la eficiencia del proceso de carga y en la disposición de las imágenes.

## III. RESULTADOS

### A. Análisis de datos

Según el análisis de datos, se observa una desigualdad de género en la formación de asociaciones rurales, con un 65% de representantes legales masculinos y un 35% femeninos. Aunque se nota una brecha de género, esto señala una tendencia positiva hacia la inclusión y la diversidad en estas organizaciones.

Al examinar la distribución de edades de las asociaciones rurales (ver Figura 1), se destaca una participación muy limitada de la población joven, lo que plantea dudas sobre la continuidad generacional en la agricultura o la falta de interés en involucrarse en estas organizaciones.

Luego de analizar y consolidar la presencia en línea de las 169 asociaciones estudiadas, se evidencia una interacción

baja o casi nula. Preocupantemente, 155 de las asociaciones carecen de canales de divulgación en línea, principalmente debido a la falta de conocimientos tecnológicos en la población mayoritaria de adultos y adultos mayores. En contraste, las 14 asociaciones restantes, con una población más joven, han logrado establecer presencia en la web.

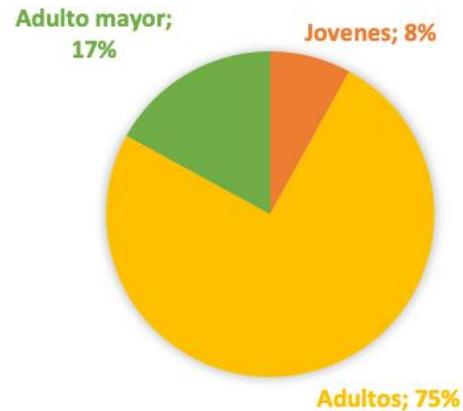


Fig. 1 Distribución de edades en las asociaciones rurales.

### B. Plataforma INFOSAGRO

Se ha logrado la construcción de una plataforma tecnológica adaptable, (ver la Figura 2) que permite ubicar las asociaciones mediante geolocalización, mostrando información relevante y estableciendo un canal de comunicación a través de la plataforma de mensajería de WhatsApp.

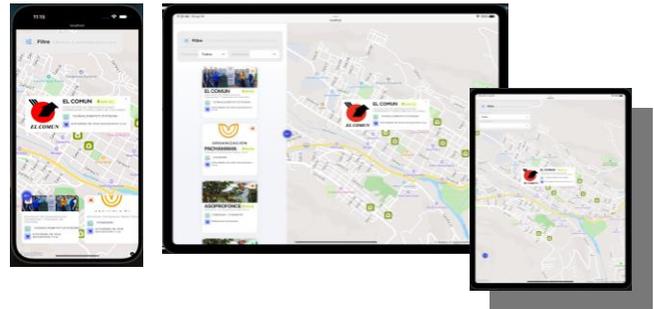


Fig. 2 Plataforma INFOSAGRO en múltiples dispositivos, demostrando su capacidad de respuesta (responsive design).

Además, la plataforma facilita la promoción de las cuentas oficiales en redes sociales y las páginas de interés. Ofrece un sistema de búsqueda personalizado que permite obtener resultados específicos en función de la actividad económica, provincia, municipio o código CIIU. También incorpora un proceso de agrupación o clustering de asociaciones basado en su ubicación para evitar la sobrecarga visual. Esto proporciona una vista más ordenada, permitiendo a los usuarios ampliar y explorar los marcadores a medida que navegan por las superposiciones,

lo que se traduce en una experiencia de usuario altamente interactiva y atractiva.

Adicionalmente, se han implementado módulos de administración que posibilitan la carga de nuevas asociaciones, su edición y la desactivación si fuese necesario, lo que contribuye a una gestión eficiente y actualización constante de la plataforma, como lo muestran las figuras 3 y 4.

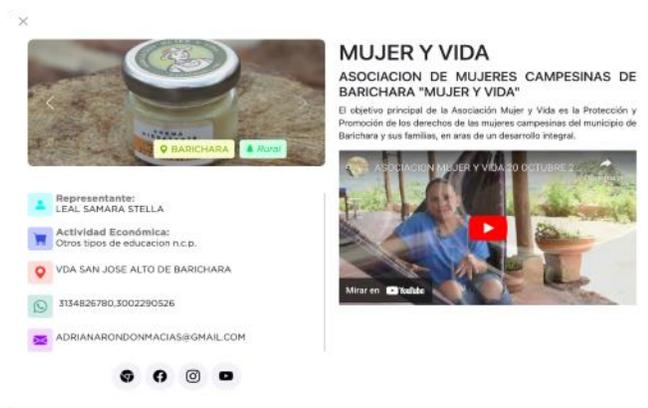


Fig. 3 Modal de información relevante de la asociación,

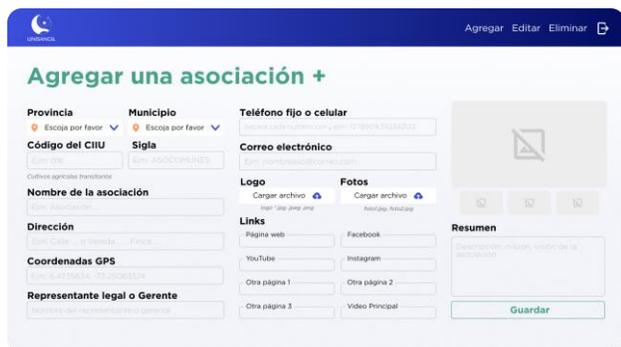


Fig. 4 Módulo para el cargue de asociaciones

### III. CONCLUSIONES

Las conclusiones de esta investigación resaltan la importancia de la colaboración y participación de los miembros del semillero EDUFINE, quienes desempeñaron un papel fundamental al establecer comunicación directa con las asociaciones. Gracias a esta interacción, se logró recopilar los datos esenciales y se llevaron a cabo salidas de campo a diversas localizaciones provinciales. Estas actividades profundizaron en la comprensión de las operaciones y desafíos de las asociaciones. La sinergia entre el programa de Tecnología en Gestión de Empresas de Economía Solidaria y el programa de Generación

ConCiencia fortaleció notablemente la investigación y benefició a ambas iniciativas de manera conjunta.

Además, se destaca la facilidad de uso y la intuición que ofrece la plataforma, lo que la hace accesible para cualquier usuario. Su capacidad de adaptación y flexibilidad en diversos escenarios, combinada con los módulos de administración integrados, asegura que la plataforma se mantenga actualizada y con posibilidades de crecimiento futuro.

Para los usuarios, la plataforma brinda la visualización de las asociaciones rurales en diversas ubicaciones geográficas, resaltando sus actividades económicas y otros datos relevantes. Esto puede impulsar la economía local al mostrar las iniciativas y oportunidades comerciales en cada región. Además, fomenta la colaboración y la interacción entre los miembros de las asociaciones al proporcionar un espacio común para compartir información y trabajar juntos hacia objetivos comunes.

### REFERENCIAS

- [1] N. Corzo, U. Sarmiento, y M. Fajardo, "Territorio solidario provincias del sur de Santander y occidente de Boyacá: Hacia una perspectiva de fortalecimiento organizacional," año de publicación.
- [2] L. C. Molano-Bernal, L. P. Tibaduiza-Castañeda, G. A. Aguilera-Arango, D. Y. Cañar-Serna y J. D. Barberá-Tomas, "Las TIC como herramientas para la transferencia de tecnología y gestión del conocimiento en el sector agropecuario," Revista Científica Agroecosistemas, vol. 10, núm. 1, pp. 88-95, 2022, [En línea]. Disponible en: <https://aes.ucf.edu/cu/index.php/aes/article/view/522>.

## Capítulo 3

# Necesidades y tendencias de la industria del software y su incidencia en la formación profesional del ingeniero de sistemas de UNISANGIL

*Needs and trends of the software industry and its impact on the professional training of UNISANGIL systems engineer*

Henry-Javier Barón-González, Jenifer Tatiana Castro Galvis,  
Diovis Antonio Muñoz Vásquez

Fundación Universitaria de San Gil - UNISANGIL  
Facultad de Ciencias Naturales e Ingeniería  
Ingeniería de sistemas  
San Gil, Colombia

hbaron@unisangil.edu.co  
jenifercastro@unisangil.edu.co  
diovismunoz@unisangil.edu.co

### RESUMEN

La Industria de software nacional ha crecido significativamente en las últimas dos décadas y las instituciones de educación superior contribuyen a la formación de los profesionales que requiere éste importante sector. El objetivo del proyecto es proponer un modelo de perfil profesional para el ingeniero de sistemas de la Fundación Universitaria de San Gil, UNISANGIL, que se adapte a las principales necesidades y tendencias de la industria del software en Colombia, producto de la investigación desarrollada en el periodo 2020 - 2022. La metodología de investigación aplicada es de naturaleza descriptiva de corte transversal, utilizando como fuentes de información primaria los resultados obtenidos de una encuesta aplicada a empresas desarrolladoras de software en Colombia y el análisis de los planes de estudio de las principales universidades que cuentan con el programa de Ingeniería de sistemas y como fuentes de información secundarias: artículos científicos, revistas especializadas, Federación Colombiana de Software y TI (Fedesoft), Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones de Colombia (MINTIC), consultas en internet, para obtener el estado del arte y los fundamentos teóricos que permitieron la identificación de necesidades y tendencias de la industria de software, para contrastarlos con los perfiles de formación de las instituciones de educación y posterior a un análisis detallado de la información, se generó la propuesta del perfil de formación que requiere el Ingeniero de sistemas de UNISANGIL.

**Palabras claves:** Ingeniería de sistemas, industria de software, perfil profesional, necesidades, tendencias, planes de estudio.

### ABSTRACT

The national software industry has grown significantly in the last two decades, and higher education institutions contribute to the training of professionals required in this important sector. The project aims to propose a model of a professional profile for the Systems Engineer at the University Foundation of San Gil - UNISANGIL that adapts to the main needs and trends of the software industry in Colombia, as a result of research conducted between 2020 and 2022. The applied research methodology is descriptive and cross-sectional in nature, utilizing primary information sources such as the results obtained from a survey applied to software development companies in Colombia, and the analysis of curricula from the main universities offering Systems Engineering programs. Secondary information sources include scientific articles, specialized journals, Colombian Software and IT Federation (Fedesoft), Ministry of Information Technologies and Communications of Colombia (MINTIC), internet queries, to obtain the state-of-the-art and theoretical foundations that allowed the identification of needs and trends in the software industry. This information was then compared with the educational training profiles of institutions, leading to a detailed analysis, ultimately generating the proposed training profile required for the Systems Engineer at UNISANGIL.

**Keywords:** Systems engineering, software industry, professional profile, needs, trends, curricula.

## I. INTRODUCCIÓN

El desarrollo tecnológico se ha convertido en un factor crítico de éxito, especialmente en países en vías de desarrollo donde se pretende potenciar la economía a través de la industria de software y los sistemas computacionales, con el fin de promover la innovación y la competitividad. Colombia no es ajena a este fenómeno, por esta razón el Gobierno Nacional, en cabeza del ministerio de las Tecnologías de la Información y la Comunicación (MinTIC) ha generado diferentes estrategias en los últimos años, como el plan “Vive digital”, “Apps.co”, “Talento digital”, “Sociedad Digital”, “Generación TIC”, entre otras, para contribuir a satisfacer la demanda del talento humano que requiere el sector TIC [1].

La industria de software dinamiza la economía de los países, contribuyendo al desarrollo productivo y a generar empleo, en 2021 se generaron más de 175.000 empleos con un crecimiento del 15% respecto a 2020 [2]; de igual forma, es una actividad generadora de ingresos y exportaciones, cuyo principal recurso es el conocimiento, que requiere permanentemente talento humano calificado [3].

Para el 2025 la industria de software espera alcanzar una participación del 5% en el producto interno bruto (PIB) del país; para cumplir dicha meta, la industria ha fijado cuatro objetivos: lograr una verdadera vocación de producto, mayor internacionalización, elevar la promoción del talento humano con calidad e impulsar la adquisición del software local generado en el país [2].

En los últimos años ha aumentado el registro de empresas de software y TI en Colombia, pasando de 8.800 en 2018 a más de 14.000 empresas a marzo de 2023, incluyendo micro, pequeñas, medianas y grandes [2]; de igual forma, las ventas y exportaciones de la industria TI han venido incrementando, pasando de aportar el 0,4% de participación en el PIB en 2010 [4], [5],[6], al 2,94% en 2020, evidenciando un crecimiento significativo en los últimos años. De igual forma, el crecimiento en ventas ha sido del 23% en 2022, alcanzando cifras cercanas a los \$36 billones y fortaleciendo las exportaciones de productos y servicios tecnológicos en mercados como Estados Unidos, Ecuador, México, Brasil, Alemania, España y Francia [7].

A nivel mundial la falta de talento humano capacitado a gran escala es una de las principales debilidades de la industria de Software; en Colombia el déficit de egresados con perfiles laborales del área de sistemas y TIC es cercano al 50% y para el 2025 el déficit será de 160.000 profesionales [8]. A nivel mundial se prevee que para 2025 crecerá la necesidad de cubrir más de 90 millones de vacantes en áreas relacionadas con análisis de datos, inteligencia artificial, aprendizaje automático, big data, marketing digital, automatización de procesos, desarrolladores de software y

también en perfiles híbridos que incluyen áreas como ciberseguridad y datos o profesionales con enfoque en producto y diseño [9], [10]. Cubrir esa necesidad implica un desafío considerable, que requiere esfuerzos públicos y privados para orientar la educación hacia la demanda del mercado [11].

Las instituciones de educación son fundamentales para satisfacer las necesidades que requiere la industria de software; en consecuencia, dichas instituciones deben contribuir a fortalecer las habilidades en el manejo de herramientas, lenguajes y plataformas que necesita el talento humano, para afrontar los retos de una industria dinámica y en constante evolución [12].

Por esta razón, se hace necesario que las instituciones de educación superior actualicen sus planes de estudio buscando una articulación efectiva con las necesidades y requerimientos de la industria de software en el país; teniendo en cuenta el rápido crecimiento de las industrias tecnológicas y la facilidad de contratación de servicios de ingeniería de software a nivel global; los futuros ingenieros de sistemas y desarrolladores de software no solo deben conocer los lenguajes de programación y metodologías de desarrollo, sino también, sobre gestión y gerencia de proyectos de TI [13].

Este documento contribuye con la formulación de una propuesta del modelo de perfil profesional para el Ingeniero de sistemas de UNISANGIL, que se adapte a las necesidades y tendencias de la industria de software en Colombia producto de la investigación desarrollada en el periodo 2020 – 2022.

## II. METODOLOGÍA Y DESARROLLO

El desarrollo de la investigación es de naturaleza descriptiva de corte transversal, en el que se analizan variables e indicadores previamente definidos, referentes nacionales, aplicando técnicas e instrumentos de recolección de información, como encuestas y entrevistas a gerentes y personal administrativo de empresas desarrolladoras de software a nivel local, regional y nacional.

- **Fuentes primarias:** se obtuvo información de empresas del sector TIC mediante la aplicación de encuestas y entrevistas para identificar las tendencias y/o necesidades de dicha industria, también se compararon los planes de estudio y perfiles de formación en un grupo de universidades referentes, para contrastarlos con las necesidades de la industria de software nacional y luego del análisis de dicha información, formular una propuesta del perfil profesional del Ingeniero de Sistemas de UNISANGIL.

Durante la crisis sanitaria por el COVID, en 2020 se aplicó una encuesta a una muestra de 200 empresas del sector TIC,

cuya actividad económica principal era el desarrollo de software, obteniendo información de 39 de ellas; de las cuales el 46,1% eran microempresas con menos de 10 empleados, el 25,6% eran pequeñas, el 7,7% eran medianas y el restante 20,5% eran grandes empresas con más de 250 empleados. De igual forma, se contrastaron los datos con los resultados obtenidos de 175 empresas que respondieron la “Encuesta de formación” realizada por Fedesoft [14], y con los resultados obtenidos de 109 empresas que diligenciaron la “Encuesta de salarios y profesionales del sector de software y TI en Colombia”, también realizadas por Fedesoft [15]. En general, se analizó la información de 323 empresas que diligenciaron dichas encuestas durante el periodo 2020 - 2022; de las cuales se presenta la información más relevante.

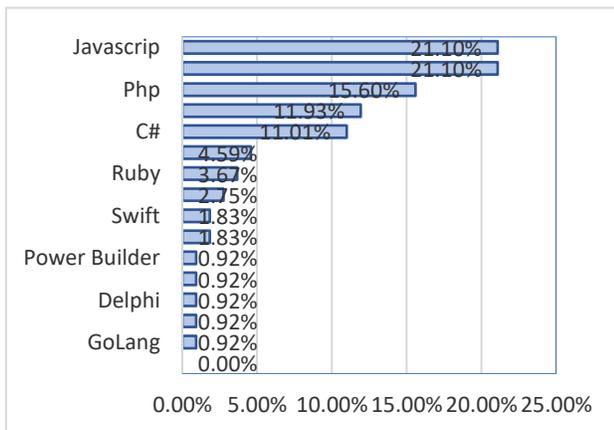


Fig. 1 Lenguajes de programación más utilizados por las empresas encuestadas.

En la gráfica anterior, se evidencia que los lenguajes de programación más utilizados son Javascript y Java con 21,10% cada uno; seguidos por PHP, Python y C# con porcentajes del 15,6%, 11,9% y 11,0% respectivamente. Con la información obtenida de la encuesta de Fedesoft (2020), se ratifica que los lenguajes de programación orientados a objetos marcan la tendencia, permitiendo la reutilización de código por parte de empresas desarrolladoras.

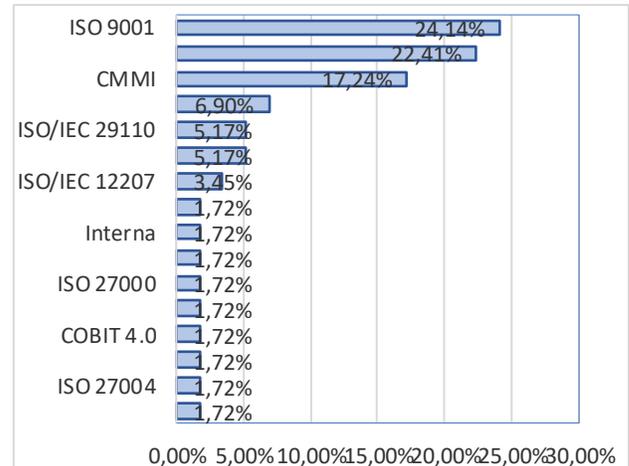


Fig. 2 Modelos o estándares de calidad utilizados por las empresas encuestadas.

Respecto al uso de estándares y metodologías de desarrollo, cerca del 80% de las empresas encuestadas afirmaron que utilizan metodologías o estándares de calidad, teniendo predilección por metodologías ágiles, robustas y el uso de procesos certificados, mientras que el restante 20% indicaron que no utilizan ningún estándar de desarrollo. Sin embargo, se debe tener en cuenta que el 46,1% de las empresas que respondieron la encuesta corresponden a microempresas con menos de 10 empleados.

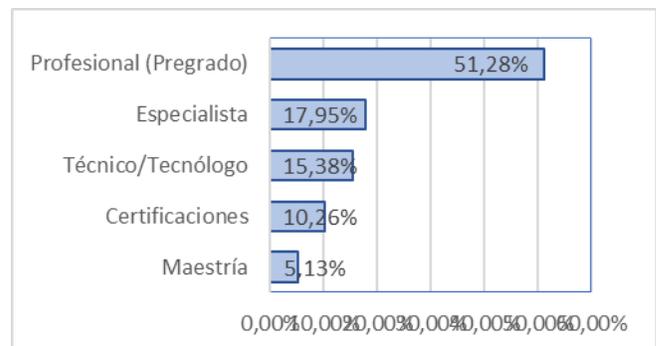


Fig. 3 Nivel de estudio mínimo requerido para contratar en el área administrativa o gerencial.

En las encuestas se evidencia que más del 51% de las empresas prefieren contratar para ejercer cargos administrativos o de carácter gerencial a personal con título de pregrado o profesionales, seguido por personal con título de especialista con 17,9%, luego técnico o tecnólogo con el 15,38%, y con título de maestría el 5,13%. De igual forma, para desempeñar cargos operativos y de desarrollo, hay preferencia por contratar personal con título técnico o tecnólogo con 46,15%, seguido de personal profesional con 28,21%, con certificaciones 15,38%, con especialización 10,16% y personal con título de maestría no se obtuvo respuesta.

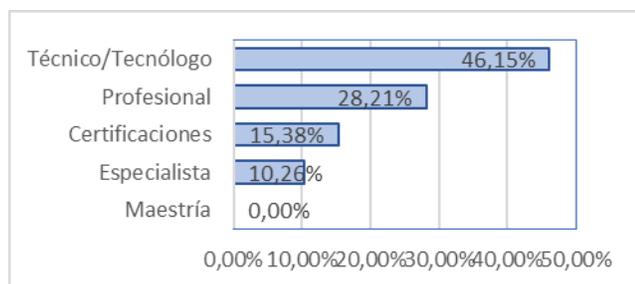


Fig. 4 Nivel de estudio mínimo requerido para contratar en el área operativa o de desarrollo.

- **Fuentes secundarias:** Se consultaron revistas, trabajos de grado relacionados con el tema, estudios recientes, bases de datos electrónicas, sitios web de entidades oficiales como Fedesoft, Mintic, Ministerio de Educación, para obtener las bases teóricas y estado del arte que fundamenta este proyecto investigativo.

Para la fecha de la investigación el país contaba con 233 programas activos de pregrado en Ingeniería de Sistemas y afines, el 73% corresponde a instituciones del sector privado y el 27% a instituciones oficiales; el 31% tenían acreditación de alta calidad y el 69% contaba con registro calificado ante el Ministerio de Educación Nacional [16].



Fig. 5 Programas de Ingeniería de Sistemas y afines con Registro calificado y Acreditados en alta calidad en Colombia.

