

Cuaderno

Enero - Diciembre 2024

Activa

• REVISTA CIENTÍFICA DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA •



TdeA
Institución Universitaria



Cuaderno

Activa

• REVISTA CIENTÍFICA DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA •



Cuaderno

Activa

• REVISTA CIENTÍFICA DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA •

ISSN: 2027-8101

e-ISSN: 2619-5232

Número 16, Enero-Diciembre de 2024

Periodicidad Anual

Leonardo García Botero

Rector

Andrea Aguilar Barreto

Vicerrectora Académica

Fabio Alberto Vargas Agudelo

Director de Investigación

Andrés Felipe Montoya Rendón

Decano Facultad de Ingeniería

DIRECCIÓN EDITORIAL

Darío Enrique Soto Durán

Editor Jefe

Juan David Umaña Gallego

Coeditor

COMITÉ EDITORIAL

Adela Tatiana Rodríguez Chaparro, Ph.D. en Ingeniería Hidráulica y Saneamiento. Universidad Militar Nueva Granada, Colombia.

Alicia Martínez Rebollar, Ph.D. en Informática, Ph.D. en Investigación en Informática y Telecomunicaciones. Centro Nacional de Investigación y Desarrollo Tecnológico (CENIDET), México.

Antonio Silva Sprock, Ph.D. en Management Science. Universidad Central de Venezuela, Venezuela.

Carlos Mario Zapata Jaramillo, Ph.D. en Ingeniería de Sistemas. Universidad Nacional de Colombia, Colombia.

Diana María Montoya Quintero, Ph.D. en Ingeniería de Sistemas e Informática. Universidad Nacional de Colombia, Colombia.

Diego Mauricio Murillo Gómez, Ph.D. en Sonido y Vibraciones. Universidad de San Buenaventura, Colombia.

Fredy Edimer Hoyos Velasco, Ph.D. en Ingeniería. Universidad Nacional de Colombia, Colombia.

Gerard Olivar Tost, Ph.D. en Matemática Aplicada. Universidad Nacional de Colombia, Colombia.

Gonzalo Llano Ramírez, Ph.D. en Telecomunicaciones. Universidad ICESI, Colombia.

Jorge Alberto Villalobos Salcedo, Ph.D. en Informática. Universidad de los Andes, Colombia.

María Cristina Peñuela Mora, M.Sc. Forest Resources Management. State University of New York, United States.

Paola Andrea Noreña Cardona, Ph.D. en Ingeniería de Sistemas e Informática. Universidad Nacional de Colombia, Colombia.

Paola Verónica Britos, Ph.D. en Ciencias Informáticas. Universidad de Río Negro, Argentina.

COMITÉ CIENTÍFICO/ARBITRAL

William Enrique Mercado Borja, Ph. D.
Institución Universitaria Pascual Bravo, Colombia
Fredy Alonso Vidal Alegria, M. Sc.
Institución Universitaria Colegio Mayor del Cauca, Colombia
Adriana Xiomara Reyes Gamboa, Ph. D.
Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid, Colombia
Victor Hugo Capacho Alfonso, M. Sc.
Servicio Nacional de Aprendizaje - Sena, Colombia
Claudia Patricia Muñoz, Especialista
Institución Universitaria Colegio Mayor del Cauca, Colombia
Claudia Patricia Serna Giraldo, M. Sc.
Institución Universitaria Pascual Bravo, Colombia
Oswaldo Ochoa Yepes, Ph. D.
Universidad Pontificia Bolivariana, Colombia
Jairo Umaña Gallego, Ingeniería de Alimentos
BlendTech, Colombia
Robert Esteban Benavides Botina, Ingeniería Química
Secretaría de Salud de Mocoa, Colombia
Yessenia Villamizar Jaimes, Ingeniería Agroindustrial
Hubtek, Colombia
Juan Carlos Valdés Quintero, Ph. D.
Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid, Colombia
María Cecilia Rojas Ángel, Ingeniería de Alimentos
DyD Dinámica y Desarrollo, Colombia
David Camilo Guerrero González, Especialista
Instituto Tecnológico del Putumayo, Colombia
Jorge Luis Ortiz Carrillo, M. Sc.
Universidad de Pamplona, Colombia
Juan David Montoya Páez, Ph. D.
Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid, Colombia
Hernán Jair Andrade Castañeda, Ph. D.
Universidad del Tolima, Colombia
Fabio Salazar Lopera, M. Sc.
Superservicios, Colombia
Sixto Enrique Campaña Bastidas, Ph. D.
Universidad Nacional Abierta y a Distancia, Colombia
Yeiler Alberto Quintero Barco, M. Sc.
Tecnológico de Antioquia, Colombia

INSTITUCIÓN EDITORA

Tecnológico de Antioquia - Institución Universitaria.
Facultad de Ingeniería.
Calle 78B No. 72A – 220. Medellín - Colombia, Suramérica.
Teléfono: (604) 454 70 38

CORRECCIÓN DE ESTILO, DISEÑO, DIAGRAMACIÓN, ILUSTRACIÓN E IMPRESIÓN

Papeles Pa' Ya
Carrera 69k # 71-23 (oficina 302), Bogotá, Colombia
Teléfono: +57 317 435 8309
E-mail: papeles.paya.sas@gmail.com
Corrección de estilo: Paola Ladino · Papeles Pa' Ya.
Diseño y diagramación: Jeniffer Acosta Gutiérrez · Papeles Pa' Ya.
Ilustración de portada: David Osorio Díaz · Papeles Pa' Ya.

Los artículos publicados incorporan contenidos derivados de procesos de investigación, revisión y reflexión académica, que cumplen una función social, sin embargo, no representan los criterios institucionales del Tecnológico de Antioquia - Institución Universitaria. Los contenidos son responsabilidad exclusiva de los autores, y cualquier observación o cuestionamiento sobre la originalidad de los textos puede ser notificada al correo cuadernoactiva@tdea.edu.co y a los autores. El Tecnológico de Antioquia - Institución Universitaria autoriza la reproducción parcial de los textos con fines exclusivamente académicos, dando estricto cumplimiento a las normas de referenciación bibliográfica en favor de los autores y de las instituciones editoras. Cualquier uso diferente requerirá autorización escrita del director, y su omisión inducirá a las acciones legales dispuestas por las leyes internacionales sobre la propiedad intelectual y los derechos de autor.



<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

SITIO WEB

<http://ojs.tdea.edu.co/index.php/cuadernoactiva>

CORREO

cuadernoactiva@tdea.edu.co

Contenido

Presentación

Presentation

7

Editorial

9

Estudio del uso potencial, como coagulante para tratamientos de agua potable, del extracto de semilla de Moringa Oleifera

11

Study of the Potential Use, as a Coagulant for Drinking Water Treatments, of Moringa Oleifera Seed Extract

Antonio Casañas, Nicolau Chirinza, Paulino Muguirrima, Federico León Zerpa, Carlos Mendieta Pino

Contribución de las energías renovables a la disminución de los gases efecto invernadero: una revisión de la literatura

25

Contribution of Renewable Energies to the Reduction of Greenhouse Gases: a Literature Review

Jessica Lorena Cifuentes López, Lyda Yiced Machuca Rojas

Entrevistas guiadas para la optimización de procesos judiciales: un enfoque desde el LegalTech

37

Guided Interviews for the Optimization of Judicial Processes: an Approach from LegalTech

Daniel Arbeláez Álvarez

Machine Learning aplicado a la predicción de pacientes en EPS: una revisión de literatura

49

Machine Learning Applied to Patient Prediction in EPS: a Literature Review

Johnny Urrego, Juan Acosta

Aplicación de la ingeniería de sistemas en la búsqueda y adopción de mascotas: una revisión de literatura

63

Application of Systems Engineering in the Search and Adoption of Pets: a Review of the Literature

Angie Paola Arias Pareja, Geraldine Camino Durango, Miguel Ángel Flórez Peláez

Evaluación de la calidad fisicoquímica y microbiológica del agua lluvia para los potenciales usos domésticos. Caso de estudio: Institución Universitaria Colegio Mayor de Antioquia

79

Evaluation of the Physicochemical and Microbiological Quality of Rainwater for Potential Domestic Uses. Case Study: Institución Universitaria Colegio Mayor de Antioquia

Joan Amir Arroyave-Rojas, María Elena González-Duque, Carlos Andrés Medina-Restrepo

Microencapsulación de aceite esencial de romero por liofilización

93

Microencapsulation of Rosemary Essential Oil by Freeze-Drying

Álvaro Diego Restrepo Álvarez, Ena Patricia López Barrios

Ciberseguridad aplicada a la gestión de datos en empresas de bienes y servicios: una revisión de literatura

109

Cybersecurity Applied to Data Management in Goods and Service Companies: a Literature Review

Sebastián Gómez Sepúlveda, Juan Esteban Vélez Mazo

Evaluación de las propiedades fisicoquímicas de los efluentes de Mozambique Sugar Company

123

Evaluation of the Physicochemical Properties of Effluents from Mozambique Sugar Company

Antonio Casañas, Nicolau Chirinza, Paulino Muguirrima, Federico León Zerpa, Carlos Mendieta



Presentación

Cuaderno Activa es una revista científica de acceso abierto, es editada desde el 2011 por la Facultad de Ingeniería del Tecnológico de Antioquia - Institución Universitaria. *Cuaderno Activa* publica con periodicidad anual artículos del campo de la Ingeniería, la Ciencia y la Tecnología cumpliendo con las políticas editoriales de alta calidad para revistas científicas. El objetivo de la revista es difundir el conocimiento científico y tecnológico resultado de investigaciones originales y relevantes sobre nuevos conocimientos en ingeniería, reflejado a través de productos de investigaciones científicas que buscan contribuir al desarrollo de la Ciencia y la Tecnología.

Objetivos

- Brindar un espacio académico, investigativo y científico en las áreas de Ingeniería.
- Publicar resultados originales de investigación científica y tecnológica.
- Tener calidad editorial en la producción de la revista.
- Ser una fuente de difusión y discusión para la comunidad científica.

Política editorial

Para garantizar la calidad de las publicaciones, *Cuaderno Activa* dispone de dos comités que permiten dar cumplimiento a los procesos editoriales de la revista en compañía de un director editorial, el cual debe ser un docente-investigador que lidere el proceso editorial y la periodicidad de la revista. El Comité Editorial define los criterios con que se rige la revista y está conformado por pares académicos nacionales e internacionales. El Comité Científico/Arbitral verifica la pertinencia de los artículos y está integrado por miembros internacionales ajenos al proceso editorial. Además, el Comité Científico/Arbitral valora rigurosamente el contenido de los escritos que envían los autores y está compuesto por evaluadores internos y externos a la institución editora, expertos en el área. (Los miembros de los comités podrán ser árbitros o autores, siempre y cuando no participen en ambos roles en el mismo número de la edición).

Política de acceso abierto

Esta revista se inscribe en la política de libre acceso a la información que ella contiene. La revista *Cuaderno Activa* puede ser consultada en la plataforma de gestión de revistas académicas y científicas del Tecnológico de Antioquia - Institución Universitaria: <http://ojs.tdea.edu.co>. La revista *Cuaderno Activa* se encuentra incluida en:

Repositorio digital:  

Índices de revistas:  



Presentation

Cuaderno Activa is a scientific journal with an Open Access character, it has been published since 2011 by the Faculty of Engineering of Tecnológico de Antioquia - Institución Universitaria. *Cuaderno Activa* publishes articles in the field of Engineering, science and technology on an annual basis, complying with high quality editorial policies for scientific journals. The aim of this journal is to disseminate scientific and technological knowledge resulting from original and relevant research on new engineering knowledge, reflected through scientific research products that seek to contribute to the development of Science and Technology.

Objectives

- To provide an academic, research and scientific space in the field of Engineering.
- To publish original results of scientific and technological research.
- To issue a journal with editorial quality.
- To be a source of dissemination and discussion for scientific community.

Editorial policy

Cuaderno Activa has two committees that allow to achieve the journal editorial process in order to guarantee the quality of publications. The committees work together with an editorial director, which must be a teacher-researcher who leads the editorial process and the periodicity of the journal. The Editorial Committee defines the criteria used by the journal and is made up of national and international academic peers. The Scientific/Arbitration Committee verifies the relevance of the articles and rigorously assesses the content of the writings submitted by the authors. The Scientific / Arbitration Committee is made up of international members who are not part of the editorial process. Besides, it is composed by internal evaluators and external of the publishing institution, experts in the area. (Committee members may be judges or authors, as long as they do not participate in both roles in the same issue.)

Open-access policy

This journal adheres in an open access policy to the information that it contains. The journal *Cuaderno Activa* can be visited on the platform for academic and scientific journals of Tecnológico de Antioquia - University Institution: <http://ojs.tdea.edu.co>. *Cuaderno Activa* journal is included in:

Digital repository:  

Indexes of journals:  

Cuaderno

Activa

• REVISTA CIENTÍFICA DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA •

Editorial

Los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) abarcan a toda la humanidad. Representan estrategias que se despliegan desde los hogares hasta las grandes industrias, con el propósito de darle un respiro a la Tierra, aprender a cuidar nuestro entorno, promover una educación de calidad y transformar el mundo sin devastarlo. Implican encontrar maneras sostenibles de aprovechar los recursos naturales, sociales, tecnológicos y culturales para hacer del planeta un lugar habitable para el presente y el futuro de las próximas generaciones.

La Revista Cuaderno Activa se alinea con la agenda mundial, a través de su edición No. 16, con el propósito de fomentar estrategias académicas que aporten a la solución de problemáticas vinculadas con los ODS. En este marco, la comunidad académica e investigativa propone iniciativas orientadas a mitigar el cambio climático, reducir el impacto ambiental de los avances tecnológicos y promover buenas prácticas que contribuyan a un mundo justo y en equilibrio con el medio ambiente.

En esta edición se abordan temas clave para el desarrollo sostenible tales como: a) la optimización del uso del agua en la industria de alimentos; b) el impacto de las energías renovables en la reducción de los gases de efecto invernadero; c) la articulación entre justicia y tecnología para resolver problemáticas sociales; d) el mejoramiento de la administración y la toma de decisiones en la atención a pacientes; e) el uso de tecnología para la localización de mascotas en caso de pérdida; f) el análisis físico-químico y microbiológico del agua lluvia para su uso en actividades domésticas; g) la encapsulación del aceite de romero mediante liofilización y su aplicación en la industria textil; h) y las prácticas de ciberseguridad aplicadas al mundo empresarial.

La difusión de estas iniciativas académicas promueve la innovación y la investigación, facilitando la implementación de los objetivos que impactan a la comunidad a través de prácticas que impulsan una industria consciente del entorno, y que contribuyen a la construcción de una sociedad sostenible, justa, inclusiva y con oportunidades para todos.

El equipo editorial agradece a los autores y al Comité Científico por sus valiosos aportes, que han hecho posible este nuevo volumen de la revista Cuaderno Activa. Asimismo, esperamos que esta edición contribuya la generación de nuevo conocimiento y constituya un punto de partida para nuevas iniciativas orientadas a fortalecer la investigación e innovación científica.

Dario E. Soto Durán

Editor

Juan D. Umaña Gallego

Coeditor







Estudio del uso potencial, como coagulante para tratamientos de agua potable, del extracto de semilla de Moringa Oleifera

Study of the Potential Use, as a Coagulant for Drinking Water Treatments, of Moringa Oleifera Seed Extract

Antonio Casañas¹, Nicolau Chirinza², Paulino Muguirrima³, Federico León Zerpa⁴, Carlos Mendieta Pino⁵

Tipo de Artículo: investigación.

Recibido: 23/04/2024. **Aprobado:** 14/11/2024. **Publicado:** 12/12/2024

Resumen: El objetivo de este estudio es proponer el uso del extracto de semilla de Moringa oleifera como coagulante en el tratamiento de agua, evaluando su eficiencia en la eliminación de diversos parámetros considerados mínimos para garantizar su potabilidad, en comparación con el sulfato de aluminio como coagulante convencional. El coagulante a base de extracto de semilla de Moringa oleifera es de fácil adquisición y uso, y cuando

se prepara de forma optimizada, cumple con los estándares recomendados de potabilidad del agua. Desde una perspectiva ambiental, su uso resulta favorable, ya que no genera subproductos nocivos al medio ambiente.

Palabras clave: coagulante; semilla de Moringa oleifera; sulfato de aluminio.

- ¹ Autor correspondiente: Antonio Casañas. Mayor título: Máster en Ingeniería Industrial. Filiación institucional: Universidad de las Palmas de Gran Canaria. País: España, Ciudad: Palmas de Gran Canaria. Correo electrónico: tonicasanas@hotmail.com
- ² Autor correspondiente: Nicolau Chirinza. Mayor título: Ingeniero de Procesos. Filiación institucional: Universidad Zambeze. País: Mozambique, Ciudad: Beira. Correo electrónico: nicolau.chirinza101@alu.ulpgc.es. ORCID: 0009-0006-2260-1802
- ³ Autor correspondiente: Paulino Muguirrima. Mayor título: Ingeniero Físico. Filiación institucional: Universidad Zambeze. País: Mozambique, Ciudad: Beira. Correo electrónico: paulino.muguirrima101@alu.ulpgc.es. ORCID: 0000-0002-7253-3477
- ⁴ Autor correspondiente: Federico León Zerpa. Mayor título: Ingeniero Industrial. Filiación institucional: Universidad de las Palmas de Gran Canaria. País: España, Ciudad: Palmas de Gran Canaria. Correo electrónico: federico.leon@ulpgc.es. ORCID: 0000-0003-2284-8400
- ⁵ Autor correspondiente: Carlos Mendieta Pino. Mayor título: Ingeniero Industrial. Filiación institucional: Universidad de las Palmas de Gran Canaria. País: España, Ciudad: Palmas de Gran Canaria. Correo electrónico: carlos.mendiet@ulpgc.es. ORCID: 0000-0002-1808-0112

Abstract: The aim of this study is to propose the use of *Moringa oleifera* seed extract as a coagulant in water treatment, with a reference to its efficiency in removing various parameters considered to be the minimum necessary for water potability, compared to the use of aluminium sulphate as a coagulant. The *Moringa oleifera* seed extract coagulant is easy to acquire and use, and prepared in an optimised way, it complies with the recommended standards for water potability. In environmental terms, its use is recommended because it does not transmit harmful by-products to the environment.

Keywords: Coagulant; *Moringa oleifera* seed; Aluminium sulphate.

1. Introduction

Water treatment is a process in which the aim is to remove or eliminate organic matter, sludge, sand and analyse the physico-chemical and microbiological characteristics through regulations to make it ideal for human consumption [1].

The coagulation process is an essential stage in water purification. This depends on converting suspended particles into larger flocs that can settle or be easily filtered out of the water. This process involves the addition of certain chemicals called coagulants, which can help flocculate suspended particles in water. *Moringa* is sometimes used in the coagulation process in water treatment, where it is known to have certain proteins that are positively charged in solutions and can bind to negatively charged particles to remove turbidity from water [2, 3].

The use of *Moringa oleifera* seed as a coagulant presents some challenges to overcome, as the unfractionated seed also has other compounds that are released along with the cationic proteins of interest that can cause undesirable results, such as residual organic carbon and cytotoxicity after water treatment [4]. The core of *Moringa oleifera* seeds contains approximately 36.7% protein, 34.6% lipids and 5.0% carbohydrates (w/w), and as an undesirable consequence, these compounds (organic matter) can facilitate the new growth of microor-

ganisms and lead to the formation of disinfection by-products [2, 4].

Natural organic polymers have been used for more than 4,000 years in India, Africa, and China as efficient coagulants and as coagulation aids for high turbidity water for domestic use in rural areas. Beginning in the 19th century, chemical coagulants such as iron chloride III and aluminium sulphate where they came to be used all over the world to treat water for human consumption, which left the use of coagulants in the background, except in rural areas and developing countries that still use them. However, chemical coagulants have an impact on the environment and human health due to their composition and higher cost [1]. It is therefore extremely important to use natural products in order to minimise the environmental impact and unnecessary cost increases in water treatment [5, 6].

The general aim of this article is to propose the use of *Moringa oleifera* seed extract as a coagulant in the treatment of drinking water, comparing its efficiency with aluminium sulphate as a coagulant.

Water is one of the fundamental components of sustainable development and its conservation is essential for the preservation of biodiversity on our planet. Urbanisation, changes in production and consumption patterns in industrialised and developing nations provide current issues for water cycle management; wastewater sanitation is one of them posing a double threat to public health and environmental protection [7]. However, it is extremely imperative to adopt techniques aimed at treating water to meet the quality requirements of potability and environmental standards. The coagulation process is widely used in water and sewage treatment, as it is effective at removing suspended solids, turbidity, organic matter, oil, chemical oxygen demand (COD) and colour. The coagulation process is conducted by adding a coagulant that allows small, agglomerated particles (unstable fine particles) to form into larger flocs that can settle. Coagulation and flocculation are interlinked. Coagulation is the process of grouping under high-speed mixing, while flocculation is the process of sedimentation under gentle mixing. Colloidal particles are neg-

atively charged particles. Therefore, coagulation is a chemical process involving the neutralisation of these particles in water and wastewater, while flocculation is a physical process involving the formation of flocs from particles neutralised during the coagulation process. Thus, large flocs form during coagulation, and they aggregate and sediment during flocculation [9,11].

Coagulation sedimentation is widely used in water treatment due to its ease of maintenance and low operating cost. Drinking water processing relies heavily on coagulation sedimentation, which accounts for approximately 5% of the total cost of operating water treatment facilities [10].

It has been demonstrated that rapid stirring is an efficacious method for accelerating the formation of flocs, irrespective of the type of coagulant employed and the presence or absence of a coagulant aid.

The incorporation of chitosan during the initial stages of stirring has been demonstrated to enhance floc formation, as evidenced by the diminished residual turbidity.

The formation of large flocs did not necessarily result in a reduction in the final turbidity, contrary to the hypothesis. The utilisation of chitosan as a coagulant aid did not result in the attainment of the maximum floc size. However, the presence of dissolved chitosan appeared to result in a more uniform floc size, which in turn led to a faster reduction in residual turbidity.

A search for the isoelectric condition by varying the concentration of added moringa proved an effective method for identifying the optimum moringa concentration at which coagulation sedimentation occurs most efficiently, thereby reducing residual turbidity. This method was demonstrated to be efficacious even when the initial turbidity was markedly lower than that observed in wastewater. The utilisation of moringa as a coagulant aid may assist in reducing the risk of polluting drinking water, as it is a natural substance that is less deleterious than other synthetic chemicals. Given the abundance and ubiquity

of chitosan, it could be a promising candidate natural resource for replacing synthetic chemicals that have been used for treating drinking water.

II. Materials and Methods

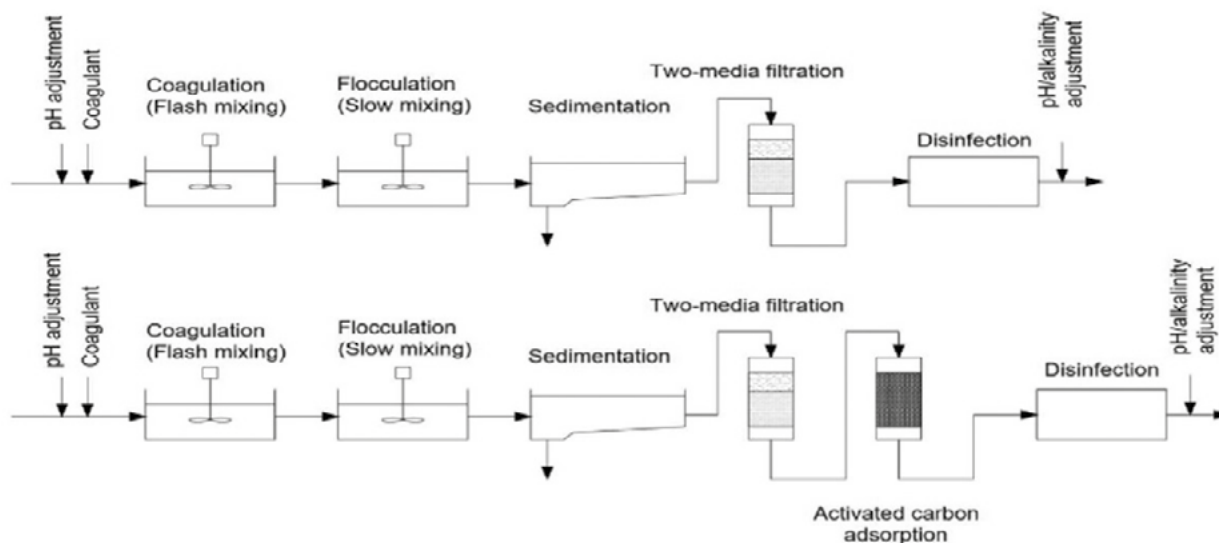
The coagulation mechanism using *Moringa oleifera* to remove pollutants from water is due to the combination of the coagulation and charge neutralization mechanisms. This is like the coagulation mechanism of aluminium sulphate [11]. *Moringa oleifera* seeds contain significant amounts of soluble cationic proteins, and when they are ground into powder and added to turbid water, they release positive charges, attracting negatively charged particles such as mud, clay, bacteria and other particulates present in the water. Coagulation occurs when the cationic proteins bind to the negative particles, forming flakes [10]. *Moringa oleifera* can clarify high, medium, and low turbidity water [2,12]. While aluminium-based coagulants are efficient in a restricted range of pH levels in water treatment, the use of *Moringa oleifera* seeds is independent of the pH of the water to be treated for its efficiency.

Another beneficial effect that should be noted when *Moringa oleifera* is used as a coagulant is the effect of biological water treatment, which occurs concomitantly with coagulation. This effect is because *Moringa oleifera* contains an antimicrobial substance that acts on the microorganisms that are found in the particles suspended in the water and end up being eliminated along with the sludge [7,9,13]. The use of *Moringa oleifera* seeds and pods together with filtration in water treatment shows good results and reduces the use of non-biodegradable chemical coagulants, as well as having the advantages of less sludge generation, the production of biodegradable sludge, good removal of turbidity and colour, removal of almost 90% of bacteria and maintaining the pH of the water. Other advantages of the moringa seed extract are that it is easy to handle, involves simple technologies that unskilled professionals can operate, and is a biodegradable extract [14,15].

Regarding the quality of drinking water, a considerable number of water supply systems that provide drinking water to local people and communities around the world are fed by surface water sources [1,13].

The quality of surface water is important, among other concerns, due to its widespread use as the main source of drinking water for countless communities around the world (figure 1).

Figure 1. Conventional water treatment system



Note: adapted by Takaara [10].

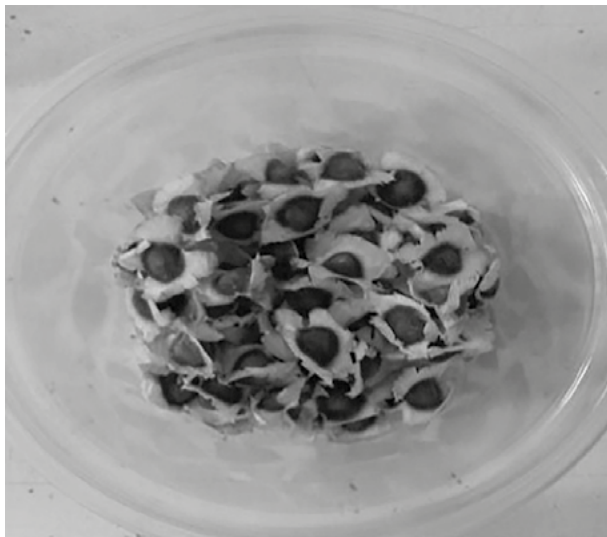
Although the specific targets for surface water treatment can vary depending on the source, water quality and regulatory standards, the parameters that usually require reduction are the same for most surface waters and include turbidity, colour, and organic matter content. Current surface water purification methods include adsorption, membrane filtration, ion exchange, advanced oxidation processes and biological processes. However, traditional coagulation is still the most prevalent [12].

The conventional water treatment system consists of coagulation followed by sedimentation, filtration and often activated carbon adsorption (Figure 1) [10,12].