El análisis de los planes de estudio se realizó teniendo como referentes a las universidades más destacadas del país que cuentan con el programa de ingeniería de sistemas o áreas afines, según la firma de consultoría Colombia Sapiens Research a través del Ranking U-Sapiens; de igual forma, se revisaron los planes de estudio de las “Universidades de la vecindad” a UNISANGIL, según categorización de ICFES en 2017 y 2020, y también, se analizaron los planes de estudio de las universidades que ofrecen el programa de Ingeniería de Sistemas, en los departamentos donde tiene sede UNISANGIL.

De los programas de Ingeniería de Sistemas y afines con acreditación de alta calidad, analizados en los referentes anteriores, el 40% pertenecen al sector privado y el 60% al sector oficial. Dichos programas cuentan con al menos una

asignatura relacionada con las tendencias de desarrollo de software que demandan actualmente las empresas de la industria de software; destacándose que la asignatura inteligencia artificial (IA) se ofrece en el 80% de las instituciones de educación que son referentes, ciberseguridad se ofrece en un 40%, Cloud y Big Data en un 10% respectivamente.

### III. RESULTADOS

En el periodo 2021 - 2022 se puede evidenciar un notorio crecimiento en el número de empresas desarrolladoras de software, destacándose el incremento en la evolución de pequeñas a medianas y de medianas a grandes empresas; las medianas pasaron de ocupar el 14,3% en el año 2021 al 22% en el año 2022 y las grandes empresas aumentaron del 12.7% en el 2021 al 19,3% en 2022.

Las micro y pequeñas empresas de la industria del software prefieren usar metodologías ágiles, las cuales permiten mayor interacción con el cliente, requerimientos más claros y eficientes, entregas parciales en menor tiempo, agilidad en los procesos, entregas finales más oportunas y disminución de costos.

La certificación en estándares de calidad empresarial y de procesos agrega especial valor a las empresas, elevando su competitividad en los mercados nacionales e internacionales y evita que se genere un rezago metodológico que podría afectar seriamente a la industria y al mercado interno en lo que a desarrollo de software se refiere.

Según información obtenida en la revisión bibliográfica y demás métodos de recolección de información, los servicios con mayor proyección de crecimiento son los que integren inteligencia artificial, automatización, big data, realidad aumentada y soluciones en la nube; de igual forma, los lenguajes de programación orientados a objetos marcan la tendencia, permitiendo la reutilización de código, con el fin de crear nuevas versiones basadas en aplicaciones o módulos previos.

El egresado de ingeniería de sistemas debe tener un dominio avanzado del idioma inglés, característica que le permitirá escalar rápidamente dentro de la organización y mejorar sus condiciones de trabajo.

En una industria cada vez más globalizada, las empresas exigen además del título en pregrado, que el aspirante demuestre los conocimientos, competencias y habilidades requeridos para el cargo al que aspira, junto con las certificaciones que ha realizado en temas específicos, con el propósito de validar que el aspirante se encuentra preparado para afrontar los retos propios del cargo.

Los lenguajes especializados en automatización de procesos como Genexus, R y Swift están tomando especial relevancia, por el incremento en el número de empresas que incluyen en sus proyectos inteligencia artificial para el desarrollo de sus aplicaciones; con el fin de mejorar el control y la estabilidad de los mismos.

#### *Propuesta de perfil profesional del ingeniero de sistemas de UNISANGIL con relación a las necesidades de la industria de software en Colombia*

El egresado de Ingeniería de Sistemas de la Fundación Universitaria de San Gil, UNISANGIL, contará con una amplia oferta laboral dentro y fuera del país, gracias al manejo avanzado del idioma extranjero (inglés), lenguajes de programación especializados, conocimientos en automatización de procesos y experiencia en manejo de metodologías de desarrollo ágiles y robustas, que aseguren buenas prácticas de calidad en el diseño y arquitectura de software.

Aplica los conocimientos adquiridos en ciencias básicas y tecnología para la solución de problemas específicos, de acuerdo con los requerimientos del entorno.

Profesional capaz de aplicar y desarrollar las herramientas adecuadas para el tratamiento automatizado de la información, con base en los conocimientos en áreas específicas de inteligencia artificial, big data, realidad aumentada y soluciones en la nube.

El profesional de ingeniería de sistemas puede desempeñarse en una gran variedad de áreas y asumir múltiples roles, tales como: Arquitecto, Gerente y consultor de proyectos de TI; desarrollador de aplicaciones, analista de datos, analista de seguridad, administrador de infraestructura tecnológica e investigador.

Egresado con alta capacidad de autoaprendizaje y liderazgo; un constante proceso de actualización y estudio le facilitará tomar decisiones libres, autónomas y responsables, basado en valores y actitudes que reflejen los más altos principios de ética y moral.

#### IV. CONCLUSIONES

La Industria de software en Colombia ha crecido significativamente durante la última década, gracias a diferentes factores como el apoyo del gobierno, que ha incentivado el emprendimiento y la creación de nuevas empresas, a generado políticas fiscales y financieras diferenciales para la micro y pequeñas empresas; también se han fortalecido las relaciones entre Universidad – Empresa – Estado, permitiendo la inversión en infraestructura física y tecnológica y la realización de convenios e investigaciones que evidencien las necesidades de la industria de software y

las diferentes alternativas para cerrar el déficit de recurso humano capacitado que requiere esta importante industria.

El crecimiento de las empresas y su demanda tecnológica ha generado un déficit de especialistas en inteligencia artificial, Big Data, marketing digital, automatización de procesos, internet de las cosas y desarrolladores de software y aplicaciones.

Se hace necesaria una comunicación permanente entre las empresas desarrolladoras de software y las instituciones de educación superior para ofertar en sus programas Ingeniería de Sistemas profundizaciones a modo de electivas, cursos complementarios y/o cortos en tendencias de software, dado que los requerimientos y exigencias de la industria del software cambia dinámicamente.

El ingeniero de sistemas debe tener un gran dominio del idioma inglés, hablado y escrito; siendo visto como componente importante en gran parte de los proyectos, además de estar establecido como requisito al momento de ser contratado en una empresa.

Según los resultados obtenidos durante el desarrollo del proyecto se diseñó un perfil profesional del ingeniero de sistemas de UNISANGIL, en relación con los requerimientos exigidos por las empresas desarrolladoras de software; el cual indica las capacidades y conocimientos básicos que debe poseer un egresado del programa de Ingeniería de Sistemas de UNISANGIL.

#### REFERENCIAS

- [1] MinTic, “Apps.co aplicará convocatoria que fortalece a más de 200 equipos de emprendedores y empresas digitales de Colombia. 2023. Ministerio de Tecnologías de la Información y la Comunicación. [En Línea] Disponible en: <https://www.mintic.gov.co/portal/inicio/Sala-de-prensa/Noticias/277148:APPS-CO-amplia-convocatoria-que-fortalecera-mas-de-200-equipos-de-emprendedores-y-empresas-digitales-de-Colombia>. [Consultado Julio de 2023].
- [2] MinTic, “MinTIC le apuesta a la transformación tecnológica del país a través de la educación digital”. 2023. Ministerio de Tecnologías de la Información y la Comunicación. [En Línea] Disponible en: <https://www.mintic.gov.co/portal/inicio/Sala-de-prensa/Noticias/281012:MinTIC-le-apuesta-a-la-transformacion-tecnologica-del-pais-a-traves-de-la-educacion-digital>. [Consultado octubre de 2023].
- [3] Tigre, P.; Marques, F. (2008). La industria del software en Brasil: ¿un mercado interno fuerte puede promover las exportaciones? Comercio Exterior – Revista de Análisis Económico y Social, v. 58, n. 5, pp. 350-366.
- [4] S. Martínez, S. Arango, & J. Robledo “The Growth of the Colombian Software Industry”, 2015, Revista EIA, 12(23), p95. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.14508/reia.2015.12.23.95-106>.
- [5] Superintendencia de Sociedades, “Desempeño del Sector Software 2012-2014”, 2015, Bogotá: Delegatura para Asuntos Económicos y Contables Grupo de Estudios Económicos y Financieros.
- [6] MinTic, Fedesoft & Sena “Caracterización del Sector Teleinformática, Software y TI en Colombia”, 2015. [En línea] Disponible en

- [https://colombiatic.mintic.gov.co/679/articles-73973\\_recurso\\_1.pdf](https://colombiatic.mintic.gov.co/679/articles-73973_recurso_1.pdf)  
[Consultado marzo de 2023].
- [7] X. Duque, *et al*, “Empresas de software colombianas cierran 2022 exportando a México, Estados Unidos y Ecuador”, 2023, Fedesoft, Federación Colombiana de Software y TI, [En línea] Disponible en <http://www.fedesoft.org/noticias/> [consultado marzo de 2023].
- [8] X. Duque, “Seguimos Contratando - Ximena Duque”, marzo 2023, Fedesoft, Federación Colombiana de Software y TI, [En línea] Disponible en <http://www.fedesoft.org/noticias/> [consultado junio de 2023].
- [9] World Economic Forum. “The Future of Jobs Report 2020”, [En línea] Disponible en: <https://www.weforum.org/reports/the-future-of-jobs-report-2020> [Consultado junio de 2023].
- [10] Forbes. “Se acabó la especialización? La demanda de perfiles híbridos se acelera en Latinoamérica” [En línea] Disponible en: <https://forbes.co/2022/07/14/capital-humano/se-acabo-la-especializacion-la-demanda-de-perfiles-hibridos-se-acelera-en-latinoamerica%ef%bf%bc/>.
- [11] D. Artana, W. Cont, G. Bermúdez, & M. Pistorio, “La economía de la Industria del Software”. 2018. Ley de Promoción del Software y su impacto en la evolución del sector. Comparación Internacional. 1–75.
- [12] C. Ge, K. W. Huang, and A. Kankanhalli, “Platform skills and the value of new hires in the software industry,” *Res. Policy*, vol. 49, no. 1, pp. 1–15, 2020, doi: 10.1016/j.respol.2019.103864.
- [13] Capote León, G., Rizo Rabelo, N., & Bravo López, G. (2016). La formación de ingenieros en la actualidad. Una explicación necesaria. *Revista Universidad y Sociedad* [seriada en línea], 8 (1). pp. 21-28. Recuperado de <http://rus.ucf.edu.cu/>.
- [14] Fedesoft & MinTIC. “Encuesta de formación”. 2020. [En línea] Disponible en: <https://fedesoft.org/encuesta-de-formacion-2020/>.
- [15] Fedesoft & CENISOFT. “Encuesta de salarios profesionales del sector de software y TI en Colombia”. 2022. [En línea] Disponible en: <https://cenisoft.org/encuesta-de-salarios-2022/>.
- [16] Sistema Nacional de Información de la Educación Superior (SNIES) 2023. [En línea] Disponible en: <https://www.mineduacion.gov.co/sistemasdeinformacion/1735/prope-tyvalue-41698.html>

## Capítulo 4

# Diseño de una red centralizada para la institución educativa “José María Silva Salazar del municipio de Buenavista - Boyacá”

*Design of a centralized network for the educational institution “José María Silva Salazar of the municipality of Buenavista - Boyacá”*

Brayan Santiago Peña Peña, David Alejandro Guerrero Amador, Marlon Fabian Pinzon Gamboa,  
Wilmer Andres Franco Reyes, Edisson Rafael Caicedo

Fundación Universitaria de San Gil - UNISANGIL  
Facultad de Ciencias Naturales e Ingeniería  
Ingeniería de sistemas  
Chiquinquirá, Boyacá, Colombia

bsantipp@unisangil.edu.co , daguerrero@unisangil.edu.co  
mfpinzon@unisangil.edu.co, wafranco@unisangil.edu.co, ercaicedo@unisangil.edu.co

### RESUMEN

Este documento se centra en la implementación de una intranet y una herramienta de gestión de información utilizando la plataforma Nextcloud en la institución educativa José María Silva Salazar en Buenavista, Boyacá. El objetivo principal es establecer una plataforma para la gestión y administración de la información educativa utilizada en el aula. La metodología abarca la instalación de Nextcloud junto con Apache y MySQL en una máquina virtual de Ubuntu, optimizando su rendimiento mediante la inhabilitación de aplicaciones no esenciales. Se utilizan contenedores de Docker para garantizar la disponibilidad continua de Nextcloud y se configuran direcciones IP permitidas. La topología de red de tipo estrella se implementa de manera eficiente en las salas de cómputo de la institución. Las conclusiones destacan el éxito de la topología de red en entornos sin conexión a Internet, la eficacia de la plataforma Nextcloud para el intercambio seguro de información educativa, y la optimización continua basada en pruebas diagnósticas. Este proyecto proporciona a la comunidad educativa una herramienta confiable para mejorar los procesos de enseñanza y el intercambio eficiente de recursos educativos.

**Palabras claves:** Intranet, máquina virtual, redes LAN, servidor local, topología de red.

### ABSTRACT

This paper focuses on implementing an intranet and information management tool using the Nextcloud platform at the José María Silva Salazar educational institution in Buenavista, Boyacá. The main objective is to establish a platform for managing and administering educational information used in the classroom. The methodology involves installing Nextcloud along with Apache and MySQL on an Ubuntu virtual machine, optimizing its performance by disabling non-essential applications. Docker containers are used to ensure the continuous availability of Nextcloud, and permitted IP addresses are configured. An efficient star network topology is implemented in the institution's computer rooms. The conclusions highlight the success of the network topology in environments without internet connectivity, the effectiveness of the Nextcloud platform for secure exchange of educational information, and continuous optimization based on diagnostic tests. This project provides the educational community with a reliable tool to enhance teaching processes and efficient exchange of educational resources.

**Keywords:** Intranet, virtual machine, LAN networks, local server, network topology.

## I. INTRODUCCIÓN

En la era digital en la que nos encontramos, la gestión eficiente de la información se ha vuelto fundamental en todos los ámbitos de nuestra vida. En el contexto educativo, los colegios enfrentan el desafío de administrar y compartir de manera efectiva la gran cantidad de información generada en el aula. En este sentido, la implementación de una intranet, acompañada de una herramienta de gestión de la información, se presenta como una solución prometedora para optimizar estos procesos. Este proyecto tiene como objetivo principal establecer una plataforma para la gestión y administración de la información educativa utilizada en el aula. Para ello, se ha seleccionado la plataforma Nextcloud, reconocida por su versatilidad y amplias funcionalidades en el ámbito de la gestión documental y colaboración en equipo. En este estudio, se pretende analizar en detalle los beneficios que la implementación de una intranet con Nextcloud puede ofrecer a la institución educativa José María Silva Salazar ubicada a las afueras de la zona urbana, en la vereda Sabaneta del municipio de Buenavista departamento de Boyacá. Se examinará cómo esta herramienta puede facilitar la organización y distribución de materiales educativos, promover la colaboración entre docentes y alumnos, así como mejorar la comunicación y el acceso a la información dentro de la comunidad educativa, esto mediante la aplicación de los conocimientos adquiridos en la universidad de San Gil, UNISANGIL. Además, se abordarán los desafíos y obstáculos que podrían surgir durante la implementación de esta solución tecnológica, así como las estrategias y medidas necesarias para garantizar su éxito y aceptación por parte de los usuarios.

## II. DESARROLLO

Para el desarrollo de la plataforma Nextcloud, en primera instancia se realizó su instalación junto con el servidor web de código abierto Apache donde estará almacenada y el sistema gestor de base de datos de MySQL que guardará los registros y datos creados por la plataforma de Nextcloud como se muestra en la figura 1 en una máquina virtual de Ubuntu versión 22.04 LTS en el sistema operativo de Windows 10.

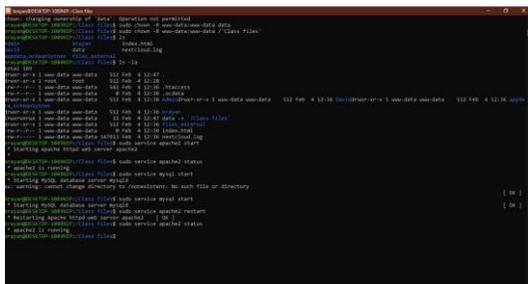


Fig. 1. Máquina virtual de Ubuntu.  
Nota. Ejecución de Nextcloud, la base de datos de MySQL y el servidor de Apache.

Después se procedió a inhabilitar aplicaciones que no son necesarias para solucionar la problemática del colegio José María Silva Salazar, estas son “Actividad”, “Dashboard”, “Compartir por email”, “Notificación de actualizaciones” y “Anuncios de Nextcloud” como se presenta en la figura 2, esto con el fin de optimizar y disminuir el uso de recursos de Nextcloud en el servidor o computador del docente.

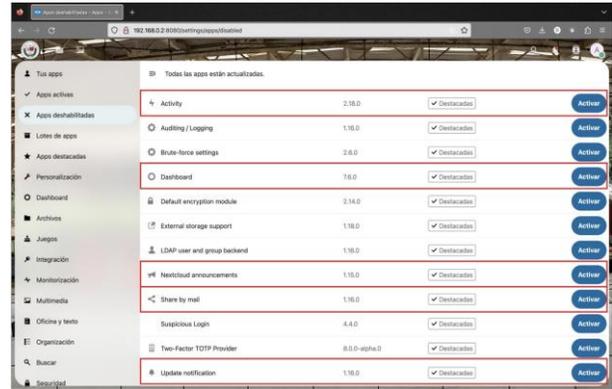


Fig. 2 Aplicaciones inhabilitadas en Nextcloud.  
Nota. Listado de aplicaciones desactivadas para optimizar el uso de la plataforma Nextcloud.

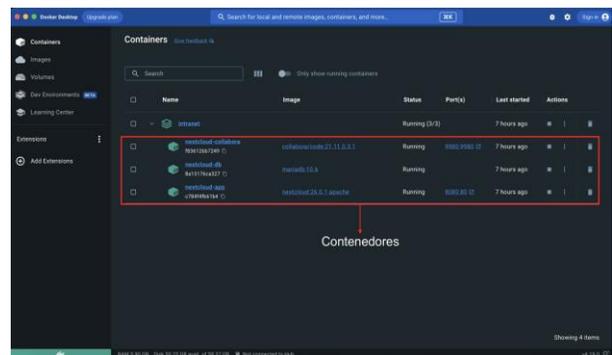


Fig. 3 Contenedores en la plataforma de Docker.  
Nota. Representación de los contenedores para los servicios de la plataforma Nextcloud.

Para crear y desplegar los contenedores mostrados en la figura # se creó el archivo ‘docker-compose.yaml’ donde se desarrolló y configuró cada servicio teniendo en mente la facilidad de la instalación y mantenimiento realizado en un futuro por la institución educativa José María Silva Salazar.

```
39   collabora:  
40   image: collabora/code:21.11.0.3.1  
41   container_name: nextcloud-collabora  
42   restart: unless-stopped  
43   ports:  
44   - 9980:9980  
45   environment:  
46   - extra_params=--o:ssl.enable=false  
47   - username=Administrador  
48   - password=C0ll4b0r4  
49   - dictionaries=es_ES  
50   - TZ=America/Bogota  
51
```

Fig. 4 Desarrollo del contenedor del servidor de Collabora.  
Nota. Desarrollo del contenedor del servidor de Collabora.

Los tres contenedores de Docker han sido configurados para que se mantengan activos, reiniciándose cuando se detecte un error o se inicie el software Docker, permitiendo que la plataforma de Nextcloud siempre esté disponible cuando sea necesario, y después de la jornada educativa de los docentes, puedan salir del programa Docker, deteniendo todos los servicios y evitando gastar sin necesidad recursos de sus computadores. Después de configurar y crear los contenedores con respecto a las necesidades del colegio José María Silva Salazar, se realizó una configuración a los archivos de configuración de Nextcloud donde se estableció las direcciones IP que están permitidas para almacenar y ejecutar la plataforma de Nextcloud, en este caso se usó la dirección del computador del profesor "192.168.0.2" (Figura 5).

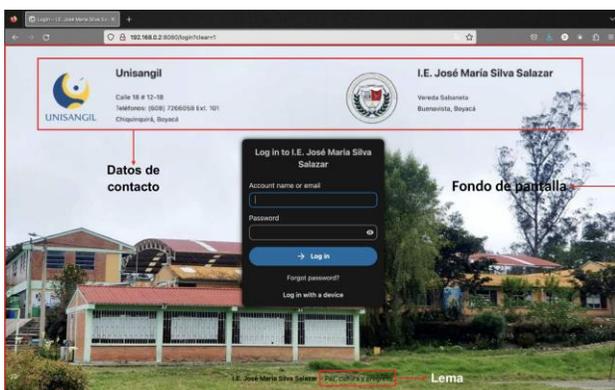


Fig. 5 Interfaz gráfica para el inicio sesión en Nexcloud.  
Nota. Interfaz gráfica para el inicio sesión en Nexcloud.

### III. CONCLUSIONES

Con base en el análisis detallado la infraestructura de la institución educativa José María Silva Salazar en sus distintas salas de cómputo se definió una topología de red de tipo estrella, esta permitió la conexión de varios dispositivos de forma inalámbrica, usando el menor presupuesto posible y sin necesidad de un servicio de conexión a Internet, dando como resultado una herramienta permite a los estudiantes y

docentes el intercambio de información de forma rápida y eficiente.

Con el desarrollo de este proyecto se logró modelar una red de area local LAN que permite el intercambio de información de manera rápida y estable, por otro lado, mediante el uso de herramientas se logró configurar y desplegar la red de forma exitosa durante el desarrollo de las distintas pruebas realizadas en el desarrollo del proyecto, garantizando el adecuado intercambio de información entre los distintos dispositivos que integran la red.

Mediante la investigación llevada a cabo durante el desarrollo de este proyecto, se identificaron varias herramientas que permitían la gestión de información, pero mediante la investigación y el análisis de estas plataformas se optó por el uso de la nube privada Nexcloud como una solución idónea para la gestión de la información generada en el aula, de una manera segura y confiable facilitando a los alumnos y profesores de la institución educativa José María Silva Salazar una herramienta que permite el almacenamiento, organización y disponibilidad de los distintos recursos educativos presentados por los educadores con el fin de mejorar sus procesos de enseñanza.

Durante el desarrollo del proyecto se examinó el funcionamiento de la intranet mediante la verificación del rendimiento a través de distintas pruebas diagnósticas, permitiendo corregir los errores presentados y refinar el funcionamiento de la intranet para obtener el funcionamiento óptimo de esta herramienta con respecto a las necesidades del colegio José María Silva Salazar, proporcionando un medio seguro y confiable para el intercambio de información entre los integrantes de esta comunidad educativa.

### REFERENCIAS

- [1] Ministerio de Trabajo y Previsión Social, "Para tener un buen ambiente laboral, te mostramos la importancia de una buena comunicación," 2023. [En línea]. Disponible en: [https://sence.gob.cl/sites/default/files/comunicacion\\_en\\_el\\_trabajo\\_-\\_infografia\\_carta.pdf](https://sence.gob.cl/sites/default/files/comunicacion_en_el_trabajo_-_infografia_carta.pdf).
- [2] G. Westreicher, "Intranet," Economipedia, 2020. [En línea]. Disponible en: <https://economipedia.com/definiciones/intranet.html>.
- [3] J. V. Fernando, "Draw.io: mucho más que mapas mentales," INTEF, 2022. [En línea]. Disponible en: [https://intef.es/observatorio\\_tecno/draw-io-mucho-mas-que-mapas-mentales/](https://intef.es/observatorio_tecno/draw-io-mucho-mas-que-mapas-mentales/).
- [4] Significados, "Marco conceptual," Significados, 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.significados.com/marco-conceptual/>.
- [5] G. Westreicher, "Extranet," Economipedia, 2020. [En línea]. Disponible en: <https://economipedia.com/definiciones/extranet.html>.
- [6] UNESCO, "Planificador de Proyectos de la UNESCO Claves para la Acción Juvenil," 2023. [En línea]. Disponible en: <https://es.unesco.org/youth/toptips/planner/identification>.
- [7] Tenda, "N301 Router inalámbrico N300 con configuración sencilla," Tenda. [En línea]. Disponible en: <https://www.tenda.cn.com/mx/product/N301.html>.
- [8] IONOS Digital Guide, "ownCloud vs. Nextcloud: ventajas e inconvenientes ownCloud vs. Nextcloud: comparativa de las dos herramientas de colaboración en la nube," 2021. [En línea]. Disponible

- en:  
<https://www.ionos.es/digitalguide/servidores/herramientas/owncloud-vs-nextcloud-ventajas-e-inconvenientes/>.
- [9] Xiaomi, "Mi Router 4A," Xiaomi. [En línea]. Disponible en: <https://www.mi.com/cl/product/mi-router-4a/>.
- [10] Bravo, "Ecommerce Colombia: la guía más completa del mercado [2022]," Envíame, 2022. [En línea]. Disponible en: <https://enviame.io/co/ecommerce-colombia/>.
- [11] J. V. Fernando, "Draw.io: mucho más que mapas mentales," Intef.Es, 2021. [En línea]. Disponible en: [https://intef.es/observatorio\\_tecno/draw-io-mucho-mas-que-mapas-mentales/](https://intef.es/observatorio_tecno/draw-io-mucho-mas-que-mapas-mentales/).
- [12] U. Huelva, "MENDELEY: Mendeley: información general," Guías de La BUH, 2022. [En línea]. Disponible en: <https://guiasbuh.uhu.es/Mendeley>.
- [13] LinuxAdictos, "ProjectLibre: un programa para la gestión de proyectos de código abierto," 2020. [En línea]. Disponible en: <https://www.linuxadictos.com/projectlibre-un-programa-para-la-gestion-de-proyectos-de-codigo-abierto.html>.
- [14] Equipo editorial, "Técnicas de investigación," 2022. [En línea]. Disponible en: <https://concepto.de/tecnicas-de-investigacion/>.
- [15] M. de H. y C. Público y M. de Educación Nacional, "Decreto 2230 de 2003," Diario Oficial No. 45.273 de agosto 8 de 2003, p. 20, 2003. [En línea]. Disponible en: <http://web.mineduacion.gov.co/EsuperiorDOC/CONACES.htm>.
- [16] Congreso de La República de Colombia, "Ley 115 febrero 8 de 1994," p. 50, 1994. [En línea]. Disponible en: [https://www.mineduacion.gov.co/1621/articles-85906\\_archivo\\_pdf.pdf](https://www.mineduacion.gov.co/1621/articles-85906_archivo_pdf.pdf).
- [17] Cossio, "Ley 489 de 1998," Diario Oficial, Núm. 43.464, pp. 28-29, 1998. [En línea]. Disponible en: <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=186>.
- [18] Oferta Educativa., "Ministerio de Educación Nacional," vol. 52, no. 1, p. 37, 2019. [En línea]. Disponible en: [https://www.mineduacion.gov.co/1621/articles-119464\\_archivo\\_pdf.pdf](https://www.mineduacion.gov.co/1621/articles-119464_archivo_pdf.pdf).
- [19] Congreso, "Constitución política de Colombia 1991 preambulo el pueblo de colombia," p. 108, 1991. [En línea]. Disponible en: <https://pdba.georgetown.edu/Constitutions/Colombia/colombia91.pdf>.
- A. Fallis, "Proyecto Educativo Institucional PEI," Journal of Chemical Information and Modeling, vol. 85, no. 9, 2020.
- [20] M. Alcibar, A. Monroy, y M. Jiménez, "Impacto y Aprovechamiento de las Tecnologías de la Información y las Comunicaciones en la Educación Superior," Información Tecnológica, 2018.

# **CIENCIAS AMBIENTALES Y DE LA TIERRA**

---

## Capítulo 5

### Caso de Estudio: Implementación de la Resolución 699 de 2021 y las dificultades en el cumplimiento de los límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales de aguas residuales domésticas al suelo

*Study of case: Difficulties to accomplish the permissible maximum limits in the specific discharges of domestic wastewater to the ground for the Resolution 699 of 2021 implementation*

Juan Carlos Lozano Sierra

Facultad de Ciencias Naturales e Ingeniería  
Yopal, Colombia

jclozano@unisangil.edu.co

#### RESUMEN

La normatividad ambiental colombiana es de estricto cumplimiento, sin embargo, las modificaciones o actualizaciones de dichas normas, obligan a los usuarios generadores a optimizar e implementar mejoras en los sistemas de tratamiento de las aguas residuales existentes para dar cumplimiento a las mismas.

La actualización de la norma de vertimiento al suelo, Resolución 699 de 2021, no solo obligó a que muchos de los sistemas de tratamiento fueron optimizados para lograr cumplir con los niveles máximos permitidos, sino que, además obligó a la implementación de sistemas de tratamiento adicionales, que permitan reducir las concentraciones de nutrientes (nitrógeno y fósforo), que son los parámetros que se incumplen en mayor medida.

**Palabras claves:** Resolución 699 de 2021, Vertimiento al suelo, Tratamiento de agua, Aguas Residuales Domésticas.

#### ABSTRACT

Colombian environmental regulations are strictly enforced; however, modifications or updates to these standards compel generating users to optimize and implement improvements in existing wastewater treatment systems to ensure compliance.

The update to the soil discharge standard, Resolution 699 of 2021, not only mandated the optimization of many treatment systems to comply with the permitted maximum levels but also required the implementation of additional treatment systems to reduce concentrations of nutrients (nitrogen and phosphorus), which are the parameters most frequently exceeded.

**Keywords:** Resolution 699 of 2021, Soil discharge, Water treatment, Domestic Wastewater.

## I. INTRODUCCIÓN

La normatividad ambiental colombiana es de estricto cumplimiento y todo aquel que hace uso y aprovechamiento de los recursos naturales, debe acatar las exigencias de las diferentes normas, para reducir o mitigar el impacto que se genera por cualquier actividad económica.

En este sentido, para hacer la disposición final de las aguas residuales, se debe cumplir con diferentes criterios de calidad establecidos en las normas, lo cual permite reducir el impacto que se genera con la disposición final de estas.

El presente documento muestra las diferentes alternativas viables para la disposición final de las aguas residuales domésticas, y se profundiza en las condiciones específicas para la implementación de la nueva norma para vertimientos al suelo.

Se muestran los resultados de un caso específico de aplicación, se hace un análisis histórico de los diferentes parámetros y las diferentes alternativas disponibles para alcanzar los límites permisibles.

## II. AGUAS RESIDUALES Y ALTERNATIVAS PARA SU VERTIMIENTO

Las aguas residuales son cualquier tipo de agua cuya calidad se vio afectada negativamente por la actividad antropogénica. Las aguas residuales incluyen las aguas usadas, domésticas, urbanas y los residuos líquidos industriales o mineros eliminados, o las aguas que se mezclaron con las anteriores [1].

En Colombia, existen tres alternativas principales para la disposición final de las aguas residuales domésticas, y cada una de estas alternativas, cuenta con la normatividad específica, que permite guiar al generador sobre el alcance del sistema de tratamiento que debe implementar y minimizar el impacto que genera la disposición final de estas aguas.

### A. Resolución 0631 de 2015 [2]

Por la cual se establecen los parámetros y los valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de aguas superficiales y a los sistemas de alcantarillado público y se dictan otras disposiciones.

### B. Resolución 0699 de 2021 [3]

Por la cual se establecen los parámetros y los valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales de Aguas Residuales Domésticas Tratadas al suelo, y se dictan otras disposiciones.

### C. Resolución 1207 de 2014 [4]

Por la cual se adoptan disposiciones relacionadas con el uso de aguas residuales tratadas

En todos los casos, se requiere realizar tratamiento a las aguas residuales, y la disposición dependerá tanto de la calidad del efluente de este sistema como de la disponibilidad del sitio para realizar el vertimiento.

## III. DEFINICIONES Y APLICACIÓN DE RESOLUCIÓN 699 DE 2021 [3]

Esta resolución establece los parámetros y los valores límites máximos permisibles que deberán cumplir quienes realicen vertimientos puntuales de Aguas Residuales Domésticas Tratadas (ARD-T) al suelo y los parámetros objeto de análisis y reporte por parte de las actividades industriales, comerciales o servicios.

Así mismo, hace una clasificación de los usuarios y las obligaciones de cada uno de estos en cuanto a la calidad de sus vertimientos y la necesidad de solicitar permiso de vertimiento ante la autoridad ambiental.

*Usuarios de vivienda rural dispersa:* toda persona natural o jurídica de derecho público o privado que hace uso de infraestructura denominada vivienda rural dispersa, considerada como la unidad habitacional localizada en el suelo rural de manera aislada que se encuentra asociada a las formas de vida del campo y no hace parte de centros poblados rurales ni de parcelaciones destinadas a vivienda campestre.

*Usuarios equiparables a usuarios de vivienda rural dispersa:* toda persona natural o jurídica de derecho público o privado que hace uso de infraestructura asociada a una actividad productiva o de uso de vivienda campestre, cuya generación de aguas residuales domésticas son semejantes en cantidad y calidad (expresado en carga de DBO5), a las producidas por los Usuarios de vivienda rural dispersa, con valores menores o iguales a 1,0 Kg DBO5/d.

*Usuarios diferentes a usuarios equiparables y a usuarios de vivienda rural dispersa:* toda persona natural o jurídica de derecho público o privado que hace uso de infraestructura locativa de retretes y servicios sanitarios, sistemas de aseo personal (duchas y lavamanos), cocinas y cocinetas, pocetas de lavado de elementos de aseo, realiza lavado de paredes y pisos de esta infraestructura locativa, y lavado de ropa (No se incluyen servicios de lavandería industrial), cuya generación de aguas residuales domésticas son diferentes en cantidad y calidad a las producidas por los usuarios de vivienda rural dispersa y de los equiparables a vivienda rural dispersa.

Los usuarios de vivienda rural dispersa, NO REQUIEREN DE PERMISO DE VERTIMIENTO al suelo cuando las soluciones individuales de saneamiento básico para el tratamiento de estas aguas residuales domésticas sean diseñadas bajo los parámetros definidos en el reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico (Resolución 0330 de 2017). Para los demás casos, si se requiere de permiso de vertimiento.

Los usuarios equiparables a usuarios de vivienda rural dispersa deberán cumplir con los niveles máximos permisibles que se relacionan en la siguiente Tabla.

TABLA 1. NIVELES MÁXIMOS PERMISIBLES PARA LOS USUARIOS EQUIPARABLES A USUARIOS DE VIVIENDA RURAL DISPERSA

Parámetros	Unidad de medida	Velocidad de infiltración básica		
		CATEGORÍA I	CATEGORÍA II	CATEGORÍA III
		Velocidad de infiltración entre 16 a 27 mm/h	Velocidad de infiltración entre 2,6 a 15 mm/h o entre 28 a 52 mm/h	Velocidad de infiltración menor a 2,5 mm/h o mayor a 53 mm/h
<b>Generales</b>				
Temperatura	Grados Centígrados	±5°C que el rango de temperatura media anual multianual del lugar		
pH	Unidades de pH	6,5 a 8,5	6,5 a 8,6	6,5 a 8,7
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L O <sub>2</sub>	200,0	200,0	200,0
Sólidos Suspendidos Totales (SST)	mg/L	100,0	70,0	50,0
Sólidos Sedimentables (SSED)	mg/L	3,5	2,5	1,5
Grasas y Aceites	mg/L	20,0	20,0	20,0
Sustancias Activas al Azul de Metileno (SAAM)	mg/L	0,5	0,5	0,5
Conductividad Eléctrica	(uS/cm)	1000,0	700,0	700,0
Fósforo Total (P)	mg/L	5,0	5,0	2,0
<b>Compuestos de Nitrógeno</b>				
Nitratos (N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )		15,0	10,0	10,0
Nitrógeno Total (N)	mg/L	30,0	20,0	20,0
<b>Parámetros de salinidad y sodicidad</b>				
Relación de Absorción de Sodio (RAS)	Adimensional	6,0	6,0	3,0
Cloruros (Cl <sup>-</sup> )	mg/L	250,0	250,0	140,0
Sulfatos (SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> )	mg/L	250,0	250,0	250,0
<b>Matales y Metaloides</b>				
Aluminio (Al)	mg/L	5,0	3,0	1,0
Cadmio (Cd)	mg/L	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte
Cinc (Zn)	mg/L	3,0	2,0	2,0
Cobre (Cu)	mg/L	2,0	1,5	1,0
Cromo (Cr)	mg/L	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte
Manganeso (Mn)	mg/L	2,0	1,0	0,2
Plata (Ag)	mg/L	0,1	0,1	0,1
Plomo (Pb)	mg/L	3,0	2,0	0,1
<b>Hidrocarburos</b>				
Hidrocarburos Totales (HTP)	mg/L	2,5	2,5	1,0
<b>Parámetros Microbiológicos</b>				
Coliformes Totales	NMP/100mL	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte

Para los demás casos, se deben cumplir con los niveles que se presentan en la siguiente Tabla. La velocidad de infiltración básica que se referencia en las tablas obedece a la velocidad constante que alcanza el agua que se infiltra en el suelo durante la prueba de infiltración. Esta prueba debe realizarse durante tres horas continuas como mínimo, y cada 2.500 m<sup>2</sup> o fracción de área de vertimiento proyectada

TABLA 2. NIVELES MÁXIMOS PERMISIBLES PARA LOS USUARIOS DIFERENTES A USUARIOS EQUIPARABLES Y A USUARIOS DE VIVIENDA RURAL DISPERSA

Parámetros	Unidad de medida	Velocidad de infiltración básica		
		CATEGORÍA I	CATEGORÍA II	CATEGORÍA III
		Velocidad de infiltración entre 16 a 27 mm/h	Velocidad de infiltración entre 2,6 a 15 mm/h o entre 28 a 52 mm/h	Velocidad de infiltración menor a 2,5 mm/h o mayor a 53 mm/h
<b>Generales</b>				
Temperatura	Grados Centígrados	±5°C que el rango de temperatura media anual multianual del lugar		
pH	Unidades de pH	6,5 a 8,5	6,5 a 8,6	6,5 a 8,7
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L O <sub>2</sub>	200,0	200,0	200,0
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)	mg/L O <sub>2</sub>	90,0	90,0	90,0
Sólidos Suspendidos Totales (SST)	mg/L	100,0	70,0	50,0
Sólidos Sedimentables (SSED)	mg/L	3,5	2,5	1,5
Grasas y Aceites	mg/L	20,0	20,0	20,0
Fenóles	mg/L	0,10	0,01	0,01
Sustancias Activas al Azul de Metileno (SAAM)	mg/L	0,5	0,5	0,5
Conductividad Eléctrica	(uS/cm)	1000,0	700,0	700,0
<b>Compuestos de Fósforo</b>				
Fósforo Total (P)	mg/L	5,0	5,0	2,0
<b>Compuestos de Nitrógeno</b>				
Nitratos (N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )		15,0	10,0	10,0
Nitrógeno Total (N)	mg/L	30,0	20,0	20,0
<b>Parámetros de salinidad y sodicidad</b>				
Relación de Absorción de Sodio (RAS)	Adimensional	6,0	6,0	3,0
Cloruros (Cl <sup>-</sup> )	mg/L	250,0	250,0	140,0
Sulfatos (SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> )	mg/L	250,0	250,0	250,0
<b>Matales y Metaloides</b>				
Aluminio (Al)	mg/L	5,0	3,0	1,0
Cadmio (Cd)	mg/L	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte
Cinc (Zn)	mg/L	3,0	2,0	2,0
Cobre (Cu)	mg/L	2,0	1,5	1,0
Cromo (Cr)	mg/L	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte
Manganeso (Mn)	mg/L	2,0	1,0	0,2
Plata (Ag)	mg/L	0,1	0,1	0,1
Plomo (Pb)	mg/L	3,0	2,0	0,1
<b>Hidrocarburos</b>				
Hidrocarburos Totales (HTP)	mg/L	2,5	2,5	1,0
<b>Parámetros Microbiológicos</b>				
Coliformes Totales	NMP/100mL	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte

#### IV. ESTUDIO DE CASO

Las nuevas exigencias establecidas en la Resolución 699 de 2021 obligan, no sólo a mejorar la eficiencia de los sistemas de tratamiento, para estar por debajo de los niveles máximos permisibles, sino que, debido a la reducción en las concentraciones de nutrientes como Nitrógeno y Fósforo, exige la implementación de medidas adicionales que reduzcan las concentraciones de estas sustancias, aguas arriba y aguas abajo del sistema de tratamiento.

A continuación, en las tablas 3 y 4 se presenta el comportamiento histórico del efluente de un sistema de tratamiento para un usuario diferente a usuario equiparable o a usuario de vivienda rural dispersa para los meses de enero de 2022 y abril de 2023, comparándolos con los valores máximos permitidos en la Resolución 0699 para la velocidad de infiltración Categoría II. [5], [6] y [7].

TABLA 3. RESULTADOS HISTÓRICOS DE CALIDAD DEL VERTIMIENTO (PARTE 1)

Fecha de muestreo	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Res. 0699/2021
Conductividad eléctrica	1012	1143	882,8	776,00	809,00	910,20	660,00	933,00	700
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)	64,5	24,8	37,2	38,80	68,00	25,20	25,00	51,00	90
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	122	63	81,7	94,60	129,00	53,70	46,50	98,00	200
Fosforo reactivo disuelto	4,2	6,38	4,69	4,37	1,29	8,97	5,57	8,33	
Fósforo Total (P)	4,7	7,01	5,16	4,70	1,90	9,79	6,19	9,00	5
Grasas y Aceites	2,29	3,58	2,08	2,06	2,30	2,56	8,14	2,51	20
Hidrocarburos Totales (HTP)	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	4,28	<2,0	2,5
Nitritos	<0,085	0,654	0,53	<0,085	1,25	0,55	3,89	0,09	
Oxígeno disuelto	3,83	3,46	4,358	1,62	2,24	3,22	3,30	3,75	
pH	7,96	7,84	7,49	7,60	8,05	7,58	6,48	7,87	6,5 a 8,5
Sólidos Sedimentables (SSED)	<0,1	<0,1	<0,10	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	2,5
Sólidos Suspendidos Totales (SST)	23	<20,00	<20,0	<20,0	38,00	26,00	<20,00	35,00	70
Sustancias Activas al Azul de Metileno (SAAM)	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	0,5
Temperatura	26	28,3	29,72	26,60	26,90	25,82	25,80	25,80	± 5°C media anual del lugar
Nitrógeno Total (N)	7,99	30,6	26,5	13,50	23,60	58,60	31,50	9,00	20
Nitrógeno Amoniacal	8,56	5,84	5,07	2,53	3,93	23,60	6,75	4,63	
Nitratos (N-NO3-)	0,735	0,531	0,628	0,89	0,32	0,55	0,48	0,47	10

TABLA 4. RESULTADOS HISTÓRICOS DE CALIDAD DEL VERTIMIENTO (PARTE 2)

Fecha de muestreo	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Res. 0699/2021
Conductividad eléctrica	845,00	731,00	910,00	669,80	703,00	986,00	1039	1038,00	700
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)	36,20	6,15	57,20	23,80	26,90	69,20	5,77	41,10	90
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	69,10	29,20	105,00	84,90	77,00	198,00	39,6	149,00	200
Fosforo reactivo disuelto	5,98	14,60	5,98	0,96	17,90	62,80			
Fósforo Total (P)	6,22	16,30	6,00	1,50	25,00	91,00	10,8	5,19	5
Grasas y Aceites	4,04	3,47	2,86	3,10	6,38	28,30	0,425	1,29	20
Hidrocarburos Totales (HTP)	2,03	<2,0	<2,0	<2,0	2,97	14,10	<0,2	0,54	2,5
Nitritos	1,56	18,00	<0,085	8,02	14,40	1,82			
Oxígeno disuelto	3,78	4,48	4,91	2,62	3,18	2,12			
pH	7,48	7,32	7,62	7,59	7,07	7,15	7,46	7,73	6,5 a 8,5
Sólidos Sedimentables (SSED)	0,10	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	2,5
Sólidos Suspendidos Totales (SST)	<20,0	<20,00	<20,0	<20,00	43,00	220,00	34	39,00	70
Sustancias Activas al Azul de Metileno (SAAM)	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,5	<0,5	0,5
Temperatura	26,62	26,80	27,30	26,18	26,10	27,60	26,2	25,70	± 5°C que el rango media anual del lugar
Nitrógeno Total (N)	27,80	7,01	28,20	34,10	33,90	14,20	58,6	63,60	20
Nitrógeno Amoniacal	15,80	2,04	14,10	23,70	25,40	11,80			
Nitratos (N-NO3-)	0,39	0,58	0,48	0,99	17,50	<1,00	<1,0	<1,0	10

Del análisis de estos datos, se observa que históricamente el vertimiento presenta valores por encima de la norma para los nutrientes Nitrógeno y Fósforo, para la conductividad y en algunos meses los Hidrocarburos, las grasas y los nitratos se encuentran por encima de los valores máximos permitidos.