Preparation of the coagulating solution from *Moringa oleifera* seed extract

For the preparation of the bio-coagulant solution, the ideology of the various authors was followed Alam et al. [9] Alazaiza et al. [8]. According to the authors, for an initial turbidity of 50 NTU, the best dosage for the aqueous bio-coagulant would be at a concentration of 2%, with 2 g of the ground sample of *Moringa oleifera* seeds in 100 ml of distilled water. The procedure used was as follows:

a) Figure 2. Shows the *Moringa Oleifera* seeds in two scenarios: first, the seeds in their shells, and second, the seeds peeled with a knife



Note: self-made source.

Figure 3. Ground *Moringa* seed



Note: self-made source.

In order to improve contact between the particles, it was necessary to reduce the particle size of the seeds using a knife mill.

b) The active compound was extracted as follows:

I. Using a spatula and an analytical balance, 2 g of *Moringa oleifera* seed powder was weighed.

II. A 100 ml beaker was used to measure 100 ml of distilled water.

III. 2 g of *Moringa oleifera* seed powder was added to a 600 ml beaker and then 100 ml of distilled water was added to the same beaker.

IV. The mixture was placed on a magnetic stirrer for high agitation for 4 minutes. The solution obtained under these conditions corresponds to a concentration of ground *Moringa oleifera* seeds of 20 g/l.

The mixture of ground *Moringa oleifera* seeds and distilled water results in a whitish liquid with an intense odour. Its shelf life is limited due to its biodegradation. For this reason, the *Moringa oleifera* seed extract solutions were prepared on the days of the Jar Test.

III. Results and Discussion

After collecting the samples, it was necessary to carry out an analysis of the different parameters including turbidity, total dissolved solids, temperature, pH, aluminium, iron and manganese before the Jar Test, so that a comparison could then be made of the parameters analysed before and after the treatment of the raw water. It should be noted that Table 1 shows the values for the analyses of the raw water parameters.

Table 1. Results of the analyses of the various parameters in the raw water

Raw water	Turbidity (NTU)	TDS (mg/l)	Temperature (°C)	pH	Al (mg/l)	Fe (mg/l)	Mn (mg/l)
Sample 1	44	89,9	34,0	7,54	0,095	1,500	0,8
Sample 2	30	84,3	35,6	7,61	0,082	0,101	0,5
Sample 3	57	86,2	33,2	7,43	0,109	1,520	0,3

Note: author's source (2023).

a) Jar test using coagulant solution from *Moringa oleifera* seed extract

Table 2. Turbidity results in jar tests using the *Moringa oleifera* seed extract coagulant solution

Volume (ml)	4	5	6	7	8
Turbidity after test 1 (NTU)	10,4	8,6	6,8	4,9	6,2
Turbidity after test 2 (NTU)	6,6	6,0	5,9	5,6	4,4
Turbidity after test 3 (NTU)	5,8	5,4	6,1	16,15	15,1

Note: author's source (2023).

b) Jar test using aluminium sulphate coagulant solution

Table 3. Results of jar tests using the aluminium sulphate coagulant solution

Volume (ml)	4	5	6	7	8
Turbidity after test 1 (NTU)	29,0	11,2	9,1	3,9	3,4
Turbidity after test 2 (NTU)	27,6	17,0	5,84	3,9	3,0
Turbidity after test 3 (NTU)	8,81	4,2	4,8	5,9	6,0

Note: author's source (2023).

After the Jar Tests using the *Moringa oleifera* seed extract coagulant solution and the aluminium sulphate coagulant solution, the samples with the best turbidity were kept. Then the parameters (turbidity, total dissolved solids, temperature, pH, aluminium, iron and manganese) were analysed.

Table 4. Results of the parameter analyses after treating the raw water with the coagulating solution from the *Moringa oleifera* seed extract

	Turbidity (NTU)	TDS (mg/l)	Temperature (°C)	pH	Al (mg/l)	Fe (mg/l)	Mn (mg/l)
Test 1	4,9	89,8	34,0	7,76	0,034	0,23	0,3
Test 2	4,4	89,9	33,3	7,74	0,047	0,10	0,3
Test 3	5,4	80,2	33,8	7,32	0,008	0,15	0,3

Note: author's source (2023).

Table 5. Results of the parameter analyses after treating the raw water with the Aluminium Sulphate coagulant solution

	Turbidity (NTU)	TDS (mg/l)	Temperature (°C)	pH	Al (mg/l)	Fe (mg/l)	Mn (mg/l)
Test 1	3,4	97,5	34,3	6,51	0,108	0,27	0,5
Test 2	3,0	101,1	32,6	6,73	0,102	0,51	0,5
Test 3	4,2	94,4	32,9	6,70	0,115	0,18	0,7

Note: author's source (2023).

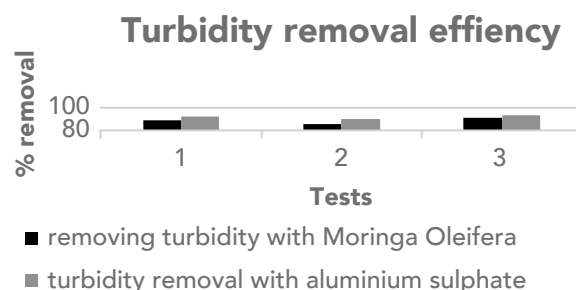
Comparative evaluation of parameter concentration removal efficiency in raw water treatment using Moringa oleifera extract coagulant Vs Aluminium sulphate coagulant.

Turbidity

Table 6. Turbidity removal efficiency at the end of the tests using the Moringa oleifera seed extract coagulant solution and the aluminium sulphate coagulant solution

	Turbidity removal efficiency with Moringa oleifera (%)	Turbidity removal efficiency with aluminium sulphate (%)
Test 1	88,86364	92,27273
Test 2	85,33333	90
Test 3	90,52632	92,63158

Note: author's source (2023).

Figure 4. Comparative evaluation of turbidity removal efficiency at the end of the tests using the Moringa oleifera seed extract coagulant solution and the aluminium sulphate coagulant solution

Note: author's source (2023).

The use of the Moringa Oleifera extract coagulant obtained inferior results in relation to the removal efficiency using the Aluminium Sulphate coagulant, but according to [16, 17]. However, at the end of the tests, the use of the Moringa oleifera seed extract coagulant solution achieved up to 90.52632% removal in test 3, and in tests 1 and 2 it removed 88.86364 and 85.33333%, respectively.

c) Total dissolved solids

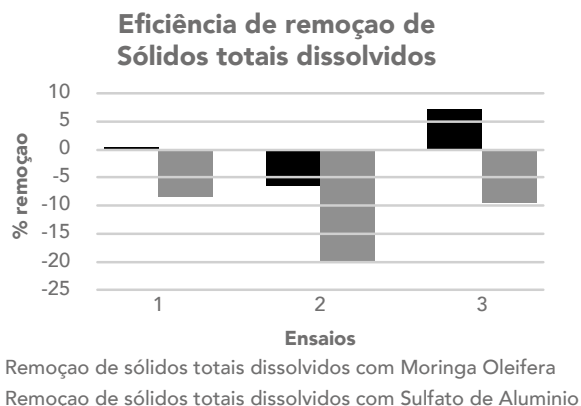
Table 6 and Figure 5 show the total dissolved solids removal efficiency values after the tests using the Moringa oleifera seed extract coagulant solution and the aluminium sulphate coagulant solution.

Table 7. Comparative evaluation of total dissolved solids removal efficiency at the end of the tests using the Moringa oleifera seed extract coagulant solution and the aluminium sulphate coagulant solution

	TDS removal efficiency with Moringa oleifera (%)	TDS removal efficiency with aluminium sulphate (%)
Test 1	0,11123	-8,4538
Test 2	-6,6429	-19,929
Test 3	6,96056	-9,5128

Note: author's source (2023).

Figure 5. Comparative graphical representation of the total dissolved solids removal efficiency at the end of the tests using the Moringa oleifera seed extract coagulant solution and the aluminium sulphate coagulant solution



Note: author's source (2023).

The results for total dissolved solids removal efficiency showed low removal efficiency for both the treatment with the Moringa oleifera seed extract coagulant solution and the aluminium sulphate coagulant solution, but the use of the Moringa oleifera seed extract coagulant solution proved to be more efficient at removing total dissolved solids, with up to 6.96056% removal for trial 3. For the treatment with aluminium sulphate, the results were not satisfactory, obtaining negative values, i.e. increasing the concentration of total dissolved solids in all tests.

d) Temperature

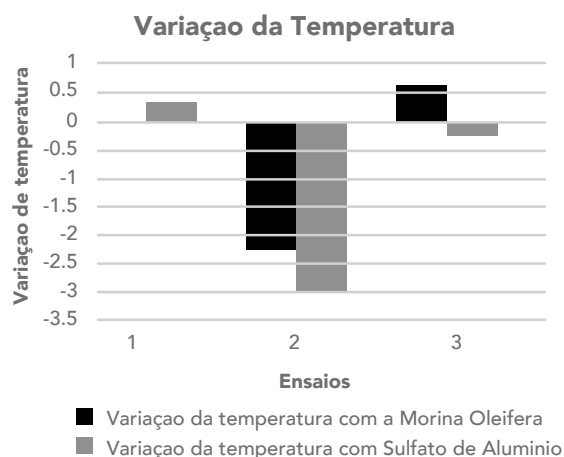
Table 8 and Figure 6 show the temperature variation values after the tests using the Moringa oleifera seed extract coagulant solution and the aluminium sulphate coagulant solution.

Table 8. Temperature variation at the end of the tests using the Moringa oleifera coagulant solution and the aluminium sulphate coagulant solution

	Temperature variation with Moringa oleifera	Temperature variation with aluminium sulphate
Test 1	0	0,3
Test 2	-2,3	-3
Test 3	0,6	-0,3

Note: author's source (2022).

Figure 6. Temperature variation at the end of the tests using the Moringa oleifera seed extract coagulant solution and the aluminium sulphate coagulant solution



Note: author's source (2003).

Table 8 and Figure 6 show that there were small variations in temperature at the end of the tests. The temperature values at the end of the tests remained close to the raw water value for each sample, with a maximum variation of 3 °C more for test 2 using the aluminium sulphate coagulant solution and a minimum variation of 0 °C for test 1 using the Moringa oleifera seed extract coagulant solution.

Hydrogen potential

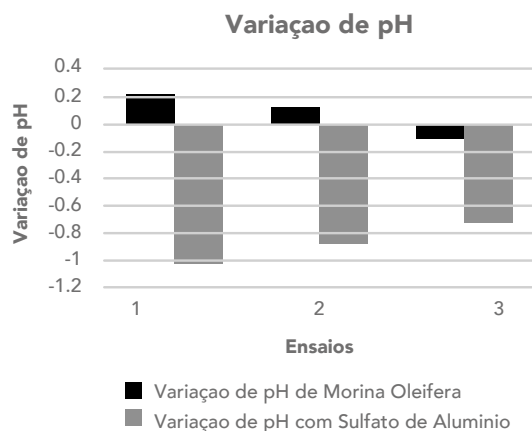
Table 9 and Figure 7 show the pH variation values after the tests using the Moringa oleifera seed extract coagulant solution and the aluminium sulphate coagulant solution.

Table 9. pH variation at the end of the tests using the Moringa oleifera seed extract coagulant solution and the aluminium sulphate coagulant solution

	pH variation with Moringa oleifera	pH variation with aluminium sulphate
Test 1	0,22	-1,03
Test 2	0,13	-0,88
Test 3	-0,11	-0,73

Note: author's source (2023).

Figure 7. pH variation at the end of the tests using the Moringa oleifera seed extract coagulant solution and the aluminium sulphate coagulant solution



Note: author's source (2023).

Several studies that have used aluminium sulphate to treat water point to a decrease in pH in relation to its initial value [18, 19]. During the coagulation/flocculation and sedimentation tests, this drop was seen in the pH values of the tests using the aluminium sulphate coagulant solution, and when using the Moringa oleifera seed extract coagulant solution, there was a slight increase in values in tests 1

and 2, and a slight drop in test 3 in relation to the initial values.

Table 8 and Figure 7 show that there were greater variations in pH in the tests using the aluminium sulphate coagulant solution. The pH values at the end of the tests showed that the use of the Moringa oleifera seed extract coagulant solution was more satisfactory than those obtained using the aluminium sulphate coagulant solution, with the smallest variation being 0.11 units less in test 3 using the Moringa oleifera seed extract coagulant solution and the largest variation being 1.03 units less in test 1 using the aluminium sulphate coagulant solution.

e) Aluminium

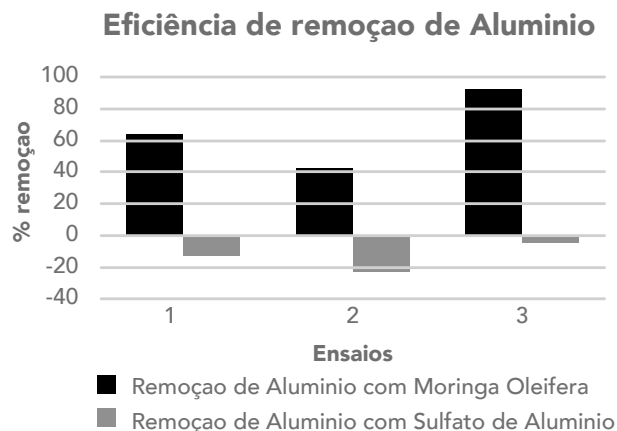
Table 10 and Figure 8 show the aluminium removal efficiency values after the tests using the Moringa oleifera seed extract coagulant solution and the aluminium sulphate coagulant solution.

Table 10. Aluminium removal efficiency at the end of the tests using the Moringa oleifera seed extract coagulant solution and the aluminium sulphate coagulant solution

	Aluminium removal efficiency with Moringa oleifera (%)	Aluminium removal efficiency with aluminium sulphate (%)
Test 1	64,21053	-13,6842
Test 2	42,68293	-24,3902
Test 3	92,66055	-5,50459

Note: author's source (2023).

Figure 8. Aluminium removal efficiency at the end of the tests using the *Moringa oleifera* seed extract coagulant solution and the aluminium sulphate coagulant solution



Note: author's source (2023).

Aluminium removal in the treatment with the *Moringa oleifera* seed extract coagulant solution showed better efficiency, reaching up to 92.66055% in trial 3, and was more efficient in all trials, with trials 1 and 2 removing up to 64.21053 and 42.68293%. With the use of the aluminium sulphate coagulant solution, the results were negative in terms of removal, with an increase in the concentration of aluminium of up to 24.3902% in the treatment of sample 2, with samples 1 and 3 having an increase of 13.6842% and 5.50459% in relation to the raw water for both samples.

f) Iron

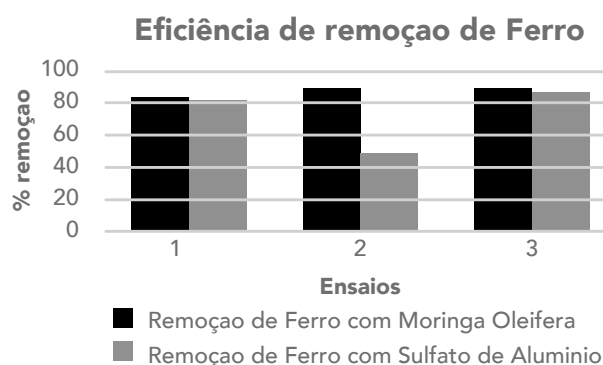
Table 11 and Figure 9 show the iron removal efficiency values after the tests using the *Moringa oleifera* seed extract coagulant solution and the aluminium sulphate coagulant solution.

Table 11. Iron removal efficiency at the end of the tests using the *Moringa oleifera* seed extract coagulant solution and the aluminium sulphate coagulant solution

	Iron removal efficiency with <i>Moringa oleifera</i> (%)	Iron removal efficiency with aluminium sulphate (%)
Test 1	84,6667	82
Test 2	90,099	49,505
Test 3	90,1316	88,1579

Note: author's source (2023).

Figure 9. Ferron removal efficiency at the end of the tests using the *Moringa oleifera* seed extract coagulant solution and the aluminium sulphate coagulant solution



Note: author's source (2023).

For iron removal, the treatment with the *Moringa oleifera* seed extract coagulant solution showed better efficiency, reaching up to 90.1316% in trial 3, and was more efficient in all trials, with trials 1 and 2 removing up to 84.6667 and 90.099%. With the use of the aluminium sulphate coagulant solution, the results were lower than those obtained with the use of the *Moringa oleifera* seed extract coagulant solution, but satisfactory, achieving a maximum removal efficiency of 88.1579% in test 3, with tests 1 and 2 having reduced it by 82 and 49.505% compared to the raw water for both samples.

g) Manganese

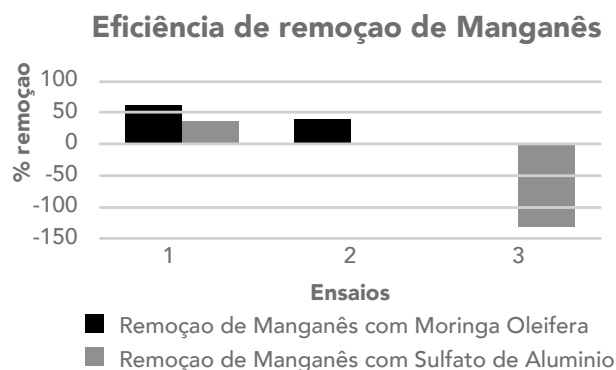
Table 12 and Figure 10 show the manganese removal efficiency values after the tests using the Moringa oleífera seed extract coagulant solution and the aluminium sulphate coagulant solution.

Table 12. Manganese removal efficiency at the end of the tests using the Moringa oleífera seed extract coagulant solution and the aluminium sulphate coagulant solution

	Manganese removal efficiency with Moringa Oleífera (%)	Emotional manganese removal efficiency with aluminium sulphate (%)
Test 1	62,5	37,5
Test 2	40	0
Test 3	0	-133,333

Note: author's source (2023).

Figure 10. Manganese removal efficiency at the end of the tests using the Moringa Oleífera seed extract coagulant solution and the Aluminium Sulphate coagulant solution



Note: author's source (2023).

For manganese removal, treatment with the Moringa oleífera seed extract coagulant solution showed better efficiency, reaching up to 62.5% in trial 1, and was more efficient in all trials, with trials 2 and 3 reducing 40 and 0% of manganese. With the use of the aluminium sulphate coagulant solution, results were lower than those obtained with the use of the Moringa oleífera seed extract coagulant

solution, achieving a maximum removal efficiency of 37.5% in trial 1, with trial 2 maintaining the same concentration in relation to the raw water and trial 1 increasing 133.333% in relation to the raw water.

IV. Conclusions

The use of Moringa oleífera coagulant is highly recommended because it is optimally prepared and meets the required standard for water potability. In terms of economic evaluation and environmental quality, the use of Moringa oleífera coagulant is also unbelievably valuable, as its acquisition and preparation does not require a great deal of technology or energy. The results obtained in the laboratory analyses of the various parameters in three tests showed satisfactory results and perfect removal efficiency, although the use of the coagulant in the proposal is recommended. With regard to environmental quality, it does not contribute contaminating by-products to the environment or the possibility of contaminating the treated water.

V. Acknowledgements

This project was made possible with the unconditional contribution of the students of Industrial Process Engineering 2023 edition, third year who were involved in the search for the materials used. This research was co-funded by the INTERREG V-A Cooperation, Spain-Portugal MAC (Madeira-Azores-Canaries) 2014-2020 programme, MITIMAC project (MAC2/1.1a/263).

VI. References

- [1] S. Urrea-Florián and A. Torres-Benítez, "Evaluation of Seeds Moringa oleífera Lam. Present in Urban Forests as a Coagulant-Flocculant for Water Treatment", vol. 4, n° 1, 2021. <https://doi.org/10.3390/IECPS2020-08553>
- [2] M. Elsergany, "The Potential Use of Moringa peregrina Seeds and Seed Extract as a Bio-Coagulant for Water Purification", Water, vol. 15, n° 15, 2023.

- [3] P. Thanekar and P. Gogate, "Application of hydrodynamic cavitation reactors for treatment of wastewater containing organic pollutants: Intensification using hybrid approaches", *Fluids*, vol. 3, n° 4, 2018.
- [4] G. G. Chales, B. S. Tihameri, N. V. M. Milhan, C. Y. Koga-Ito, M. L. P. Antunes and A. G. Reis, "Impact of Moringa oleifera Seed-Derived Coagulants Processing Steps on Physicochemical, Residual Organic, and Cytotoxicity Properties of Treated Water", *Water*, vol. 14, n° 13, 2022.
- [5] J. C. Piñero, S. K. Souder, T. R. Smith and R. I. Vargas, "Attraction of Bactrocera cucurbitae and Bactrocera dorsalis (Diptera: Tephritidae) to beer waste and other protein sources laced with ammonium acetate", 2017.
- [6] A. C. Rodrigues, P. Moreira, J. A. Oliveira, J. M. Oliveira, L. Melo and A. G. Brito, "Liquid effluent treatment in the food industry: the case of the wine and beers sectors".
- [7] A. Hadadi, A. Imessaoudene, J. C. Bollinger, A. A. Assadi, A. Amrane and L. Mouni, "Comparison of Four Plant-Based Bio-Coagulants Performances against Alum and Ferric Chloride in the Turbidity Improvement of Bentonite Synthetic Water", *Water*, vol. 14, n° 20, 2022.
- [8] M. Y. D. Alazaiza, A. Albahnasawi, G. Ali, M. J. K. Bashir, D. E. Nassani, T. Al Maskari, S. S. Abu Amr and M. S. S. Abujazar, "Application of natural coagulants for pharmaceutical removal from water and wastewater: A Review", *Water*, vol. 14, n° 2, 2022.
- [9] M. W. Alam, P. Pandey, F. Khan, B. Souayah and M. Farhan, "Study to investigate the potential of combined extract of leaves and seeds of moringa oleifera in groundwater purification" *Int. Journal Environ. Res. Public Health* vol. 17, n° 20, pp.1-13, 2020.
- [10] T. Takaara and K. Kurumada, "Optimum conditions for enhancing chitosan-assisted coagulation in drinking water treatment", *Sustainability* vol. 15, n° 19, 14197, 2023.
- [11] M. Y. D. Alazaiza, A. Albahnasawi, G. Ali, M. J. K. Bashir, D. E. Nassani, T. Al Maskari, S. S. Abu Amr and M. S. S. Abujazar, "Application of natural coagulants for pharmaceutical removal from water and wastewater: a review", *Water* vol. 14, n° 2, 2022.
- [12] A. Knap-Bałdyga and M. Żubrowska-Sudoł, "Natural organic matter removal in surface water treatment via coagulation-current issues, potential solutions, and new findings", *Sustainability*, vol. 15, n° 18, 13853, 2023.
- [13] T. Ribeiro, F. J. Ladeia Janz, D. Vizibelli, J. Borges, J. A. Borssoi, A. A. Fukumoto, R. Bergamasco, N. Ueda Yamaguchi and E. R. Pereira, "Magnetic natural coagulants for plastic recycling industry wastewater treatability", *Water* vol. 15, n° 7, 2023.
- [14] S. M. Khumalo, B. F. Bakare, S. Rathilal and E. K. Tetteh, "Characterisation of South African brewery wastewater: oxidation-reduction potential variation", *Water*, vol. 14, n° 10, 2022.
- [15] S. Kesarwani, D. Panwar, J. Mal, N. Pradhan and R. Rani, "Constructed wetland coupled microbial fuel cell: a clean technology for sustainable treatment of wastewater and bioelectricity generation", *Fermentation*, vol. 9, n° 1, 2023.
- [16] I. Naz, I. Ahmad, R. W. Aslam, A. Quddoos and A. Yaseen, "integrated assessment and geostatistical evaluation of groundwater quality through water quality indices", *Water*, vol. 16, n° 1, 63, 2023.

- [17]** A. P. Periyasamy, "Recent advances in the remediation of textile-dye-containing wastewater: prioritising human health and sustainable wastewater treatment", *Sustainability*, vol. 16, n° 2, 2024.
- [18]** J. Ramsuroop, L. Gutu, W. B. Ayinde, M. Basitere and M. S. Manono, "A Review of biological processes for dairy wastewater treatment and the effect of physical parameters which affect their efficiency", *Water*, vol. 16, n° 4, 537, 2024.
- [19]** P. Sanciolo, A. K. Sharma, D. Navaratna and S. Muthukumaran, "Stormwater treatment using natural and engineered options in an urban growth area: a case study in the West of Melbourne," *Water*, vol. 15, n° 23, 2023.



Imagen solo de referencia.



Contribución de las energías renovables a la disminución de los gases efecto invernadero: una revisión de la literatura

Contribution of Renewable Energies to the Reduction of Greenhouse Gases: a Literature Review

Jessica Lorena Cifuentes López¹, Lyda Yiced Machuca Rojas²

Tipo de Artículo: revisión de literatura.

Recibido: 09/11/2024. **Aprobado:** 10/12/2024. **Publicado:** 12/12/2024

Resumen: La demanda energética en el mundo se ha convertido en una necesidad imperativa de la sociedad, debido a que los avances tecnológicos requieren disponibilidad continua de energía. Sin embargo, la energía convencional, al provenir de recursos naturales no renovables conlleva a la generación de impactos ambientales altamente significativos, los cuales en un futuro no muy lejano ocasionarán escasez e incremento de los precios. Además, su proceso productivo contribuye a la emisión de gases efecto invernadero, responsables del aumento de la temperatura superficial de la Tierra. Por ello, resulta indispensable el uso de energías renovables, que permitan disminuir la concentración de dichos gases en la atmósfera. Ahora bien,

diferentes estudios se han enfocado en el uso e implementación de energías renovables como alternativa para estas emisiones. En consecuencia, se hace necesario revisar la literatura a nivel mundial, nacional y regional, sobre la implementación de las energías renovables y su contribución a la disminución de los gases efecto invernadero. Los resultados evidencian efectos positivos en términos de eficiencia energética y en el sector de servicios, donde las energías renovables actúan como fuerzas sustitutivas reduciendo las emisiones con una tasa marginal de sustitución decreciente.

¹ Autor correspondiente: Jessica Lorena Cifuentes López. Mayor título: Magister en Sistemas Integrados de Gestión. Filiación institucional: Universidad Antonio Nariño. País: Colombia, Ciudad: Duitama. Correo electrónico: jcifuentes58@uan.edu.co ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3496-8349>

² Autor correspondiente: Lyda Yiced Machuca Rojas. Mayor título: Magister en Manejo y Sostenibilidad Ambiental. Filiación institucional: Universidad Antonio Nariño. País: Colombia, Ciudad: Duitama. Correo electrónico: lmachuca20@uan.edu.co ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-6187-2839>

Palabras clave: energía convencional; energías alternativas; gases de efecto invernadero; efecto invernadero.

Abstract: Global energy demand has become an imperative necessity for society, as technological advances require continuous energy availability. However, conventional energy, which comes from non-renewable natural resources, leads to highly significant environmental impacts, which in the not-too-distant future will cause shortages and price increases. In addition, its production process contributes to the emission of greenhouse gases, which are responsible for the increase in the Earth's surface temperature. Therefore, the use of renewable energies is essential to reduce the concentration of these gases in the atmosphere. However, various studies have focused on the use and implementation of renewable energies as an alternative to mitigate these emissions. Consequently, it is necessary to review the existing literature, at the global, national, and regional levels, on the implementation of renewable energies and their contribution to the reduction of greenhouse gases. The results show positive effects in terms of energy efficiency and in the service sector, where renewable energies act as substitute forces, reducing emissions at a decreasing marginal rate of substitution.

Keywords: conventional energy; alternative energies; greenhouse gases; greenhouse effect.

I. Introducción

El cambio climático, la contaminación y la inseguridad energética son problemas cruciales en la actualidad, lo que exige transformaciones significativas en la gestión de los recursos naturales. Es fundamental avanzar hacia sistemas energéticos que integren energías renovables y que logren una huella de carbono neutral. Esto es posible mediante la aplicación del concepto de desarrollo sostenible y el avance en tecnologías que aprovechen fuentes de energía renovable. De esta manera, se restablecerían las condiciones necesarias para equilibrar las actividades humanas con la capacidad regenerativa de la biosfera. En síntesis, se trataría de una gestión

eficaz de los recursos naturales que garantice el bienestar de las futuras generaciones y del ecosistema global [1].