## V. SOLUCIONES PROPUESTAS

Lograr cumplir con las nuevas exigencias establecidas en la Resolución 699 de 2021, requiere del análisis detallado de las diferentes fuentes de los elementos que en la actualidad superan los niveles máximos permitidos.

Para el caso de nitrógeno y fósforo, adicional de los aportes normales presentes en las heces fecales, los residuos de comida que ingresan al sistema de alcantarillado durante la preparación de los alimentos y el lavado de los platos y utensilios son un componente importante en el contenido de nutrientes al ingreso del sistema de tratamiento y por consiguiente a la salida de este.

El control de esta actividad es fundamental para reducir el contenido de nutrientes en el vertimiento y de esta forma procurar estar por debajo de los máximos permitidos.

En cuanto al contenido de grasas, al igual que en el caso anterior, el control en la cocina, al igual que un adecuado mantenimiento de las trampas de grasas, podría reducir las concentraciones al ingreso del sistema y de esta forma, cumplir con los niveles máximos permitidos a la salida.



Fig. 1 Actividades de limpieza de trampa de grasas, aguas de casino.

La optimización del sistema de tratamiento, incrementando el contenido de sólidos suspendidos volátiles en el reactor (microorganismo), además de aumentar la eficiencia en la remoción de DBO y DQO, que son los parámetros que principalmente se remueven en los sistemas de tratamiento actuales, también permitirá disminuir las concentraciones de nutrientes, ya que estos son consumidos en la formación de nuevos microorganismos.



Fig. 2 Control del contenido de SSV en el Reactor Biológico.

## VI. CONCLUSIONES

Además de las mejoras propuestas para disminuir la concentración de las sustancias que actualmente se encuentran por fuera de la norma, es necesario proyectar la construcción de sistemas de tratamiento complementarios para eliminar nutrientes, que son los parámetros que actualmente se encuentran por fuera de norma la gran mayoría de las veces.

Una de las alternativas viables que permiten reducir la concentración de estos elementos son los humedales, específicamente los de flujo horizontal subsuperficial, los cuales son sistemas que a pesar de su tamaño, tiene una buena eficacia en la eliminación de nitrógeno y fósforo, además que en las condiciones de clima de Casanare, son de fácil implementación.

#### REFERENCIAS

- [1] S. W. TECHNOLOGIES, [En línea].  
«<https://www.nyfdecolombia.com/normtividad-tratamiento-de-agua/tratamiento-de-aguas-residuales>,»
- [2] M. d. A. y. D. Sostenible, «Resolución 631 de 2015 Por la cual se establecen los parámetros y los valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de aguas superficiales y a los sistemas de alcantarillado público y se dictan otras disposiciones,» Diario Oficial 567, pp. 89-101, 17 MARZO 2015.
- [3] M. d. A. y. D. Sostenible, «Resolución 0699 de 2021 Por la cual se establecen los parámetros y los valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales de Aguas Residuales Domésticas Tratadas al suelo, y se dictan otras disposiciones,» Diario Oficial 456, pp. 78-90, 6 Julio 2021.
- [4] M. d. A. y. D. Sostenible, «Resolución 1207 de 2014 Por medio de la cual se adoptan disposiciones relacionadas con el uso de aguas residuales tratadas» Diario Oficial 789, pp. 12-34, 25 Junio 2014.
- [5] C. A. R. D. L. O. -CORPORINOQUIA, «Informe de Cumplimiento Ambiental para el primer semestre del año 2022 del Expediente 200.07.01-214,» Yopal, 2022-01.
- [6] C. A. R. D. L. O. -. CORPORINOQUIA, «Informe de Cumplimiento Ambiental para el segundo semestre del año 2022 del Expediente 200.07.01-214,» Yopal, 2022-02.
- [7] C. A. R. D. L. O. -. CORPORINOQUIA, «Informe de Cumplimiento Ambiental para el primer semestre del año 2023 del Expediente 200.07.01-214,» Yopal, 2023-01.

## Capítulo 6

# Evaluación de la calidad del agua de consumo humano y posible efecto adverso en la salud oral de la población de del municipio de Orocué entre los años 2018 a 2022

*Assessment of drinking water quality and potential adverse effects on oral health of Orocué population between years 2018 and 2022*

Lady Yuleima Montaña, Juan Carlos Lozano Sierra, Liliana Pérez

Facultad de Ciencias Naturales e Ingeniería  
Yopal, Colombia

ladymontana@unisangil.edu.co  
jclozano@unisangil.edu.co  
lilianaperez@unisangil.edu.co

### RESUMEN

El presente proyecto corresponde a un estudio descriptivo, retrospectivo y cuantitativo para analizar el nivel de exposición de fluoruros presentes en el agua para consumo humano y en cadena la descripción de la situación sanitaria respecto a la salud dental y posibles afecciones en la salud por ingesta de flúor en población entre 5 y 19 años de edad en el Municipio de Orocué Casanare. Luego, se formulan recomendaciones generales de acuerdo con los resultados obtenidos que contribuyan a disminuir el impacto que genera la presencia de flúor en el agua para consumo humano suministrada por el acueducto municipal entre los años 2018 y 2022.

**Palabras claves:** Exposición a flúor, fluorosis dental, agua potable, PTAP, salud pública, salud ambiental, gestión del recurso hídrico.

### ABSTRACT

This project corresponds to a descriptive, retrospective, and quantitative study to analyze the level of fluoride exposure in water for human consumption. In tandem, it aims to describe the health situation concerning dental health and potential health conditions due to fluoride intake in the population aged between 5 and 19 years in the Municipality of Orocué, Casanare. Subsequently, general recommendations are formulated based on the obtained results to contribute to reducing the impact generated by the presence of fluoride in the water supplied by the municipal aqueduct between the years 2018 and 2022.

**Keywords:** Fluoride exposure, dental fluorosis, drinking water, water treatment plant (WTP), public health, environmental health, water resource management.

## I. INTRODUCCIÓN

La exposición al fluoruro en el agua potable y su posible efecto adverso en la salud de la población de Orocué son temas que paradójicamente están relacionados. Teniendo en cuenta que hay diversas fuentes de exposición, entre ellas el agua subterránea, que por condiciones geológicas tiende a tener concentraciones elevadas de fluoruro.

Se destaca la necesidad de evaluar la calidad del agua, específicamente la concentración de fluoruro suministrada por la planta de tratamiento de agua potable La Manga.

Además, se menciona la preocupación en la comunidad sobre posibles problemas dentales relacionados con el agua.

El estudio busca establecer una relación entre la concentración de fluoruro en el agua y la fluorosis dental en niños y adolescentes, con el objetivo de garantizar la salud pública y promover la gestión adecuada del recurso hídrico en Orocué.

## II. METODOLOGÍA

Se desarrollaron las siguientes seis fases para el cumplimiento de los objetivos del proyecto.



Fig. 1 Diagrama de Metodología o fases del proyecto.

## III. ANÁLISIS Y RESULTADO

Más del 80% de la población total de Orocué, según Censo Nacional de 2018, se cataloga en los grupos A y B del Sisbén; donde A se clasifica como pobreza extrema “población con menor capacidad de generación de ingresos” y B pobreza moderada “población con mayor capacidad de generar ingresos que los del grupo A” [1]. Esto significa que la gran mayoría de la población enfrenta situaciones de pobreza, presentando dificultades para generar ingresos suficientes para satisfacer sus necesidades básicas. Esto destaca la necesidad de programas y políticas

sociales para ayudar a mejorar las condiciones de vida de estas personas. Ver Figura 2.

Así mismo, la población proyectada total para el municipio de Orocué para el año 2022 se estimó en 9.463 habitantes de los cuales 4.087 habitantes pertenecían a la población en la edad de estudio (5-19 años), que corresponde a un 43% de la población total. [1]. Siendo esta, una parte significativa de la población.

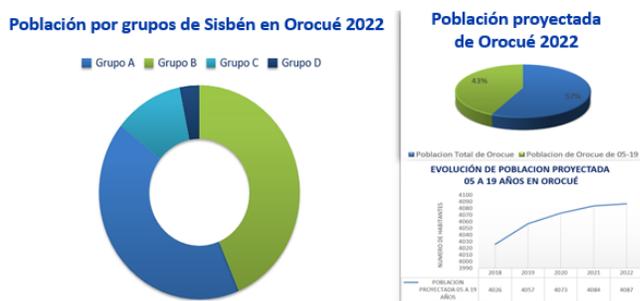


Fig. 2 Dinámica demográfica de Orocué desde 2018 a 2022.

Fuente propia adaptado senso del DANE 2018. [5]

Para el 2018 el 29,29% de la población del municipio de Orocué tenía necesidades básicas insatisfechas; mostrándose así por encima del departamento, quien para el mismo año reportó una proporción del 15,89%; lo que sugiere una diferencia de 13,4 puntos porcentuales. De igual manera se encontró que es tres veces más alta la proporción de este indicador en zona rural que en área urbana [2].

Actualmente la planta de tratamiento de agua potable PTAP La Manga no cuenta un mapa de riesgo como lo exige la resolución 2115 de 2007. La falta de un mapa de riesgo y la persistencia de altas concentraciones de fluoruros en el agua pueden tener consecuencias en la salud pública y salud ambiental del Municipio de Orocué, asimismo incumplimiento por los lineamientos planteados en la legislación colombiana y el deterioro en la infraestructura del acueducto.

En la tabla 1 se puede observar el resultado del análisis de Fluoruro de las muestras de aguas tomadas el día 7 de septiembre de 2023 en la PTAP La Manga antes de iniciar el proceso de tratamiento de agua para consumo humano y después de ser tratada.

TABLA 1. RESULTADO DEL ANÁLISIS DE FLUORUROS EN MG/L ANTES Y DESPUÉS DEL TRATAMIENTO EN LA PTAP LA MANGA

Muestra	Fecha Análisis	Resultados	Res. 2115/2007
Antes	14/09/2023	4,03	N/A
Después	13/09/2023	4,03	1



pueden causar fluorosis dental y las exposiciones superiores 0,2 mg/kg peso corporal/ día podrían llevar a fluorosis esquelética. Dentro de los efectos adversos en salud que pueden generar los fluoruros a niveles elevados en agua de consumo están la fluorosis dental y esquelética, deformación de los tejidos duros, artritis, infertilidad, hipertensión, efectos neurotóxicos, daños en tejidos como testículos, hígado, riñones y pulmones, daños en la glándula paratiroidea, problemas cardiovasculares incluyendo aterosclerosis y calcificación arterial, daño en el miocardio, falla e insuficiencia cardiaca. De manera recurrente, durante los años 2020 y 2021, la exposición a fluoruros evaluada para el municipio de Orocué, en Casanare, representa un posible riesgo para la población, especialmente la infantil por posible desarrollo de fluorosis dental.

En el año 2013, se realizó identificación y caracterización de pacientes con Fluorosis dental en el municipio de Orocué por parte de la alcaldía municipal donde la totalidad de casos de fluorosis encontrados fue de 394, donde se clasificaron según el índice de Dean en 27% leve; 25% muy leve, 25% moderado; 11% severo y 12% dudoso. Así mismo, durante este tamizaje, más del 86% de la población manifestó que la fuente de consumo de agua era el acueducto municipal, es decir la PTAP La Manga. Ver figura 9 [5].



Fig. 7. Niños con fluorosis dental 2013 Orocué. Informe identificación de casos de fluorosis en el municipio, área urbana de Orocué, 2013 [19].

En la figura 8 se analiza la dinámica de la población versus la fluorosis dental, donde en la población de estudio de edades entre 6 y 19 años se estima que aproximadamente el 18% presenta fluorosis dental; un 8% de la población de la cabecera municipal y un 5% de la población total de Orocué. [5]

Estos porcentajes de casos de fluorosis en la población total, deberían considerarse como un problema de salud pública. Esta alta prevalencia indica una situación que afecta a una parte considerable de la población y puede tener un impacto significativo en la salud oral y la calidad de vida de las personas.

### Porcentaje de población estudio con Fluorosis dental Orocué 2013

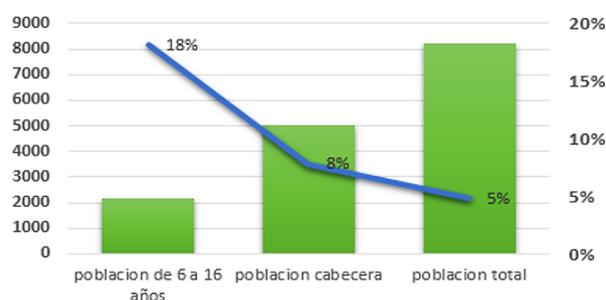


Fig. 8 Dinámica de la población de Orocué vs diagnósticos de fluorosis dental, 2013. [19]

### PORCENTAJE SEGÚN FUENTE DE CONSUMO DE AGUA

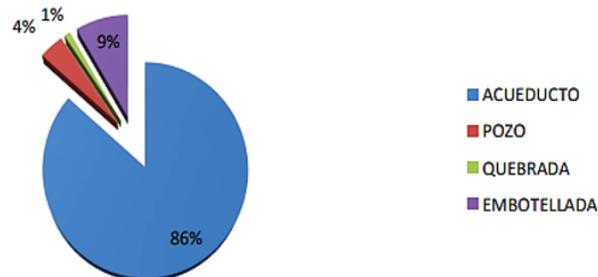


Fig. 9 Dinámica de la población de Orocué vs diagnósticos de fluorosis dental, 2013. Informe identificación de casos de fluorosis en el municipio, área urbana de Orocué, 2013. [19]

## IV. RECOMENDACIONES/ALTERNATIVAS

Los elementos del sistema de potabilización del Municipio de Orocué, en la actualidad no cuentan con la capacidad de remover el contenido de Flúor presente en el agua cruda proveniente del acuífero de la zona. Se observa que, aunque existe un sistema complementario de intercambio iónico, construido para disminuir los altos contenidos de Flúor en el agua para consumo humano, los resultados obtenidos muestran que no tiene ninguna efectividad.

Aunque en la teoría se encuentran diferentes alternativas de tratamiento para reducir el contenido de Flúor en el agua, como es la precipitación química, intercambio aniónico u ósmosis inversa, concluir cuál de ellas es la más recomendada para el municipio de Orocué, requiere de pruebas adicionales de tratabilidad, que evalúen la eficiencia de cada una de estas en función del costo para su implementación.

Sin embargo, lo que es claro de lo encontrado en el presente estudio, es que hay una relación entre el contenido de Flúor en el agua y los casos de fluorosis que se presentan en el Municipio, y es urgente realizar todas las actividades necesarias para dar solución a esta problemática.

Desde el programa de Ingeniería Ambiental, se propone la creación de una línea de investigación, que evalúe la viabilidad técnica y económica de cada una de las alternativas de tratamiento. Y si ninguna de ellas es viable, revisar el cambio de fuente de abastecimiento, como es el Río Meta, el cual cuenta con el caudal suficiente para suplir las necesidades de agua de la totalidad de los habitantes del municipio.

De manera paralela, a través de los referentes de salud de la zona, y en conjunto con el Invima, promover la producción y distribución de elementos como sal y pasta dental a los que no se les haya añadido Flúor, ya que esto incrementa aún más la exposición de la comunidad a este elemento y por consiguiente la probabilidad de desarrollar la condición.

#### IV. CONCLUSIONES

El agua fluorada del acueducto de Orocué es la principal fuente de exposición al fluoruro. Y las concentraciones reportadas en los últimos 10 años que superan desde 3 a 10 veces los límites permitidos por la resolución 2115 de 2017 representan un posible riesgo para la salud pública, influyendo a la prevalencia por fluorosis dental.

La exposición al fluoruro puede contribuir a cambios complejos en la función renal y hepática entre los jóvenes y los hallazgos también sugieren que los adolescentes con una función renal o hepática deficiente pueden absorber más fluoruro en sus cuerpos. [6]

Los últimos 5 años de revisión del ASIS de Orocué, en prioridades identificadas en la morbilidad atendida, en Orocué; encabezó siempre las condiciones orales de la población y en tendencia en aumento constante. [2]

El sistema de potabilización no cuenta con la infraestructura necesaria para eliminar las altas concentraciones de Flúor en el agua cruda y tampoco se

tiene el conocimiento para definir la mejor tecnología a implementar, para resolver esta situación.

A pesar de las altas concentraciones de flúor en el agua destinada al consumo humano, se la ofrece a la comunidad productos que incrementan aún más la exposición a este elemento, con las consecuencias a la salud que ha sido ampliamente documentada.

#### REFERENCIAS

- [1] [P. Libre, «Casos de Fluorosis en Orocué tendrían origen en acueducto municipal,» 15 noviembre 2016. [En línea]. Available: <https://prensalibrecasanare.com/salud/23121-casos-de-fluorosis-en-orocuy-tendrian-origen-en-acueducto-municipal.html>.
- [2] M. S. S. J. S. J. Hsu, «Bayesian Inference of a Multivariate Regression Model,» *Journal of Probability and Statistics*, 2014.
- [3] Y. Perez, «significancia de codigos para resultados de regresion lineal,» Yopal, 2022.
- [4] R. Bevans, «Linear Regression in R | A Step-by-Step Guide & Examples,» 2022.
- [5] DANE, «Proyecciones de Poblacion por Municipio con base en el censo 2018,» 2018. [En línea]. Available: <https://www.dane.gov.co/index.php/servicios-al-ciudadano/tramites/cultura-estadistica>.
- [6] Alcaldía Municipal de Orocué, «ANÁLISIS SITUACIONAL DE SALUD-ASIS 2021,» Secretaría de Desarrollo Social Orocué, OROCUE, 2021.
- [7] A. M. d. Orocué, «ANÁLISIS DE SITUACIÓN DE SALUD CON EL MODELO DE LOS DETERMINANTES,» Secretaría de Desarrollo Social, Orocué, 2022.
- [8] I. A. Cedeño, Interviewee, Director de la PTAP. [Entrevista]. 07 Sept. 2023.
- [9] V. y. D. y. M. d. I. P. S. Ministerio de Ambiente, RESOLUCION 2115 DE 2007, Bogotá, DC, 2007.
- [10] A. SAS, «Planta de Tratamiento de Agua potable La Manga en Orocué Casanare,» Orocué.
- [11] E. C. Ramírez, «Plan de mejoramiento de la planta de potabilización La MANGA en el municipio de orocué, casanare,» Universidad de Pamplona, Orocué, 2021.
- [12] I. I. D. d. S. d. Nariño, «VIGILANCIA EN SALUD PUBLICA Exposición a Flúor,» Gobernacion de Nariño, Nariño, 2018.
- [13] INS, «Resultados estudio especial analisis fisicoquimico en el agua para consumo humano en 10 departamentos priorizados de Colombia 2021,» Ministerio de Salud, Bogotá, 2021.
- [14] A. M. d. Orocué, «ASIS,» OROCUE, 2021.
- [15] Minvivienda, «INCA Informe Nacional de Calidad del Agua para Consumo Humano,» Bogotá, 2021.
- [16] A. M. d. Orocué, «ASIS,» Orocué, 2022.
- [17] I. I. N. d. Salud, 2022. [En línea]. Available: [www.ins.gov.co](http://www.ins.gov.co).
- [18] S. d. S. D. d. Casanare, «Respuesta Solicitud de Indormacion,» Yopal, 2023.
- [19] A. M. Vera, «Identificación de casos de fluorosis en el municipio» Orocué, 2013.
- [20] S. D. d. S. d. Casanare, «Informe epidemiológico de eventos de interés en salud pública, casanare-colombia, 2019,» Yopal, 2020.
- [21] INS, «Exposición a flúor (Centinela) Periodo epidemiológico III Colombia, 2019,» 2019.
- [22] AGUAEP SAS, «Manual General Planta de Tratamiento de Agua potable La Manga,» Orocué, 2018.
- [23] M. Sinai, «El fluoruro puede disminuir la función renal y hepática en adolescentes, sugiere un estudio,» Environment International, Nueva York, 2019.
- [24] A. M. d. Orocué, «ASIS 2018,» Orocué, 2018.
- [25] A. M. d. Orocué, «ASIS 2020,» Orocué, 2020.
- [26] A. SAS, «Manual General Planta de Tratamiento de Agua potable La Manga,» Orocué.

## Capítulo 7

# Dispositivo electrónico no invasivo para monitoreo de ubicación y variables fisiológicas de bovinos

*Non-invasive electronic device for monitoring location and physiological variables of cattle*

Jehison Andres Rodríguez-Solano, Juan Esteban Rico-Patiño, Julian Andres Ramirez-Bautista

Fundación Universitaria de San Gil - UNISANGIL  
Facultad de Ciencias Naturales e Ingeniería  
San Gil, Colombia

jehisonrodriguez@unisangil.edu.co  
juanpatino@unisangil.edu.co  
jramirez@unisangil.edu.co

### RESUMEN

Este trabajo presenta un dispositivo electrónico no invasivo diseñado para monitorear la ubicación y variables fisiológicas de bovinos, abordando desafíos significativos en la industria ganadera colombiana. El objetivo principal es mejorar la salud y bienestar animal, así como aumentar la eficiencia y sostenibilidad de la producción ganadera. La metodología incluye la identificación de enfermedades prevalentes, la selección de sensores como MLX90614 y MAX30102 para medir temperatura y ritmo cardíaco, respectivamente, y el uso de un módulo GPS NEO 6M para el monitoreo de ubicación. Las pruebas unitarias demuestran la confiabilidad de los sensores, y las pruebas de campo en un prototipo confirman la precisión y utilidad del dispositivo en condiciones reales. Los resultados indican que el sistema es capaz de proporcionar lecturas precisas y notificaciones instantáneas a los propietarios, mejorando la toma de decisiones informadas. En conclusión, este dispositivo ofrece una herramienta valiosa para los ganaderos al facilitar la gestión efectiva del ganado, la detección temprana de enfermedades y la implementación de medidas preventivas, contribuyendo así a la mejora global de la industria ganadera.

**Palabras claves:** Ganadería, localización, Monitoreo Electrónico, Producción de Ganado.

### ABSTRACT

This paper presents a non-invasive electronic device designed to monitor the location and physiological variables of cattle, addressing significant challenges in the Colombian cattle industry. The main objective is to improve animal health and welfare, as well as to increase the efficiency and sustainability of cattle production. The methodology includes the identification of prevalent diseases, the selection of sensors such as MLX90614 and MAX30102 to measure temperature and heart rate, respectively, and the use of a NEO 6M GPS module for location monitoring. Unit tests demonstrate the reliability of the sensors, and field tests on a prototype confirm the accuracy and usefulness of the device in real-world conditions. Results indicate that the system is capable of providing accurate readings and instant notifications to owners, improving informed decision making. In conclusion, this device provides a valuable tool for livestock owners by facilitating effective livestock management, early disease detection and implementation of preventive measures, thus contributing to the overall improvement of the livestock industry.

**Keywords:** Livestock, location, Electronic Monitoring, Livestock Production.

## I. INTRODUCCIÓN

En Colombia, la ganadería es un sector de gran relevancia, generando el 6% del empleo nacional y contribuyendo con un 1.4% al Producto Interno Bruto (PIB) del país, así como con un significativo 21.8% al PIB agropecuario[1]. A pesar de su importancia económica, la industria ganadera colombiana enfrenta desafíos considerables, con pérdidas anuales que alcanzan los 500 mil millones de pesos debido a diversas causas, especialmente la mortalidad del ganado. Esto se agrava por la falta de una sólida cultura de prevención en la comunidad ganadera colombiana, donde el 81% de los ganaderos posee menos de 50 cabezas de ganado, lo que dificulta la implementación de estándares adecuados de higiene y producción [2].

La detección temprana de enfermedades en sistemas agro pastoriles es un factor crítico para preservar la sanidad animal y reducir tanto el uso indiscriminado de medicamentos como el riesgo de desarrollar resistencia a los antibióticos. En este contexto, la integración de la tecnología en la industria ganadera emerge como un recurso prometedor para mejorar la productividad, reducir las pérdidas económicas y mitigar los riesgos sanitarios asociados.

El desarrollo de sistemas electrónicos para el monitoreo y control de la salud y el bienestar de los animales ha sido un foco de interés de investigadores, donde han utilizado tecnologías como RFID, GPS y sistemas de nodos con GPS para monitorear la ubicación de los bovinos y prevenir el robo de ganado [3]. Otros han desarrollado sistemas con la plataforma Arduino y diferentes sensores para monitorear variables fisiológicas en bovinos y detectar enfermedades de manera temprana, también se encontraron proyectos que utilizan tecnologías inalámbricas como GPS, Wi-Fi y NFC para el registro y supervisión de ganado bovino [4]. Además, Investigaciones como la realizada por el Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria de España, evalúan el empleo de tecnología GPS para el seguimiento de la ubicación y movimiento de los animales con el objetivo de prevenir y controlar enfermedades infecciosas en el ganado, destacando la efectividad de estas tecnologías en la gestión de la sanidad animal [5]. La implementación de sistemas de identificación electrónica, como la tecnología RFID, ha sido ampliamente utilizada en la ganadería bovina para el monitoreo y la gestión del ganado. Estos sistemas permiten el registro automático de información sobre la identidad y el historial médico de cada animal, mejorando la trazabilidad y la eficiencia en la gestión del rebaño [6].

En el trabajo se muestra el desarrollo de un dispositivo electrónico que permite el monitoreo de la ubicación y variables fisiológicas de bovinos, que sirve como

herramienta para futuras aplicaciones en el diagnóstico temprano de enfermedades infecciosas. La relevancia de este estudio radica en su contribución a la mejora de la salud y bienestar de los animales, así como a la eficiencia y sostenibilidad de la producción ganadera.

## II. MATERIALES Y MÉTODOS

De manera general se consideran tres componentes principales en el dispositivo: la adquisición de parámetros fisiológicos, el monitoreo de ubicación y el envío de información. Para conocer variables fisiológicas adecuadas, se identificaron las enfermedades infecciosas bovinas prevalentes en el territorio nacional con el fin de determinar que parámetros fisiológicos tienen mayor relevancia en la identificación del estado de salud del ganado. Entre las enfermedades analizadas se incluyen la fiebre aftosa [7], la tripanosomiasis bovina [8], la babesiosis bovina [9][10], la anaplasmosis bovina [10] y la leptospirosis bovina [11]. Estas enfermedades presentan síntomas comunes, como fiebre y aumento del ritmo cardíaco, lo que resalta la importancia de monitorear estos parámetros fisiológicos de los bovinos, para lo que se usa el sensor MLX90614, con un margen de error de  $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$  en el rango de  $-40^{\circ}\text{C}$  a  $125^{\circ}\text{C}$ , y el sensor MAX30102, que proporciona mediciones de ritmo cardíaco con variaciones máximas de 5 BPM en reposo.

Para el monitoreo de ubicación se usa un módulo GPS NEO 6M, que proporciona información geográfica precisa con un margen de error de 1 a 5 metros. La ubicación es un aspecto crucial para la gestión de la explotación ganadera, ya que permite un seguimiento eficiente de la actividad y el comportamiento de los animales.

La comunicación de datos se efectúa a través del módulo SIM 808, que utiliza la red GSM para enviar información al dispositivo móvil del propietario. La configuración adecuada de este módulo es esencial para garantizar la transmisión eficaz de datos, incluyendo la temperatura corporal, el ritmo cardíaco y la ubicación de los bovinos. Los datos recopilados se almacenan para su respectiva visualización. Para el procesamiento de la información se usa un microcontrolador Atmega328p, que se destaca por su bajo consumo y capacidad para manejar la electrónica seleccionada. La interconexión de la electrónica seleccionada se muestra en Fig. 1.

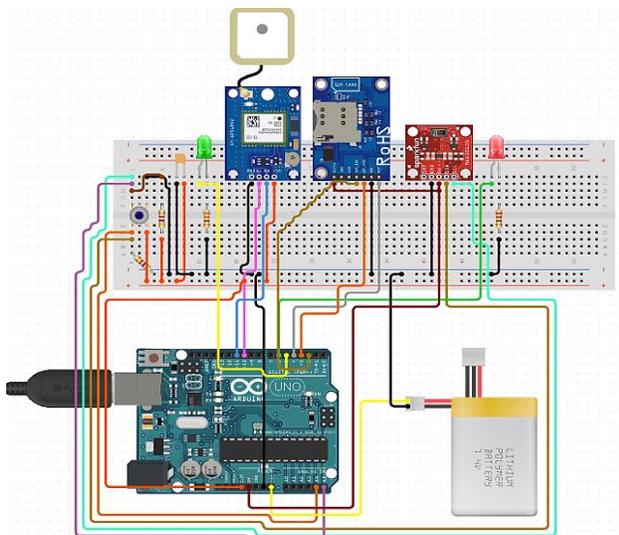


Fig. 1 Conexión dispositivo electrónico de monitoreo.

### III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La interacción del dispositivo con el animal y el encargado de llevar el control se realiza como se observa en la Fig. 2. Donde existe comunicación en una sola vía, tomando los datos de interés del bovino para posteriormente enviarlos por mensaje de texto al encargado.

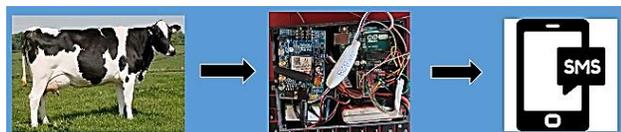


Fig. 2. Diagrama de interacción del sistema

#### A. Pruebas Unitarias

Para validar el funcionamiento de los diferentes sensores y módulos utilizados en el sistema, se realizan pruebas unitarias en condiciones controladas con patrones de referencia comerciales.

- *Prueba Sensor de Temperatura (MLX90614):*

Se realizó una prueba en condiciones de laboratorio, donde se monitoreó la temperatura corporal de una persona y se comparó con los valores obtenidos con una cámara térmica FLUKE TIS45, que tiene un margen de error de  $\pm 2$  °C o  $\pm 2$  % de la lectura. Se tomaron 6 lecturas cada 10 minutos con ambos dispositivos y se compararon los valores promedio (Tabla 1). La diferencia entre las lecturas de los dos dispositivos fue de 0.09°C, lo que indica la confiabilidad del sensor MLX9014 para su uso en el sistema de monitoreo bovino.

TABLA 1. DATOS OBTENIDOS EN PRUEBA DE LABORATORIO MLX90614

	MLX90614	Fluke TiS45	Error Porcentual %
1	33,49	33,60	-0,33
2	33,55	33,90	-1,03
3	33,61	33,60	0,03
4	33,93	34,20	-0,79
5	33,85	34,00	-0,44
6	33,83	33,54	0,86
Promedio	33,71	33,81	-0,29

- *Prueba de Ritmo Cardíaco (MAX30102)*

Se compararon los resultados con una Smart Band de Xiaomi conocida por su fiabilidad en la medición de la frecuencia cardíaca. Durante la prueba, se recopilaron datos de ambos dispositivos mientras se monitoreaba el ritmo cardíaco de una persona en reposo. Los resultados mostraron variaciones de hasta 5 BPM entre los dispositivos debido a la estabilidad y la posición de la persona monitoreada estas variaciones corresponden al 1,0% de error porcentual de los valores tomados por los dos dispositivos (tabla 2).

TABLA 2. RESULTADOS PRUEBA CONTROLADA RITMO CARDÍACO

	Ritmo cardíaco	Ritmo cardíaco	Error porcentual %
1	56	55	1,82
2	70	74	-5,41
3	58	55	5,45
4	60	63	-4,76
5	61	66	-7,58
6	71	68	4,41
Promedio	62,66666667	63,5	-1,0

- *Prueba de ubicación (GPS NEO 6M)*

Las pruebas se llevaron a cabo en el entorno controlado de las instalaciones de Unisangil, y se seleccionó una ubicación específica para garantizar la operación efectiva del módulo GPS. Se consideraron diversos factores que podrían influir en la conectividad del módulo, como las condiciones climáticas y la presencia de obstáculos físicos. Se realizaron dos pruebas distintas para evaluar el módulo GPS NEO 6M: la primera se enfocó en establecer una conexión exitosa con los satélites y obtener coordenadas de ubicación precisas (Fig. 3), mientras que la segunda se centró en probar la funcionalidad del cerco virtual, que delimita una zona geográfica específica y notifica al usuario si el módulo se desplaza fuera de esta área designada (Fig. 4).

```

*****
5 304 6.335406 -73.148666 66 07/06/2023 00:35:28
5 304 6.335401 -73.148674 96 07/06/2023 00:35:29
5 617 6.335399 -73.148674 233 07/06/2023 00:35:30
7 114 6.335360 -73.148704 364 07/06/2023 00:35:31
7 114 6.335336 -73.148719 382 07/06/2023 00:35:32
7 114 6.335323 -73.148735 390 07/06/2023 00:35:33
7 114 6.335316 -73.148735 398 07/06/2023 00:35:34
7 114 6.335310 -73.148742 408 07/06/2023 00:35:35
7 114 6.335307 -73.148750 413 07/06/2023 00:35:36
*****
    
```

Fig. 3 Comunicación del GPS NEO 6M visto en monitor serial.

A través del monitor serial del Arduino, se presentan los valores de latitud y longitud que indican la ubicación actual del dispositivo con precisión.

En el proceso de diseñar el cerco virtual, el primer paso consiste en establecer el punto central de la zona donde se implementará y definir un radio permitido para el movimiento del animal. Basado en estos parámetros, el sistema emplea las fórmulas de Harvesine, una técnica matemática que calcula la posición entre dos puntos de referencia: un punto central predefinido y la posición actual del módulo para determinar si el bovino se encuentra dentro de este espacio delimitado. Para brindar una visualización clara del área de permanencia del bovino, se crea un círculo representativo en Google Earth (Fig. 4).



Fig. 4 Zona de prueba cerco virtual.

- Prueba de comunicación y transmisión de información (sim808)

La validación se llevó a cabo utilizando la plataforma Arduino y comandos AT con el fin de verificar la funcionalidad integral del módulo, específicamente en su capacidad para enviar mensajes de texto (Fig. 5).

```

COM3
-----
Initializing...
AT
OK
AT+CMGF=1
OK
AT+CMGS="+573026659159"
PRUEBA EXITOSA SIM808
    
```

Fig. 5 Envío de comandos AT

En la fase inicial, se estableció comunicación bidireccional entre el Arduino y el módulo SIM808 a través de la interfaz serial. Se transmitieron y recibieron comandos AT, permitiendo así la configuración detallada del módulo para operaciones de envío de mensajes (Fig. 6).



Fig. 6 Recepción de mensaje del SIM808.

**Pruebas de campo con prototipo**

Se realiza la interconexión de todos los sensores con el microcontrolador, con el fin de integrarlos de manera efectiva en la carcasa diseñada (Fig. 7). Se aseguró ajuste de todos los componentes dentro de la carcasa, evitando cualquier espacio excesivo o apretado que pudiera dar lugar a problemas de sobrecalentamiento o cortocircuitos en el cableado (Fig. 8).

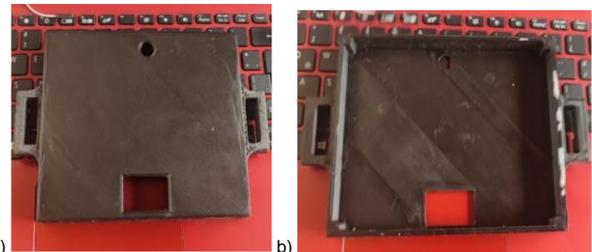


Fig. 7 Vista tapa carcasa. a) Exterior. b) Interior.



Fig. 8 Sistema electrónico ensamblado en carcasa.

Se utiliza la estrategia de doble batería, considerando que el módulo GSM consume un pico de alrededor de 1 Amp. cuando conecta con la red, por ello para evitar que el microcontrolador se apague por el pico de alta corriente que demanda, se utiliza alimentación separada.

Inicialmente se consideró colocar el dispositivo en un bovino adulto, pero debido a restricciones de disponibilidad durante la fase de pruebas, se tuvo que usar a un ternero de 4 meses de edad que se encontraba en condiciones de estabulamiento (Fig. 9).



Fig. 9 Dispositivo colocado en bovino

Las lecturas obtenidas son precisas y se encuentran dentro de los valores normales de referencia previamente establecidos. La Fig. 10 muestra los mensajes generados por el dispositivo. Estos mensajes incluyen información sobre las variables fisiológicas de interés, así como un enlace para acceder a Google Maps.

Con estas pruebas y verificaciones realizadas, se confirma el resultado y correcto funcionamiento del dispositivo de monitoreo en el bovino, proporcionando lecturas precisas y dentro de los valores normales de referencia. La información obtenida permite mejorar la gestión y cuidado del ganado bovino, ofreciendo una herramienta valiosa para los ganaderos en la toma de decisiones.



Fig. 10 Mensajes generados por el dispositivo de monitoreo.

### III. CONCLUSIONES

Mediante el análisis detallado de tecnologías electrónicas de monitoreo, se estableció una sólida base para el desarrollo del dispositivo. La combinación de un sistema de monitoreo de posición mediante GPS, la adquisición precisa de variables fisiológicas y un sistema de transmisión de información de fácil alcance en las zonas rurales ha dado como resultado un enfoque integral que beneficia tanto la salud del ganado como la eficiencia en la gestión.

La posibilidad de establecer zonas de permanencia, la detección temprana de cambios en la salud y la notificación instantánea a los propietarios contribuyen a una mejora significativa en la toma de decisiones informadas y la protección del ganado.

### REFERENCIAS

- [1] ADELASA, "El enorme aporte de la ganadería a la economía de Colombia," 2022, 2022. <https://agriculturadelasamericas.com/pecuaria/productores-ganaderos-y-seguridad-alimentaria-mundial/> (accessed Mar. 28, 2023).
- [2] Empresa Colombiana de Productos Veterinarios - VECOL, "Proyectos Piloto de Excelencia Sanitaria en GANADERIA BOVINA DE LECHE," *Proy. Excel. Sanit.*, pp. 1–64, 2016.
- [3] C. T. Botia Barragán and E. V. Moya Porras, "Universidad Santo Tomás Ingeniería Electrónica Bogotá D.C.," 2021.
- [4] K. Swain and S. K. Pattnayak, "Sistema de monitoreo de la salud del ganado usando Arduino y LabVIEW para la detección temprana de enfermedades," pp. 3–7, 2017.
- [5] H. Steinfeld, P. Gerber, T. Wassenaar, V. Castel, and M. Rosales, "La larga sombra del ganado.," 2009.
- [6] Y. Rivera García, L. Alberto, E. Ponce, J. Miguel, M. Alonso, and M. N. Huerta, "SISTEMA DE MONITOREO DE GANADO BOVINO," *Pist. Educ.*, vol. 39, no. 127, Jan. 2018, Accessed: Oct. 24, 2023. [Online]. Available: <https://pistaseducativas.celaya.tecnm.mx/index.php/pistas/article/view/1075>.
- [7] "Fiebre aftosa - OMSA - Organización Mundial de Sanidad Animal." <https://www.woah.org/es/enfermedad/fiebre-aftosa/> (accessed Nov. 10, 2023).
- [8] R. Zapata Salas *et al.*, "Tripanosomiasis bovina en ganadería lechera de trópico alto: primer informe de Haematobia irritans como principal vector de T. vivax y T. evansi en Colombia," *Rev. Med. Vet. (Bogota)*, no. 33, pp. 21–34, Nov. 2017, doi: 10.19052/MV.4048.
- [9] J. González-Obando, A. F. Holguín-Rocha, A. Tobón-Castaño, J. González-Obando, A. F. Holguín-Rocha, and A. Tobón-Castaño, "Diagnóstico de Babesia bovis (Babesiidae) y Babesia bigemina (Babesiidae) en garrapatas recolectadas en los municipios Turbo y Necoclí (Antioquia) en 2014," *Actual. Biológicas*, vol. 41, no. 111, pp. 65–71, Feb. 2019, doi: 10.17533/UDEA.ACBI.V41N111A05.
- [10] "Anaplasmosis y babesiosis: estudio actual | Pensamiento y Acción." [https://revistas.upte.edu.co/index.php/pensamiento\\_accion/article/view/9723](https://revistas.upte.edu.co/index.php/pensamiento_accion/article/view/9723) (accessed Nov. 10, 2023).
- [11] B. R. Bautista T. MVZ *et al.*, "Leptospirosis: enfermedad de importancia en salud pública," *Rev. Colomb. Cienc. Anim. recia*, vol. 11, no. 2, pp. 108–118, Oct. 2019, doi: 10.24188/RECIA.V11.N2.2019.727.

## Capítulo 8

# Avances en las técnicas de inmovilización de la enzima lacasa para la detección de fenol en aguas de producción de la industria del petróleo y gas: una revisión

*Advances in laccase enzyme immobilization techniques for the phenol detection in production waters of the oil and gas industry: a review*

Ana Rocío Córdoba Malaver<sup>1,2</sup>, Sebastián Roa Prada<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Fundación Universitaria de San Gil – UNISANGIL

<sup>2</sup>Universidad Autónoma de Bucaramanga

San Gil, Colombia

acordoba629@unab.edu.co

sroa@unab.edu.co

### RESUMEN

Se realiza una revisión de los avances en las técnicas de inmovilización de la enzima lacasa para su aplicación en biosensores destinados a detectar y cuantificar fenol en las aguas de producción de la industria del petróleo y gas. El fenol es un compuesto tóxico ampliamente utilizado en la industria petroquímica, y su presencia en las aguas de producción representa una preocupación ambiental y para la salud pública. El uso de biosensores basados en lacasa se presenta como una estrategia prometedora para abordar este desafío. Se destacan los avances en la inmovilización de lacasa utilizando diferentes métodos, como el uso de nanomateriales, matrices sólidas, encapsulación en matrices protectoras, unión covalente a superficies sólidas y reticulación en matrices tridimensionales. Estos enfoques buscan mejorar la sensibilidad, estabilidad y actividad catalítica de los biosensores. La optimización de los parámetros de inmovilización, la modificación de superficies y la funcionalización de nanomateriales se mencionan como estrategias clave para mejorar la interacción enzima-sustrato y la eficiencia de inmovilización. En general, estos avances han demostrado mejoras significativas en la sensibilidad y estabilidad de los biosensores, lo que los hace más adecuados para detectar y monitorear fenol en las aguas de producción de la industria del petróleo y gas, y así garantizar la seguridad ambiental y la salud pública en el contexto de la industria Oil & Gas.

**Palabras claves:** Agua de producción, Biosensor, Fenol, Inmovilización de enzimas, Lacasa.

### ABSTRACT

A review of advances in laccase enzyme immobilization techniques for application in biosensors to detect and quantify phenol in produced waters of the oil and gas industry is reviewed. Phenol is a toxic compound widely used in the petrochemical industry, and its presence in produced waters represents an environmental and public health concern. The use of laccase-based biosensors is presented as a promising strategy to address this challenge. Advances in the immobilization of laccase using different methods, such as the use of nanomaterials, solid matrices, encapsulation in protective matrices, covalent binding to solid surfaces and cross-linking in three-dimensional matrices, are highlighted. These approaches aim to improve the sensitivity, stability and catalytic activity of biosensors. Optimization of immobilization parameters, surface modification and functionalization of nanomaterials are mentioned as key strategies to improve enzyme-substrate interaction and immobilization efficiency. Overall, these advances have demonstrated significant improvements in the sensitivity and stability of biosensors, making them more suitable for detecting and monitoring phenol in the production waters of the oil and gas industry, thereby ensuring environmental safety and public health in the context of the Oil & Gas industry.