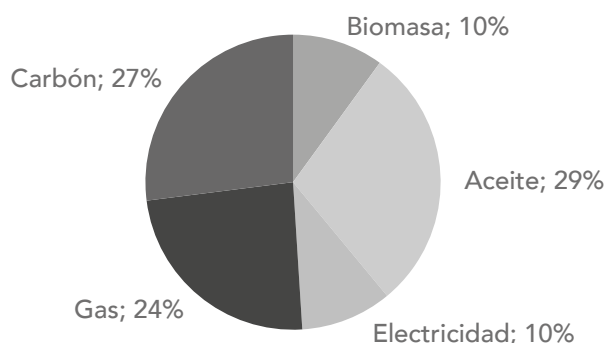
La energía es considerada un elemento esencial para el desarrollo, ya que posibilita inversiones, innovación y creación de nuevas industrias, fundamentales para la generación de empleo, el crecimiento inclusivo y la prosperidad compartida de las economías. El Objetivo de Desarrollo Sostenible (ODS) 7 establece el acceso universal a una energía asequible, segura, sostenible y moderna. Este objetivo es fundamental para alcanzar otros ODS y el eje central de los esfuerzos para hacer frente al cambio climático [2].

El consumo energético global experimentó un repunte del 5% en 2021, tras una reducción del 4,5% en 2020 como consecuencia de la pandemia. Esta recuperación supera en 3 puntos el promedio anual del 2% registrado entre 2000-2019. El consumo energético aumentó en la mayoría de los países: 5,2% en China (+2,2% en 2020), 4,7% en India (-5,6% en 2020), 4,7% en Estados Unidos (-8,6% en 2020), 9% en Rusia (-4% en 2020) y 4,5% en la UE (-6,8% en 2020) [3].

El incremento del consumo energético también se registró en la mayoría de las regiones: 9% en la CEI, 5% en América Latina y 7% en África, salvo en Oriente Medio (-0,4%) y el Pacífico (-2, %) [3].

Según cifras de Enerdata, el consumo total de energía en el mundo en 2021 fue de 14.646 Mtoe. De esta cifra, Europa reportó un consumo de 995 Mtoe, Asia 4629 Mtoe, África 1102 Mtoe y América 3621 Mtoe de las cuales América del Norte representó un consumo de 2742 Mtoe y Latinoamérica de 879 Mtoe [3].

Como se muestra en la Figura 1, la energía producida en 2021 a nivel mundial se originó en un 10% de biomasa, 29% de aceite, 10% de electricidad, 24% de gas y 27% de carbón.

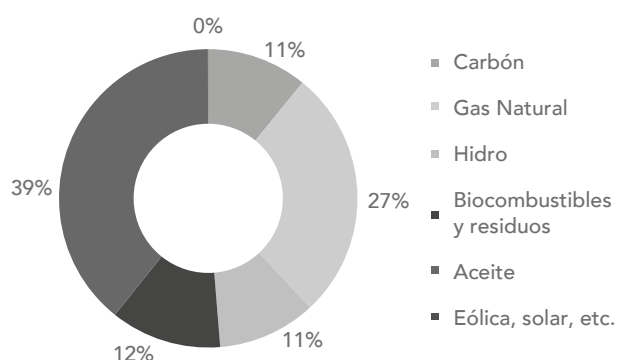
Figura 1. Porcentaje de energía producida en el mundo por sector en 2021

Nota: fuente elaboración propia a partir de Enerdata.

El aumento de las emisiones de CO_2 , impulsado por la recuperación económica mundial, aceleró el crecimiento por encima de la tendencia histórica (+1,9%/anual entre 2000 y 2019). Las emisiones mundiales de CO_2 repuntaron un 5,4% y alcanzaron su nivel récord (33 Gt CO_2). Entre los principales emisores, Australia fue el único país donde las emisiones de CO_2 siguieron una tendencia a la baja (-3,6%), debido principalmente a una contracción del 4,3% en el sector eléctrico, producto de la reducción de la participación de las centrales eléctricas de carbón y gas en favor de fuentes solares y eólicas.

En Japón, el crecimiento de las emisiones de CO_2 se mantuvo controlado (+0,8%). En contraste, se registraron aumentos en Brasil (+14%, por el mayor uso de centrales eléctricas a gas y un aumento en el consumo del sector transporte, basado principalmente en petróleo), en Rusia (+9,5%, con una demanda récord de gas, especialmente en los sectores energético e industrial) y, en menor medida, en Estados Unidos (+6,2%). En Rusia, el aumento (+156 Mt CO_2) fue casi equivalente al incremento total registrado en la Unión Europea, donde Alemania, Francia, Italia y Países Bajos contribuyeron con más del 70% del crecimiento de las emisiones de CO_2 . Por su parte, China alcanzó su máximo histórico de emisiones (+6,3%, 10,4 Gt CO_2), impulsado por un aumento del 10% en la demanda energética en 2021, y por la activación de aproximadamente 7 GW de centrales eléctricas a carbón [3].

A nivel nacional, según los indicadores de la IEA para 2019, Colombia generó un total de 1.843.113 TJ de energía, de los cuales 200.528 TJ provinieron del carbón, 500.934 TJ del gas natural, 196.537 TJ de fuentes hidráulicas, 221.728 TJ de biocombustibles y residuos, 722.665 TJ de aceite o petróleo, y 721 TJ de energía eólica, solar y otras fuentes renovables [4].

Figura 2. Porcentaje de energía producida en Colombia por sector en 2019

Nota: fuente elaboración propia a partir de la IEA, 2019.

Según la IEA, Colombia generó en 2019 un total de 74,88 Mt de emisiones de CO_2 . Sin embargo, a nivel global, y en el contexto de la reactivación económica posterior a la pandemia por Covid – 19, la generación de emisiones incrementó un 5,4 [4].

La evidencia científica respalda que la implementación de tecnologías asociadas al uso de energías renovables tiene un efecto directo en la disminución de gases de efecto invernadero. Además, estas fuentes ofrecen beneficios adicionales, como mayor seguridad energética, mejora en la calidad del aire urbano y crecimiento socioeconómico vinculado a la generación de nuevos empleos.

Gracias a la diversidad de fuentes disponibles, los países no están obligados a centrarse en una sola modalidad de energía renovable. Por otro lado, la flexibilidad tecnológica de estas fuentes permite su implementación tanto en redes conectadas como en sistemas aislados, desde unos pocos kilova-

tios hasta gigavatios, lo que las convierte en una alternativa viable para garantizar el acceso a la electricidad en áreas remotas [5].

II. Materiales y Métodos

Materials

La literatura especializada en el área provee una gran variedad de investigaciones sobre energías renovables y su impacto en el efecto invernadero.

Con el objetivo de sintetizar los conceptos más relevantes identificados en la revisión bibliográfica, a nivel local, nacional e internacional, se elaboró una nube de palabras que resalta los conceptos clave del presente artículo de revisión [6].

Figura 3. Conceptos relevantes



Nota: fuente elaboración propia.

Métodos

Este artículo se desarrolló a partir del análisis y sistematización de información relacionada con energías alternativas, tanto a nivel nacional como internacional, mediante la búsqueda en recursos electrónicos disponibles en la biblioteca virtual de la Universidad Antonio Nariño, desde 2017 hasta la fecha.

Se consultaron bases de datos como Science Direct y el buscador principal de la biblioteca virtual, empleando palabras clave como: "energías alternativas", "gases efecto invernadero", "alternative energies" y "greenhouse effect gases". A partir de estos términos se filtraron artículos enfocados en la implementación de energías alternativas en Colombia y el mundo, preseleccionando un total de 55 artículos.

Se utilizó la cadena de búsqueda: ("importancia AND energías renovables" AND "sostenibilidad" OR "fuentes de energía renovable").

Los criterios de inclusión y exclusión fueron de vital importancia para la clasificación de la información. Se consideraron como criterios de inclusión: que los artículos provinieran de fuentes confiables, que fueran publicados a partir del año 2017 y que estuvieran redactados en inglés o español. Como criterios de exclusión se estableció que los artículos estuvieran en un idioma distinto al inglés o al español, que no provinieran de fuentes confiables o que hubieran sido publicados antes de la fecha establecida.

Posteriormente, se elaboró una base de datos en Excel con las siguientes categorías: enlace, título, año, autores, resumen y revista. Una vez organizada, se seleccionaron los artículos con mayor relevancia teórica y técnica sobre la disminución de gases de efecto invernadero mediante energías alternativas.

Finalmente, se procedió al análisis e identificación de aspectos comunes y diferenciadores entre los artículos, lo que permitió estructurar el desarrollo del presente documento y derivar las conclusiones.

III. Resultados

A nivel internacional, Liobikienė y Butkus [6], identificaron que el sector de servicios, la eficiencia energética y las energías renovables actuaron como fuerzas sustitutivas que redujeron las emisiones de gases de efecto invernadero, con una tasa marginal de sustitución decreciente.

Los efectos estimados de las variables sobre las emisiones de gases de efecto invernadero y su significancia estadística son consistentes en todas las estimaciones. En igualdad de condiciones, se calcula que un incremento del 1% en la eficiencia energética reducirá los GEI entre un 0,20% y un 0,29%. El proceso de incorporación de las energías renovables al consumo energético también muestra una correlación negativa con las emisiones: se estima que un aumento del 1% en estas fuentes reducen los GEI entre un 0,09-0 y un 12% [6].

Por otra parte, los investigadores Janzen y Davis [7], propusieron evaluar el potencial de reducción de GEI y los costos asociados a la integración de tecnologías basadas en la energía renovable en las arenas petrolíferas de Canadá. Analizaron un total de 27 escenarios a largo plazo en los procesos de extracción, mejoramiento y generación eléctrica a partir de dichas arenas.

Los resultados muestran que es posible alcanzar una reducción de hasta 84 millones de toneladas de GEI (2,3% de las emisiones del sector) con un costo marginal de \$1,3/tCO₂, en presencia de un incentivo de carbono de \$30/ por tonelada. En contraste, los escenarios sin incentivos resultaron en una reducción de 69 millones de toneladas y un aumento del costo marginal a \$36/tCO₂ [7].

En el artículo de Chang, Wei y Zhang [8], se analiza la adopción de luminarias de bajo consumo y el uso de energía renovable como medidas para mitigar las emisiones del GEI en la iluminación de las carreteras urbanas, contribuyendo así al desarrollo de entornos urbanos con bajas emisiones de carbono. El estudio empleó un enfoque ascendente para estimar el potencial de mitigación asociado al reemplazo de lámparas de sodio de alta pre-

sión (HPS) por diodos emisores de luz (LED) y la implementación de farolas híbridas eólicas-solares, solares y eólicas en China [8].

Los resultados mostraron que las emisiones incrementales de GEI asociadas a conjuntos de farolas con tecnologías de energía renovable oscilan entre 475 y 1631 kg CO₂e, con un tiempo de amortización entre 1,7 a 7,7 años, lo que las hace ambientalmente rentables. El reemplazo de las lámparas HPS por LED y el uso de energía renovable permitirán reducir anualmente hasta 21,2 millones de toneladas (Mt) de CO₂, siendo las carreteras secundarias (38%) y troncales (31%) las principales responsables de este impacto [8].

El este de China, especialmente las provincias de Jiangsu y Shandong, presenta el mayor potencial de mitigación de GEI. Ciudades como Dalian, Shanghai y Tianjin se encuentran entre las más destacadas en este ámbito. En cuanto a los niveles administrativos, las ciudades a nivel de prefectura podrían alcanzar un potencial de mitigación del 56%, equivalente a aproximadamente 11,9 Mt CO₂e por año [8].

Lima, Méndez, Mothé y Linhares analizan la expansión del uso de fuentes de energía renovable en Brasil, considerando la vulnerabilidad futura de su matriz eléctrico. En este país, el uso de energías renovables como la eólica, solar y la cogeneración ha crecido de forma significativa. La incorporación de estas fuentes, junto con el mantenimiento de inversiones en energía hidroeléctrica, forman parte de la estrategia nacional para disminuir la vulnerabilidad ante el cambio climático [9].

Por último, según la revisión bibliográfica citada, se prevé que la energía solar fotovoltaica, respaldada por sistemas de baterías, se convertirá en la tecnología de generación dominante, cubriendo el 77% de la demanda energética internacional [10].

Por ejemplo, un sistema 100% basado en fuentes renovables, como el de Irán, que combina energía solar fotovoltaica con eólica y algo de hidroeléctrica, se convierte en la columna vertebral del sistema energético, mientras que las tecnologías de

almacenamiento cumplen un rol crucial al garantizar su resiliencia y confiabilidad [10].

Ahora bien, Colombia forma parte del grupo de países en desarrollo que enfrentan nuevos desafíos energéticos debido a fenómenos climáticos, avances tecnológicos y el creciente uso de fuentes renovables [11].

Ubicada en América del Sur, en el eje ecuatorial, Colombia ha comenzado a integrarse activamente en el campo de la sustentabilidad energética. Ha incursionado en la matriz de energías renovables, con el compromiso de reducir su dependencia económica de los combustibles fósiles y las GEI. Asimismo, Colombia ha comenzado a diversificar sus alternativas hacia una mayor eficiencia económica, ecológica y social, siguiendo ejemplos exitosos de países desarrollados [12].

Para 2030, se proyecta que la demanda total de energía de Colombia en el escenario positivo será de 1.597.675 TJ y de 1.748.469 TJ en el escenario negativo. Para 2050, las estimaciones indican una demanda de 2,125,453 TJ en el escenario positivo, frente a 2.498.765 TJ en el negativo. En ambos escenarios, el sector transporte será el mayor consumidor, seguido por el sector industrial [11].

Respecto a las emisiones, se prevé que, en 2030 Colombia generará 108,3 millones de toneladas (Mton) de CO₂ en el escenario positivo y 118,5 Mton en el negativo. Para 2050, la generación total emisiones serían de 140,1 Mton y 150,5 Mton respectivamente. [11].

Sin embargo, recientes estudios han demostrado que, mediante la implementación de energías renovables, es posible lograr reducciones de emisiones de carbono entre el 7% y el 41% [13].

Colombia posee recursos naturales diversos, viento, sol y agua, pero carece de un marco legal claro que regule de forma sostenible y segura el desarrollo de la energía eólica marina, considerada una fuente no convencional. Esta tecnología podría satisfacer la demanda energética durante periodos de baja

generación hidroeléctrica, como los ocasionados por El Niño y otras condiciones hidrológicas adversas [14].

Hasta el año 2014, la única normativa en Colombia que promovía el uso de energías renovables era la Ley 1715 de 2014, cuyo objetivo era impulsar el desarrollo y uso de fuentes de energía no convencionales, principalmente renovables, mediante su integración a mercado eléctrico, su participación en áreas no interconectadas, la reducción de emisiones de GEI y la garantía del suministro energético [12].

Sin embargo, en 2021, se aprobó la Ley 2099, que busca fomentar el desarrollo y el uso de fuentes de energía no convencionales, con especial énfasis en la creación de sistemas de almacenamiento y el uso eficiente de la energía. Estos sistemas se integrarán al mercado eléctrico, participarán en zonas no interconectadas y ofrecerán servicios de evaluación de eficiencia energética. La Ley también busca promover la gestión energética eficiente [15].

Así mismo, en Colombia, la producción agrícola, ganadera y agroindustrial (incluidos los mataderos) genera una cantidad significativa de residuos de biomasa, los cuales pueden tener impactos ambientales relevantes. Las tecnologías de conversión de residuos en energía, como la combustión directa y digestión anaeróbica, representan una alternativa para revalorizar estos residuos como fuente energética. La biomasa constituye la principal fuente renovable en Colombia y podría, de manera sostenible, cubrir entre el 15% y el 28% de la combinación energética de uso final. Sin embargo, con menos del 1% de la capacidad energética reflejada en proyectos renovables, los avances en este ámbito aún son limitados [16].

Durante el desarrollo de esta investigación se identificaron criterios clave sobre la contribución de las energías renovables en la disminución de los gases de efecto invernadero, entre ellos:

La eficiencia energética: esencial para reducir la vulnerabilidad de los sistemas energéticos, con beneficios en los ámbitos social, económico y

ambiental. Es considerada una estrategia clave para disminuir las emisiones de dióxido de carbono y promover la seguridad energética mediante el uso de fuentes limpias y sostenibles [17].

Sostenibilidad: consiste en establecer un balance entre el desarrollo económico, la salud pública y el cuidado y conservación del medio ambiente. Mantener una calidad del aire adecuada es fundamental para la salud y el bienestar general de las personas. La contaminación atmosférica está vinculada a diversos problemas de salud pública y también impacta negativamente en los ecosistemas, la biodiversidad y el clima. Para lograr un entorno saludable y habitable, es necesaria la cooperación entre gobiernos, industrias y comunidades mediante estrategias que impulsen un futuro más limpio y sostenible [18].

Reducción de contaminantes: resulta crucial para garantizar la calidad del aire. Emisiones de dióxido de azufre (SO_2), óxidos de nitrógeno (NO_x), material particulado (PM) y compuestos orgánicos volátiles (COV), impactan negativamente la salud humana, como problemas respiratorios, enfermedades cardiovasculares y otros efectos negativos en la salud, además de contribuir al cambio climático. Estos contaminantes pueden provocar problemas respiratorios, enfermedades cardiovasculares y otros efectos negativos en la salud. Así mismo, contribuyen al efecto invernadero y a la pérdida de los ecosistemas. Por ello, es esencial sustituir los combustibles fósiles por fuentes de energía limpias, como la solar, eólica y geotérmica, para reducir las emisiones de gases contaminantes [19].

Salud pública: la exposición a contaminantes atmosféricos, como el material particulado (PM), el dióxido de nitrógeno (NO_2) y el ozono (O_3), puede agravar enfermedades respiratorias preexistentes, como el asma y la bronquitis. Además, puede favorecer la aparición de nuevas enfermedades respiratorias, impactando de manera directa en la salud pública y afectando a millones de personas a nivel global. Por ello, es crucial implementar políticas efectivas y fomentar un entorno más limpio para salvaguardar la salud de la población y mejorar la calidad de vida [20].

Innovación tecnológica: crucial para generar mejoras en la calidad del aire y disminuir las emisiones de gases de efecto invernadero. El fomento e implementación de estas tecnologías puede, proyectar un futuro más sostenible y saludable. La cooperación entre gobiernos, empresas y comunidades es esencial para promover estas innovaciones y optimizar su efecto positivo [21].

Crecimiento económico: el desarrollo económico influye de manera significativa en el aire y en la reducción de gases de efecto invernadero, ya que, a medida que las economías continúan en crecimiento, muchas naciones comienzan a adoptar políticas más rigurosas para proteger el medio ambiente. La transición hacia energías renovables también se ve facilitada, pues una economía más sólida permite mayores inversiones en tecnologías limpias. Esto implica que hay más recursos disponibles para investigar y desarrollar alternativas energéticas que disminuyan el uso constante de los combustibles fósiles [22].

IV. Discusión

El camino hacia un futuro sostenible debe incluir un refuerzo en el ahorro energético, que permita la incorporación de tecnologías con bajas emisiones de CO_2 , resaltando la importancia de las energías renovables en los escenarios globales con el objetivo de minimizar los impactos ambientales negativos. Aunque algunos escenarios pueden incidir más que otros y se generan incertidumbres respecto al potencial tecnológico de la sostenibilidad, la perspectiva es alentadora en cuanto a la eficiencia y efectividad de las medidas de mitigación del cambio climático [23].

Las principales fuentes de energía renovable, como la solar, eólica, hidráulica, biomasa y biogás, son fundamentales para el cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS). El uso de este tipo de energía garantiza la protección al medio ambiente, la calidad energética y la no generación de contaminantes atmosféricos [24].

El aprovechamiento de recursos naturales renovables con fines energéticos se ha convertido en la llamada "energía del futuro", caracterizándose por su seguridad para los seres humanos y su respeto por el medio ambiente. Además, son de fácil acceso, gratuitos y disponibles en cualquier lugar, lo que permite garantizar la independencia energética [24].

El acceso a fuentes de energía más limpias, como la solar, considerada como el combustible de los sistemas energéticos y meteorológicos, puede ser suficiente para satisfacer las necesidades energéticas en su totalidad durante periodos prolongados. Sin embargo, su principal desventaja es la variabilidad de luz solar según la época del año [25].

En la transición hacia el uso e implementación de las energías renovables y sostenibles, la energía eólica se destaca como una fuente crucial para la generación de electricidad, al ser producida por el viento y desarrollada gracias al impacto de las corrientes de aire. Se caracteriza por ofrecer un suministro inagotable de energía, convirtiéndose en un recurso ilimitado y abundante. Además, es asequible en una amplia variedad de regiones del mundo. No obstante, su principal desventaja radica en que no puede almacenarse: debe utilizarse inmediatamente después de su producción, lo que impide que sustituya por completo otras fuentes de energía [26].

Debido a la generación de residuos, se promueve el consumo de productos que, mediante procesos de reciclaje, pueden convertirse en fuentes alternativas de energía, como es el caso de la biomasa y su capacidad de transformación. La incineración de materia orgánica fomenta la producción de energía y reduce el uso de combustibles perjudiciales para el planeta Tierra [27].

El aprovechamiento de estas fuentes permite avanzar hacia un medio ambiente sostenible, promoviendo la construcción de una sociedad que salvaguarde la vida humana a largo plazo. Por ello, las energías renovables son fundamentales en las estrategias de desarrollo: su incorporación representa una opción eficaz para satisfacer la demanda energética de los

países, al diversificar sus fuentes y reducir la dependencia de combustibles importados [27].

Las fuentes de energía renovables se han consolidado como estrategias fundamentales para minimizar la contaminación atmosférica y reducir las emisiones de gases de efecto invernadero. Al reemplazar los combustibles fósiles, estas energías contribuyen de manera significativa a reducir las emisiones de CO₂ y otros contaminantes, mejorando la calidad del aire y promoviendo un entorno más saludable. La transición hacia un modelo energético basado en fuentes renovables es esencial no solo para enfrentar el cambio climático, sino también para aportar beneficios directos en la salud pública y la calidad de vida de las comunidades [28].

No obstante, la adopción de energías renovables implica desafíos, como la necesidad de contar con una infraestructura adecuada y la variabilidad en la generación de energía. Es fundamental planificar cómo dirigir el presupuesto para invertir en tecnologías de almacenamiento e integrar eficientemente estas fuentes en los sistemas actuales. Esto no solo contribuye a mitigar los impactos ambientales, sino que también garantiza un suministro energético confiable y sostenible [29].

La inclusión de energías sostenibles o renovables enfrenta varios desafíos que pueden afectar su efectividad en cuanto a la mejora de la calidad de aire. Uno de los principales inconvenientes es la necesidad de adaptar las infraestructuras eléctricas para integrar fuentes intermitentes, como la solar y la eólica, ya que muchas de estas redes no fueron diseñadas para gestionar la variabilidad en la producción, lo que puede generar inestabilidad en el suministro. A ello se suman los elevados costos iniciales asociados con la implementación de tecnologías sostenibles y los sistemas de almacenamiento, lo que representa un desafío significativo tanto para las empresas prestadoras del servicio como para la aceptación por parte de los usuarios, especialmente en regiones con recursos limitados [30].

A pesar de los diversos desafíos que implica la transición hacia energías sostenibles, se destacan los impactos ambientales positivos que esta conlleva,

como la reducción de gases de efecto invernadero, la protección de ecosistemas, mejoría la mejora de la calidad del aire y la disminución de enfermedades respiratorias. Al sustituir, los combustibles fósiles, las energías renovables permiten reducir las emisiones de CO₂ y otros contaminantes que deterioran el planeta, contribuyendo así no solo a mitigar el cambio climático, sino también a reducir las enfermedades asociadas a la contaminación del aire [31].

V. Conclusiones

Las energías renovables generan una reducción aproximada del 56% en las emisiones de gases de efecto invernadero. Teniendo en cuenta que en Colombia el mayor consumidor de energía es el sector transporte, seguido del sector industrial, la implementación de alternativas de generación eléctrica de tipo renovable traerá consigo grandes beneficios orientados a disminuir la emisión de estos gases.

Por otra parte, Colombia avanza gradualmente en el ajuste de los procesos normativos y en la reglamentación necesaria para llevar a cabo una transición energética segura, de modo que se garantice el acceso al servicio de energía al 100% de la población, incluso en zonas remotas donde aún existen dificultades para acceder al servicio.

Asimismo, se abren oportunidades para continuar investigando y fomentando la creación de prototipos destinados a ser implementados en la industria de generación energética a partir de fuentes renovables, contribuyendo así a los procesos de adaptación y mitigación del cambio climático.

VI. Referencias

- [1] E. Perino, R. Kiesling, A. Silnik, A. Perelló, "Energías renovables y sustentabilidad: una eficiente forma de gestionar los recursos naturales, Revista Digital Universitaria, vol. 22, n° 3, 2021. <http://doi.org/10.22201/cuaieed.16076079e.2021.22.3.4>
- [2] Banco Mundial, "Energía", 2020. [En línea]. Disponible en <https://www.bancomundial.org/es/topic/energy/overview> (accessed Sep. 19, 2022).
- [3] Enerdata, "Estadísticas de consumo energético mundial", 2021. [En línea]. Disponible en <https://datos.enerdata.net/energia-total/datos-consumo-internacional.html> (accessed Sep. 19, 2022).
- [4] International Energy Agency. 2020. [En línea]. Disponible en <https://www.iea.org/data-and-statistics/data-tools/energy-end-uses-and-efficiency-indicators-data-explorer>
- [5] I. T. Tambari, M. O. Dioha, y P. Failler, "Renewable energy scenarios for sustainable electricity supply in Nigeria", Energy Clim. Chang., vol. 1, p. 100017, 2020. doi: 10.1016/j.egycc.2020.100017.
- [6] G. Liobikienė and M. Butkus, "Determinants of greenhouse gas emissions: A new multiplicative approach analysing the impact of energy efficiency, renewable energy, and sector mix", Journal of Clean. Prod., vol. 309, p. 127233, 2021. doi: 10.1016/J.JCLEPRO.2021.127233.
- [7] R. Janzen, M. Davis, y A. Kumar, "Greenhouse gas emission abatement potential and associated costs of integrating renewable and low carbon energy technologies into the Canadian oil sands", Journal of Clean. Prod., vol. 272, p. 122820, 2020. doi: 10.1016/J.JCLEPRO.2020.122820.
- [8] Y. Chang, Y. Wei, J. Zhang, X. Xu, L. Zhang, y Y. Zhao, "Mitigating the greenhouse gas emissions from urban roadway lighting in China via energy-efficient luminaire adoption and renewable energy utilization", Resour. Conserv. Recycl., vol. 164, p. 105197, 2021. doi: 10.1016/J.RESCONREC.2020.105197.