**Keywords:** Production water, Biosensor, Phenol, Enzyme immobilization, Laccase.

## I. INTRODUCCIÓN

En los últimos años, ha surgido una creciente preocupación por la presencia de contaminantes en las aguas de producción de la industria del petróleo y gas, también conocida como Oil & Gas. Entre estos contaminantes se encuentra el fenol, un compuesto tóxico ampliamente utilizado en la industria petroquímica. La detección precisa y la monitorización de la concentración de fenol en estas aguas son fundamentales para garantizar la seguridad ambiental y la salud pública. En este contexto, el desarrollo de biosensores se ha convertido en una estrategia prometedora para la detección y cuantificación de compuestos específicos [1] [2] [3][4].

La lacasa es una enzima que ha demostrado ser eficaz en la detección y degradación de fenoles, lo que la convierte en una opción atractiva para aplicaciones de biosensores. Mediante técnicas de caracterización, se busca evaluar las propiedades de la lacasa inmovilizada en el biosensor y su desempeño en la detección de fenol [1] [4] [5].

Esta revisión brindará una visión actualizada sobre las técnicas de inmovilización de lacasa y sus aplicaciones en la detección y remediación de contaminantes, con un enfoque particular en la medición de la concentración de fenol en aguas de producción de la industria Oil & Gas [2] [4] [6] [7].

Las técnicas sensibles y eficientes para abordar la contaminación ambiental, utilizando enzimas y biosensores como herramientas clave en la detección y mitigación de sustancias tóxicas, es un enfoque multidisciplinario y tecnológicamente avanzado busca proporcionar soluciones efectivas para la preservación del medio ambiente y la seguridad de los organismos vivos frente a la creciente problemática de la contaminación industrial [8] [9] [10] [11].

Se explorarán también los avances más recientes en la investigación relacionada con la caracterización de biosensores basados en lacasa y se discutirán las perspectivas futuras para su implementación en el monitoreo ambiental.

## II. AVANCES EN EL MÉTODO DE INMOVILIZACIÓN DE ENZIMAS

En los últimos años, se han llevado a cabo investigaciones significativas para mejorar la inmovilización de lacasas con el objetivo de mejorar la sensibilidad y estabilidad de los biosensores. Se ha demostrado que el uso de nanomateriales como grafeno, óxidos metálicos y nanotubos de carbono puede mejorar las propiedades electroquímicas y catalíticas de las lacasas inmovilizadas [1] [12] [13] [14]. Estos nanomateriales proporcionan una alta área superficial y una

excelente conductividad eléctrica, lo que permite una transferencia de electrones eficiente y una mayor respuesta analítica de los biosensores.

Además, se ha venido trabajando en la modificación de superficies mediante técnicas de autoensamblaje y enlace químico para la inmovilización de lacasas. Estos enfoques permiten una unión fuerte y estable entre las lacasas y los sustratos sólidos, lo que mejora la estabilidad y vida útil de los biosensores [15]. La optimización de los parámetros de inmovilización, como la concentración de enzima y el tiempo de incubación, también ha demostrado ser crucial para maximizar la actividad y sensibilidad de los biosensores [16].

### A. Adsorción de lacasa.

En los últimos años, se ha realizado una investigación significativa para mejorar el método de adsorción de lacasas con el fin de desarrollar biosensores más sensibles y estables. La adsorción de lacasas en matrices sólidas ha demostrado ser una estrategia prometedora para la detección de diversos analitos.

Uno de los enfoques más recientes implica la utilización de nanomateriales como soportes para la adsorción de lacasas. Estos nanomateriales, como nanopartículas metálicas y nanocompuestos de carbono, proporcionan una alta área superficial y una excelente capacidad de adsorción, lo que resulta en una mayor carga enzimática y una mejora en la actividad catalítica del biosensor [17] [18].

Además, se han desarrollado avances en la modificación de la superficie de los materiales adsorbentes para mejorar la adsorción de lacasas. El recubrimiento de la superficie con polímeros o compuestos orgánicos como el polietilenglicol (PEG), los polisacáridos (TMSPPMA), la poli(N-isopropilacrilamida) (PNIPAM), el 3-(Trimetoxisilil) propil metacrilato o el Ácido 11-mercaptoundecanoico (MUA), pueden aumentar la afinidad de unión y promover una mayor estabilidad del biosensor [19] [20].

La optimización de los parámetros de adsorción, como la concentración de enzima, el pH y la temperatura, también ha demostrado ser crucial para maximizar la eficiencia y la sensibilidad del biosensor [20] [21]. Estos estudios han permitido el desarrollo de biosensores basados en la adsorción de lacasas que presentan una mayor selectividad y una respuesta analítica mejorada.

### B. Atrapamiento de lacasa

El método de atrapamiento implica la retención de las lacasas en una matriz sólida, lo que permite una mayor

carga enzimática y una mejor actividad catalítica del biosensor [22].

Se han explorado diversos materiales de matriz para el atrapamiento de lacasas, incluyendo polímeros como el polietilenglicol, hidrogeles como el alginato y nanomateriales como los nanotubos de carbono. Estos materiales proporcionan una plataforma sólida para la retención de las lacasas y ofrecen propiedades únicas que pueden mejorar la eficiencia y estabilidad del biosensor [22] [23].

Además, se ha investigado la optimización de los parámetros de atrapamiento, como la concentración de enzima, el pH y la temperatura, con el objetivo de maximizar la actividad y sensibilidad del biosensor [23].

### C. Encapsulación de lacasa

La encapsulación de lacasas implica el confinamiento de estas enzimas en una matriz protectora, lo que mejora su estabilidad y actividad catalítica [24].

Diversos enfoques de encapsulación se han investigado, incluyendo el uso de polímeros como el alginato o el quitosano, hidrogeles como el hidrogel de gelatina o alginato y nanopartículas de sílice o de polímeros, como matrices encapsulantes [25]. Estos materiales proporcionan un entorno favorable para las lacasas, protegiéndolas de las condiciones adversas y permitiendo una mayor vida útil de los biosensores.

La encapsulación también ofrece la posibilidad de modular las propiedades de las lacasas y su entorno microambiental para mejorar la sensibilidad y selectividad del biosensor [26]. Se ha demostrado que la modificación de la matriz encapsulante con compuestos químicos o funcionalización de superficies puede potenciar la interacción enzima-sustrato y mejorar la respuesta analítica del biosensor [27] [28].

La optimización de los parámetros de encapsulación, como la relación enzima/matriz, el método de preparación y las condiciones de curado, ha demostrado ser crucial para obtener una encapsulación eficiente y maximizar el rendimiento del biosensor [14] [29] [30].

### D. Unión covalente de lacasa

Este enfoque implica la formación de enlaces químicos covalentes entre las lacasas y una superficie sólida, lo que garantiza una unión fuerte y duradera. La unión covalente proporciona varias ventajas para los biosensores basados en lacasas. En primer lugar, asegura una mayor estabilidad y resistencia a condiciones adversas, lo que resulta en una mayor vida útil del biosensor [24] [31]. Además, la unión

covalente evita la lixiviación de las enzimas, lo que mejora la reproducibilidad y fiabilidad de las mediciones [32].

Se han empleado diversos métodos para lograr la unión covalente de las lacasas, como la activación química de la superficie y la conjugación de grupos funcionales específicos presentes en las enzimas y en el sustrato sólido [33]. Estos enfoques han demostrado ser eficientes y versátiles para la inmovilización covalente de las lacasas en biosensores.

La optimización de los parámetros de unión covalente, como la concentración de enzima, el tiempo de reacción y las condiciones de reacción, es crucial para maximizar la eficiencia y actividad catalítica del biosensor [16] [34]. Además, la elección adecuada de la superficie sólida y los grupos funcionales involucrados en la unión covalente también influyen en el rendimiento del biosensor [35].

Estos avances en el método de unión covalente de lacasas han permitido el desarrollo de biosensores altamente sensibles y selectivos para diversas aplicaciones, incluyendo la detección de contaminantes ambientales y la monitorización de biomarcadores en aplicaciones médicas [36] [37].

### E. Reticulación de lacasa

La reticulación de lacasas implica la formación de enlaces cruzados entre las enzimas y una matriz tridimensional, lo que aumenta su estabilidad y actividad catalítica [38].

Se han utilizado diversas estrategias para lograr la reticulación de lacasas. Un enfoque común implica el uso de agentes de reticulación química, como glutaraldehído, para formar enlaces covalentes entre las lacasas y la matriz [39]. Esta reticulación química mejora la resistencia de las lacasas a condiciones adversas y aumenta la durabilidad del biosensor.

Además de la reticulación química, también se han investigado enfoques basados en la reticulación enzimática utilizando lacasas modificadas genéticamente. Estos métodos permiten la formación de enlaces cruzados específicos entre las lacasas y la matriz, lo que resulta en una mayor estabilidad y actividad catalítica [40].

La optimización de los parámetros de reticulación, como la concentración de agente de reticulación, el tiempo de reacción y las condiciones de reticulación, es esencial para obtener una reticulación eficiente y maximizar el rendimiento del biosensor [41]. Además, la elección adecuada de la matriz y la compatibilidad con las lacasas también influyen en las propiedades del biosensor [42].

#### F. Nanomateriales para inmovilización de lacasa

Los nanomateriales ofrecen características únicas, como su alta área superficial y propiedades de superficie modificables, que los hacen atractivos para la inmovilización de lacasas [43] [44].

Se han utilizado diversos tipos de nanomateriales para la inmovilización de lacasas, como nanopartículas metálicas, óxidos metálicos, nanotubos de carbono y nanocompuestos [42] [44] [45]. Estos nanomateriales proporcionan una plataforma sólida para la unión de las lacasas, mejorando su estabilidad y permitiendo una mayor actividad catalítica [46]. La co-inmovilización de mediadores electrónicos y lacasa en nanomateriales de quitosano, mejorando la eficacia de la eliminación de contaminantes orgánicos [47].

La modificación de la superficie de los nanomateriales con grupos funcionales específicos también se ha investigado para mejorar la inmovilización de las lacasas y la interacción enzima-sustrato [1]. La funcionalización de la superficie de los nanomateriales puede proporcionar sitios de unión adicionales y promover la unión covalente o no covalente de las lacasas [48].

La optimización de los parámetros de inmovilización, como la concentración de nanomaterial, el tiempo de reacción y las condiciones de inmovilización, es esencial para obtener una inmovilización eficiente y maximizar el rendimiento del biosensor [28] [49]. Además, la selección apropiada del nanomaterial y su compatibilidad con las lacasas son factores que también afectan las propiedades del biosensor [50].

### III. PERSPECTIVAS SOBRE LOS BIOSENSORES

La detección y monitorización precisa de contaminantes en las aguas de producción de la industria del petróleo y gas, como el fenol, es de vital importancia para garantizar la seguridad ambiental y la salud pública. El desarrollo de biosensores basados en la enzima lacasa ha surgido como una estrategia prometedora para la detección y cuantificación específica de compuestos como el fenol en aguas de producción de la industria Oil & Gas. Los avances en las técnicas de inmovilización de lacasa han demostrado mejoras significativas en la sensibilidad y estabilidad de los biosensores.

El uso de nanomateriales, como grafeno, óxidos metálicos y nanotubos de carbono, ha permitido mejorar las propiedades electroquímicas y catalíticas de las lacasas inmovilizadas. La modificación de superficies mediante técnicas de autoensamblaje y enlace químico ha mejorado la unión fuerte y estable entre lacasas y sustratos sólidos, lo que ha incrementado la estabilidad y vida útil de los biosensores. El método de adsorción de lacasa en matrices

sólidas, especialmente utilizando nanomateriales como soportes, ha demostrado una mayor sensibilidad y carga enzimática, mejorando la actividad catalítica de los biosensores.

El atrapamiento de lacas en matrices sólidas, como polímeros, hidrogeles y nanomateriales, ha ofrecido una plataforma estable para la retención de enzimas, lo que ha mejorado la eficiencia y estabilidad de los biosensores. La encapsulación de lacasa en matrices protectoras, como polímeros, hidrogeles y nanopartículas, ha permitido mejorar la estabilidad y actividad catalítica de las enzimas, proporcionando una mayor vida útil de los biosensores. La unión covalente de lacasas a superficies sólidas mediante enlaces químicos ha garantizado una unión fuerte y duradera, aumentando la estabilidad y resistencia a condiciones adversas de los biosensores.

La reticulación de lacasas mediante enlaces cruzados, ya sea químicos o enzimáticos, ha mejorado la estabilidad y actividad catalítica de las enzimas, prolongando la vida útil de los biosensores. El uso de nanomateriales para la inmovilización de lacasas ha demostrado ser una estrategia efectiva debido a sus características únicas, como alta área superficial y propiedades de superficie modificables, que mejoran la estabilidad y actividad catalítica de las enzimas.

En general, los avances en las técnicas de inmovilización de lacasas han permitido el desarrollo de biosensores altamente sensibles, selectivos y estables para la detección y cuantificación de fenol y otros compuestos en aguas de producción de la industria Oil & Gas. Estos avances ofrecen perspectivas prometedoras para la implementación de biosensores basados en lacasa en el monitoreo ambiental y otras aplicaciones relacionadas con la detección y remediación de contaminantes.

Se espera que la combinación de avances en nanotecnología, biotecnología y técnicas de inmovilización conduzca a la creación de biosensores más eficientes y específicos. Además, la aplicación de estos biosensores no se limitará solo a la detección de fenol, sino que se extenderá a la monitorización de otros compuestos relevantes en aguas de producción, contribuyendo así a una gestión más integral y sostenible de los recursos hídricos en el sector Oil & Gas.

### III. CONCLUSIONES

En esta revisión, se ha explorado exhaustivamente el estado actual de los avances en las técnicas de inmovilización de la enzima lacasa para la detección de fenol en aguas de producción de la industria del petróleo y gas. La presencia de fenol en estas aguas representa un desafío ambiental y de salud pública significativo, y el desarrollo de biosensores basados en lacasa ha surgido

como una estrategia prometedora para abordar este problema.

Los diversos métodos de inmovilización de lacasa discutidos en este artículo, como la adsorción en matrices sólidas, el atrapamiento, la encapsulación, la unión covalente y la reticulación, han demostrado ser eficientes para mejorar la sensibilidad y estabilidad de los biosensores. La incorporación de nanomateriales, como grafeno, óxidos metálicos y nanotubos de carbono, ha jugado un papel crucial al mejorar las propiedades electroquímicas y catalíticas de las lacasas inmovilizadas, lo que contribuye significativamente a la mejora de la respuesta analítica de los biosensores.

La optimización de los parámetros de inmovilización, la modificación de superficies y la funcionalización de nanomateriales se han identificado como estrategias clave para mejorar la interacción enzima-sustrato y la eficiencia de los biosensores. La investigación ha destacado la importancia de la selección adecuada de materiales y condiciones para cada método de inmovilización, lo que resalta la necesidad de un enfoque personalizado para maximizar el rendimiento de los biosensores.

En general, los avances en las técnicas de inmovilización de lacasas han demostrado mejoras significativas en la sensibilidad y estabilidad de los biosensores, haciéndolos más aptos para la detección y monitorización de fenol en aguas de producción de la industria Oil & Gas. Estos resultados prometen contribuir de manera significativa a la seguridad ambiental y la salud pública en el contexto de la industria del petróleo y gas, al proporcionar herramientas más eficaces y sensibles para la detección de contaminantes en las aguas de producción.

#### REFERENCIAS

- [1] S. Datta, R. Veena, M. S. Samuel, and E. Selvarajan, "Immobilization of laccases and applications for the detection and remediation of pollutants: a review," in *Environmental Chemistry Letters*, Springer Science and Business Media Deutschland GmbH, 2021, pp. 521–538. doi: 10.1007/s10311-020-01081-y.
- [2] S. R. Yashas, B. R. Shivakumara, T. H. Udayashankara, and B. M. Krishna, "Laccase biosensor: Green technique for quantification of phenols in wastewater (a review)," *Orient. J. Chem.*, vol. 34, no. 2, pp. 631–637, 2018, doi: 10.13005/ojc/340204.
- [3] R. Suresh, S. Rajendran, K. S. Khoo, and M. Soto-Moscoso, "Enzyme Immobilized Nanomaterials: An Electrochemical Bio-Sensing and Biocatalytic Degradation Properties Toward Organic Pollutants," *Topics in Catalysis*. Springer, 2022. doi: 10.1007/s11244-022-01760-w.
- [4] G. Tuta-Navajas, K. Gutierrez-Avila, S. Roa-Prada, and G. Chalela-Alvarez, "Experimental development of a biosensor system to measure the concentration of phenol diluted in water using alternative sources of oxidoreductase enzymes," *Anal. Chim. Acta*, vol. 1040, pp. 128–135, Dec. 2018, doi: 10.1016/j.aca.2018.08.007.
- [5] M.-C. Vargas and N. E. Ramírez, "Phenol oxidation of petrol refinery wastewater catalyzed by laccase," *Ciencia, Tecnol. y Futur.*, vol. 2, pp. 23–30, 2002.
- [6] A. Thakur and A. Kumar, "Recent advances on rapid detection and remediation of environmental pollutants utilizing nanomaterials-based (bio)sensors," *Sci. Total Environ.*, vol. 834, Aug. 2022, doi: 10.1016/j.scitotenv.2022.155219.
- [7] A. Peña-Álvarez and A. Castillo-Alanis, "Identificación y cuantificación de contaminantes emergentes en aguas residuales por microextracción en fase sólida-cromatografía de gases-espectrometría de masas (MEFS-CG-EM)," *TIP*, vol. 18, no. 1, pp. 29–42, Jun. 2015, doi: 10.1016/j.recqb.2015.05.003.
- [8] K. Sellami, A. Couvert, N. Nasrallah, R. Maachi, M. Abouseoud, and A. Amrane, "Peroxidase enzymes as green catalysts for bioremediation and biotechnological applications: A review," *Science of the Total Environment*, vol. 806. Elsevier B.V., Feb. 01, 2022. doi: 10.1016/j.scitotenv.2021.150500.
- [9] F. Yurike, D. Iswantini, H. Purwaningsih, and S. S. Achmadi, "Review: Tyrosinase-Based Paper Biosensor for Phenolics Measurement," *Indones. J. Chem.*, vol. 22, no. 5, pp. 1454–1468, 2022, doi: 10.22146/ijc.72607.
- [10] V. K. Nigam and P. Shukla, "Enzyme based biosensors for detection of environmental pollutants-A review," *Journal of Microbiology and Biotechnology*, vol. 25, no. 11. Korean Society for Microbiolog and Biotechnology, pp. 1773–1781, Jul. 13, 2015. doi: 10.4014/jmb.1504.04010.
- [11] M. Magro *et al.*, "Electrocatalytic nanostructured ferric tannate as platform for enzyme conjugation: Electrochemical determination of phenolic compounds," *Bioelectrochemistry*, vol. 132, 2020, doi: 10.1016/j.bioelechem.2019.107418.
- [12] S. Vinoth, K. S. Shalini Devi, and A. Pandikumar, "A comprehensive review on graphitic carbon nitride based electrochemical and biosensors for environmental and healthcare applications," *TrAC - Trends Anal. Chem.*, vol. 140, 2021, doi: 10.1016/j.trac.2021.116274.
- [13] X. Xing *et al.*, "Immobilization of laccases onto cellulose nanocrystals derived from waste newspaper: relationship between immobilized laccase activity and dialdehyde content," *Cellulose*, vol. 28, no. 8, pp. 4793–4805, May 2021, doi: 10.1007/s10570-021-03867-x.
- [14] T. Kavetsky *et al.*, "Microporous carbon fibers as electroconductive immobilization matrixes: Effect of their structure on operational parameters of laccase-based amperometric biosensor," *Mater. Sci. Eng. C*, vol. 109, 2020, doi: 10.1016/j.msec.2019.110570.
- [15] S. Sadeghzadeh, S. Ghazvini, S. Hejazi, S. Yaghmaei, and Z. G. Nejad, "Immobilization of Laccase from *Trametes hirsuta* onto CMC Coated Magnetic Nanoparticles," *Int. J. Eng. Trans. A Basics*, vol. 33, no. 4, pp. 513–519, Apr. 2020, doi: 10.5829/IJE.2020.33.04A.01.
- [16] M. S. Mohd Syukri, R. A. Rahman, Z. Mohamad, R. Md Illias, N. A. Nik Mahmood, and N. R. Jaafar, "Optimization strategy for laccase immobilization on polyethylene terephthalate grafted with maleic anhydride electrospun nanofiber mat," *Int. J. Biol. Macromol.*, vol. 166, pp. 876–883, Jan. 2021, doi: 10.1016/j.ijbiomac.2020.10.244.
- [17] V. P. Hitaishi *et al.*, "Nanosecond Laser-Fabricated Monolayer of Gold Nanoparticles on ITO for Bioelectrocatalysis," *Front. Chem.*, vol. 8, Jun. 2020, doi: 10.3389/fchem.2020.00431.
- [18] J. P. Evans, D. F. Gervasio, and B. M. Pryor, "A hybrid microbial-enzymatic fuel cell cathode overcomes enzyme inactivation limits in biological fuel cells," *Catalysts*, vol. 11, no. 2, pp. 1–15, Feb. 2021, doi: 10.3390/catal11020242.
- [19] Z. Deng, A. Xia, Q. Liao, X. Zhu, Y. Huang, and Q. Fu, "Laccase pretreatment of wheat straw: Effects of the physicochemical characteristics and the kinetics of enzymatic hydrolysis," *Biotechnol. Biofuels*, vol. 12, no. 1, Jun. 2019, doi: 10.1186/s13068-019-1499-3.
- [20] N. Dencheva *et al.*, "Magnetically responsive pa6 microparticles with immobilized laccase show high catalytic efficiency in the enzymatic treatment of catechol," *Catalysts*, vol. 11, no. 2, pp. 1–27, Feb. 2021, doi: 10.3390/catal11020239.
- [21] N. Amaly, A. Y. El-Moghazy, Y. Si, and G. Sun, "Functionalized nanofibrous nylon 6 membranes for efficient reusable and selective separation of laccase enzyme," *Colloids Surfaces B Biointerfaces*, vol. 194, Oct. 2020, doi: 10.1016/j.colsurfb.2020.111190.
- [22] G. Cottone *et al.*, "More than a confinement: 'soft' and 'hard' enzyme entrapment modulates biological catalyst function," *Catalysts*, vol. 9, no. 12, Dec. 2019, doi: 10.3390/catal9121024.

- [23] A. Dabhade, S. Jayaraman, and B. Paramasivan, "Development of glucose oxidase-chitosan immobilized paper biosensor using screen-printed electrode for amperometric detection of Cr(VI) in water," *3 Biotech*, vol. 11, no. 4, Apr. 2021, doi: 10.1007/s13205-021-02736-5.
- [24] S. Jiang, D. Ren, Z. Wang, S. Zhang, X. Zhang, and W. Chen, "Improved stability and promoted activity of laccase by One-Pot encapsulation with Cu (PABA) nanoarchitectonics and its application for removal of Azo dyes," *Ecotoxicol. Environ. Saf.*, vol. 234, Apr. 2022, doi: 10.1016/j.ecoenv.2022.113366.
- [25] R. Kembaren, R. Fokkink, A. H. Westphal, M. Kamperman, J. M. Kleijn, and J. W. Borst, "Balancing Enzyme Encapsulation Efficiency and Stability in Complex Coacervate Core Micelles," *Langmuir*, vol. 36, no. 29, pp. 8494–8502, Jul. 2020, doi: 10.1021/acs.langmuir.0c01073.
- [26] T. O. Knedel, E. Ricklefs, C. Schlüsener, V. B. Urlacher, and C. Janiak, "Laccase Encapsulation in ZIF-8 Metal-Organic Framework Shows Stability Enhancement and Substrate Selectivity," *ChemistryOpen*, vol. 8, no. 11, pp. 1337–1344, Nov. 2019, doi: 10.1002/open.201900146.
- [27] M. Rahimi-Mohseni, J. B. Raouf, T. A. Aghajanzadeh, and R. Ojani, "Rapid Determination of Phenolic Compounds in Water Samples: Development of a Paper-based Nanobiosensor Modified with Functionalized Silica Nanoparticles and Potato Tissue," *Electroanalysis*, vol. 31, no. 12, pp. 2311–2318, Dec. 2019, doi: 10.1002/elan.201800780.
- [28] Y. Lei, B. He, S. Huang, X. Chen, and J. Sun, "Facile Fabrication of 1-Methylimidazole/Cu Nanozyme with Enhanced Laccase Activity for Fast Degradation and Sensitive Detection of Phenol Compounds," *Molecules*, vol. 27, no. 15, Aug. 2022, doi: 10.3390/molecules27154712.
- [29] C. Sarika, K. Rekha, and B. Narasimha Murthy, "Immobilized laccase-based biosensor for the detection of disubstituted methyl and methoxy phenols – application of Box–Behnken design with response surface methodology for modeling and optimization of performance parameters," *Artif. Cells, Nanomedicine Biotechnol.*, vol. 44, no. 7, pp. 1741–1752, Oct. 2016, doi: 10.3109/21691401.2015.1096793.
- [30] G. H. Tuta-Navajas, S. Roa-Prada, and G. Chalela-Alvarez, "Kinetic model parameter estimation using genetic algorithms of the oxidation of phenol in water catalyzed by the laccase enzyme for the design of a biosensor," *Bioremediation Journal*, vol. 26, no. 3, Taylor and Francis Ltd., pp. 249–260, 2022. doi: 10.1080/10889868.2021.1964430.
- [31] A. Gomes, G. J. Mattos, B. Coldibeli, R. F. H. Dekker, A. M. Barbosa Dekker, and E. R. Sartori, "Covalent attachment of laccase to carboxymethyl-botryosphaera in aqueous solution for the construction of a voltammetric biosensor to quantify quercetin," *Bioelectrochemistry*, vol. 135, 2020, doi: 10.1016/j.bioelechem.2020.107543.
- [32] S. Rouhani, S. Azizi, M. Maaza, B. Mamba, and T. A. M. Msagati, "Covalent immobilization of laccase on Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>-graphene oxide nanocomposite for biodegradation of phenolic compounds," *Environ. Prot. Eng.*, vol. 47, no. 1, pp. 87–97, 2021, doi: 10.37190/epe210107.
- [33] S. W. Zhang, M. Zhang, F. Wang, and H. Zeng, "Direct electrochemistry and enzyme-involved photo-electrocatalysis of oxygen reduction for the electrode on the basis of titanium dioxide-graphene oxide nano-complex with laccase accommodation," *Chem. Eng. J.*, vol. 430, 2022, doi: 10.1016/j.cej.2021.132619.
- [34] S. Kashefi, S. M. Borghei, and N. M. Mahmoodi, "Covalently immobilized laccase onto graphene oxide nanosheets: Preparation, characterization, and biodegradation of azo dyes in colored wastewater," *J. Mol. Liq.*, vol. 276, pp. 153–162, Feb. 2019, doi: 10.1016/j.molliq.2018.11.156.
- [35] K. Zhang, W. Yang, Y. Liu, K. Zhang, Y. Chen, and X. Yin, "Laccase immobilized on chitosan-coated Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> nanoparticles as reusable biocatalyst for degradation of chlorophenol," *J. Mol. Struct.*, vol. 1220, 2020, doi: 10.1016/j.molstruc.2020.128769.
- [36] C. Bao, J. Chen, Y. Wang, T. Yang, X. Xu, and Q. Zhang, "Cellulose-based functional polycarbonates as degradable enzyme carriers," *Cellulose*, vol. 29, no. 16, pp. 8769–8780, Nov. 2022, doi: 10.1007/s10570-022-04810-4.
- [37] R. Amin, A. Khorshidi, A. F. Shojaei, S. Rezaei, and M. A. Faramarzi, "Immobilization of laccase on modified Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>@SiO<sub>2</sub>@Kit-6 magnetite nanoparticles for enhanced delignification of olive pomace bio-waste," *Int. J. Biol. Macromol.*, vol. 114, pp. 106–113, Jul. 2018, doi: 10.1016/j.ijbiomac.2018.03.086.
- [38] S. Ba *et al.*, "Synthesis and characterization of combined cross-linked laccase and tyrosinase aggregates transforming acetaminophen as a model phenolic compound in wastewaters," *Sci. Total Environ.*, vol. 487, no. 1, pp. 748–755, Jul. 2014, doi: 10.1016/j.scitotenv.2013.10.004.
- [39] B. Song *et al.*, "Laccase immobilization on bimetallic MOF-derived porous carbon materials for the removal of bisphenol A," *J. Chem. Technol. Biotechnol.*, vol. 98, no. 4, pp. 919–931, Apr. 2023, doi: 10.1002/jctb.7297.
- [40] C. Horn, D. Pospiech, P. J. Allertz, M. Müller, K. Salchert, and R. Hommel, "Chemical Design of Hydrogels with Immobilized Laccase for the Reduction of Persistent Trace Compounds in Wastewater," *ACS Appl. Polym. Mater.*, vol. 3, no. 5, pp. 2823–2834, May 2021, doi: 10.1021/acsapm.1c00380.
- [41] H. Sun, F. Yuan, S. Jia, X. Zhang, and W. Xing, "Laccase encapsulation immobilized in mesoporous ZIF-8 for enhancement bisphenol A degradation," *J. Hazard. Mater.*, vol. 445, Mar. 2023, doi: 10.1016/j.jhazmat.2022.130460.
- [42] M. Maryskova, M. Rysova, V. Novotny, and A. Sevcu, "Polyamide-laccase nanofiber membrane for degradation of endocrine-disrupting bisphenol A, 17 $\alpha$ -ethinylestradiol, and triclosan," *Polymers (Basel)*, vol. 11, no. 10, Oct. 2019, doi: 10.3390/polym11101560.
- [43] M. S. Mohd Syukri, R. A. Rahman, Z. Mohamad, N. A. Nik Mahmood, R. M. Illias, and H. Tokuyama, "Laccase immobilisation on poly(ethylene) terephthalate grafted with maleic anhydride (PET-g-MAH) nanofiber mat," *Chem. Eng. Trans.*, vol. 78, pp. 37–42, 2020, doi: 10.3303/CET2078007.
- [44] J. Zhang, J. Lei, Z. Liu, Z. Chu, and W. Jin, "Nanomaterial-based electrochemical enzymatic biosensors for recognizing phenolic compounds in aqueous effluents," *Environ. Res.*, vol. 214, 2022, doi: 10.1016/j.envres.2022.113858.
- [45] S. Malinowski, J. Jaroszyńska-Wolińska, and P. A. F. Herbert, "Theoretical insight into plasma deposition of laccase bio-coating formation," *J. Mater. Sci.*, vol. 54, no. 15, pp. 10746–10763, Aug. 2019, doi: 10.1007/s10853-019-03641-2.
- [46] J. He, H. Xue, J. Suk, and K. Ryu, "Immobilization of laccase on carbon nanomaterials," 2012, doi: 10.1007/s11814-012-0024-1.
- [47] R. Liu, S. Wang, M. Han, W. Zhang, H. Xu, and Y. Hu, "Co-immobilization of electron mediator and laccase onto dialdehyde starch cross-linked magnetic chitosan nanomaterials for organic pollutants' removal," *Bioprocess Biosyst. Eng.*, vol. 45, no. 12, pp. 1955–1966, Dec. 2022, doi: 10.1007/s00449-022-02799-5.
- [48] X. Chen, B. He, M. Feng, D. Zhao, and J. Sun, "Immobilized laccase on magnetic nanoparticles for enhanced lignin model compounds degradation," *Chinese J. Chem. Eng.*, vol. 28, no. 8, pp. 2152–2159, Aug. 2020, doi: 10.1016/j.cjche.2020.02.028.
- [49] H. Huang *et al.*, "Efficient elimination and detection of phenolic compounds in juice using laccase mimicking nanozymes," *Chinese J. Chem. Eng.*, vol. 29, pp. 167–175, 2021, doi: 10.1016/j.cjche.2020.04.012.
- [50] O. Kanoun *et al.*, "A review of nanocomposite-modified electrochemical sensors for water quality monitoring," *Sensors*, vol. 21, no. 12, 2021, doi: 10.3390/s21124131.

## Capítulo 9

# Micro turbina hidráulica de flujo superficial basada en el rediseño de una turbina eólica

*Surface flow hydraulic micro turbine based on the redesign of a wind turbine*  
*Área temática: Ciencias Ambientales y de la Tierra*

Sergio Andrés Peña Perea, Freddy Alexander Jara Mora, Jorge Alberto Neira Tavera, Luz Karime Reyes Chaparro

Fundación Universitaria de San Gil - UNISANGIL  
Facultad de Ciencias Naturales e Ingeniería  
San Gil, Colombia

spena@unisangil.edu.co  
fjara@unisangil.edu.co  
jorgeneira@unisangil.edu.co  
luzreyes@unisangil.edu.co

### RESUMEN

El diseño de concepto de turbina es basado en una turbina de eje vertical eólica, en la que se voltea el eje de vertical a eje horizontal y se realizan simulaciones en CFD para determinar el torque generado trabajando hidráulicamente. Según el perfil de velocidades en el cauce de una fuente hídrica (río, quebrada o riachuelo), tanto en el perfil transversal, como en el perfil de profundidad, las velocidades mayores del agua en el cauce ocurren a un 80% de la altura hidráulica en el cauce y en la mitad del perfil transversal. La idea es poder aprovechar esa energía hidráulica específica que da la velocidad del agua para generar energía eléctrica mediante una turbina flotante. Basados en los resultados obtenidos tras la simulación CFD, para una fuente superficial con un caudal de 1.8 m<sup>3</sup>/s y para el requerimiento mínimo de subsistencia (una vivienda rural típica), según la línea base, se requiere una capacidad de generación de 0.27 kW como mínimo, con lo que se puede concluir en primera instancia y con los cálculos preliminares realizados con el software SolidWorks (que resultan en una potencia generada en la turbina de 0,29 kW), que el sistema es técnicamente viable.

**Palabras claves:** Energía Renovable, Generación Eléctrica, Turbina hidráulica.

### ABSTRACT

The turbine concept design is based on a vertical-axis wind turbine, wherein the axis is rotated from vertical to horizontal, and Computational Fluid Dynamics (CFD) simulations are conducted to determine the torque generated while operating hydraulically. Based on the velocity profile in the flow of a water source (river, stream, or creek), both in the cross-sectional and depth profiles, the higher water velocities in the flow occur at 80% of the hydraulic height in the channel and in the middle of the cross-section profile. The idea is to harness this specific hydraulic energy provided by the water velocity to generate electrical energy using a floating turbine. Based on the results obtained from the CFD simulation for a surface source with a flow rate of 1.8 m<sup>3</sup>/s and for the minimum subsistence requirement (a typical rural household), according to the baseline, a minimum generation capacity of 0.27 kW is required. With the preliminary calculations performed using SolidWorks software (which result in a generated power in the turbine of 0.29 kW), it can be initially concluded that the system is technically viable.

**Keywords:** Renewable Energy, Power Generation, Hydraulic Turbine.

## I. INTRODUCCIÓN

La energía minihidráulica ha contribuido sustancialmente al progreso de los estándares de vida en el ámbito mundial con una tecnología de impacto ambiental relativamente bajo. Las Pequeñas Centrales Hidroeléctricas (PCH) son la posibilidad hidroenergética conveniente para Colombia, por lo que previsiblemente jugarán un papel capital en el aprovechamiento de su potencial hidrogenerador sobresaliente [1].

Para pequeñas aplicaciones, la energía microhidráulica ofrece mejores resultados que ninguna otra renovable. Un riachuelo por donde pase un caudal aproximado de dos litros por segundo es suficiente para producir la energía que consume cualquier hogar normal en nuestro país, si se emplean sistemas microhidráulicos. Basta contar con una diferencia en altura, un caudal y, por supuesto, una máquina capaz de funcionar con rendimientos óptimos en las condiciones dadas [2].

La tecnología de micro turbina busca satisfacer la demanda para el consumo básico de subsistencia de una familia en zona rural o ZNI (Zona No Interconectada). Se requiere una solución que brinde el suministro local de manera confiable y constante, por lo que la energía microhidráulica ofrece estas ventajas.

El requerimiento básico para una unidad residencial en ZNI es de alrededor de 0.27 kW (Kilo Vatios), este valor cubre demandas en: Iluminación, refrigeración, televisión, ventilación, purificación de agua y carga de dispositivos eléctricos y/o electrónicos [3].

## II. METODOLOGÍA

El desarrollo de la micro turbina fue enfocado mediante un proceso de Reingeniería Rápida – RE en cinco pasos [4]:

1- Preparación: etapa en la que se listan y se valoran los parámetros de funcionamiento de la tecnología actual, con datos reales sin cambios sustanciales en el diseño previo.

2- Identificación: en ésta etapa se plantea un modelo nuevo basado en el diseño previo, orientado a maximizar los valores de las variables objetivo. Como se puede observar en la Fig. 1.

3- Visión: Se identifican los elementos clave que permiten un mejor performance de la nueva tecnología.

4- Diseño tecnológico: esta fase, que se equipara a la “ingeniería de detalle”, sirve para especificar todo el modelo al detalle (sus componentes y su funcionamiento).

5- Transformación real: la nueva tecnología ya construida se evalúa en un ambiente relevante (para llegar a un nivel de madurez tecnológica 5 o inclusive 6 para esta turbina).

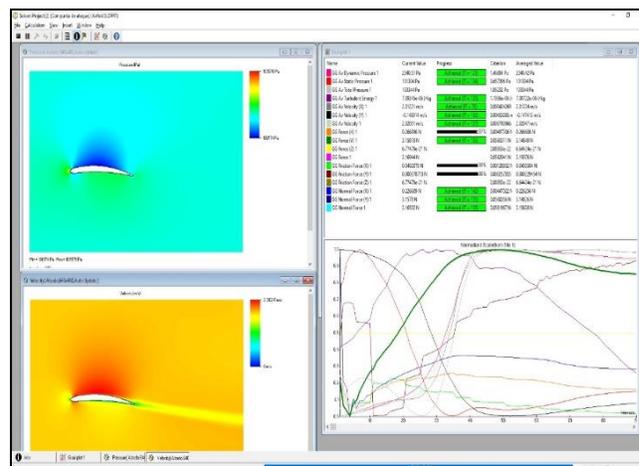


Fig. 1. Proceso de simulación de la forma de aleta para optimizar diseño actual (imágenes extraídas del programa SolidWorks).

## III. RESULTADOS

### A. Fase preliminar (Preparación e identificación)

Para tener en cuenta en la etapa de diseño, se realizan visitas de campo a diferentes lugares en fuentes superficiales de agua en la zona de influencia del proyecto (ver Fig. 2. y Fig. 3.), con el fin de tomar datos para parámetros hidráulicos de diseño y prototipado.



Fig. 2. Visita a punto en balneario natural “pescaderito” – Quebrada Curití.



Fig. 3. Visita a punto bajo el puente – sector “Palo Blanca” – Quebrada Curití.

Además de los puntos visitados mostrados en las Figuras 2 y 3, se visitan otros lugares. Operativamente para el proyecto, las pruebas quedaron fijadas en la Quebrada Curití en el sector de “Palo Blanca” y en el sector “Zamorano”.

Por otro lado, también se realizan pruebas de concepto de la turbina, para simulación de parámetros operativos (Ver Fig.4.)

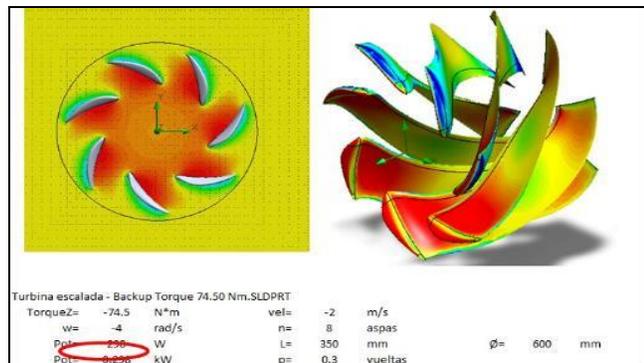


Fig. 4. Simulación de concepto de turbina hidráulica.

El fin de las simulaciones es evaluar el concepto de Re-Ingeniería de turbina eólica de eje vertical a turbina hidráulica de eje horizontal.

Las simulaciones presentan una muy buena correlación y valores de parámetros operativos, con una potencia generada en la simulación de 0.296 kW (Kilo Vatios).

### B. Fase pre-operativa (Visión y diseño tecnológico)

Para realizar pruebas de concepto, se diseña un modelo de turbina a escala 1:8 para verificar funcionamiento en una salida de agua de 3 pulgadas (Ver Fig. 5.). Se prueba el concepto de turbina escalada y se toman datos para el

performance de la turbina real. Todo el modelo a escala fue impreso en 3D en impresora de Resina Anycubic Photon.

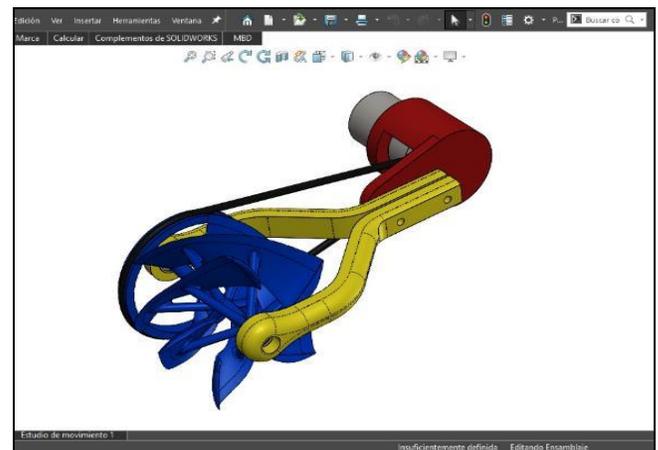


Fig. 5. Diseño de concepto de turbina de eje horizontal de aspas con perfil de gota de agua.

En esta fase del proyecto también se realizan los diseños de detalle con los componentes de la turbina real, determinando cada uno de los componentes finales (Ver Fig 6.).

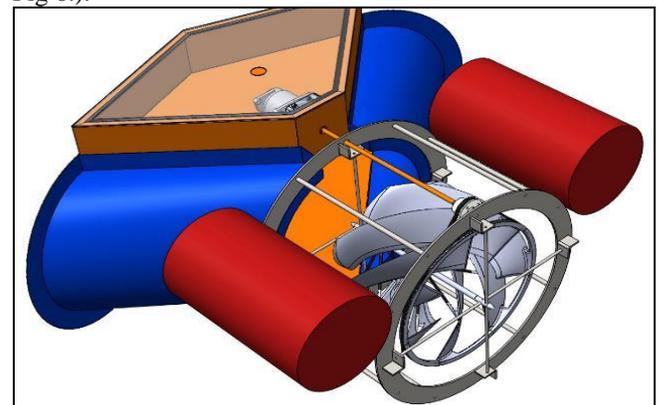


Fig. 6. Diseño de turbina con componentes anexos.

La turbina va acoplada a un sistema de aceleración de entrada, un cono de efecto Venturi para acelerar el flujo de agua de entrada a la turbina. La turbina también se encuentra encajada en un armazón cilíndrico de ajuste y protección, en el cual también se anclan un par de tanques para la flotabilidad del sistema.

La turbina hidráulica finalmente queda en diseño de 7 aspas cada una con un perfil alargado en forma de gota de agua, con un diámetro de contacto de 0.65 metros y 0,33 m<sup>2</sup> de área hidráulica transversal. Los componentes de la turbina se imprimen algunos en filamento PLA + Fibra de Carbono y en Filamento PETG, y los componentes de la caja de velocidades (planetario) en

filamento ABS, todos impresos en impresora FDM Crea3ity CR-5 Pro (Ver Fig. 7 y Fig. 8.).