- [9] M. A. Lima et al., "Renewable energy in reducing greenhouse gas emissions: Reaching the goals of the Paris agreement in Brazil", *Environ. Dev.*, 33, p. 100504, 2020. doi: 10.1016/J.ENVDEV.2020.100504.
- [10] N. Ghorbani, A. Aghahosseini, y C. Breyer, "Assessment of a cost-optimal power system fully based on renewable energy for Iran by 2050 – Achieving zero greenhouse gas emissions and overcoming the water crisis", *Renew. Energy*, vol. 146, pp. 125–148, 2020. doi: 10.1016/J.RENENE.2019.06.079.
- [11] J. A. Nieves, A. J. Aristizábal, I. Dyner, O. Báez, y D. H. Ospina, "Energy demand and greenhouse gas emissions analysis in Colombia: A LEAP model application", *Energy*, vol. 169, pp. 380–397, 2019. doi: 10.1016/J.ENERGY.2018.12.051.
- [12] D. Rodríguez-Urrego y L. Rodríguez-Urrego, "Photovoltaic energy in Colombia: Current status, inventory, policies and future prospects", *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 92, pp. 160–170, 2018. Doi: 10.1016/J.RSER.2018.04.065.
- [13] A. Mostafaeipour, A. Bidokhti, M. B. Fakhrazad, A. Sadegheih, and Y. Zare Mehrjerdi, "A new model for the use of renewable electricity to reduce carbon dioxide emissions", *Energy*, vol. 238, p. 121602, 2022. doi: 10.1016/J.ENERGY.2021.121602.
- [14] J. G. Rueda-Bayona, A. Guzmán, J. J. C. Eras, R. Silva-Casarín, E. Bastidas-Arteaga, y J. Horrillo-Caraballo, "Renewables energies in Colombia and the opportunity for the offshore wind technology", *Journal of Clean. Prod.*, vol. 220, pp. 529–543, 2019, Doi: 10.1016/J.JCLEPRO.2019.02.174.
- [15] Ley 2099 de 2021 - Gestor Normativo - Función Pública. 2021. Congreso de Colombia. [En línea]. Disponible en <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=166326> (accessed oct. 01, 2022).
- [16] A. Sagastume Gutiérrez, J. J. Cabello Eras, L. Hens, and C. Vandecasteele, "The energy potential of agriculture, agro-industrial, livestock, and slaughterhouse biomass wastes through direct combustion and anaerobic digestion. The case of Colombia," *Journal of Clean. Prod.*, vol. 269, p. 122317, oct. 2020, Doi: 10.1016/J.JCLEPRO.2020.122317.
- [17] F. López, *Eficiencia energética: clave para un desarrollo sostenible*, 2023.
- [18] M. Aguilar, D. Aguirre y L. Gaona, "Gobernanza del aire: estrategia para el mejoramiento de la calidad del aire en ciudades", *Revista Gestión y Ambiente*, vol. 24 N° 3, 2021.
- [19] M. Romero, F. Olite y M. Álvarez, "La contaminación del aire: su repercusión como problema de salud", *Revista Cubana de Higiene y Epidemiología*, vol. 44, N° 2, 2017.
- [20] E. Velasco, A. Retama, "La contaminación del aire: un problema de salud pública", *Universitarios Potosinos*, pp. 12-17, 2019.
- [21] M. Gavito, et al., "Ecología, tecnología e innovación para la sustentabilidad: retos y perspectivas en México", *Rev. Mex. Biodiv.* vol. 88, 2017.
- [22] C. Torres, *Análisis de los efectos del Crecimiento Económico sobre la Calidad Ambiental. Evidencia empírica para el caso de Colombia de 1970 – 2012*, [Tesis de grado], Universidad del Norte, Barranquilla, 2019.
- [23] X. Labandeira, P. Linares y K. Würzburg, "Energías renovables y cambio climático", *Cuaderno Económicos de ICE*, VOL. 83, pp. 37-60, 2012.
- [24] W. Palacios, A. Caicedo y N. Calixto, *Energías Renovables. El camino hacia la sostenibilidad energética*, Santander, 2023.

- [25] G. Sanmartí y C. Romeva, (2022). Transición energética y la sostenibilidad de las grandes ciudades", *CienciAmérica*, vol. 11, n° 2, pp. 11-30, 2022. <https://doi.org/10.33210/ca.v11i2.392>.
- [26] L. Amezcuita y J. Cepeda, "Energía eólica, una alternativa ambientalmente sostenible desde el Ejército Nacional de Colombia", *Revista Brújula*, vol. 9, N° 17, pp. 48-66, 2021.
- [27] J. Quintero y L. Quintero, "Perspectivas del potencial energético de la biomasa en el marco global y latinoamericano", *Revista Gestión y Ambiente*, vol. 18, N° 1, pp. 179-188, 2015.
- [28] Grupo de Trabajo I al Sexto Informe de Evaluación, Cambio climático 2021: La base científica física, Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático. Cambridge University, 2021. ISBN 978-92-9169-358-0
- [29] I. Mercadal, "Desafíos regulatorios en la incorporación de energías renovables", Banco de Desarrollo de América Latina y el Caribe, Research Department working papers, 2023.
- [30] E. Pica, E. Sauma, "Los desafíos de la utilización de energías renovables no convencionales intermitentes", *Revista Temas de la Agenda Pública*, vol. 10, N° 81, 2015.
- [31] D. Urbano, G. Beltrán y A. Roldan, *Energías renovables en Colombia: viabilidad, desarrollo y potencial de implementación para la diversificación de la matriz energética del país*, [Tesis de grado], Universidad Pontificia Bolivariana, Medellín, 2023.





Entrevistas guiadas para la optimización de procesos judiciales: un enfoque desde el LegalTech

Guided Interviews for the Optimization of Judicial Processes: an Approach from LegalTech

Daniel Arbeláez Álvarez¹

Tipo de Artículo: Investigación.

Recibido: 12/11/2024 **Aprobado:** 04/12/2024. **Publicado:** 12/12/2024

Resumen: Colombia, un país con un crecimiento significativo en el sector *LegalTech*, requiere del fortalecimiento de los servicios legales y de las tecnologías para la justicia digital, una responsabilidad que compromete tanto al sector público como el privado. Desde 2015, la adopción de nuevas tecnologías ha aumentado de forma paulatina; en particular, en el área de automatización de documentos legales se han desarrollado nuevas formas de creación y presentación de acciones de tutela por parte de privados y de la ciudadanía en general, lo que ha producido un aumento masivo en la recepción de estas en los despachos judiciales del territorio colombiano. Por lo anterior, se evidencia la necesidad de desarrollar herramientas que asistan a los servidores ahorrándoles tiempo, eliminando tareas repetitivas y mejorando la precisión de sus actuaciones. Esto conlleva a la creación de un sis-

tema experto para el ensamblaje y la producción de documentos legales, con el propósito de aumentar la capacidad de respuesta de acciones constitucionales por juzgado. Dicho sistema contribuirá al fortalecimiento de las capacidades de la Rama Judicial, en alineación con el Plan Estratégico de Transformación Digital (PETD) del programa de transformación digital de la justicia en Colombia.

Palabras clave: *LegalTech*; Rama Judicial; transformación digital; automatización; ensamblaje de documentos legales.

Abstract: Colombia, a country with a significant growth in the *LegalTech* sector, requires the strengthening of legal services and technology for digital justice, something that concerns both the

¹ Autor correspondiente: Daniel Arbeláez Álvarez. Mayor título: Ingeniero de software. Filiación institucional: Tecnológico de Antioquia Institución Universitaria. País: Colombia, Ciudad: Medellín. Correo: darbelaal@cendoj.ramajudicial.gov.co ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-9482-9489>

public and private sectors. Since 2015 has been gradually increasing the adoption of new technologies and that in the area of automation of legal documents have been developed new forms of creation and filing of guardianship actions by private parties and citizens in general, thus producing a massive increase in the reception of these in the judicial offices of the Colombian territory. Therefore, there is a need to develop tools to assist servers by saving time, eliminating repetitive tasks and improving the accuracy of their actions, which entails developing an expert system for the assembly and production of legal documents in order to increase the response capacity of constitutional actions prejudicial office. This system will contribute to the improvement of the capacities of the "Rama Judicial" aligned with the PETD for the program of digital transformation of justice in Colombia.

Keywords: *LegalTech*; judicial branch; digital transformation; automation; legal document assembly.

I. Introducción

En el país se ha experimentado un crecimiento significativo en el sector *LegalTech*, así como un aumento gradual en la adopción de nuevas tecnologías en el ámbito legal desde 2015 [1]. El concepto de *LegalTech* se refiere al uso de tecnología y *software* en el entorno jurídico, incluyendo aplicaciones en áreas como la automatización de documentos legales, la agilización de tareas jurídicas y la simplificación de la interacción entre entidades del Estado, abogados y ciudadanos. El desarrollo de la *LegalTech* en Colombia se ha estructurado en varios hitos clave. Los primeros avances se remontan a la creación del Centro de Innovación en Derecho de la Universidad Sergio Arboleda en 2013, seguidos por iniciativas como Legal Hackers en 2015 y herramientas como LegalAPP del Ministerio de Justicia y SIC Facilita, que mejoran la comunicación entre consumidores y proveedores. [1]

Los avances registrados en 2020 incluyen la creación de la Asociación Colombiana de *LegalTech* (Alt+Co), lo que marcó un hito al promover el uso

de tecnologías de la información y las comunicaciones en el ejercicio legal. Ese mismo año el gobierno colombiano orientó sus esfuerzos hacia el desarrollo de un marco ético para la Inteligencia Artificial, y la Corte Constitucional dejó de recibir expedientes físicos, adoptando el *software Pretoria*.

En el país se han identificado 49 empresas relacionadas al sector *LegalTech*, con una fuerte concentración en Bogotá, aunque ciudades como Medellín, Cali, Pereira y Manizales, así como departamentos como Santander y Sucre, también albergan proyectos relevantes. Estas empresas se especializan en diversas áreas, como *software* de gestión para despachos legales, plataformas para la generación de contratos en línea, *Marketplace* jurídicos, consultas jurídicas en línea, gestión de evidencia digital y sistematización de procesos legales [1].

La Rama Judicial ha implementado medidas estratégicas que contribuyen a la transformación digital de la justicia del país. Con la aprobación del CONPES 4024 y en alineación con el PETD se han desarrollado soluciones tecnológicas centradas en el tratamiento de la información de los procesos judiciales. Entre ellas se destacan el "Expediente Virtual del Centro de Servicios Judiciales del Sistema Penal Acusatorio de Bogotá", el programa "GestionExpedienteElectronico_Version1" [3] y la "Generación y actualización automática del índice electrónico en la gestión documental del expediente electrónico de la Rama Judicial de la Dirección Seccional de Administración Judicial de Montería", entre otros.

El CONPES 4024 de 2021 representa un hito fundamental en la transformación digital de la justicia en Colombia, al establecer un marco de financiamiento por USD 100 millones destinados a tres componentes esenciales: fortalecimiento institucional del Sistema Judicial, fortalecimiento de los servicios digitales y de tecnología para la justicia y fortalecimiento del entorno y la cultura digital. Este documento se alinea plenamente con el Plan Estratégico de Transformación Digital (PETD) 2021-2025 de la Rama Judicial, que define programas concretos como la gestión del expediente electrónico, la gestión de la información, la gestión del cambio y

las comunicaciones y la gestión de tecnologías y seguridad de la información.

Esta convergencia estratégica entre el CONPES 4024 y el PETD permite un abordaje integral y coordinado para la modernización de la administración de justicia, al facilitar la creación de un ecosistema digital interoperable que mejora la eficiencia en la respuesta a las necesidades jurídicas de los ciudadanos y contribuye de manera significativa a la transparencia y accesibilidad del sistema judicial colombiano.

Por consiguiente, en los procesos de innovación tanto del sector público como del privado en áreas de sistematización de documentos legales, persiste hoy por hoy una congestión y lentitud debido al volumen de trámites, en una saturación de la carga laboral [4]. Y para que el sector público pueda responder efectivamente a la creciente evolución de las tecnologías aplicadas a la justicia, se hace necesario modernizar los mecanismos utilizados por los servidores, con el fin de agilizar el servicio y ser más eficaces y precisos en sus actuaciones.

Como consecuencia a lo anterior, la Rama Judicial ha puesto en marcha un proyecto de transición orientado al cumplimiento de los objetivos de transformación digital [5], el cual busca integrar nuevas soluciones tecnológicas, entre ellas una sede judicial electrónica, una ventanilla virtual, el expediente electrónico, la gestión documental, la gestión de procesos y los servicios digitales.

Estas soluciones buscan ajustarse a los parámetros y a los estándares técnicos y funcionales del acuerdo PCSJA20-11567 de 2020, "Protocolo para la gestión de documentos electrónicos, digitalización y conformación del expediente electrónico", Versión 2. Todo ello enmarcado en el ámbito de la automatización de procesos administrativos. Por otro lado, la plataforma "Tutela en Línea" ha facilitado a la ciudadanía en general la presentación de acciones de tutela y Hábeas Corpus; sin embargo, al interior de los despachos se viene gestando una necesidad clara de responder a la agilidad que promete dicha plataforma.

De lo anterior, se colige que las herramientas digitales para la asistencia judicial son la piedra angular de esta búsqueda de un acceso efectivo y equitativo a la justicia, en aras de atender las necesidades operativas al interior de los despachos. Además, su uso está facultado por el Código General del Proceso, en su artículo 103, el cual establece "...En todas las actuaciones judiciales deberá procurarse el uso de las tecnologías de la información y las comunicaciones en la gestión y trámite de los procesos judiciales...". Es menester implementar nuevos servicios digitales orientados al funcionario público, poniendo sobre la mesa las necesidades actuales, e innovando y optimizando tanto su cultura digital como las herramientas a las que tiene acceso.

Cabe resaltar que la producción de documentos legales de forma automática requiere conocimiento en Derecho, en sus dimensiones procedimental, normativa y jurisprudencial, así como conocimientos técnicos en desarrollo de *software* para la formulación de preguntas y la configuración de entrevistas.

II. Materiales y Métodos

La implementación de un sistema experto para entrevistas guiadas representa un esfuerzo por reducir la brecha de acceso a la justicia mediante soluciones digitales accesibles. Como demuestran Colarusso y Steenhuis [6] en su análisis del *Document Assembly Line Project*, las innovaciones en automatización legal pueden servir como "*curb cuts*" (rampas en las aceras) digitales, mejoras que, aunque diseñadas inicialmente para aumentar la accesibilidad durante la pandemia, tienen el potencial de beneficiar a un espectro más amplio de usuarios del sistema legal. Siguiendo este principio, el desarrollo combinó herramientas tecnológicas de código abierto con recursos normativos, con el fin de crear una solución que no solo atienda las necesidades inmediatas, sino que también contribuya a un ecosistema más amplio de formularios legales automáticos.

Materiales

La selección de materiales se fundamentó en la necesidad de crear una plataforma robusta y adap-

table, alineada con las tendencias actuales en el desarrollo de soluciones *LegalTech* [7].

Los componentes principales incluyeron:

Framework Docassemble: se seleccionó esta herramienta de código abierto por su capacidad demostrada para crear entrevistas guiadas y compilar documentos, siguiendo las recomendaciones de implementación documentadas en “*Court Forms Online (MassAccess)*” [8].

Contenedores Docker: la implementación se realizó utilizando *Docker* para garantizar un entorno de desarrollo consistente y reproducible, alineado con las mejores prácticas del desarrollo moderno.

Stack Tecnológico:

- Python: como lenguaje principal de programación.
- YAML: para la estructuración de entrevistas.
- Markdown: para el formato de documentos.

Marco Normativo:

- Ley 2591 de 1991. (Reglamentación de acción de tutela).
- Decreto 333 de 2021. (Reglas de reparto).
- Acuerdo CSJANTA17-2172. (Jurisdicción territorial).

Métodos

La metodología se desarrolló siguiendo un enfoque sistemático, crucial para la implementación exitosa de herramientas de transformación judicial. Esta consistió, básicamente, en una entrevista guiada que asistirá al funcionario en la producción de sus actos procesales.

El plan se dividió en dos fases principales:

Fase de Implementación Técnica:

La instalación y configuración siguió las directrices establecidas en la documentación oficial de *Docassemble* [9], adaptándolas a las necesidades específicas del entorno judicial colombiano. Esta fase incluyó:

- Implementación local del *framework* mediante *Docker*.
- Configuración del entorno de desarrollo.
- Validación de funcionalidad en servidor local.

Fase del Desarrollo de la Entrevista Guiada:

Etapas de Diseño: el proceso inició con una revisión exhaustiva del marco normativo que regula las acciones de tutela en Colombia, incluyendo tanto la legislación nacional como los acuerdos regionales aplicables. A partir de este análisis normativo, se elaboró un diagrama de flujo que sistematiza el proceso de toma de decisiones para la admisión de tutelas, seguido por el desarrollo de plantillas base y la identificación de variables críticas.

Etapas de Automatización: con base en los resultados del diseño previo, se procedió a estructurar un cuestionario sistemático que implementa la lógica de decisión establecida en el diagrama de flujo. La implementación se realizó en el entorno de desarrollo (*playground*) del *framework Docassemble*, donde se configuraron las preguntas y sus respectivos flujos de respuesta utilizando el lenguaje YAML. Este proceso incluyó la programación de la lógica decisonal, la integración de herramientas complementarias y el desarrollo del flujo de generación documental.

III. Resultados

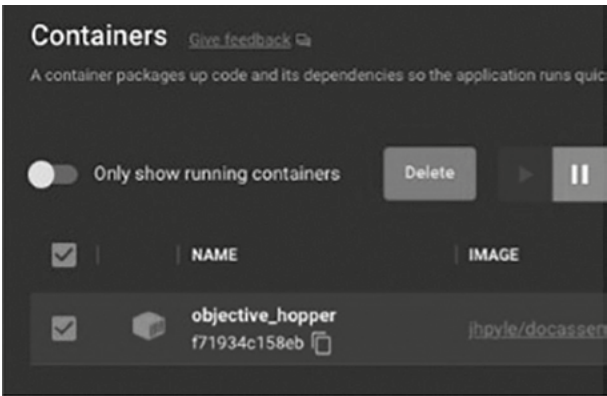
La implementación del sistema experto para entrevistas guiadas produjo resultados significativos en múltiples aspectos del proceso de admisión de tutelas. A continuación, se presentan los hallazgos

obtenidos siguiendo el orden metodológico previamente establecido.

Representación propuesta

En la fase de implementación técnica, se logró una instalación exitosa del *framework* *Docassemble* mediante *Docker*, como se evidencia en la siguiente imagen.

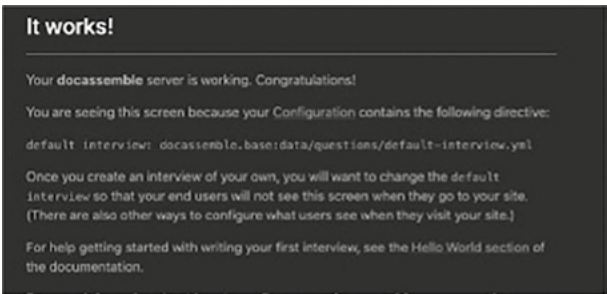
Figura 1. *Docassemble* instalado en *Docker*



Nota: fuente elaboración propia (2024).

La implementación permitió establecer un entorno de desarrollo robusto y funcional, accesible a través del servidor local. La interfaz de usuario resultante se presenta en la siguiente captura:

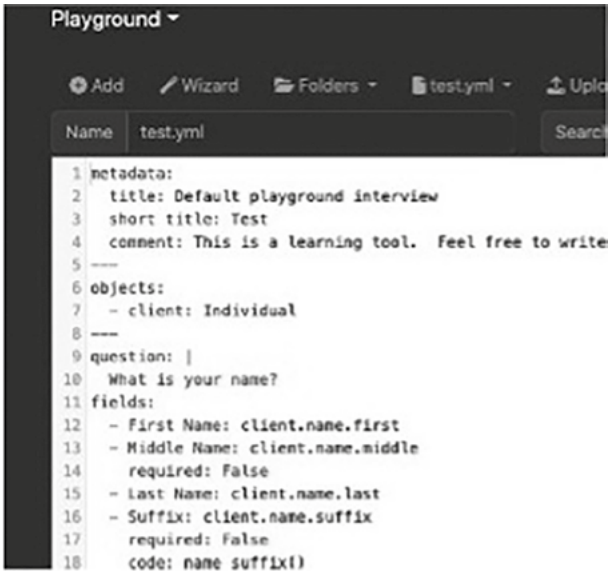
Figura 2. *Docassemble* funcionando



Nota: fuente elaboración propia (2024).

Una vez configurado el sistema, se habilitó el acceso al *Playground* de *Docassemble*, el entorno de desarrollo donde se realizaría la implementación de la entrevista guiada:

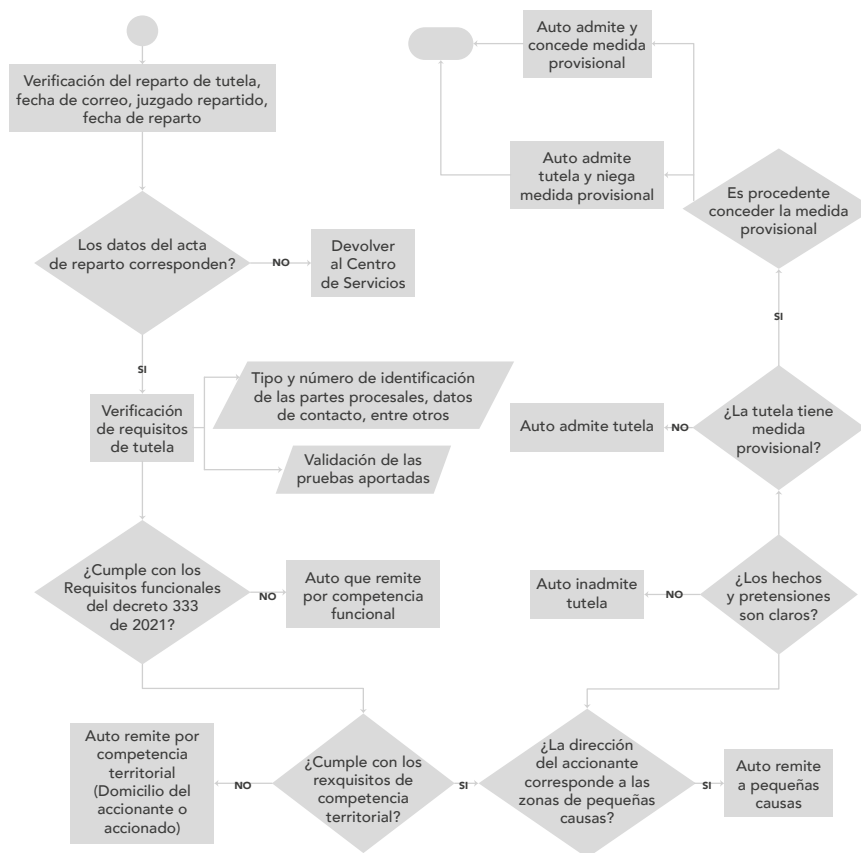
Figura 3. *Playground* de *Docassemble*



Nota: fuente elaboración propia (2024).

En cuanto al desarrollo de la entrevista guiada, la fase de diseño produjo un diagrama de flujo integral que representa la lógica de decisión para la admisión de tutelas, incorporando todos los elementos normativos relevantes.

Figura 4. Diagrama de flujo para tutela



Nota: fuente elaboración propia (2024).

Para la implementación práctica, se desarrollaron plantillas base que permiten la generación sistemática de documentos. Estas plantillas incorporan variables y elementos condicionales que se adaptan según las respuestas proporcionadas durante la entrevista.

Figura 5. Plantilla base

CONSTANCIA: La presente acción de tutela correspondió por reparto el día {{ fecha_reparto }}. Viene {% if medida_provisional== True %}con {% else %}sin {% endif %} medida provisional. Consta de (01) archivos en PDF. Se radica bajo el número {{ anio_rdo }}-{{ consecutivo_rdo }}. Paso a Despacho para proveer.

Bello, {{ fecha_providencia }}

Daniel Arbeláez Álvarez
Citador Grado 3



JUZGADO PRIMERO PENAL MUNICIPAL
Bello- Antioquia, {{ fecha_providencia }}

RADICADO: 05 088 40 04 001 {{ anio_rdo }}-{{ consecutivo_rdo }} 00
ASUNTO: ACCIÓN DE TUTELA
ACTUACIÓN: ASUME CONOCIMIENTO

Nota: fuente elaboración propia (2024).

La fase de automatización resultó en la creación de un cuestionario estructurado en YAML, que implementa la lógica de decisión diseñada previamente.

Figura 6. Cuestionario en YAML

```
Name | tutela_simple.yml | Search
1 | ---
2 | mandatory: True
3 | question: |
4 |   ¿Existen inconsistencias en los datos de tutela como el nombre del accionante,
5 |   juzgado indicado en el acta o la fecha en que se recibió la tutela?
6 |   yesno: inconsistencias_datos
7 | ---
8 | mandatory: True
9 | question: |
10 |   Ingrese los datos del solicitante:
11 | fields:
12 |   - Nombre del solicitante: nombre_solicitante
13 |     required: True
14 |   - ${tipo_id_solicitante}: id_solicitante
15 |     required: True
```

Nota: fuente elaboración propia (2024).

El sistema de entrevistas guiadas desarrollado presenta una serie de interfaces de usuario intuitivas que orientan al servidor judicial a lo largo del proceso de admisión. Las siguientes capturas muestran la progresión del cuestionario.

Figura 7. Pregunta ejemplo 1

¿Existen inconsistencias en los datos de tutela como el nombre del accionante, juzgado indicado en el acta o la fecha en que se recibió la tutela?

Yes No

Nota: fuente elaboración propia (2024).

Figura 8. Pregunta ejemplo 2

¿Cuál es el tipo de identificación del solicitante?

Select...

- Cédula de ciudadanía
- Nit
- Tarjeta de identidad
- Tarjeta profesional
- Pasaporte
- Permiso especial de permanencia
- Permiso por protección temporal
- Otro

Nota: fuente elaboración propia (2024).

Figura 9. Pregunta ejemplo 3

Ingrese los datos del solicitante:

- Para confirmar la identificación del solicitante puede ingresar al siguiente link [ADRES](#)
- Si se aporta más de un número de teléfono indicar que se debe registrar separado por comas
- Si se aporta más de un email se deben registrar separado por punto y coma (;)

Nombre del solicitante* Nombre

Cédula de ciudadanía* 1234567

Teléfono 12345

E-mail correo@prueba.com

Dirección física + Barrio CLL 47 48 51

Ciudad y/o municipio Bello

Continue

Nota: fuente elaboración propia (2024).

Una innovación significativa del sistema es la integración de herramientas auxiliares para la toma de decisiones, incluyendo el acceso a mapas para identificación de zonas geográficas y enlaces directos a acuerdos relevantes.

Figura 10. Pregunta ejemplo 4

La dirección "CLL 47 48 51" de "Nombre", ¿hace parte de la zona de pequeñas causas conformidad con el acuerdo CSJANT17-2172?

Para buscar la dirección en Google Maps y confirmar la competencia dar click en el siguiente link

Yes No

Nota: fuente elaboración propia (2024).

El resultado final del proceso es la generación automática de documentos editables en formato Word, que incorporan toda la información recopilada durante la entrevista y aplican la lógica de decisión establecida. Estos documentos conservan la flexibilidad necesaria para que el servidor judicial realice los ajustes que considere pertinentes antes de su finalización.

Figura 11. Fin cuestionario

Aquí esta su documento.

¿Cumple con su aprobación?

si No

El siguiente documento ha sido creado para ti.

Your letter

Descargar

El documento está disponible en los siguientes formatos:

PDF (para imprimir; requiere Adobe Reader o una aplicación similar)

DOCX (para editar; requiere Microsoft Word o una aplicación compatible)

Nota: fuente elaboración propia (2025).

Figura 12. Resultado final

CONSTANCIA: La presente acción de tutela correspondió por reparto el día 21 de febrero de 2025. Viene con medida provisional. Consta de (01) archivos en PDF. Se radica bajo el número **2023-00156**. Paso a Despacho para proveer.

Bello, 24 de febrero de 2025

Daniel Arbelaez Alvarez
Citador Grado 3



JUZGADO PRIMERO PENAL MUNICIPAL DE BELLO
Bello- Antioquia, 24 de febrero de 2025

RADICADO: 05 088 40 04 001 2023-00156 00
ASUNTO: ACCIÓN DE TUTELA
ACTUACIÓN: ASUME CONOCIMIENTO

Nota: fuente elaboración propia.

La implementación ha demostrado una mejora significativa en la eficiencia del proceso de admisión de tutelas, al reducir el tiempo requerido para la generación de documentos y asegurar la consistencia en la aplicación de criterios normativos. Ha resultado especialmente efectiva en la eliminación de tareas repetitivas, permitiendo a los servidores dedicar más tiempo a aspectos que requieren análisis jurídico profundo.

El *framework Docassemble*, seleccionado por su naturaleza modular, facilita la gestión simultánea de volúmenes crecientes de solicitudes mediante la distribución de cargas en contenedores *Docker* independientes, lo que permite escalar horizontalmente la infraestructura según las necesidades de cada jurisdicción. La plataforma admite la expansión de sus funcionalidades para incorporar gradualmente otros tipos de documentos judiciales más allá de las acciones de tutela, gracias a su estructura basada en plantillas parametrizables, adaptables a diversos flujos procesales como demandas ordinarias, medidas cautelares o recursos de apelación.

IV. Discusión

La implementación del sistema experto para la automatización de entrevistas guiadas en el proceso de admisión de tutelas representa un avance significativo en la modernización judicial colombiana,

en consonancia con las tendencias identificadas por *Legaltechies* [1] en el sector *LegalTech* nacional. Los resultados obtenidos permiten analizar el impacto de esta innovación desde múltiples perspectivas, considerando tanto sus beneficios inmediatos como sus implicaciones a largo plazo para la administración de justicia.

En primer lugar, el impacto en la eficiencia ha sido notable. Como señalan Giraldo Osorio y Ruiz Ocampo [4], la congestión judicial en Colombia exige soluciones innovadoras que optimicen los procesos sin comprometer la calidad de las decisiones. La automatización permite reducir significativamente el tiempo de trámite en las admisiones de tutela, favoreciendo una mejor asignación de los recursos humanos y contribuyendo de manera efectiva a la descongestión de los entornos legales. Este hallazgo resulta particularmente relevante ante el creciente volumen de acciones de tutela que enfrentan los juzgados en el territorio nacional.

La calidad y estandarización de los procesos legales también han mostrado mejoras significativas. Siguiendo los lineamientos del Sistema Integrado Único de Gestión Judicial (SIUGJ) [5], se ha facilitado una aplicación más consistente de los criterios normativos, reduciendo la incidencia de errores procedimentales y mejorando la trazabilidad de las decisiones emitidas por los juzgados del país. Esta estandarización no solo favorece la eficiencia operativa, sino que también contribuye a la transparencia y predictibilidad del sistema judicial, aspectos fundamentales para el fortalecimiento del Estado de Derecho.

Las perspectivas de desarrollo futuro son particularmente prometedoras. Como sugiere el estudio de Márquez [2], existe un potencial significativo para expandir y adaptar el flujo de trabajo a otros entornos de carácter legal. La arquitectura flexible del *framework* permite su ajuste a cambios normativos y su integración con otros casos de uso existentes en la Rama Judicial, lo que lo posiciona como una herramienta valiosa en el proceso de transformación digital del sector justicia.

Sin embargo, también es importante reconocer los desafíos y oportunidades que plantea esta implementación. En línea con las observaciones de Hernández [10], se identifican necesidades específicas de capacitación continua para los usuarios finales, así como la importancia de mantener un balance adecuado entre la sistematización y el ejercicio del criterio judicial. Este último punto es particularmente relevante, ya que la tecnología debe funcionar como una herramienta de apoyo que potencie, pero no reemplace, la capacidad de análisis y decisión de los funcionarios.

El potencial de expansión en la gestión automatizada es considerable, especialmente si se considera la creciente adopción de tecnologías en el sector legal colombiano. La experiencia adquirida con esta implementación aporta lecciones valiosas para futuros desarrollos en el campo de la automatización con enfoque *LegalTech*, contribuyendo al cuerpo de conocimiento sobre la modernización de la justicia en Colombia.

Como resultado, en la labor judicial diaria, los funcionarios pueden enfrentar situaciones en las que el volumen de trabajo y la complejidad normativa propician errores involuntarios. Un caso ilustrativo se presenta cuando un servidor, al redactar un auto admisorio para una acción de tutela contra una entidad territorial, podría incurrir inadvertidamente en errores respecto de la normativa vigente, particularmente en lo relacionado con la competencia por factor territorial o funcional, que establece términos diferenciados según el tipo de entidad accionada, entre otros parámetros.

El sistema de entrevistas guiadas mitiga este riesgo mediante la presentación de preguntas secuenciales sobre la naturaleza del accionado, verificando automáticamente la normativa aplicable y sugiriendo el término procesal correcto. De esta manera, se previenen nulidades que podrían generar retrasos significativos y afectarían la protección efectiva de derechos fundamentales.

Adicionalmente, la sistematización de las entrevistas guiadas optimiza notablemente la producción judicial. Mientras en el flujo tradicional cada funcio-

nario aplica metodologías particulares influenciadas por su experiencia individual, lo que genera disparidades de calidad y el formato entre despachos, el sistema estructurado estandariza el proceso decisonal. Un secretario judicial puede elaborar múltiples providencias de manera simultánea, siguiendo parámetros consistentes que incorporen buenas prácticas institucionales. Esto reduce la variabilidad subjetiva y garantiza que tanto funcionarios noveles como experimentados produzcan documentos con un nivel similar de precisión técnica y fundamentación jurídica, elevando así la calidad general de la administración de justicia.

V. Conclusiones

La implementación del sistema experto para entrevistas guiadas en la optimización de procesos judiciales representa un avance significativo en la transformación digital de la justicia colombiana, ofreciendo evidencia empírica sobre los beneficios de la automatización en entornos legales.

A partir del desarrollo e implementación realizado, se pueden establecer las siguientes conclusiones:

Eficiencia judicial transformada: la automatización mediante entrevistas guiadas reduce notablemente los tiempos de respuesta en la tramitación de acciones de tutela, permitiendo a los funcionarios judiciales reasignar recursos cognitivos desde tareas procedimentales repetitivas hacia el análisis jurídico de fondo. Esto repercute directamente en la calidad de la administración de justicia.

Precisión técnica y estandarización: el sistema garantiza la uniformidad y corrección técnica de las providencias judiciales al incorporar sistemáticamente el marco normativo vigente, lo que previene errores procedimentales frecuentes que podrían derivar en nulidades y generar demoras adicionales en la protección efectiva de los derechos fundamentales.

Escalabilidad y replicabilidad comprobada: la arquitectura basada en *Docker* y el *framework Docassemble* permite una implementación distri-

buida, adaptable a diferentes volúmenes de trabajo según las necesidades específicas de cada jurisdicción. Este diseño modular facilita su despliegue en múltiples despachos judiciales sin requerir modificaciones sustanciales en la infraestructura tecnológica existente, optimizando así la inversión ya realizada por la Rama Judicial en su infraestructura digital.

Evolución adaptativa del sistema: La plataforma demuestra capacidad para expandirse más allá de las acciones de tutela hacia otros tipos de actuaciones judiciales, como demandas ordinarias, medidas cautelares o recursos, gracias a su estructura paramétrica, que permite configurar nuevos flujos de trabajo jurídicos sin modificar el núcleo tecnológico.

Contribución al ecosistema LegalTech nacional: el desarrollo realizado se suma al creciente panorama de soluciones tecnológicas para el sector judicial colombiano, confirmando la viabilidad de implementar innovaciones de código abierto que respondan a necesidades específicas del contexto legal nacional y contribuyan al cumplimiento de los objetivos del CONPES 4024 y el Plan Estratégico de Transformación Digital.

Democratización tecnológica judicial: la implementación basada en *software* libre facilita su adaptación y mejora continua por parte de diferentes actores del ecosistema judicial, promoviendo la colaboración entre despachos, fomentando una cultura de innovación dentro de la administración de justicia y aumentando la confianza ciudadana.

El sistema desarrollado demuestra que es posible implementar soluciones tecnológicas avanzadas en el contexto judicial colombiano sin comprometer la calidad del análisis jurídico, respondiendo así al doble desafío de la congestión judicial y la necesidad de mantener altos estándares en la protección de derechos fundamentales. Su capacidad de adaptación a diferentes contextos y cargas de trabajo lo posiciona como un modelo replicable en otros despachos judiciales, contribuyendo a una transformación digital integral y coherente del sistema de justicia en Colombia.

VI. Referencias

- [1] Legaltechies, "El estado de la Legaltech en... Colombia", Legaltechies, 2020. [En línea]. Disponible en: <https://legaltechies.es/2020/09/02/el-estado-de-la-legaltech-en-colombia/>. [Accedido: 12-oct-2023].
- [2] I. D. Márquez, M. L. R. Blanco, D. P. Martínez, A. C. Barrera, D. A. M. Aponte y F. R. Gómez, "Consejo Nacional de Política Económica y Social Conpes".
- [3] D. Arbeláez, GestionExpedienteElectronico, GitHub, 26-oct-2022. [En línea]. Disponible en: https://github.com/HammerDev99/GestionExpedienteElectronico_Version1. [Accedido: 12-oct-2023].
- [4] A. Giraldo Osorio y A. M. Ruiz Ocampo, "La tutela en Colombia: El abuso del derecho y su incidencia en la congestión de los despachos judiciales y el acceso a la justicia", 2020. [En línea]. Disponible en: <http://repository.unilibre.edu.co/handle/10901/22997>. [Accedido: 12-oct-2023].
- [5] Rama Judicial, "Sistema Integrado Único de Gestión Judicial - SIUGJ - Rama Judicial". [En línea]. Disponible en: <https://www.ramajudicial.gov.co/web/transformacion-digital/sistema-integrado-unico-de-gestion-judicial-siugj>. [Accedido: 12-oct-2023].
- [6] D. Colarusso y Q. Steenhuis, "Digital Curb Cuts: Towards an Inclusive Open Forms Ecosystem", SSRN. [En línea]. Disponible en: https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=3911381 [Accedido: 12-oct-2023].
- [7] Legaltechies, "El concepto de Legaltech y sus variantes", Legaltechies, 2020. [En línea]. Disponible en: <https://legaltechies.es/2020/01/10/el-concepto-de-legaltech-y-sus-variantes/>. [Accedido: 12-oct-2023].
- [8] "Court Forms Online (MassAccess)". [En línea]. Disponible en: <https://courtformsonline.org/about/>. [Accedido: 12-oct-2023].
- [9] Docassemble, "Installing on Docker". [En línea]. Disponible en: <http://docassemble.org/docs/docker.html>. [Accedido: 12-oct-2023].
- [10] M. J. A. Hernández, "Agilidad Organizacional dinamizador de la Innovación: Un Estudio de Caso de la Rama Judicial", [Tesis de Maestría], Universidad de los Andes, Bogotá, 2022.



Imagen solo de referencia.



Machine Learning aplicado a la predicción de pacientes en EPS: una revisión de literatura

*Machine Learning Applied to Patient Prediction
in EPS: a Literature Review*

Johnny Urrego¹, Juan Acosta²

Tipo de Artículo: revisión de literatura.

Recibido: 08/11/2023. **Aprobado:** 10/12/2024. **Publicado:** 12/12/2024

Resumen: Esta revisión sistemática de la literatura tiene como objetivo comprender los conceptos clave, así como los estudios previos sobre *Machine Learning* (ML) y *Business Intelligence* (BI) orientados a la predicción de una variable objetivo. La metodología utilizada incluyó una exhaustiva búsqueda en las bases de datos Scopus y ScienceDirect, seleccionando aquellos estudios que cumplieran con criterios de inclusión predefinidos. Este artículo ofrece una revisión general del ML, la Inteligencia Artificial aplicada y sus principales modelos. Los hallazgos destacan tanto avances prometedores como desafíos pendientes, lo que puede servir de base para futuras investigaciones y aplicaciones en el sector salud.

Palabras clave: *Machine learning*; predictivo; salud; crecimiento; bussines intelligence.

Abstract: A systematic review of literature in which we seek to understand the terms, in addition to previous studies on *Machine Learning* (ML) and *Business Intelligence* (BI) for the prediction of an objective variable. The methodology used included an exhaustive search of the scientific literature in Scopus and ScienceDirect databases and studies were selected that met predefined inclusion criteria. This systematic literature review article provides an overview of applied ML and AI and its models. The findings highlight both promising advances and remaining challenges, which can serve as a basis for

¹ Autor correspondiente: Johnny Urrego Piedrahita Mayor título: Prof. en Gerencia de Sistemas de Información en salud. Filiación institucional: Universidad Católica Luis Amigó País: Colombia, Ciudad: Medellín. Correo electrónico: johnny.uregopi@amigo.edu.co

² Autor correspondiente: Juan José Acosta Jiménez Mayor título: Contador / Regente Farmacia. Filiación institucional: Universidad Católica Luis Amigó. País: Colombia, Ciudad: Medellín. Correo electrónico: juan.acostaim@amigo.edu.co

future research and applications in the healthcare sector.

Keywords: *Machine learning*; predictive; health; growth; *business intelligence*.

I. Introducción

Abordar la creciente necesidad de gestionar eficaz y eficientemente los recursos en el sector salud, con el fin de prever con precisión cuántos pacientes se afiliarán a un plan, puede contribuir a evitar la pérdida de recursos, optimizar la distribución del personal y brindar una atención de mayor calidad. Para esta Revisión Sistemática de la Literatura (RSL), resulta indispensable conocer el comportamiento poblacional y predecir el aumento o disminución de una población, lo que permitiría anticipar posibles posible gasto o inversiones y, en consecuencia, estimar la rentabilidad. Estos análisis se fundamentarían en modelos estadísticos basados en *machine learning*. Por ello, es necesario realizar una RSL clara, concisa y rigurosa sobre las metodologías de predicción poblacional, las posibles variables requeridas por los algunos modelos a aplicar y las formas de implementación.

Esta revisión tiene como objetivo identificar modelos predictivos que utilicen datos históricos, factores demográficos y otras variables, con el fin de proporcionar a las instituciones de salud una herramienta valiosa para la planificación y la toma de decisiones informadas. Esto permitiría mejorar, en última instancia, la calidad de la atención médica, optimizar los recursos y aumentar la satisfacción de los pacientes; además, la revisión aportará evidencia real y concreta sobre las variables que pueden incluirse o descartarse métodos estadísticos que deben implementarse y los datos necesarios para formular un modelo con resultados claros, ajustados, relevantes y creíbles.

Se realizó una búsqueda de publicaciones científicas en revistas indexadas en ScienceDirect y Scopus. Esta búsqueda, sin restricción de idioma, se enfocó en las motivaciones, metodologías de trabajo, desafíos y beneficios que han experimentado

organizaciones del sector salud al implementar la analítica de datos como estrategia de gestión organizacional.

La inteligencia artificial (IA) y el *machine learning* (ML) han dado origen a un nuevo campo en el ámbito de la atención médica y la investigación en ciencias de la salud. Estas innovadoras herramientas de análisis predictivo han comenzado a influir en diversas áreas de la atención clínica, incluida la práctica médica.

Muchas de estas herramientas y estudios basados en ML también están ganando presencia en la literatura científica, ya que la falta de conocimiento general sobre los conceptos básicos y los elementos fundamentales de la IA y el ML se ha convertido en una necesidad creciente. Esto resalta la importancia de educar al público en estos conceptos, que aún resultan relativamente desconocidos [1].

II. Justificación de la revisión

Las técnicas de aprendizaje profundo y aprendizaje automático ofrecen oportunidades inigualables para mejorar la atención sanitaria; sin embargo, existe escasez de literatura sobre aplicaciones basadas en IA implementadas con ese propósito [2].

Los datos, la información y el conocimiento han incrementado exponencialmente su impacto en la toma de decisiones, la implementación de nuevas estrategias y el crecimiento organizacional. La aplicación de herramientas de aprendizaje automático (ML / IA) a nivel empresarial puede mejorar el registro, procesamiento, seguridad y análisis de datos para generar conocimiento. Esto permite predecir y comprender el comportamiento de diversas variables y favorecer una mejora continua en los procesos.

El uso de herramientas de ML ofrece múltiples beneficios. Por ejemplo, puede ayudar a las organizaciones a identificar patrones y tendencias ocultas en grandes conjuntos de datos, lo que contribuye a la toma de decisiones más informadas y estratégicas. Además, el ML puede mejorar la eficiencia

operativa mediante la automatización de tareas repetitivas y la optimización de procesos.

La implementación de herramientas de ML también puede contribuir a la seguridad y protección de la información sensible. Mediante el uso de la IA, las organizaciones pueden detectar y prevenir posibles amenazas cibernéticas, identificar comportamientos anómalos y fortalecer sus sistemas de seguridad.

Es importante resaltar que el éxito de las herramientas de ML depende de varios factores, como la disponibilidad de datos de calidad, la infraestructura tecnológica adecuada, el compromiso gerencial y la capacitación del personal.

Existen proyectos en los que se programaban citas mediante un agente virtual *chatbot*, ofreciendo a los pacientes un nuevo canal de comunicación para la interacción del usuario. Este es un claro ejemplo de la aplicabilidad de la inteligencia artificial y el *big data* en el área de la salud.

Es fundamental garantizar la privacidad y la ética en el manejo de los datos.

Mediante esta revisión sistemática de la literatura, se busca analizar cómo se han implementado herramientas de IA y de BI en la predicción poblacional de las EPS, considerando diversas variables como las condiciones socioeconómicas, y evaluando su influencia en dichas predicciones.

III. Formulación de las preguntas de investigación

Las siguientes preguntas se plantean con el fin de conocer las herramientas y enfoques implementados a nivel de IA y BI en los comportamientos poblacionales.

1. ¿Qué variables pueden utilizarse para la predicción de comportamientos poblacionales de usuarios de servicios de salud?

2. ¿Cómo se ha aplicado el ML en la predicción de comportamientos poblacionales de usuarios de servicios de salud?

3. ¿Cómo se ha aplicado BI para mejorar la gestión de las EPS?

IV. Definiciones y conceptos básicos

ARIMA: técnica de minería de datos que ofrece resultados confiables, robustos y de calidad, ayudando a validar y sustentar investigaciones mediante mecanismos eficientes para la extracción, análisis y visualización de grandes volúmenes de datos. Además, presenta la gran ventaja de ser aplicable en múltiples ramas del conocimiento, como economía, demografía, física, matemáticas, pesca, entre otras [3].

BI: Business Intelligence: es una disciplina y conjunto de herramientas que integran datos operativos con análisis avanzado para proporcionar información compleja y competitiva a planificadores y tomadores de decisiones. Las herramientas de inteligencia empresarial (BI) ayudan a las organizaciones a generar rápidamente conocimientos que guían a los gerentes hacia la eficiencia operativa, los conducen a nuevas oportunidades y los diferencian de la competencia [4].

Big Data: término amplio y genérico que abarca varias características distintas y no exclusivas. El origen del concepto se atribuye comúnmente a un breve informe técnico del grupo META, una consultora estadounidense, y evolucionó hacia el modelo de las "3V: volumen, variedad y velocidad. Posteriormente, se han propuesto otras "V", como veracidad. Todas estas "V" se refieren a datos. Los desafíos que enfrenta la sociedad de la información están relacionados con el procesamiento en tiempo real de grandes volúmenes de datos diversos y heterogéneos (Velocity) [5].

Crecimiento Poblacional: se refiere al cambio en el tamaño de una población durante un período de tiempo específico. Se puede medir como la

variación en el número de individuos por unidad de tiempo [6].

EPS: según el artículo 177 de la Ley 100 de 1993, se definen como las entidades promotoras de salud responsables de los afiliados y el recaudo de sus cotizaciones, por delegación del Fondo de Solidaridad y Garantía [7].

IA: posiblemente la mayor revolución tecnológica del siglo XXI. Sus orígenes se sitúan a finales de los años 50, cuando la ciencia y la ingeniería se unieron para crear máquinas inteligentes, especialmente programas informáticos inteligentes. Se define como “la capacidad de dar buenas respuestas desde el punto de vista de los hechos” [8].

Machine Learning: el concepto de *Machine Learning* (ML) o «aprendizaje máquina», data de mediados del siglo XX y fue definido en un artículo de Samuel en 1959 como una rama de la IA que utiliza técnicas estadísticas y algoritmos computacionales para dotar a los ordenadores de la capacidad de «aprender», es decir, mejorar su desempeño en una tarea específica tras procesar grandes volúmenes de datos, sin instrucciones explícitas externas (y, por tanto, potencialmente sesgadas) proporcionadas por el programador [9].

V. Proceso de búsqueda de documentos

En el proceso de búsqueda de documentos relacionados con la RSL, se analizó la producción científica en las bases de datos bibliográficas Scopus y ScienceDirect. La búsqueda no tuvo restricciones de idioma ni de ubicación, y se seleccionaron artículos publicados en los últimos cuatro años que contuvieran los términos de búsqueda en inglés. De este modo, se identificó el idioma más utilizado entre las publicaciones.

Para esta actividad se utilizaron las siguientes palabras clave, variables, *prediction*, *predictive*, *machine learning*, *learning system*, *learning algorithms*, *health*, *population*, *growth*, *Big Data*, combinadas por “and”, para ampliar el alcance de la búsqueda.

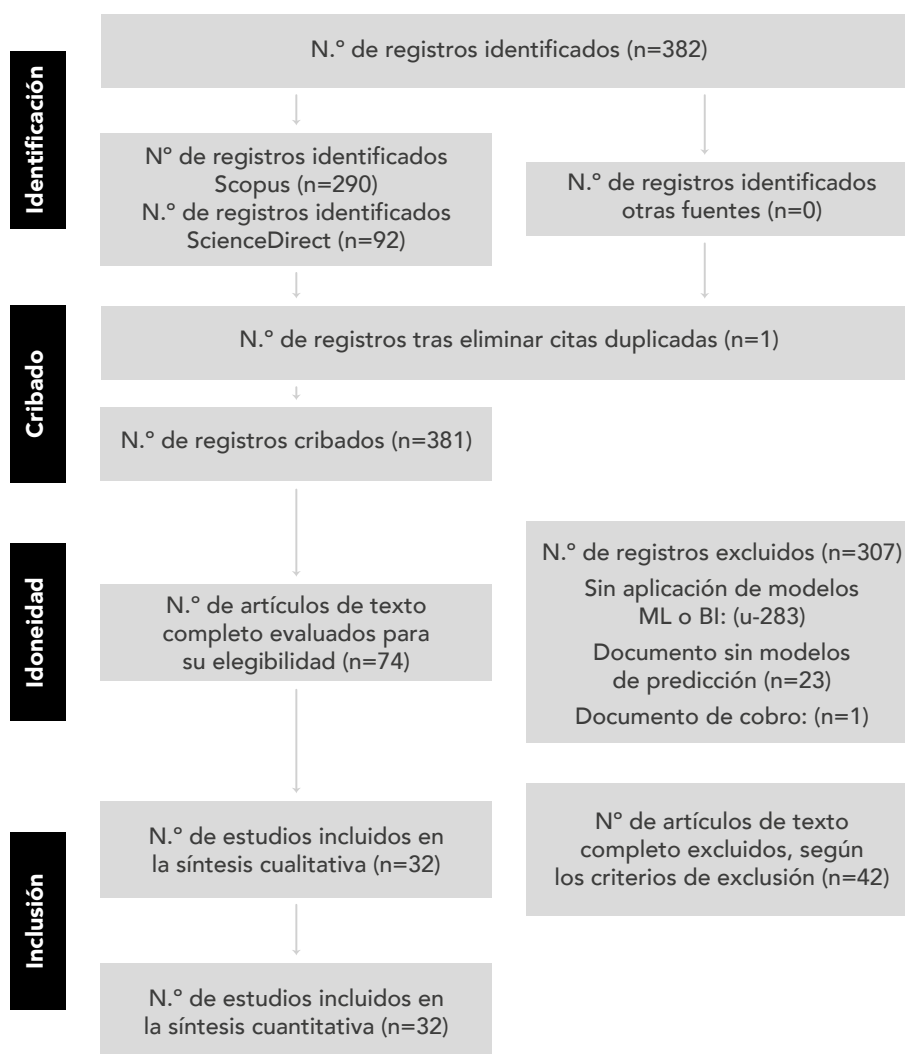
Posterior a la búsqueda inicial, se aplicaron filtros como año de publicación, tipo de documento, temáticas, acceso abierto (*open source*) y, de gran importancia, el filtro de “keyword” (palabra clave), mediante el cual el buscador ofrece las opciones óptimas para afinar la búsqueda relacionada.

En la utilización de la “keyword” se identificaron términos adicionales para la búsqueda, tales como *population statistics*, *artificial intelligence*, *predictive value*, *predictive analytics*, *population research*, *models*, *statistical*, *predictive models*, *machine learning models*, *prediction modelling* y *prediction model*.

Esto arrojó 92 resultados en ScienceDirect y 290 resultados en Scopus con los filtros aplicados.

De los artículos encontrados mediante las palabras clave y los parámetros de búsqueda, se seleccionaron aquellos relacionados directamente con el tema principal y cuya redacción fuera específica, clara y coherente. Para ello, se llevó a cabo una lectura de los resúmenes con el fin de identificar los principales resultados y conclusiones que contribuyen a la resolución del objetivo planteado.

Se excluyeron los documentos en los que no se explicitaban los modelos de predicción, así como aquellos artículos de carácter exclusivamente asistencial que no presentaban evidencia del uso de herramienta de BI o ML. También se destacaron aquellos trabajos en los que no se aplicó ninguna técnica de aprendizaje automático.

Figura 1. Flujograma Prisma.

Nota: fuente, consulta de artículos.

VI. Discusión

Pregunta 1

¿Qué variables se han planteado o se han considerado utilizar para la predicción de comportamientos poblacionales de usuarios de servicios de salud?

El estudio de van Hoffen [10], centrado en el desarrollo de modelos de predicción de ausencias laborales por enfermedad mental en la población activa general, investigó si las variables obtenidas en encuestas de salud ocupacional pueden emplearse, y de qué manera para identificar a los trabajadores en riesgo de incapacidad prolongada por trastornos mentales. A partir de una consulta médica, se registra un código diagnóstico basado en la décima Clasificación Internacional de Enfer-

medades (CIE-10), y se realiza un seguimiento durante un año como variable de resultado.

Los autores, Verma et al. [11] argumentan que actualmente no existe un marco claro e integral para la adopción de herramientas basadas en aprendizaje automático de la salud. Por ello, proponen un modelo de adopción desarrollado en tres fases: exploración, diseño de soluciones e implementación y evaluación. Asimismo, sugieren el uso de marcos metodológicos como CRISP DM 7 para el desarrollo y validación de algoritmos, destacando como una ventaja principal de este enfoque su capacidad para incorporar la naturaleza iterativa del proceso de ciencia de datos.

Con el objetivo de definir la variable de movilidad geográfica entre los participantes en la búsqueda de casos de tuberculosis en centros y comunidades de Kampala, Uganda, Robsky et al. [12] evaluaron las asociaciones entre la movilidad, el acceso a la atención y la enfermedad de tuberculosis, incluyendo desplazamientos por motivos laborales, educativos o personales. Estas variables se consideraron relevantes en la dinámica de transmisión de la enfermedad. El estudio encontró una asociación entre la movilidad y un menor riesgo de desarrollar tuberculosis, lo cual podría explicarse, en parte, por un estatus socioeconómico más alto entre las personas móviles de esta población.

Las variables utilizadas para alimentar el modelo ML incluyeron cuatro parámetros climáticos: (temperatura, humedad, presión atmosférica y velocidad del viento) y dos indicadores de contaminación del aire (PM2,5 y PM10). Estos se emplearon como datos de entrada para predecir tanto la infección como la recuperación. Dichas variables pueden considerarse factores adicionales que contribuyen a enfocar y entrenar el modelo, permitiendo una predicción más precisa [13].

Es importante conocer las estadísticas nacionales de los indicadores demográficos y de salud con el objetivo de desarrollar modelos de predicción de la multimorbilidad. Entre las técnicas aplicadas, se destaca el uso de redes neuronales con retro propagación. Para ellos, se emplean como predictores

las variables identificadas mediante modelos de regresión logística, tales como el género, el hábito de fumar, la edad y el consumo de frutas, las cuales desempeñan un papel importante en la capacidad predictiva del modelo [14].

Los sistemas ciber físicos (CPS) integran capacidades de computación y comunicación para regular procesos físicos y facilitar la interacción entre los entornos digital y físico en tareas de control y monitoreo. En el ámbito de la salud, una variante específica conocida como Health CPS se emplea como sistema de monitoreo de condiciones médicas. Este tipo de sistema permite la captura, el procesamiento y el análisis dinámico de datos provenientes de sensores de salud mediante procesos biofísicos integrados, habilitados por tecnologías del Internet de las cosas (IoT) [15].