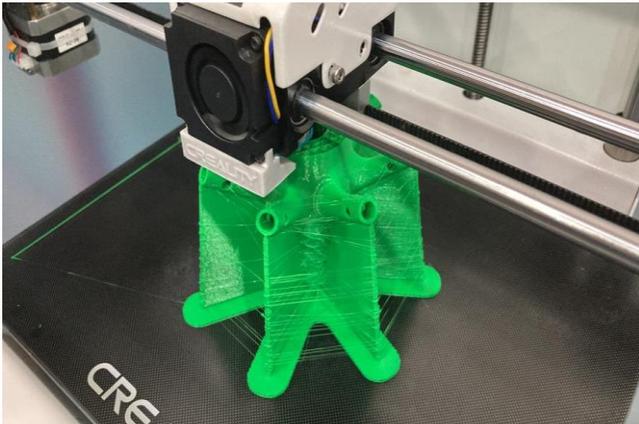


Fig. 7. Construcción Corazón de aspas en filamento ABS.



Fig. 8. Construcción de aspas de turbina en filamento PLA+Fibra de Carbono.

En la parte eléctrica se cuenta con un inversor de corriente de 300 Vatios, un alternador de 280 Vatios y una batería de 12 Voltios y 750 Amperios.

También se construyó un banco de pruebas con 30 bombillas LED, cada una de 10 vatios, con el fin de tener un referente para los experimentos en entorno o ambiente relevante.

Todo el ensamble de la turbina y sus componentes se realiza en el laboratorio de prototipos de la universidad.

### C. Fase operativa (Transformación real)

Las pruebas finales del sistema se realizan en los lugares establecidos previamente, en plena época de invierno, justo con un caudal apropiado para la toma de datos finales (Ver Fig. 9. Y Fig. 10.).



Fig. 9. Pruebas finales del sistema en sector Zamorano – época de invierno.



Fig. 10. Banco de bombillas LED para verificar potencia generada por la turbina en ambiente relevante.

Las pruebas finales del sistema dieron como resultado una capacidad de generación de 240 Vatios (0.24 kW) con un área de contacto transversal de turbina de  $0.17 \text{ m}^2$ , para una velocidad media de la corriente de agua (Quebrada Curití- Sectores Palo Blanca y Zamorano) de  $1.7 \text{ m/s}$  para las fechas de pruebas.

Aún con un área de contacto hidráulica de turbina a la mitad, las pruebas fueron más que satisfactorias, con un valor de generación por encima de lo obtenido en las simulaciones.

### III. CONCLUSIONES

Los sistemas hidráulicos de generación de baja potencia son una buena alternativa para los requerimientos energéticos para usuarios no interconectados.

La mejor fuente natural para generar electricidad las 24 horas sin duda es la hidráulica. Para este caso de estudio, se proyectó un proceso de Re-Ingeniería, convirtiendo

una turbina eólica de eje vertical en una micro-turbina hidráulica de eje horizontal.

Para optimizar y mejorar el performance del sistema, se opta por un diseño de aspa en forma de gota de agua con perfil alargado de manera oblicua. Todo el proceso fue realizado en el programa de diseño y simulación SolidWorks V.2022. En las simulaciones, se logra con el diseño de concepto, una potencia nominal de 296 Vatios. El área hidráulica de contacto de la turbina queda en 0.33 m<sup>2</sup> con un diámetro de 0.65 metros.

Las pruebas finales en ambiente relevante fueron más que satisfactorias, logrando una generación del sistema de 240 Vatios (0.24 kW) aún a la mitad del área de contacto hidráulica de la turbina.

#### REFERENCIAS

- [1] HERNÁNDEZ, Juan Manuel Diez; SANZ, Sergio Olmeda. Diseño eco-hidrológico de pequeñas centrales hidroeléctricas: Evaluación de Caudales Ecológicos. *Energética*, 2008, no 39, p. 65-76.
- [2] GARZON SORIA, Carlos Pablo. Evaluación de alternativas de generación de electricidad desde el punto de vista de su impacto ambiental, para sectores no conectados a redes eléctricas. 2010.
- [3] Flórez Piedrahíta, C. A. Resolución 355 DE 2004. Colombia. Año 2004. Retrieved from <http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=14315>
- [4] MANGANELLI, Raymond L., *et al.* *Cómo hacer reingeniería*. Editorial Norma, 2004.

# INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA PARA LA INDUSTRIA

---

## Capítulo 10

# Dispensador automático de alimento para gallinas, para mejorar la práctica avícola

*Automatic food dispenser for hens, to improve poultry practice*

María Paula Rodríguez Remolina, Stefany Lorena Rueda Murillo, Leonardo Guerrero Salazar

Colegio Integrado Pedro Santos  
Pinchote, Colombia

mariapaularodriguez376@gmail.co  
nellymurillo952@gamil.com  
leonardogs27@gmail.com

### RESUMEN

En la avicultura, se identificaron necesidades y dificultades que tienen los pequeños productores al momento de alimentar a las aves de corral, como: no estresarlas, evitar introducir un patógeno capaz de enfermarlas, miedo a pisarlas o ser picoteado. Para solucionar esta problemática se formuló como objetivo "Desarrollar un sistema dispensador automático para el mejoramiento en la práctica que utilizan los pequeños productores avícolas colombianos, asegurando así una alimentación constante y balanceada para las aves". Se llevó a cabo una serie de etapas descritas en el desarrollo de prototipos y un estudio estadístico cuantitativo de tipo descriptivo e inferencial para determinar la eficacia y eficiencia del dispensador de alimento. Al finalizar la investigación, se logró el diseño del prototipo de dispensador de alimento automatizado y una aplicación (APP) que determina la cantidad de comida a suministrar. Se puede concluir que el prototipo es eficaz, que cumple con los parámetros establecidos para la distribución de alimentos en las aves de corral (sector avícola), que puede ser adaptado a un galpón a pequeña o gran escala. El dispensador de alimento alivia la problemática presente al momento de alimentar las gallinas con eficiencia.

**Palabras claves:** Automatización con Arduino, Dispensador automático de alimento, Dispensador de alimento para gallinas.

### ABSTRACT

In poultry farming, needs and difficulties were identified among small-scale producers when feeding poultry. These included challenges such as avoiding stressing the birds, preventing the introduction of pathogens that could make them ill, and concerns about accidentally stepping on or being pecked by the birds. To address this issue, the objective was formulated as 'Developing an automatic feeding system to enhance the practices used by Colombian small-scale poultry producers, ensuring a consistent and balanced diet for the birds.' Several stages were undertaken in the development of prototypes and a descriptive and inferential quantitative statistical study to determine the effectiveness and efficiency of the feed dispenser. At the conclusion of the research, the design of an automated feed dispenser prototype and an application (APP) to determine the quantity of food to be supplied were achieved. It can be concluded that the prototype is effective, meeting the established parameters for food distribution in poultry (the poultry sector), and can be adapted to small or large-scale poultry houses. The feed dispenser alleviates the present issues encountered when feeding the chickens efficiently.

**Keywords:** Automation with Arduino, Automatic feed dispenser, Feed dispenser for poultry.

## I. INTRODUCCIÓN

La investigación adopta el noveno Objetivo de Desarrollo Sostenible (ODS) el cual promueve la industrialización inclusiva y sostenible y fomenta la innovación. Actualmente en el campo colombiano, la industria avícola se centra en los grandes productores e ignoran los pequeños productores, además la maquinaria disponible es de elevados costos. Hoy en día, es importante considerar mejorar la manera en la que se realiza el trabajo de alimentar a las gallinas ponedoras por parte de los pequeños productores, en su mayoría realizada manualmente y por mujeres campesinas. Un trabajo caracterizado por requerir como mínimo una hora diaria para realizarlo, por ejemplo, para las gallinas ponedoras en etapa de levante se recomienda alimentarlas 6 veces al día, un solo suministro de comida ocasiona desperdicio del alimento. Se debe tener en cuenta que a las gallinas se alimentan, aunque el cuidador esté indispuerto, tenga una ausencia en la finca, esté lloviendo o se presente alguna situación adversa.

Por otra parte, se deben tener ciertas recomendaciones en el momento de alimentar a las aves, como brindar la cantidad adecuada de comida, no asustarlas y mantener la higiene dentro del galpón [1]. Teniendo en cuenta estos requerimientos el disponer de un dispensador de comida automático garantiza la alimentación de las gallinas con menos esfuerzo, proporcionando bienestar a las aves y al operario, al no estar expuesto diariamente a los olores emanados por los galpones y a las posibles enfermedades transmisibles entre ellos.

La avicultura presenta grandes retos cuando se refiere a la tarea de suministrar el alimento a las aves de corral, van desde suministrar las porciones adecuadas de comida diariamente, hasta evitar enfermedades de los animales por estrés o patógenos introducidos desde el exterior. Como estrategia para el suministro del alimento, evitando o disminuyendo cualquier actuar en contravía al bienestar de las aves de corral y al final contribuyendo a mejorar el rendimiento de esta actividad económica, se han desarrollado múltiples comederos para aves de corral, algunos de estos dispositivos cumplen su función en beneficio de evitar el ingreso repetitivo al corral para suministrar la comida al disponer de un depósito con la capacidad de contener alimento por varios días [2], pero con la desventaja de dejar a voluntad de las aves a consumir la comida deseada y no recomendada, práctica o factible en el caso de gallinas ponedoras, poseedoras de una dieta estricta establecida diariamente o permitir que los animales foráneos se alimenten.

Por otro lado, se han desarrollado alimentadores automáticos con la ventaja de evitar el consumo de la comida por otros animales diferentes a las aves de corral [3], pero de igual manera deja a voluntad el alimento. Para

evitar en gran parte estas problemáticas presentes en los alimentadores comerciales, se implementa un sistema automático de dispensador de alimento para aves de corral, diferenciándolo de los trabajos anteriores mediante el uso de tecnologías actuales como los microcontroladores Arduino [4], su enfoque se centra en un prototipo para la pequeña industria, aunque no ofrece una solución adecuada para el control del dispensador en caso de cambiar la cantidad de animales que se están alimentando. Un sistema diferente, se ha diseñado para llevar la comida a diferentes puntos de alimentación por medio de tuberías dotadas por una sonda de forma de tornillo sin fin en su interior [5], pero dejando por fuera a pequeños avicultores deseosos de disponer una tecnología asequible para resolver sus necesidades a bajo costo.

Ante lo descrito anteriormente, la investigación buscó reducir la problemática presentada disminuyendo las visitas al galpón durante el proceso de alimentación de las aves mediante el desarrollo de un dispensador de alimento para aves de corral automatizado y enfocado a los pequeños productores del sector avícola. Se espera que el dispensador de comida desarrollado garantice la alimentación de las aves de corral de una manera más eficaz y eficiente, con menos esfuerzo y proporcione bienestar al reducir la exposición diaria entre las aves y el operario. Es importante reducir las visitas al galpón para que las aves permanezcan más calmadas y con una mejor nutrición, lo cual representa el buen desarrollo de los animales y por ende una mayor rentabilidad al no afectar el proceso de postura de huevo y a su vez, evitando la enfermedad de los animales o su posible deceso [6].

## II. METODOLOGÍA

La metodología utilizada en la investigación se basó en varias etapas que permitieron crear un prototipo y una APP funcional. Como primera etapa, se realizó un análisis exhaustivo de las necesidades y requerimientos del usuario final. Esta etapa de investigación y recopilación de datos fue fundamental para comprender el objetivo del prototipo y definir su alcance.

Una vez que se tuvieron claros los objetivos, se procedió a la etapa de diseño, donde se incorporó la plataforma Arduino y componentes electrónicos como el relé, fotocelda, y el motorreductor. También, en esta etapa se usó la plataforma Tinkercad en la representación 3D de las partes del prototipo, como lo fueron la tolva, el tornillo sin fin, la carcasa, la base del motor y componentes electrónicos. Esta fase implicó la elaboración de esquemas, diagramas y planos que mostraban cómo sería la apariencia y el funcionamiento del producto final, a la vez que cumplía con las expectativas establecidas en la etapa anterior.

A continuación, se pasó a la etapa de desarrollo, donde se construyó el prototipo físico y se creó la aplicación móvil necesaria para implementar los tiempos de funcionamiento. Esta etapa implicó la programación en App Inventor, la construcción de componentes en impresión 3D y la integración con elementos electrónicos para que el prototipo funcione de manera adecuada. Durante esta fase, también se realizaron pruebas de laboratorio, se recopilaron datos que permitieron mediante un estudio estadístico descriptivo e inferencial, plantear sugerencias para mejorar el prototipo.

Finalmente, se llegó a la etapa de evaluación y mejora, donde se realizó una evaluación exhaustiva del prototipo para identificar los componentes de mejora y solucionar posibles fallos o errores. Esta fase fue clave para garantizar la calidad del producto y asegurarse de que cumple con los estándares establecidos. Una vez realizadas las mejoras necesarias, el prototipo estuvo listo para su impresión 3D final y su implementación en campo.

### III. RESULTADOS

Se desarrolló un prototipo de dispensador automático de alimento para gallinas, como se muestra en la figura 1, con la capacidad de establecer conexión vía bluetooth a un dispositivo móvil con un sistema operativo Android. El funcionamiento del dispensador de alimentos se debe, en gran parte, al microcontrolador que lo controla, se encarga de recibir las señales de la fotocelda, procesarlas y enviar las órdenes correspondientes al relé quien alimenta con 12V a un motorreductor, que a su vez está acoplado a un tornillo sin fin y a una tolva unida a un tubo de PVC con la funcionalidad de almacenar la comida por varios días, la capacidad de almacenar alimento de manera autónoma depende del diámetro, longitud del tubo y al número de gallinas.



Fig. 1 Prototipo de dispensador automático de alimento para gallinas.

El prototipo se instaló en campo, conectado a un sistema de energía solar, compuesto por un panel solar de 10W, un regulador de carga y una batería de 12V. En cuanto, a la forma de suministrar el alimento, el dispensador entrega la primera porción de purina al amanecer cuando una fotocelda instalada en el prototipo detecta los primeros rayos del sol, posteriormente por medio de un retardo en la programación se sigue suministrando la comida de las gallinas durante diferentes momentos del día hasta completar la cantidad recomendada por ave, siendo este valor 120gr por animal. Teniendo en cuenta que un comedero con estas características de dimensionamiento es recomendado para 15 gallinas, se debe instalar más de un dispensador para un número mayor de gallinas.

Fue determinante, encontrar una correlación entre el tiempo y la cantidad de comida suministrada, y de esta manera obtener el modelo matemático de funcionamiento del dispensador de alimento. Se tomó una muestra de 30 datos y con ayuda de una hoja de cálculo se determinó la línea de tendencia, la cual arrojó una alta correlación lineal entre las dos variables, ver figura 2.

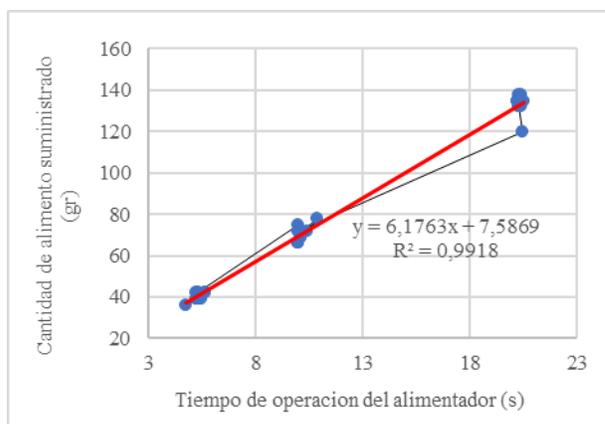


Fig. 2. Tiempo de funcionamiento vs cantidad de alimento suministrado por el prototipo de dispensador de alimento para gallinas.

Para el funcionamiento del dispensador de alimento se diseñó una APP en la plataforma AppInventor, La aplicación permite al usuario ingresar la cantidad de gallinas que se encuentran en el corral, con la finalidad de calcular la cantidad de alimento que se debe dispensar. De esta manera, se optimiza el suministro de alimento y se evita tanto el desperdicio como la insuficiente nutrición de las aves. La APP, establece comunicación con el dispensador mediante conexión vía bluetooth, el usuario debe en primera instancia establecer la conexión, posteriormente seleccionar la cantidad de gallinas y por último dar clic en alimentar aves, el microcontrolador guarda en su memoria este valor y no es necesario volver a programar, al menos que se cambie el número de animales en el corral. Lo anterior, se aprecia en la pantalla de la APP, tal y como se observa en la figura 3.



Fig. 3. APP encargada de activar el alimentador

En cuanto a la eficiencia y eficacia del dispensador de alimento, se presentan los resultados de un estudio cuantitativo de tipo descriptivo e inferencial, mediante el uso de las medidas de tendencia central, de dispersión e intervalos de confianzas. Como primer resultado estadístico, se obtuvo a partir de la toma de 40 mediciones de la cantidad de alimento arrojado en un tiempo de 18,2 segundos, donde se obtuvo una media aritmética de 120,1 gr/s, mediana 118,8 gr/s y moda 118,8 gr/s. Al comparar estas tres medidas se evidencia una distribución normal con leve asimétrica positiva y una baja dispersión dada su desviación estándar de 8,8 gr/s. A continuación, como segundo resultado estadístico se definió un intervalo de confianza con un nivel de significancia del 95%, con valores entre 116,8 gr y 123,4 gr (ver figura 4). Esto significa la confianza brindada a los operarios del alimentador, donde ellos pueden estar un 95% seguros en el suministro adecuado de alimento para sus animales, el cual estará 116,8 gr y 123,4 gr de purina por gallina.

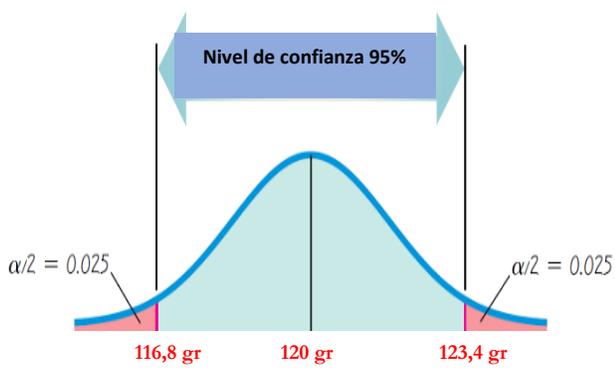


Fig. 4 Intervalo de confianza

Por último, se realizó un control del proceso, se utilizó la toma de 8 muestras, cada una con 5 datos de la cantidad de alimento suministrado en 18,2 segundos, para ser representados en una gráfica de control (ver Figura 5), donde cada punto representa el promedio del peso de cada una de las 8 muestras del suministro de alimento, LC (límite central) es la media de la muestra, LI (límite inferior) y LS (límite superior) del intervalo de confianza. Se aprecia que la mayoría del promedio de las muestras están entre los límites del intervalo de confianza, validando así la eficacia del dispensador de alimento para aves de corral.

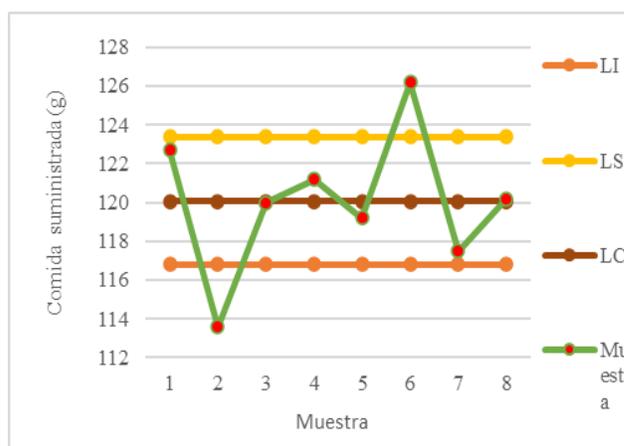


Fig. 5 Gráfico de control del intervalo de confianza.

#### IV. CONCLUSIONES

Se diseñó y construyó un sistema de dispensador de alimento para aves de corral que puede adaptarse a un galpón a pequeña o gran escala, cumpliendo con los requerimientos de alimentación establecidos en el sector avícola. El dispensador de alimento es un sistema eficaz y eficiente que de manera autónoma suministra las cantidades alimenticias de acuerdo con la dieta recomendada.

Por otra parte, el sistema proporciona alivio a la labor diaria del campesino permitiéndole el aprovechamiento de su tiempo en otras actividades propias del campo. Además, da solución a la ausencia del cuidador, mejora la bioseguridad del galpón y disminuye el estrés de las aves al reducir el número de visitas al galpón.

El proyecto se desarrolló en un contexto de población rural posibilitando la aplicación del dispensador de alimentos en la producción avícola, acortando las brechas tecnológicas entre los pequeños avicultores frente a los grandes productores, dando así cumplimiento a los ODS en su noveno numeral.

#### REFERENCIAS

- [1] Lahoz Fuertes, D. Control Ambiental en Galpones de Pollos. Engormix. 2013. [En línea] Disponible en: <https://cutt.ly/KCi2geO>
- [2] SEMBRALIA. Tipos de comederos para aves de corral y gallinas. Funciones, tamaños y que tener en cuenta para elegir un dispensador de alimentos para aves. 2021. [En línea] Disponible en: Recuperado: <https://cutt.ly/DZGhjrN>
- [3] COPELE. Comedero Automático para Gallinas "Safeed" 2022. [En línea] Disponible en: <https://cutt.ly/CZGhe0V>
- [4] Guerra. Dosificador Automático de Alimentos para Aves. 2021 . [En línea] Disponible en: <https://onx.la/e9a0d>
- [5] DirelivKom tecnología agropecuaria. Sistema Automático De Comedero Para Aves. 2022. [En línea] Disponible en: <https://cutt.ly/PZCoorM>
- [6] Prado y Lasso. Galpón Automatizado. 2022 [En línea] Disponible en: <https://cutt.ly/3Ci2cQD>

# **UNISANGILL**

*Eleva tu NIVEL*

VIGILADA MINEDUCACIÓN