Los investigadores Mbunge y Batani [2] utilizaron múltiples sistemas y aplicaciones basadas en inteligencia artificial para mejorar la atención médica en el África subsahariana, con énfasis en algoritmos de aprendizaje profundo y aprendizaje automático. Estas técnicas de inteligencia artificial se han utilizado principalmente en tareas como la predicción de brotes epidémicos, la vigilancia de enfermedades, la evaluación y diagnóstico de riesgos, la provisión de atención personalizada en tiempo real, el monitoreo remoto de pacientes y la atención preventiva.

En el artículo publicado por Alberto et al. [16], sobre el impacto de los conjuntos de datos comerciales de salud en la investigación médica y los algoritmos de atención médica, se identifican variables clave para la aplicación de inteligencia artificial en estudios relacionados con la salud, tales como atenciones médicas, clínicas y uso de fármacos. Además, los autores destacan la relevancia de diversos repositorios de datos, tanto abiertos como privados, para la investigación en esta área; por ejemplo, la base de datos del laboratorio de Fisiología Computacional del Instituto Tecnológico de Massachusetts, así como el repositorio de códigos de MIMIC, que ha sido utilizado en más de 4.000 estudios basados en registros médicos electrónicos de un hospital en Estados Unidos.

Hemos ingresado en una nueva era digital en el campo de la medicina, caracterizada por el potencial de aprovechar grandes volúmenes de información médica para acelerar los descubrimientos científicos y mejorar la calidad de la atención médica. Este avance permite, además, la prestación de servicios médicos personalizados y respalda la formulación de políticas fundamentadas en evidencia. En este contexto, marcado por la convergencia de diversos factores, los datos relacionados con la atención médica, incluidos los datos demográficos de los pacientes, los resultados de pruebas clínicas, hallazgos de laboratorio y datos genómicos, se han convertido en un activo de gran valor tanto para entidades públicas como privadas. La creciente demanda de grandes volúmenes de información médica, tanto la academia como la industria, ha impulsado una dinámica tendencia hacia su comercialización, dando lugar a una industria multimillonaria centrada en la recopilación, el análisis y la comercialización de datos [17].

El uso del análisis predictivo, respaldado por marcos basados en Internet de las cosas (IoT), ha representado un avance significativo en el desarrollo de los sistemas de salud inteligentes, al permitir la anticipación de tendencias de mortalidad y, con ello, la implementación de intervenciones oportunas. Esta metodología también facilita la identificación de relaciones ocultas entre variables de salud y factores críticos asociados a la mortalidad infantil. Para este propósito, se emplearon conjuntos de datos provenientes de la Encuesta Demográfica de Salud de Etiopía y la Encuesta Demográfica de Salud de Pakistán. Dichos datos reales fueron analizados mediante clasificadores de aprendizaje automático, tales como *Naïve Bayes*, árboles de decisión, inducción de reglas, bosque aleatorios y perceptrones multicapa, con el fin de realizar tareas de predicción [18].

Pregunta 2

¿Cómo se ha aplicado el ML en la predicción de comportamientos poblacionales de usuarios de servicios de salud?

Entre los algoritmos más utilizados para la construcción de modelos de aprendizaje automático en el ámbito de la salud se encuentran *Random Forest*, *Support Vector Machines* y las Redes Neuronales. Asimismo, técnicas de *Deep Learning* o aprendizaje profundo han sido aplicadas en desarrollos más recientes. Este enfoque ha permitido abordar tareas complejas que anteriormente requerían intervención humana, logrando resultados significativos en áreas como la predicción de enfermedades, el monitoreo de pacientes y la personalización de tratamientos. En este contexto, el aprendizaje automático brinda nuevas oportunidades para mejorar la eficiencia en la prestación de servicios de salud, al tiempo que respalda la toma de decisiones clínicas mediante la integración de grandes volúmenes de datos y la identificación de patrones relevantes [19].

Los sistemas de salud basados en IA han demostrado mejoras significativas en la predicción, el diagnóstico y las estrategias terapéuticas, generando beneficios tanto para los pacientes como para los profesionales de la salud [8]. La aplicación de la IA en la atención sanitaria puede aportar valor en al menos cuatro dimensiones: (I) estimar la probabilidad de éxito de un tratamiento y anticipar la aparición de enfermedades antes de su manifestación clínica; (II) prevenir o gestionar posibles complicaciones; (III) apoyar activamente la atención al paciente durante el proceso diagnóstico y/o tratamiento; y (IV) identificar con mayor precisión la patología subyacente y sugerir las opciones terapéuticas más adecuadas [20].

Los servicios de salud móviles impulsados por IA pueden generar avances significativos en el monitoreo y la evaluación de los pacientes, al permitir procesos más automáticos, objetivos y continuos. Además, las metodologías recientes de IA explicable (XAI) contribuyen a que las decisiones generadas por los modelos sean interpretables y confiables para los usuarios finales. Esto fortalece la

confianza en los modelos basados en IA, y en particular en el aprendizaje automático (ML), al hacer que las decisiones derivadas sean percibidas como más precisas y fundamentadas [21].

En el estudio de Mirzaeian et al. [22]. Se utilizó inicialmente la regresión logística binaria (BLR) para identificar los principales factores que influyen en el modelo. Posteriormente, se aplicaron ocho algoritmos de aprendizaje automático para realizar predicciones, entre ellos: refuerzo adaptativo (*Ada-Boost*), agregación de arranque (*Bagging*), refuerzo de gradiente extremo (*XG-Boost*), bosque aleatorio (RF), J-48, perceptrón multicapa (MLP), Naïve Bayes (NB), y máquina de vectores de soporte (SVM). El rendimiento de cada modelo se evaluó mediante métricas derivadas de la matriz de confusión, con el objetivo de determinar cuál ofrecía la mejor capacidad predictiva. Aunque algunos de estos métodos y algoritmos pueden no ser ampliamente conocidos, se emplearon eficazmente para la predicción de la esperanza de vida.

Los datos administrativos de salud longitudinales a nivel poblacional facilitan el desarrollo de un sistema sanitario de aprendizaje. A partir de estos, se han desarrollado modelos de aprendizaje automático orientados a predecir el riesgo de mortalidad en pacientes que ingresan a hospitales. Esto permite inferir que la disponibilidad y el análisis adecuado de la información son fundamentales para una toma de decisiones acertada, la focalización eficiente de inversiones y una gestión adecuada, tanto en el ámbito asistencial como administrativo, por parte de clínicas, hospitales y aseguradoras de salud [23].

Aunque en más del 80% de los casos los modelos de ML en salud pueden predecir cómo se propagará una enfermedad, aún se buscan estrategias para mejorar la precisión en la predicción del comportamiento poblacional. En el experimento presentado en el documento, el algoritmo Random Forest predijo correctamente los casos positivos de malaria en un 60% de las veces y los casos positivos de fiebre tifoidea en un 77%. Este resultado destaca a Random Forest como otro modelo potencialmente útil para tareas de predicción en el ámbito sanitario [24].

Con datos de características sociodemográficas, conductuales (como el uso de drogas inyectables y el comportamiento sexual) y biológicas, el estudio de Nisa [25] realizó un análisis orientado a predecir pacientes con alto riesgo de contraer VIH. Además, se reporta el uso de técnicas de minería de datos y aprendizaje automático, lo que permite identificar qué tipo de variables pueden considerarse relevantes para el ajuste de los modelos predictivos.

En la metodología del aprendizaje automático en informática de la salud (SEMLHI) incluye cuatro módulos: *software*, aprendizaje automático, algoritmos de aprendizaje automático y datos de informática sanitaria. Estos módulos organizan las tareas dentro del marco SEMHLI, lo que permite a investigadores y desarrolladores analizar el *software* de informática en salud desde una perspectiva de ingeniería. Asimismo, proporciona una hoja de ruta innovadora para el diseño de aplicaciones de salud, incorporando funciones de sistema e implementaciones de *software* más eficaces [1].

Pregunta 3

¿Cómo se ha aplicado BI para mejorar la gestión de las EPS?

El trabajo de investigación de Kcomt-Ponce et al. [26] desarrolló una aplicación móvil que integra inteligencia artificial, *machine learning* e inteligencia de negocios para mejorar el proceso de asignación de citas médicas. Además, la aplicación incluye funcionalidades como la cancelación de citas, la revisión de la historia clínica y la confirmación de asistencia al centro de salud correspondiente, contribuyendo así a una gestión más eficiente y centrada en el usuario.

Un ejemplo destacado de la aplicación de *Big Data* e inteligencia de negocios en el área de la salud se encuentra en la investigación de Mohapatra et al. [27], donde se emplean teléfonos inteligentes y microsensors integrados en dispositivos portátiles para el monitoreo remoto de signos vitales. En este estudio, se propone un marco para la detección oportuna de situaciones de emergencia,

basado en la sensibilidad del modelo, que permite la transmisión eficiente de los datos captados por los sensores, así como su recopilación y análisis en tiempo real.

Una herramienta de gestión de la salud poblacional, basada en algoritmos inteligentes de última generación y alimentada por datos administrativos y socioeconómicos, ha pronosticado que, para el año 2060, una cuarta parte de la población estadounidense tendrá más de 65 años. Esta tendencia no será exclusiva de Estados Unidos, ya que se proyecta un crecimiento similar en otros países. Además, se estima que la población de 85 años o más casi se duplicará en los próximos 25 años. En este contexto, los procesos automatizados de *Big Data* para definir cohortes de pacientes y para estratificar grupos por nivel de riesgo, buscan mejorar los resultados clínicos y reducir los costos, contribuyendo así a una gestión más eficiente de las organizaciones de salud [28].

Un estudio realizado por el grupo Keralty Salud Colombia, enfocado en la previsión de costos médicos en empresas de salud mediante el uso de modelos basados en analítica avanzada, desarrolló una estrategia efectiva para la predicción de costos. Esta estrategia contribuyó a la optimización de recursos y a una toma de decisiones más informada, mediante el empleo de técnicas como el modelo de memoria a largo plazo (LSTM) y la agrupación de pacientes utilizando el algoritmo de *k-means clustering* [29].

La búsqueda de una utilización eficiente de los activos ha sido una constante, especialmente en industrias con procesos de mecanización en evolución. En este contexto, la gestión del mantenimiento adquiere relevancia, ya que es responsable de garantizar la disponibilidad operativa de dichos activos. El mantenimiento predictivo (PDM) se ha consolidado como una de las principales estrategias en este ámbito, al permitir la detección temprana de fallas, evitando paradas no programadas y costos innecesarios. Con el avance de las tecnologías, el PDM ha evolucionado hacia la Gestión de Pronóstico y Salud (PHM), que ofrece herramientas para el reconocimiento de patrones,

la identificación de anomalías y la estimación de la vida útil restante (RUL) del equipo [30].

El autor Montes [31] realizó un estudio sobre la estimación de la duración del servicio mediante algoritmos de aprendizaje automático y redes neuronales, enfocado en pacientes que reciben atención médica domiciliaria. La investigación se realizó en 14 hospitales que prestan este tipo de servicios en la ciudad de Diyarbakır, Turquía. Los datos obtenidos fueron sometidos a un preprocesamiento y análisis estadístico descriptivo. Se aplicaron varios modelos de predicción, como árbol de decisión, bosque aleatorio y red neuronal de perceptrón multicapa, con el fin de identificar el modelo más adecuado. Los resultados mostraron que la duración del servicio de atención médica domiciliaria variaba según la edad y el sexo de los pacientes, quienes en su mayoría pertenecían a grupos con enfermedades que requerían tratamiento de Fisioterapia y Rehabilitación. Se determinó que la duración del servicio puede predecirse con alta precisión utilizando algoritmos de aprendizaje automático: modelo multicapa: 90,4%, modelo de árbol de decisión: 86,4% y modelo de bosque aleatorio: 88,5% [31].

Con el objetivo de predecir inasistencias a citas médicas en un hospital pediátrico de Chile mediante técnicas de aprendizaje automático, un grupo de investigadores desarrolló una plataforma computacional que implementa modelos predictivos a través de una aplicación web. El *front-end* y el *back-end* fueron diseñados en Python usando el *framework web* Django. La entrada del sistema consiste en una hoja de cálculo que contiene las características de la cita, tales como la identificación del paciente, información personal, especialidad médica, fecha y hora. Estos datos se procesan para generar las variables específicas para cada especialidad. Posteriormente, se aplican modelos predictivos, seleccionando el de mejor desempeño, para asignar etiquetas a todas las citas. Las citas se ordenan en forma descendente según la probabilidad estimada de inasistencia, junto con la información de contacto del paciente. Esto permite al hospital contactar prioritariamente a los pacien-

tes con mayor riesgo de no presentarse, con el fin de confirmar la cita [32].

Los sensores portátiles han demostrado ser prometedores como método no intrusivo para la recopilación de biomarcadores que pueden correlacionarse con niveles elevados de estrés. Los factores estresantes desencadenan una variedad de respuestas biológicas que pueden medirse a través de estos biomarcadores, entendidos como cambios en las condiciones de salud asociados a la presencia de dichos factores. Esta información puede contribuir a una mejor prevención de enfermedades y, en consecuencia, a una reducción de los costos para las instituciones de salud. El seguimiento y monitoreo de la salud mediante dispositivos portátiles está ganando popularidad; sin embargo, la generalización de los modelos de aprendizaje automático existentes aún requiere más investigación. Se espera que los avances continúen a medida que se disponga de conjuntos de datos más amplios y actualizados [33].

El trabajo de Parro et al. [34] presenta una propuesta práctica para estimar la utilización del sistema de salud en casos de COVID-19. La metodología desarrollada se basa en el modelo dinámico SIRD (Susceptibles, Infectados, Eliminados y Muertos), el cual fue modificado para centrarse en la dinámica del sistema sanitario, en lugar de modelar todos los casos de la enfermedad. El modelo se calibró utilizando datos disponibles para cada estado brasileño y se actualizaba diariamente. Se definió y empleó una figura de mérito que evalúa la calidad del ajuste del modelo a los datos, lo que permitió optimizar los parámetros libres. Se estimaron así los parámetros de un modelo epidemiológico para todo Brasil, mediante una combinación lineal de los modelos correspondientes a los 26 estados. El modelo fue validado y mostró una alta capacidad de ajuste en la mayoría de los casos.

VII. Conclusiones

En el ámbito de la salud, los beneficios de las soluciones basadas en inteligencia artificial son tan significativos que un número creciente de ase-

guradoras y prestadores de servicios se muestra interesado en invertir en estas tecnologías. Esto evidencia no sólo una dimensión comercial emergente, sino también el creciente valor e importancia dentro del sector sanitario.

Dado que existen diversos proyectos de desarrollo en el campo de la IA capaces de generar impactos significativos y agregar valor a las EPS, el ML representa un recurso de alto potencial para el sector salud. Estos proyectos contribuyen a mejorar la eficiencia y precisión en los diagnósticos médicos, optimizar los procesos de atención al paciente y facilitar tanto la toma de decisiones clínicas como administrativas. La implementación de soluciones basadas en ML permite obtener resultados más rápidos y precisos, lo que potencialmente se traduce en una mejor calidad de atención y una reducción de costos. Asimismo, estos desarrollos permiten identificar patrones y tendencias en grandes volúmenes de datos asistenciales, lo cual favorece la investigación, el diseño de nuevos programas y/o tratamientos, y una toma de decisiones más informada y precisa.

Hoy en día, la combinación de IA (Inteligencia Artificial), *Big Data*, ML (aprendizaje automático) y BI (*Business Intelligence*) resulta fundamental para optimizar los recursos y maximizar resultados. Estas tecnologías actúan de forma complementaria para recopilar, procesar y analizar grandes volúmenes de datos, lo que permite generar información valiosa y respaldar una toma de decisiones más precisa. La IA y el ML permiten identificar patrones y tendencias ocultas en los datos, mejorando la eficiencia y eficacia de los procesos. Por su parte, *Big data* y BI proporcionan las herramientas necesarias para almacenar, gestionar y visualizar los datos de manera ágil y efectiva. Al integrar estas tecnologías, las organizaciones pueden obtener una ventaja competitiva significativa, optimizando sus recursos y elevando el rendimiento de sus procesos operativos y estratégicos.

La continuidad del desarrollo es un campo versátil y en constante evolución, cuyos beneficios apenas comienzan a explorarse en profundidad. A medida que la tecnología avanza, surgen nuevas

oportunidades que permiten la mejora continua de productos y servicios. La adopción de metodologías ágiles y enfoques de desarrollo iterativo facilita a las organizaciones adaptarse con rapidez a los cambios y ofrecer soluciones más eficientes. Aunque aún queda mucho por descubrir en este ámbito, es evidente que los futuros avances podrían tener un impacto significativo en diferentes sectores y áreas de negocio. Profundizar en los beneficios de este enfoque puede abrir nuevas oportunidades para optimizar procesos, mejorar la experiencia del usuario y aumentar la eficiencia, eficacia y efectividad organizacional.

VIII. Referencias

- [1] M. Moreb, T. A. Mohammed, and O. Bayat, "A novel software engineering approach toward using machine learning for improving the efficiency of health systems", *IEEE Access*, vol. 8, pp. 23169–23178, 2020, doi: 10.1109/ACCESS.2020.2970178.
- [2] E. Mbunge and J. Batani, "Application of deep learning and machine learning models to improve healthcare in sub-Saharan Africa: Emerging opportunities, trends and implications", *Telematics and Informatics Reports*, vol. 11, Sep. 2023, doi: 10.1016/j.teler.2023.100097.
- [3] S. Zhang, L. Tao, and T. Zheng, "Industry-Academic-Education Integration: Innovation and Practice of Training Mode of Applied Statistics Talents in Big Data Era —Taking Zhejiang University of Science and Technology as an Example", *Open J. Soc. Sci.*, vol. 09, n° 10, pp. 507–512, 2021, doi: 10.4236/JSS.2021.910037.
- [4] M. A. Tripathi, K. Madhavi, V. S. P. Kandi, V. K. Nassa, B. Mallik, and M. K. Chakravarthi, "Machine learning models for evaluating the benefits of business intelligence systems", *Journal of High Technology Management Research*, vol. 34, n° 2, 2023, doi: 10.1016/j.hitech.2023.100470.
- [5] T. Lefèvre, "Big data in forensic science and medicine", *Journal of Forensic and Legal Medicine*, vol. 57. Churchill Livingstone, pp. 1–6, 2018. doi: 10.1016/j.jflm.2017.08.001.
- [6] "Glosario de Conceptos". Accessed: Oct. 02, 2023. [Online]. Available: <https://www.ine.es/DEFIne/es/concepto.htm?c=5094&tf=&op=>
- [7] Ministerio de Salud, "Ley 100 1993".
- [8] R. B. Ruiz y J. D. Velásquez, "Artificial intelligence at the service of the health of the future", *Revista Médica Clínica Las Condes*, vol. 34, n° 1, pp. 84–91, 2023, doi: 10.1016/j.rmcl.2022.12.001.
- [9] A. Núñez Reiz, M. A. Armengol de la Hoz, and M. Sánchez García, "Big Data Analysis and Machine Learning in Intensive Care Units", *Medicina Intensiva*, vol. 43, n° 7, pp. 416–426, 2019. doi: 10.1016/j.medin.2018.10.007.
- [10] M. F. A. van Hoffen, G. Norder, J. W. R. Twisk, and C. A. M. Roelen, "Development of Prediction Models for Sickness Absence Due to Mental Disorders in the General Working Population", *J. Occup. Rehabil.*, vol. 30, no. 3, pp. 308–317, 2020, doi: 10.1007/s10926-019-09852-3.
- [11] A. A. Verma et al., "Implementing machine learning in medicine," *CMAJ*, vol. 193, n° 34, pp. E1351–E 1357, 2021, doi: 10.1503/cmaj.202434.
- [12] K. O. Robsky et al., "Characterization of geographic mobility among participants in facility- And community-based tuberculosis case finding in urban Uganda", *PLoS One*, vol. 16, n° 5, 2021, doi: 10.1371/journal.pone.0251806.
- [13] L. K. Shrivastav and R. Kumar, "Empirical Analysis of Impact of Weather and Air Pollution Parameters on COVID-19 Spread and Control in India Using Machine Learning

- Algorithm", *Wirel Pers Commun*, vol. 130, n° 3, pp. 1963–1991, 2023, doi: 10.1007/s11277-023-10367-7.
- [14] F. M. Albagmi et al., "Predicting Multimorbidity Using Saudi Health Indicators (Sharik) Nationwide Data: Statistical and Machine Learning Approach", *Healthcare (Switzerland)*, vol. 11, n° 15, 2023, doi: 10.3390/healthcare11152176.
- [15] R. Ferdousi, M. A. Hossain, and A. El Saddik, "Early-Stage Risk Prediction of Non-Communicable Disease Using Machine Learning in Health CPS", *IEEE Access*, vol. 9, pp. 96823–96837, 2021, doi: 10.1109/ACCESS.2021.3094063.
- [16] I. R. I. Alberto et al., "The impact of commercial health datasets on medical research and health-care algorithms", *Lancet Digit Health*, vol. 5, n° 5, pp. e288–e294, 2023, doi: 10.1016/S2589-7500(23)00025-0.
- [17] K. M. Kim, D. S. Evans, J. Jacobson, X. Jiang, W. Browner, and S. R. Cummings, "Rapid prediction of in-hospital mortality among adults with COVID-19 disease", *PLoS One*, vol. 17, n° 7, 2022, doi: 10.1371/journal.pone.0269813.
- [18] M. Islam, M. Usman, A. Mahmood, A. A. Abbasi, and O. Y. Song, "Predictive analytics framework for accurate estimation of child mortality rates for Internet of Things enabled smart healthcare systems", *Int J Distrib. Sens Netw*, vol. 16, n° 5, 2020, doi: 10.1177/1550147720928897.
- [19] C. Aracena, F. Villena, F. Arias, and J. Dunstan, "Applications of machine learning in healthcare", *Revista Médica Clínica Las Condes*, vol. 33, n° 6, pp. 568–575, 2022, doi: 10.1016/j.rmcl.2022.10.001.
- [20] B. L. Jimma, "Artificial intelligence in healthcare: A bibliometric analysis", *Telematics and Informatics Reports*, vol. 9, p. 100041, 2023, doi: 10.1016/j.teler.2023.100041.
- [21] F. Di Martino, F. Delmastro, and C. Dolciotti, "Explainable AI for malnutrition risk prediction from m-Health and clinical data", *Smart Health*, p. 100429, 2023, doi: 10.1016/j.smhl.2023.100429.
- [22] R. Mirzaeian, R. Nopour, Z. Asghari Varzaneh, M. Shafiee, M. Shanbehzadeh, and H. Kazemi-Arpanahi, "Which are best for successful aging prediction? Bagging, boosting, or simple machine learning algorithms?", *Biomed Eng Online*, vol. 22, n° 1, 2023, doi: 10.1186/s12938-023-01140-9.
- [23] [23] W. Sun et al., "Towards artificial intelligence-based learning health system for population-level mortality prediction using electrocardiograms", *NPJ Digit Med*, vol. 6, n° 1, 2023, doi: 10.1038/s41746-023-00765-3.
- [24] M. Hussain et al., "Machine learning based efficient prediction of positive cases of waterborne diseases", *BMC Med. Inform. Decis Mak*, vol. 23, n° 1, Dec. 2023, doi: 10.1186/s12911-022-02092-1.
- [25] S. U. Nisa, A. Mahmood, F. S. Ujager, and M. Malik, "HIV/AIDS predictive model using random forest based on socio-demographic, biological and behavioral data", *Egyptian Informatics Journal*, vol. 24, n° 1, pp. 107–115, 2023, doi: 10.1016/j.eij.2022.12.005.
- [26] E. J. Kcomt-Ponce, E. L. Huamaní, and A. Delgado, "Implementation of Machine Learning in Health Management to Improve the Process of Medical Appointments In Perú", *International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering*, vol. 12, n° 2, pp. 74–85, 2022, doi: 10.46338/ijetae0222_09.

- [27] S. Mohapatra, A. Sahoo, S. Mohanty, and D. Singh, "IoT Enabled Ubiquitous Healthcare System using Predictive Analytics", *Procedia Computer Science*, Elsevier B.V., pp. 1581–1590, 2022. doi: 10.1016/j.procs.2023.01.136.
- [28] S. Panicacci, M. Donati, F. Profili, P. Francesconi, and L. Fanucci, "Trading-off machine learning algorithms towards data-driven administrative-socio-economic population health management", *Computers*, vol. 10, n° 1, pp. 1–21, 2021, doi: 10.3390/computers10010004.
- [29] D. R. S. Serrano, J. C. Rincón, J. Mejía-Resrepo, E. R. Núñez-Valdez, and V. García-Díaz, "Forecast of Medical Costs in Health Companies Using Models Based on Advanced Analytics", *Algorithms*, vol. 15, n° 4, 2022, doi: 10.3390/a15040106.
- [30] M. L. Hoffmann Souza, C. A. da Costa, and G. de Oliveira Ramos, "A machine-learning based data-oriented pipeline for Prognosis and Health Management Systems", *Computers in Industry*, vol. 148. Elsevier B.V., 2023. doi: 10.1016/j.compind.2023.103903.
- [31] N. Menteş, M. A. Çakmak, and M. E. Kurt, "Estimation of service length with the machine learning algorithms and neural networks for patients who receiving home health care," *Eval Program Plan*, vol. 100, 2023, doi: 10.1016/j.evalprogplan.2023.102324.
- [32] J. Dunstan et al., "Predicting no-show appointments in a pediatric hospital in Chile using machine learning", *Health Care Manag Sci*, vol. 26, n° 2, pp. 313–329, 2023, doi: 10.1007/s10729-022-09626-z.
- [33] G. Vos, K. Trinh, Z. Sarnyai, and M. Rahimi Azghadi, "Generalizable machine learning for stress monitoring from wearable devices: A systematic literature review", *International Journal of Medical Informatics*, vol. 173, Elsevier Ireland Ltd, 2023. doi: 10.1016/j.ijmedinf.2023.105026.
- [34] V. C. Parro, M. L. M. Lafetá, F. Pait, F. B. Ipólito, and T. N. Toporcov, "Predicting COVID-19 in very large countries: The case of Brazil", *PLoS One*, vol. 16, n° 7, 2021, doi: 10.1371/journal.pone.0253146.





Aplicación de la ingeniería de sistemas en la búsqueda y adopción de mascotas: una revisión de literatura

Application of Systems Engineering in the Search and Adoption of Pets: a Review of the Literature

Angie Paola Arias Pareja¹, Geraldine Camino Durango², Miguel Ángel Flórez Peláez³

Tipo de Artículo: Revisión de literatura.

Recibido: 01/11/2023. **Aprobado:** 14/11/2024. **Publicado:** 12/12/2024

Resumen: La pérdida o el abandono de mascotas conmueve a la sociedad, generando impactos emocionales y de seguridad significativos. En esta revisión se analiza el papel que desempeña la ingeniería de sistemas en la protección de animales perdidos. Se presentan diversas soluciones tecnológicas, como software, aplicaciones móviles, inteligencia artificial y hardwares innovadores, al tiempo que se destaca el valor de la colaboración social y el registro riguroso de información. Además, se abordan problemáticas relacionadas con mascotas en situación de calle, como la propagación de enfermedades y la formación de jaurías.

La reflexión ética sobre medidas como la esterilización, vacunación y adopción responsable se plantea como un camino necesario para enfrentar esta situación. En sinergia con la conciencia social, la ingeniería de sistemas ofrece un enfoque integral para garantizar el bienestar animal y la salud emocional de las personas.

Palabras clave: Animales extraviados; refugios; inteligencia artificial; software; procesamiento de imágenes.

¹ Autor correspondiente: Angie Paola Arias Pareja Mayor título: Ingeniera de Sistemas. Filiación institucional: Universidad Católica Luis Amigó. País: Colombia, Ciudad: Medellín. Correo electrónico: angie.ariaspa@amigo.edu.co ORCID: 0009-0004-9375-9602

² Autor correspondiente: Geraldine Camino Durango Mayor título: Ingeniera de Sistemas. Filiación institucional: Universidad Católica Luis Amigó; País: Colombia, Ciudad: Medellín. Correo electrónico: geraldine.caminodu@amigo.edu.co ORCID: 0009-0009-5670-3892

³ Autor correspondiente: Miguel Ángel Flórez Peláez Mayor título: Estudiante de Ingeniería de Sistemas. Filiación institucional: Universidad Católica Luis Amigó País: Colombia, Ciudad: Medellín. Correo electrónico: miguel.florezpe@amigo.edu.co ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-3548-900X>

Abstract: The loss or abandonment of pets affects society, generating significant emotional and safety repercussions. This review analyzes the role that systems engineering plays in protecting lost animals. It presents and explores technological solutions, such as *software*, mobile applications, artificial intelligence, and innovative hardware, while highlighting the value of social collaboration and the rigorous recording of accurate information. In addition, it addresses issues related to stray pets, such as the spread of disease and the formation of packs. Ethical reflection on measures The article highlights the need for ethical approaches, such as sterilization, vaccination, and responsible adoption, as a necessary way to address this situation and tackle the problem. In synergy with social awareness, the article explains how systems engineering offers a comprehensive approach that, combined with social awareness, can ensure the well-being of animals and the emotional health of people.

Keywords: Lost animal; shelter; artificial intelligence; *software*; image processing.

I. Introducción

La pérdida o el abandono de mascotas es una situación que genera una profunda sensibilidad tanto en quienes la viven directamente como en aquellas personas que se preocupan por el bienestar animal. Este problema tiene un impacto significativo en diversos aspectos de la vida y la sociedad en general. En primer lugar, afecta profundamente la estabilidad emocional de las personas, ya que la pérdida de un animal de compañía o la angustia de presenciar el abandono de uno pueden provocar intensos episodios de tristeza, preocupación y ansiedad, e incluso, en algunos casos, traumas emocionales.

La seguridad de los animales abandonados en la calle es otra preocupación relevante, pues estos enfrentan peligros constantes como accidentes de tráfico, enfermedades y maltrato. Ante estas problemáticas cotidianas, surge la motivación por crear soluciones para quienes atraviesan este tipo

de situaciones, al tiempo que se busca generar conciencia en la comunidad.

En este contexto, resulta fundamental revisar literatura científica con el propósito de identificar hallazgos investigativos sobre la aplicación de la ingeniería de sistemas en la localización y protección de mascotas perdidas, reconociendo los desarrollos tecnológicos actuales y las problemáticas asociadas con los animales en situación de calle.

La elaboración de la revisión de la literatura implicó varios pasos dirigidos a encontrar artículos, revistas, tesis e instrumentos pertinentes que aportaran a la consolidación del marco teórico de la investigación. En primer lugar, se definió el propósito central del estudio, enfocado en el control y seguimiento de mascotas extraviadas, lo que se convirtió en el objeto de estudio central del estudio. Posteriormente, se formularon preguntas de investigación orientadas a identificar aplicaciones tecnológicas existentes y determinar en qué áreas de la ingeniería de sistemas se podrían implementar dichas soluciones. Para este propósito, se formularon criterios de inclusión y exclusión que permitieron definir las palabras clave necesarias para la búsqueda de información a través de las bases de datos académicas, tales como Scopus, Taylor and Francis, Web of Science y Science Direct. Estos criterios garantizaron una revisión rigurosa y precisa de los artículos más relevantes.

El uso de dichos criterios facilitó el filtrado de la información recolectada, asegurando que solo los estudios pertinentes y de calidad fueran considerados para dar respuesta a las preguntas problematizadoras. De esta manera, se encontraron hallazgos importantes y diferenciadores que fortalecieron el desarrollo de la investigación.

Desde la perspectiva de la ingeniería de sistemas, se han propuesto soluciones innovadoras que abarcan distintas áreas tecnológicas, tales como el desarrollo de *software* y aplicaciones móviles, la implementación de la inteligencia artificial, el aprendizaje automático (*Machine Learning*) y la integración de hardware, incluyendo placas inteligentes y escaneo de códigos QR.

No obstante, el éxito de estas soluciones se basa en las redes de apoyo, la colaboración activa de la sociedad y un registro cuidadoso de información, para identificar áreas de intervención y aplicar estrategias de mejora. Así mismo, resulta necesario abordar las problemáticas relacionadas con los animales en situación de calle, como la propagación de enfermedades zoonóticas o la formación de jaurías territoriales.

En este sentido, la esterilización, vacunación y adopción se constituyen en enfoques fundamentales. Implementar medidas éticas y socialmente aceptables resulta crucial para enfrentar la situación, evitando decisiones drásticas que puedan afectar emocionalmente tanto a los trabajadores del sector como a las personas involucradas por razones inapropiadas.

II. Justificación

Realizar una revisión de literatura resulta fundamental para ampliar el conocimiento sobre las problemáticas sociales, ambientales y emocionales que pueden traer las mascotas extraviadas, así como conocer las tecnologías que facilitan su localización y posible adopción. Este ejercicio permite reconocer las áreas que han abordado esta temática y comprender cómo se han aplicado soluciones en investigaciones previas, lo cual respalda la pertinencia y actualidad del presente estudio. En este sentido, se busca actuar como un puente entre las mascotas en condición de extravió y personas interesadas en brindar apoyo.

El abandono o la pérdida de mascotas favorece la sobrepoblación de animales callejeros convirtiéndose en un problema creciente [1], lo que directamente pone en riesgo la seguridad de estos animales y aumenta la posibilidad de que estén expuestos a enfermedades y peligros. Según un estudio realizado en Bogotá, con el fin de estimar la abundancia poblacional, se obtuvieron 66.467 perros deambulantes; con lo que respecta a la salud de algunos de estos, se observó un estado regular [2].

El incremento en la población de animales callejeros conlleva a una sobrepoblación, ya sea en las calles o en los refugios animales. Esta sobrepoblación limita recursos para atender a otros animales en situación de calle. Por lo tanto, muchas decisiones se basan en realizar la eutanasia para aquellos que no pueden ser adoptados, sin embargo, estas prácticas pueden generar efectos negativos en las personas que ejercen este trabajo [34]. Por lo anterior, se justifica la necesidad de buscar soluciones que salven vidas, generen segundas oportunidades y fortalezcan los vínculos entre la comunidad y los animales en situación de calle.

III. Formulación de preguntas de investigación

1. ¿Qué aplicaciones existen en la actualidad para la ubicación o protección de mascotas perdidas?
2. ¿Cómo se ha utilizado la ingeniería de sistemas para la ubicación o protección de animales extraviados?
3. ¿Qué problemáticas sociales/ambientales/sanitarias/emocionales generan las mascotas en condición de calle?

IV. Definición y conceptos básicos

Análisis predictivo: técnica que se enfoca en analizar datos históricos y predecir o anticipar qué podría pasar en el futuro [3].

Aprendizaje automático: rama de la inteligencia artificial que se enfoca en crear sistemas que aprenden adquiriendo conocimientos a partir de la información que absorben, más específicamente, datos [4].

Cánidos: grupo de animales carnívoros con características y morfologías similares al animal central del artículo, el perro doméstico [5].

Equinococosis quística: enfermedad parasitaria común en el ganado, causada por el cestodo *Echinococcus granulosus*; el perro es su principal hospedador definitivo [6].

Helicobacter pylori: bacteria que habita en el estómago y es una de las principales causantes de cáncer gástrico [7].

Inteligencia artificial: ciencia orientada a desarrollar sistemas capaces de ejecutar tareas y resolver problemas. Las IA son tecnologías que permiten a las computadoras realizar tareas avanzadas, como ver, comprender y traducir un lenguaje natural, escrito y analizar datos. Además, con su entrenamiento, generan recomendaciones [8].

Chagas: enfermedad infecciosa causada por el parásito *Trypanosoma cruzi* que suele transmitirse a través de heces contaminadas [9].

Parásitos zoonóticos: infecciones que pueden transmitirse de animales a humanos. Estas enfermedades pueden ser causadas por virus, bacterias, parásitos u hongos siendo estos bastante comunes [10].

Problemas de salud pública: responsabilidad compartida entre el Estado y los ciudadanos para salvaguardar la salud individual y colectiva, mediante el mejoramiento de las condiciones de bienestar y la calidad de vida [11].

Redes neuronales: técnica de inteligencia artificial que permite a las computadoras procesar información de forma similar al cerebro humano. Este aprendizaje se caracteriza por utilizar nodos o neuronas interconectadas que imitan la organización del cerebro humano [12].

Regresión logística: método de análisis de datos que emplea principios matemáticos para encontrar relaciones entre dos variables, por lo general estas predicciones se traducen en resultados como afirmativo o negativo [13].

V. Proceso de búsqueda de documentos

Palabras de búsqueda: para la revisión sistemática de la literatura (RSL) se tuvieron en cuenta las siguientes palabras: *artificial intelligence, software, stray animals, adoption, engineering, image processing, and developments*.

Cadenas o ecuaciones de búsqueda:

- TITLE-ABS-KEY ("Adoption" AND "Animals" AND "Software") AND (LIMIT- TO (PUBYEAR, 2018) OR LIMIT-TO (PUBYEAR, 2019) OR LIMIT-TO (PUBYEAR, 2020) OR LIMIT-TO (PUBYEAR, 2021) OR LIMIT-TO (PUBYEAR, 2022)) AND (LIMIT-TO (LANGUAGE, "English")) AND (LIMIT- TO (SRCTYPE, "j"))
- TITLE-ABS-KEY ("Stray animals" AND "Developments" AND "Applications") AND (LIMIT-TO (PUBYEAR, 2018) OR LIMIT-TO (PUBYEAR, 2019) OR LIMIT-TO (PUBYEAR, 2020) OR LIMIT-TO (PUBYEAR, 2021) OR LIMIT-TO (PUBYEAR, 2022)) AND (LIMIT-TO (LANGUAGE, "English")) AND (LIMIT- TO (SRCTYPE, "j"))
- TITLE-ABS-KEY ("Animals" AND "Adoption") AND PUBYEAR > 2016 AND PUBYEAR < 2023 AND (LIMIT-TO (DOCTYPE, "ar")) AND (LIMIT-TO (EXACTKEYWORD, "Animal") OR LIMIT-TO (EXACTKEYWORD, "Adoption") OR LIMIT-TO (EXACTKEYWORD, "Dog")) AND (LIMIT-TO (LANGUAGE, "English")) AND (LIMIT-TO (EXACTSRCTITLE, "Journal Of Dairy Science") OR LIMIT-TO (EXACTSRCTITLE, "Animals"))
- TITLE-ABS-KEY ("Pets" AND "Developments" AND "Engineering") AND (LIMIT-TO (PUBYEAR, 2018) OR LIMIT-TO (PUBYEAR, 2019) OR LIMIT- TO (PUBYEAR, 2020) OR LIMIT-TO (PUBYEAR, 2021) OR LIMIT-TO (PUBYEAR, 2022)) AND (LIMIT-TO (LANGUAGE, "English")) AND (LIMIT- TO (SRCTYPE, "j"))
- TITLE-ABS-KEY ("face recognition" and "dogs") AND (LIMIT-TO (PUBYEAR, 2018) OR LIMIT-TO (PUBYEAR, 2019) OR LIMIT-TO (PUBYEAR,

2020) OR LIMIT-TO (PUBYEAR, 2021) OR LIMIT-TO (PUBYEAR, 2022)) AND (LIMIT-TO (LANGUAGE, "English"))

- TITLE-ABS-KEY ("stray animals" and "problems") AND (LIMIT-TO (PUBYEAR, 2018) OR LIMIT-TO (PUBYEAR, 2019) OR LIMIT-TO (PUBYEAR, 2020) OR LIMIT-TO (PUBYEAR, 2021) OR LIMIT-TO (PUBYEAR, 2022)) AND (LIMIT-TO (LANGUAGE, "English"))

VI. Bases de datos empleadas

Las bases de datos empleadas en la investigación se componen de un selecto grupo de artículos, extraídos de Science Direct, Web of Science y Taylor and Francis, espacios que almacenan información de carácter científico e investigativo de todo el mundo, lo que permite tener un amplio espectro de puntos de vista sobre el tema tratado.

El período de búsqueda para la revisión de literatura abarcó los últimos cinco años. Esta elección se realizó con el propósito de excluir información obsoleta y asegurar la inclusión de los datos más actualizados en beneficio del estudio.

VII. Criterios

Los criterios de inclusión para buscar los artículos trataban sobre el desarrollo de *software*, específicamente en aplicaciones publicadas en tiendas como Google Play y App Store orientadas al control de mascotas perdidas, es decir, registros básicos de información con la ubicación de la mascota.

Dado que la investigación se enfoca en mascotas extraviadas, particularmente domésticas, la metodología empleada para incluir los estudios científicos se enfoca en cómo la ingeniería de sistemas ha ayudado a esta causa, por lo tanto, las temáticas deben incluir desarrollos utilizando la inteligencia artificial, el análisis de datos, *machine learning*, entre otros.

Como último criterio de inclusión, se seleccionaron estudios que expusieron de forma clara problemáticas generadas en el entorno por animales en situación de calle, tales como problemas sanitarios, problemas emocionales, problemas psicológicos y problemas sociales frente a la comunidad.

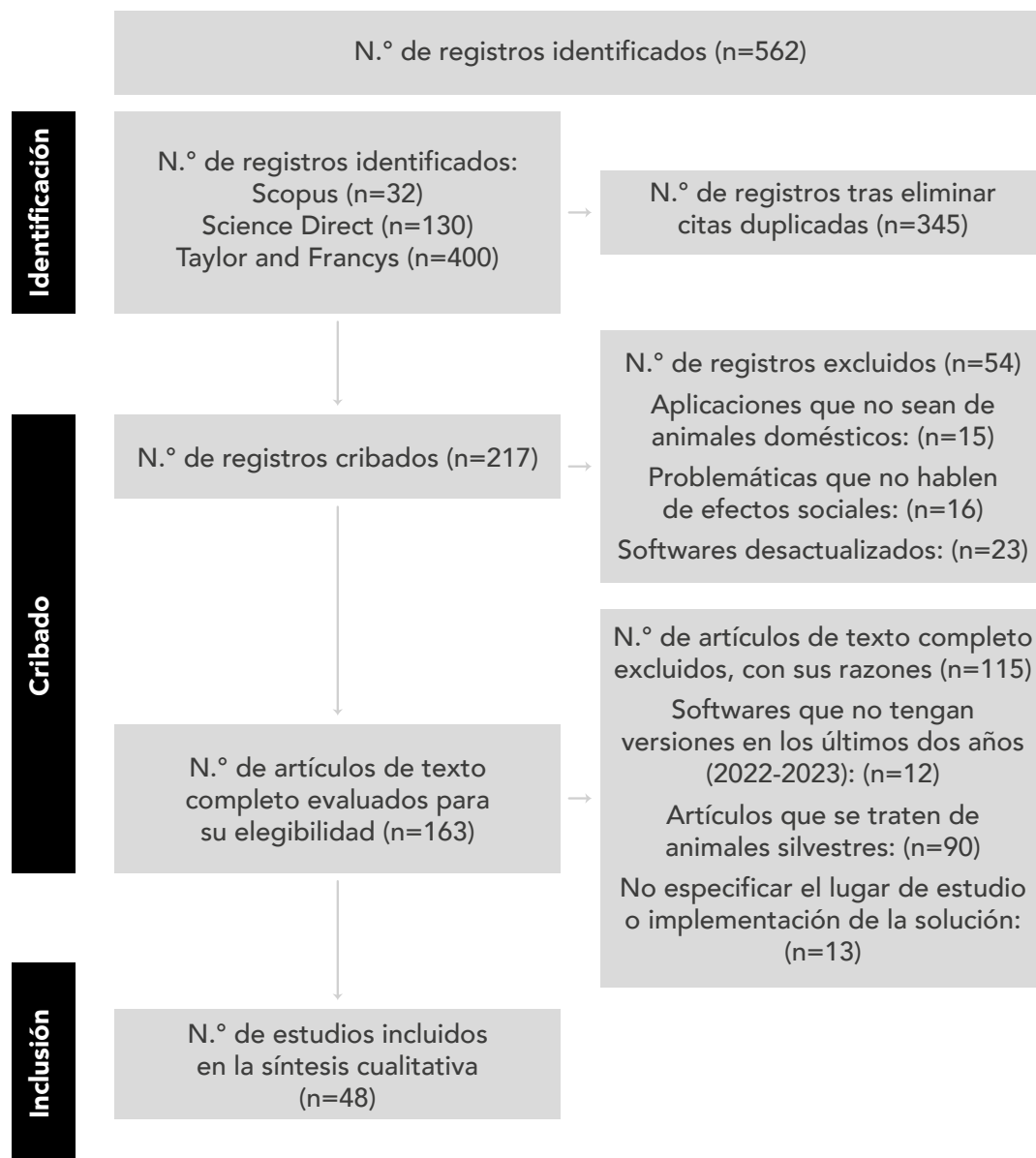
Finalmente, los criterios de exclusión se dividieron en tres ítems. El primero descartó estudios relacionados con desarrollos tecnológicos aplicados al rescate de animales salvajes o que no fueran considerados mascotas. Los estudios no abordan animales domesticados o usados como mascotas, por lo que no se incluyeron animales salvajes.

El segundo criterio excluyó problemáticas que no abordan específicamente aspectos sanitarios, emocionales o enfermedades derivadas de la condición de calle de animales domésticos; es decir, estas causas de abandono, pérdida o desorientación sobre los animales domésticos y la sociedad.

El tercer criterio contempló la exclusión de *softwares* que no hubieran sido actualizados o mejorados en los últimos dos años, con el fin de evitar aplicaciones inactivas o que pudieran quedar obsoletas o por falta de desarrollo y mantenimiento.

VIII. Flujograma prisma

Figura 1. Flujograma Prisma



Nota: fuente elaboración propia.

IX. Discusión

¿Qué aplicaciones existen en la actualidad para la ubicación o protección de mascotas perdidas?

En la actualidad existen numerosas aplicaciones enfocadas en la búsqueda y adopción de mascotas. Gracias a la tecnología esta problemática se ha visto abordada desde diferentes perspectivas y conocimientos. En este contexto, la compañía Nestlé desarrolló e innovó una aplicación llamada PetFinder, diseñada para facilitar la adopción de nuevos amigos peludos. PetFinder se concibe como un hogar virtual para miles de organizaciones dedicadas al bienestar de los animales, que trabajan para proteger sus derechos y garantizar su seguridad. Además, esta aplicación contribuye a esta noble causa al establecer conexiones entre refugios, grupos de rescate y hogares temporales para mascotas [14].

Como se mencionó anteriormente, los programadores han ideado nuevas soluciones innovadoras para abordar esta problemática, entre ellas la creación de placas inteligentes destinadas a recopilar información relevante sobre las mascotas. Estas placas contienen datos esenciales como la foto de la mascota, número de contacto, información del propietario, estado de salud, entre otros. La incorporación de estas placas ha derivado en el desarrollo de una aplicación móvil que mejora significativamente la interacción con el usuario final, como lo es Pet Find, permitiendo escanear el microchip de la mascota de manera más cómoda y eficiente [15].

A pesar de que estas aplicaciones representan una mejora significativa en la calidad de vida de las mascotas y sus cuidadores, es importante enfatizar que su éxito depende en gran medida de la interacción con el usuario final. La inclusión de funcionalidades como chats, blogs y redes de apoyo, como lo ofrecen PawBoost [16] y Petsi Global [17], responde a la necesidad de fortalecer redes de colaboración y voluntariado. La posibilidad de publicar información sobre mascotas perdidas y encontradas incrementa considerablemente las probabilidades de reunirse con sus dueños. Además, la integración de redes sociales agrega visibilidad y alcance a estas publicaciones.

Otra alternativa eficaz, como se evidencia en Petsi Global es el etiquetado de mascotas con un QR para su identificación mediante reconocimiento facial. Esta doble protección ha demostrado ser eficaz y precisa. El uso de microchips para mascotas, la incorporación de tecnología GPS y otras alternativas contribuyen a optimizar y acelerar la búsqueda de mascotas perdidas.

Ahora bien, la pérdida de una mascota querida puede sumergir a la familia sentimientos profundos de tristeza, dolor y sufrimiento. Por ello, la necesidad de encontrar a la mascota extraviada se vuelve urgente y prioritaria. Además, preocupa el bienestar del animal, dado que enfrenta múltiples riesgos en la calle, como el tráfico vehicular, el posible encuentro con personas malintencionadas o incluso el peligro de perder la vida. En este contexto, aplicaciones como Taponto se convierten en un valioso recurso, permitiendo a las familias y comunidades establecer una red de apoyo eficaz para localizar rápidamente el hogar de la mascota perdida o encontrarle una nueva familia. Esta aplicación se organiza en tres secciones clave: adopción, mascotas desaparecidas y mascotas encontradas. Además, ofrece funciones como mensajería interna para facilitar el contacto sin necesidad de compartir números, biografías detalladas de cada mascota, un buscador avanzado con filtros útiles, notificaciones en tiempo real y, lo más destacable, es completamente gratuita para la comunidad [18].

Según Chervyakov [19] es importante no descartar la opción de crear anuncios impresos como parte de la estrategia para buscar mascotas. Esto implica considerar la utilidad de los carteles físicos, incluso después de haber publicado información en ones digitales. Esta combinación de enfoques proporciona un conjunto más amplio de herramientas para localizar a una mascota extraviada. Además, el uso de plataformas como Instagram, Facebook, X y otras redes sociales amplía aún más las posibilidades en la búsqueda.

Desarrollar aplicaciones que vayan más allá y despierten el interés del usuario es de suma importancia. Emplear estrategias que atraigan la atención y generen confianza, como ofrecer el

acompañamiento de un experto disponible las 24 horas del día, los siete días de la semana, es lo que ofrece Findster. Esta aplicación permite el rastreo mediante GPS, sin requerir tarifas mensuales, ya que funciona con un único pago e incluye acceso directo a un veterinario. Esto resulta altamente atractivo y aumenta la usabilidad por parte de las familias que cuidan de una mascota. Findster permite monitorear la ubicación del animal directamente desde un dispositivo móvil, así como establecer áreas seguras alrededor de su localización, lo que proporciona un nivel adicional de seguridad. Además, su amplia cobertura garantiza la protección de la mascota en diversas situaciones [20].

Sin embargo, uno de los desafíos identificados en aplicaciones como esta es su modelo de pago, lo cual puede representar un obstáculo para las familias con recursos económicos limitados, ya que no todos pueden permitirse el lujo de adquirir el producto y utilizarlo para rastrear a sus mascotas.

Establecer el rango de acción y alcance dentro de una aplicación se presenta como una solución altamente efectiva. Esto se debe a que delimitar un espacio seguro dentro de la ubicación general del usuario mejora tanto la búsqueda como las oportunidades de interactuar con más mascotas extraviadas. Es importante destacar que las aplicaciones no están diseñadas únicamente para los dueños de mascotas, sino que también tienen como objetivo atraer a personas que sienten afinidad por los animales o que tienen un interés genuino en ellos. Esto refleja la misión principal de la aplicación Encuentra Mascotas Perdidas [21].

El funcionamiento central de esta app se activa cuando un perro o gato se extravía o es encontrado. En tales casos, la aplicación envía alertas a todas las personas cercanas a la ubicación de la mascota perdida, lo que facilita enormemente la búsqueda y la comunicación en caso de que se haya encontrado [22]. Este enfoque colaborativo y comunitario se convierte en un valioso recurso para ayudar a reunir a las mascotas con sus dueños y, al mismo tiempo, fomenta la interacción y el apoyo entre amantes de los animales.

En síntesis, en el ámbito de las aplicaciones web y móviles, existe una amplia variedad de soluciones para la ubicación y protección de mascotas extraviadas. Estas aplicaciones comparten una preocupación común por el bienestar de las mascotas y sus familias, promoviendo la colaboración y la formación de redes de apoyo comunitario que generan empatía. Además, la integración estratégica de las redes sociales cumple un papel esencial para alcanzar el objetivo principal: garantizar el bienestar de los animales.

Por último, es importante destacar que los desarrolladores no se limitan al diseño de *software* o aplicaciones, sino que también incorporan recursos de *hardware*, como placas inteligentes, chips y códigos QR en los collares de las mascotas, proporcionando mayor seguridad y ampliando el alcance de la búsqueda. Luego de un análisis exhaustivo en bases de datos y tiendas virtuales se identificó una gran variedad de aplicaciones, sin embargo, muchas de ellas carecen de un factor diferencial que las haga sobresalir entre tantas. Por ello, implementar ideas innovadoras y anticiparse a los nuevos retos cotidianos permite abordar este proyecto con mayor pertinencia y efectividad.

¿Cómo se ha utilizado la ingeniería de sistemas para la ubicación o protección de animales extraviados o refugios?

Las redes neuronales profundas son caracterizadas por tener múltiples capas de neuronas en su estructura [23]. Su objetivo consiste en entrenar y procesar datos mediante algoritmos para mejorar futuras predicciones. La implementación de un programa de esterilización y retorno ha sido una solución para disminuir la población de animales callejeros. Cada vez que un gato o perro asiste a una clínica veterinaria para ser esterilizado es necesario tomar fotografías que incluyan varias partes de su cuerpo como prueba de cada cirugía. Se encontró que el uso del aprendizaje profundo [24], no se ha aplicado directamente en el proceso de esterilización de mascotas, sin embargo, la combinación de algoritmos de aprendizaje profundo basado en Yolo junto al método de votación mayoritaria muestran resultados prometedores en relación con el reconocimiento de

imágenes relacionadas de esterilización, cumpliendo con el objetivo de automatizar la clasificación de imágenes de esterilización de perros y gatos tanto machos como hembras.

Siguiendo con la línea de aprendizaje automático, [24] planteó la posibilidad de predecir el tiempo de adopción de mascotas antes de ser sacrificadas debido a su lenta adopción en un refugio. El estudio, desarrollado en el entorno de *Big Data*, empleó técnicas como la minería de texto y redes neuronales para predecir la velocidad de adopción, así como otros mecanismos de aprendizaje automático, como árboles de decisión, regresiones y bosques aleatorios. Se utilizó una metodología que incluía la adquisición de datos, dedicando parte significativa del tiempo a la etapa de preparación de información. Finalmente, se realizaron análisis avanzados mediante el uso del *software* Miner TM el cual demostró ser una herramienta poderosa en este campo [24].

En estos programas de análisis predictivo, se toma como objetivo un índice de resultado denominado RTO por sus siglas en inglés, (Return to owner-Devolución al Propietario). Esta tasa se refiere a la proporción de animales callejeros que son devueltos a sus dueños por agentes de campo o después de una estancia en el refugio. Con el propósito de que un número mayor de refugios puedan examinar sus datos, se desarrolló una plataforma web interactiva denominada como Shelter Dashboard diseñada para visualizar los resultados del análisis de cada refugio. Esta Herramienta fue concebida para admitir la importación de un archivo CSV, que cualquier albergue puede generar a partir de la recolección de su información [23]. Para cada perro, se consideraron las siguientes características: fecha de admisión, duración de estadía, modalidad de ingreso, subtipo de admisión, condición al momento de la admisión, raza, edad, posesión de microchip, así como la dirección y el código postal del lugar de admisión.

En un estudio de *Machine Learning* realizado por Bradley y Rajendran [25] se investigó la duración de la estancia de las mascotas en los refugios, se identificaron las variables significativas que influ-

yen en la velocidad de adopción de los animales y se exploraron posibles formas de mejorar las tasas de adopción de mascotas. Durante este estudio, se emplearon diversos algoritmos de aprendizaje automático (*Machine Learning*) para predecir los tiempos de permanencia en los refugios, teniendo en cuenta factores como la raza, el tamaño y el color de los animales. Según los resultados obtenidos, se concluyó que el modelo predictivo más eficiente fue el de impulso de gradiente, seguido por bosque aleatorio y, finalmente, el de regresión logística. Estos resultados se evaluaron utilizando métricas de precisión, recall y puntuación F1 [25].

Como técnica del aprendizaje automático, la regresión logística se basa en el uso de una función estadística para analizar variables categóricas. Los autores [26], emplearon esta técnica para determinar si existía una asociación entre la identificación de las emociones en los rostros de tres razas de perros por parte de varios humanos y las respuestas correctas. Los participantes debían identificar emociones como la felicidad, tristeza, enojo y miedo, asociándose con situaciones cotidianas que experimentan los animales.

Según Jeyaraj y Aponso [27], se han realizado análisis estadísticos sobre las características de las imágenes de mascotas que influyen en la velocidad de adopción en línea, pero no existen enfoques automatizados que optimicen esta orientación. Por lo tanto, propusieron desarrollar una aplicación capaz de predecir la velocidad de adopción a partir de una imagen de una mascota, empleando métodos de clasificación de imágenes. De acuerdo con las técnicas de clasificación disponibles - SVM, KNN, Random forest, DNN Y CNN- [27], se concluyó que la combinación de CNN con aprendizaje por transferencia es la elección más apropiada para el desarrollo.

Los estudios sobre alternativas para la protección y conservación de animales callejeros se fundamentan en modelos tecnológicamente viables. Uno de estos modelos es un sistema de redes neuronales que incorpora aprendizaje automático, aprendizaje profundo y visión por computadora: un algoritmo diseñado para operar en línea y detectar en tiempo

real animales callejeros, con el fin de prevenir accidentes y salvar vidas. Los datos de entrada que se procesan se caracterizan por tener forma de matriz de píxeles, lo que permite identificar el objeto [28].

Desde otra perspectiva, Turken et al. [29] describieron un modelo de colas desarrollado con métricas de impacto aplicadas a refugios de animales. Analizaron el modelo básico para 2 tipos de refugios: aquellos con adopción garantizada (libres de eutanasia) y los tradicionales, con el objetivo de generar políticas que optimicen la permanencia y el rendimiento de estos espacios. El modelo de cola de pérdida analiza la tasa de llegada de animales, la capacidad, el procesamiento y la probabilidad de rechazo o eliminación.

Más específicamente, luego de que un animal permanece durante un periodo prolongado en el refugio, existe una probabilidad p de ser sacrificado, mientras que existe una probabilidad de $1-p$ de que se le permita permanecer en el asilo. Los resultados comparan métricas de impacto y ofrecen recomendaciones para mejorar el desempeño de cada tipo de refugio [29].

Otra tecnología utilizada para el control de animales es la implantación de microchips y la esterilización de animales domésticos [30], lo cual reduce las tasas de abandono y previene la reproducción incontrolada. Esta tecnología permite identificar a los animales encontrados en la vía pública, incrementando la probabilidad de reunirlos con sus propietarios.

De igual forma, se ha desarrollado una aplicación que agrupa diversas funcionalidades para asistir en la localización de animales extraviados, con un impacto significativo en la reducción de esta población. La plataforma también actúa como espacio de voluntariado para personas interesadas en colaborar en la búsqueda de mascotas perdidas, fomentando la comunicación y la participación comunitaria [31].

Al consolidar la información sobre desarrollos generados desde la ingeniería de sistemas, se identifican tendencias en el aprendizaje automático y profundo, orientadas a asistir en la predicción del

tiempo de permanencia de los animales callejeros y en la generación de nuevas recomendaciones, perspectivas y estrategias.

No obstante, tras revisar diversos estudios científicos, se evidencian vacíos en la documentación sobre aplicaciones web dirigidas específicamente a la protección de animales callejeros. Aunque existen múltiples desarrollos tecnológicos enfocados en su localización, como se expuso en el apartado anterior, se observa escasa información respecto al uso del procesamiento de imágenes, lo cual representa una oportunidad para futuras investigaciones.

¿Qué problemáticas sociales, ambientales, sanitarias y emocionales generan las mascotas en condición de calle?

La principal problemática sanitaria que representan las mascotas en situación de calle es la portación de parásitos zoonóticos, propios de animales cánidos. Sin embargo, su evolución ha permitido que estos parásitos colonicen diferentes sistemas orgánicos, afectando tanto a perros como a gatos. En este punto, la problemática trasciende a los seres humanos, ya que dichos parásitos pueden ocasionar enfermedades como Chagas, la equinococosis quística [32] y la infección por *Helicobacter Pylori*, bacteria cuya presencia ha sido comprobada en un gran número de caninos en refugios de Estados Unidos. Esta bacteria es la principal causa de gastritis y cáncer de estómago en los humanos [33]. Las vías de transmisión incluyen vómitos, heces y artrópodos hematófagos como garrapatas, mosquitos y pulgas [34].

En cuanto a las causas del crecimiento sostenido de la población de animales callejeros, el tema se origina con el abandono por parte de sus propietarios, ya sea por problemas de comportamiento, migración familiar o limitaciones económicas. Una vez en la calle, estas mascotas pueden encontrarse con otras en la misma situación, lo que propicia una reproducción incontrolada y, por ende, un aumento en la población callejera. Esta situación deriva en diversas problemáticas como accidentes de tránsito, desorden en el manejo de residuos (por

la búsqueda de alimento en la basura) y la propagación de enfermedades [35].

Además, los animales que han pasado de un entorno doméstico a uno hostil tienden a formar vínculos con miembros de su propia especie, volviéndose más territoriales. Esto genera una problemática social evidente: las mordeduras o ataques a personas. Dichos comportamientos son una respuesta de supervivencia ante la falta de socialización y educación sobre cómo interactuar con otras especies, incluida la humana [36].

Es importante destacar, que las mascotas también se han convertido en apoyo social y emocional para muchas personas. Perros, gatos y otros animales domésticos, han establecido vínculos estrechos con los seres humanos, contribuyendo de manera significativa a su salud mental.

En la cultura occidental, en particular, estos vínculos han servido como catalizadores sociales que favorecen las relaciones interpersonales y generan efectos positivos en personas de todas las edades [37].

Sin embargo, también existen problemáticas culturales derivadas del trato que reciben las mascotas en otras partes del mundo. En algunos países asiáticos, como China, se han documentado casos de maltrato hacia animales callejeros, percibidos como una plaga ante la ausencia de normativas regulatorias. No fue sino hasta 2017 cuando se revisaron las leyes para prohibir la venta y reproducción descontrolada, con el objetivo de mitigarla sobrepoblación y el maltrato animal [38].

Para controlar la población de animales callejeros y evitar la proliferación de enfermedades, accidentes viales y contagios, se han implementado distintos métodos como anticonceptivos, castración, envenenamiento y eutanasia. Estos representan diversos impactos económicos, sociales y éticos, y son objeto de regulación creciente por parte de los diferentes gobiernos [39]. Un ejemplo de estrategia socialmente aceptada es la implementada en el Estado de Goa, India, donde se llevaron a cabo campañas de esterilización y vacunación masiva

para frenar la reproducción y propagación de enfermedades entre animales en situación de calle [40].

Estos animales, debido a su adaptación a entornos hostiles, suelen desarrollar comportamientos temerosos o agresivos que dificultan su adopción. Por ello, ha surgido la idea de implementar programas de rehabilitación que ofrecen a estos animales una segunda oportunidad mediante procesos de formación que les permita generar confianza hacia los humanos, facilitando así su integración en hogares responsables [41].

Los animales en situación de calle representan una problemática de índole social, psicológica, económica y medioambiental. Estas incluyen la propagación de enfermedades, el riesgo de agresiones físicas a personas, la contaminación de espacios públicos y el impacto emocional que generan en la comunidad las estrategias actuales, esterilización, vacunación, adopción responsable y, en ciertos casos, eutanasia, resultan limitadas sino se cuenta con el respaldo gubernamental necesario.

Asimismo, es fundamental promover una adopción informada y responsable por parte de la ciudadanía. Mientras no se adopte un enfoque integral que contemple concienciación, educación, apoyo institucional y participación comunitaria, esta problemática persistirá en el tiempo.

X. Conclusiones

Es evidente que las aplicaciones actuales destinadas a la ubicación y protección de mascotas perdidas ofrecen una variedad de soluciones tecnológicas, las cuales abordan la problemática de forma eficaz y eficiente. Estas herramientas incluyen desde la facilitación de procesos de adopción de mascotas hasta la localización de animales extraviados, mediante tecnologías como GPS, códigos QR, inteligencia artificial, reconocimiento facial y placas inteligentes. También promueven la interacción entre la comunidad mediante chats, blogs y redes de apoyo.

Sin embargo, existe una diversidad de aplicaciones en este campo, y muchas de ellas enfrentan desafíos relacionados con su modelo de pago, lo que puede limitar su accesibilidad para algunas familias. Además, el éxito de estas aplicaciones depende en gran medida de la participación y la colaboración de la comunidad.

Reconociendo que existe una variedad de aplicaciones móviles en el mercado, ha resultado complejo encontrar desarrollos orientados a la web que abordan la localización de animales extraviados. Se puede identificar una relación entre las tecnologías aplicadas en este campo, las cuales convergen en la seguridad y protección de los animales en situación de calle. El crecimiento del *software* va encaminado a la adaptación de *machine learning*, inteligencia artificial, redes neuronales, clasificación de imágenes, entre otros.

Finalmente, las mascotas en situación de calle crean problemas sanitarios al transmitir parásitos zoonóticos; además, pueden mostrar comportamientos agresivos y causar lesiones, lo que incrementa los riesgos sociales y ambientales. También, tienen un impacto emocional significativo en las personas. Para enfrentar estas situaciones, se han implementado medidas como la esterilización, la vacunación, la adopción y, en casos extremos, la eutanasia. No obstante, se requiere un enfoque integral que incluya sensibilización, educación, apoyo gubernamental y participación comunitaria para resolver esta problemática de manera sostenible y ética.

XI. Referencias

- [1] C. Medina, La ética de la responsabilidad y el respeto a las mascotas como formas de vida, como solución al maltrato y abandono de las mismas, [tesis de Maestría], Universidad El Bosque, Bogotá, 2011.
- [2] M. Vargas, T. Jiménez, R. Álvaro, J. Moreno, D. Herrera, and J. Rubio, Estimativo de la abundancia y densidad poblacional de perros deambulantes en la ciudad de Bogotá D.C., Bogotá, 2022.
- [3] C. Espino, Análisis predictivo: técnicas y modelos utilizados y aplicaciones del mismo - herramientas Open Source que permiten su uso, [tesis de grado], Universitat Oberta de Catalunya, 2017.
- [4] F. Quiroga y L. C. Lanzarini, "Aprendizaje automático. aplicaciones en reconocimiento de gestos, acciones y señas", *InvJov*, vol. 6, n.º Especial, p. 174, abr. 2019.
- [5] K. Tołkacz et al., "The first report on Hepatozoon canis in dogs and wolves in Poland: clinical and epidemiological features", *Parasit Vectors*, vol. 16, n° 1, p. 313, 2023, doi: 10.1186/s13071-023-05928-5.
- [6] B. Salazar-Mesones, M. Luna-Vílchez, J. Maquera-Afaray, C. Chiara-Chilet, D. Portillo-Álvarez, and J. W. López Revilla, "Clinical and epidemiological characteristics of cystic echinococcosis in children from at a Tertiary Center in Peru". *Rev. Perú Med. Exp. Salud Pública*, vol. 39, n° 1, pp. 65–69, 2022, doi: 10.17843/rpmesp.2022.391.9830.
- [7] S. Nie, T. Chen, X. Yang, P. Huai, and M. Lu, "Association of Helicobacter pylori infection with esophageal adenocarcinoma and squamous cell carcinoma: a meta-analysis", *Dis. Esophagus*, vol. 27, n° 7, pp. 645–653, Sep. 2014.

- [8] J. Ponce et al., "Inteligencia Artificial", 1 ed., Iniciativa Latinoamericana de Libros de Texto Abiertos, 2014. doi: 10.13140/2.1.3720.0960.
- [9] R. Dai, J. Zhang, H. Zhang, N. Zhao, F. Song, and J. Fan, "Effect of acupuncture and auricular acupressure on smoking cessation", *Medicine (Baltimore)*, vol. 99, n° 22, p. e20295, May 2020.
- [10] L. Vélez-Hernández, K. L. Reyes-Barrera, D. Rojas-Almaráz, M. A. Calderón-Oropeza, J. K. Cruz-Vázquez, and J. L. Arcos-García, "Riesgo potencial de parásitos zoonóticos presentes en heces caninas en Puerto Escondido, Oaxaca", 2014.
- [11] P. Suárez, "¿Qué es un problema de salud pública?", Universidad de Antioquia, 2013.
- [12] R. M. Suárez Castro y I. D. Ladino Vega, "Redes neuronales aplicadas al control estadístico de procesos con cartas de control EWMA", *Tecnura*, vol. 27, n° 75, pp. 72–88, Jan. 2023, doi: 10.14483/22487638.18623.
- [13] M. Poveda, D. I. Alejandro, V. Núñez, E. I. Roberto, T. Castro, and Y. Tobar, "Logistic regression based on gender for the registration of bachelor's degrees at Universidad Técnica Ambato", *Uniandes Episteme Revista digital de Ciencia, Tecnología e Innovación*, Vol. 7, N° 3, p. 321-335, 2020.
- [14] Nestlé, "Petfinder - Adopt a Pet." Feb. 22, 2013.
- [15] Pet Find, "Pet Find". Oct. 04, 2022.
- [16] I. FindFido, "PawBoost". Nov. 17, 2016.
- [17] Petsi Global, "Petsi Pet Finder & Protection". Dec. 20, 2019.
- [18] G. Fajardo, "Taponto". Mar. 27, 2021.
- [19] A. Chervyakov, "LostPets". Feb. 2016.
- [20] Findster Technologies, "Findster". Dic. 26, 2016.
- [21] A. Revinade, "MissingPets". Oct. 04, 2019.
- [22] P. Asselbergh, "PetLife". Sep. 28, 2019.
- [23] W. Diao, Y. Wang, J. Zhang, H. Shao, Y. Huang, and M. Jin, "Identification and comparison of novel circular RNAs with associated co-expression and competing endogenous RNA networks in postmenopausal osteoporosis", *J. Orthop. Surg. Res.*, vol. 16, n° 1, p. 459, 2021, doi: 10.1186/s13018-021-02604-1.
- [24] A. K. Sahu, S. Sharma, and R. Raja, "Deep Learning-based Continuous Authentication for an IoT-enabled healthcare service", *Computers and Electrical Engineering*, vol. 99, p. 107817, 2022, doi: <https://doi.org/10.1016/j.compeleceng.2022.107817>.
- [25] J. Bradley and S. Rajendran, "Increasing adoption rates at animal shelters: a two-phase approach to predict length of stay and optimal shelter allocation", *BMC Vet. Res.*, vol. 17, n° 1, p. 70, 2021, doi: 10.1186/s12917-020-02728-2.
- [26] T. Bloom, M. Trevathan-Minnis, N. Atlas, D. A. MacDonald, and H. L. Friedman, "Identifying facial expressions in dogs: A replication and extension study", *Behavioural Processes*, vol. 186, pp. 104371, 2021, doi: <https://doi.org/10.1016/j.beproc.2021.104371>.
- [27] P. Jeyaraj and A. Aponso, "A Review of Techniques for Image Classification to Enhance Online Animal Adoption Speed. 2020. doi: 10.1145/3384613.3384656."

- [28] S. Sengan et al., "Real-time automatic investigation of Indian roadway animals by 3D reconstruction detection using deep learning for R-3D-YOLOv3 image classification and filtering", *Electronics (Basel)*, vol. 10, n° 24, p. 3079, 2021, doi: 10.3390/electronics10243079.
- [29] N. Turken, J. E. Carrillo, and A. Paul, "The impacts of mergers, capacity expansion and adoptions on animal shelter performance: A queuing analysis", *Eur J Oper Res*, vol. 292, n° 1, pp. 299–310, 2021, doi: <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2020.10.022>.
- [30] S. D. Cardoso, C. B. Faraco, G. D. G. Pereira, and H. Eckman, "A survey of acquisition and animal-related factors leading to microchipping and neutering of dogs and cats in Portugal", *Journal of Veterinary Behavior*, vol. 64–65, pp. 9–15, 2023, doi: <https://doi.org/10.1016/j.jveb.2023.06.005>.
- [31] I. Kolandaisamy, A. Ramachandran, and M. Sundar Rajathi and Kumar, "The impact of e-wallets for current generation", *Journal of Internet Banking and Commerce*, vol. 21, n° 1, pp. 1–12, 2016.
- [32] D. Otranto, F. Dantas-Torres, R. J. Mihalca Andrei Dan and Traub, M. R. Lappin, and G. Baneth, "Zoonotic parasites of sheltered and stray dogs in the era of the global economic and political crisis", *Trends Parasitol*, vol. 33, n° 10, pp. 813–825, 2017.
- [33] D. Bradley and K. Rajendran, "Prevalence, diversity and public health implications of *Helicobacter* species in pet and stray dogs", *Animal Welfare*, vol. 30, n° 2, pp. 171–180, 2023.
- [34] I. Manev, "Serological survey of vector-borne pathogens in stray dogs from Sofia area, Bulgaria", *Vet Parasitol Reg Stud Reports*, vol. 21, p. 100441, 2020, doi: <https://doi.org/10.1016/j.vprsr.2020.100441>.
- [35] V. Sharma, R. Sharma, R. S. Aulakh, and B. B. Singh, "Prevalence of *Brucella* species in stray cattle, dogs and cats: A systematic review", *Prev Vet Med*, vol. 219, p. 106017, 2023, doi: <https://doi.org/10.1016/j.prevetmed.2023.106017>.
- [36] L. Reese and J. Vertalka, "Understanding Dog Bites: The Important Role of Human Behavior", *Journal of Applied Animal Welfare Science*, vol. 24, pp. 1–16, 2020, doi: 10.1080/10888705.2020.1790371.
- [37] R. Delgado-Rodríguez, R. Carriquí Madroñal, C. Vázquez Villalba, R. Martos-Montes, and D. Ordoñez-Pérez, "The role of dogs in modulating human affective reactivity and sense of safety in emotional urban public spaces", *Journal of Veterinary Behavior*, vol. 55–56, pp. 12–22, 2022, doi: <https://doi.org/10.1016/j.jveb.2022.07.005>.
- [38] T. W. Whyke and J. López-Múgica, "Content and discourse analysis of cruelty towards stray dogs as presented in Chinese social media", *Soc. Anim.*, vol. 31, n° 2, pp. 139–158, Jun. 2020.
- [39] A. Abdulkarim, M. Khan, and E. Aklilu, "Stray Animal Population Control: Methods, Public Health Concern, Ethics, and Animal Welfare Issues", *World's Veterinary Journal*, vol. 11, pp. 319–326, Sep. 2021, doi: 10.54203/scil.2021.wvj44.

- [40] H. R. Fielding et al., "Capturing free-roaming dogs for sterilisation: A multi-site study in Goa, India", *Prev Vet Med*, vol. 218, p. 105996, 2023, doi: <https://doi.org/10.1016/j.prevetmed.2023.105996>.
- [41] M. Casaca, G. M. Morello, T. Magalhães, I. A. S. Olsson, and A. C. Vieira de Castro, "Is there hope beyond fear? Effects of social rehabilitation on unsocialised stray dogs", *Appl Anim Behav Sci*, vol. 253, p. 105671, 2022, doi: <https://doi.org/10.1016/j.applanim.2022.105671>.



Imagen solo de referencia.



Evaluación de la calidad fisicoquímica y microbiológica del agua lluvia para los potenciales usos domésticos. Caso de estudio: Institución Universitaria Colegio Mayor de Antioquia

Evaluation of the Physicochemical and Microbiological Quality of Rainwater for Potential Domestic Uses. Case Study: Institución Universitaria Colegio Mayor de Antioquia

Joan Amir Arroyave-Rojas¹, María Elena González-Duque², Carlos Andrés Medina-Restrepo³

Tipo de Artículo: investigación.

Recibido: 14/11/2023. **Aprobado:** 20/11/2024. **Publicado:** 12/12/2024

Resumen: El uso del agua está determinado por su disponibilidad y calidad. En este contexto resulta crucial buscar fuentes alternativas, como la captación del agua lluvia. Por ello, se instaló un sistema piloto de cosecha de agua lluvia en la Institución

Universitaria Colegio Mayor de Antioquia y se evaluó la calidad físico-química y microbiológica del agua recolectada. Esta presentó un deterioro en su calidad, asociado al arrastre de partículas materia fecal presentes en los tejados, con una turbiedad

¹ Autor correspondiente: Joan Amir Arroyave-Rojas. Mayor título: Magíster en Desarrollo Sostenible. Filiación institucional: Institución Universitaria Colegio Mayor de Antioquia. País: Colombia, Ciudad: Medellín. Correo electrónico: joan.arroyave@colmayor.edu.co

² Autor correspondiente: María Elena González-Duque. Mayor título: Especialista en Gestión Ambiental. Filiación institucional: Institución Universitaria Colegio Mayor de Antioquia. País: Colombia, Ciudad: Medellín. Correo electrónico: maria1.gonzalez@colmayor.edu.co

³ Autor correspondiente: Carlos Andrés Medina-Restrepo. Mayor título: Doctor en Estudios Organizacionales. Filiación institucional: Institución Universitaria Colegio Mayor de Antioquia. País: Colombia, Ciudad: Medellín. Correo electrónico: carlos.medina@colmayor.edu.co

promedio de 3.82 UNT y un pH promedio de 6.65. En cuanto a alcalinidad y conductividad, se obtuvieron valores similares a los de aguas claras. Los parámetros microbiológicos evidenciaron alteraciones por la presencia de microorganismos como coliformes totales y fecales (*E. coli*), *Enterococcus faecalis* y *Pseudomonas aeruginosa*. En conclusión, el agua lluvia recolectada presenta alteraciones físico-químicas y microbiológicas comparables a las de aguas naturales con presencia de partículas y microorganismos.

Palabras clave: Calidad del agua lluvia; cosecha de agua lluvia; fuente alternativa de agua; aprovechamiento de agua lluvia; gestión ambiental.

Abstract: The use of water is determined by availability and quality. It is important to look for alternative sources of water, such as rainwater harvesting. A pilot rainwater harvesting system was installed at the I.U. Colegio Mayor de Antioquia and the physicochemical and microbiological quality of the water was evaluated. The collected rainwater presents a deterioration in the physicochemical and microbiological quality associated with the process of dragging particles and feces that appear on the roofs; with average turbidity of 3.82 NTU and average pH of 6.65. For alkalinity and conductivity, values like clear waters were found; The microbiological parameters show deterioration due to the presence of microorganisms such as Total and Fecal Coliforms (*E. coli*), *Enterococcus faecalis* and *Pseudomonas aeruginosa*. In conclusion, the collected rainwater presents alterations in physicochemical and microbiological quality similar to natural water with the presence of particles and microorganisms.

Keywords: Rainwater quality, rainwater harvesting, alternative water source, rainwater use, environmental management.

I. Introducción

El agua es uno de los recursos naturales renovables más importantes para el desarrollo de la humanidad. Constituye un elemento esencial para las funciones metabólicas de los seres vivos, la regulación hidrometeorológica, la variabilidad climática, entre otros procesos fundamentales. Históricamente, la gestión del agua se ha centrado en su calidad, mediante acciones de prevención y tratamiento de los niveles de contaminación [1, 2, 3] que pueden afectar tanto a los cuerpos de agua como los vertimientos [1, 4, 5].

El crecimiento urbano y las formas de construcción asociadas conllevan una creciente demanda de bienes y servicios ambientales [6], debido a la necesidad de proveer alimentos, suelo, energía, agua, entre otros [7, 8]. La expansión de las ciudades implica el uso intensivo del suelo para edificaciones e infraestructuras, lo que incrementa la superficie construida y reduce la permeabilidad del suelo. Esta transformación favorece la rápida concentración del agua lluvia y dificulta su drenaje adecuado [9, 10]. A medida que las ciudades se desarrollan, estas problemáticas se agudizan, especialmente ante eventos de precipitación extrema asociados a la variabilidad climática derivada del cambio climático [11]. Como consecuencia, se presenta un incremento en la escorrentía, avenidas torrenciales, inundaciones [10] y, en algunos casos, la anegación de zonas bajas [12].

Sin embargo, la captación de agua lluvia y la evaluación de sus posibles usos, contribuyen a mitigar estas problemáticas [9], al tiempo que otorgan un valor agregado. Esta práctica ofrece múltiples beneficios sociales y económicos, como la prevención de pérdidas humanas y materiales asociadas a eventos de vulnerabilidad y riesgo, así como la reducción de costos mediante el aprovechamiento de una fuente alternativa de agua de bajo costo [3, 13, 14]. Además, disminuye la presión sobre los ecosistemas cercanos al reducir la demanda de agua proveniente de fuentes naturales.

El uso irracional del agua genera numerosos impactos ambientales, entre ellos desequilibrios ecológicos [15], pérdida de biodiversidad, problemáticas de deforestación y desertización, disminución de la oferta ambiental del recurso hídrico, contaminación de fuentes de agua, entre otras problemáticas [7]. En este contexto, contribuir al mejoramiento del desempeño ambiental de las edificaciones [3], así como a la disminución de los impactos ambientales y la demanda del recurso hídrico [14, 16], resulta fundamental. Para ello, se deben promover fuentes alternativas y programas de ahorro y uso eficiente del agua [5, 7, 17, 18], lo cual puede ayudar a reducir la presión sobre el suministro de agua potable [14, 19, 20], reducir los vertimientos de aguas residuales, disminuir los costos asociados a los servicios públicos, y fortalecer el uso de fuentes alternativas de abastecimiento [5, 12, 14, 21, 22].

A partir de la reunión de Marrakech, promovida por la Organización de las Naciones Unidas (ONU), se ha impulsado la mejora del desempeño ambiental en los sectores productivos mediante estrategias como la Producción Más Limpia – PML. Esta iniciativa aborda temas como la ecoeficiencia, la contaminación y la acelerada pérdida de recursos naturales, considerados indicadores de ineficiencias en los procesos de producción y en el uso de productos y servicios [14, 16]. En la medida en que estas ineficiencias se prevengan mediante la implementación de alternativas de carácter preventivo, los sectores no solo mejoran su desempeño ambiental, sino que también obtienen beneficios económicos [3, 12, 14].

La construcción sostenible, en concordancia con la normatividad nacional, se define como el conjunto de medidas pasivas y activas aplicadas al diseño y construcción de edificaciones, orientadas a alcanzar los porcentajes mínimos de ahorro de agua y energía establecidos en la resolución 0549 de 2015. Esta normativa está dirigida al mejoramiento de la calidad de vida de los habitantes y al de prácticas de responsabilidad ambiental y social [17].

Por otro lado, la construcción sostenible implica la adopción de alternativas de gestión ambiental, ingeniería, construcción y arquitectura orientada a hacer estos procesos más amigables con el ambiente [3]. Busca que las edificaciones sean más eficientes en el uso y demanda de los recursos empleados, y que se minimicen los impactos ambientales generados por las salidas del sistema, como los Residuos de Construcción y Demolición – RCD's, vertimientos y consumos energéticos, entre otros. Todo ello con el propósito de mejorar las condiciones de calidad de vida de las comunidades y de la sociedad en general.

La captación de agua de lluvia es un método accesible para obtener agua destinada al consumo humano y/ o uso agrícola [5, 14, 21, 22]. En diversas regiones del mundo con niveles altos o medios de precipitación, donde no se dispone de agua en cantidad y/ o calidad suficiente para el consumo humano, se recurre a esta fuente como alternativa de abastecimiento [5, 23]. El agua lluvia es interceptada, recolectada y almacenada en depósitos para su posterior distribución y uso, según los fines previstos. Diversas investigaciones proponen su aplicación en actividades agrícolas, pecuarias, domésticas [14, 24, 25, 26, 27] y no domésticas [19, 28, 29, 31], con énfasis en usos como el riego, la limpieza, la descarga de sanitarios y el aseo general [12, 28, 29, 31]. Asimismo, se observan tendencias crecientes hacia su incorporación como fuente de abastecimiento.

En la cosecha del agua lluvia con fines domésticos, es común utilizar las superficies de los techos para su captación, lo que contribuye a minimizar la contaminación del agua debido a su cercanía con los puntos de consumo [5, 18]. Adicionalmente, los excedentes de agua pueden destinarse al riego de pequeñas áreas verdes para la producción de alimentos que complementen la dieta. La captación de agua con fines agrícolas requiere superficies de mayor extensión, generalmente impermeables, con el fin de recolectar la mayor cantidad de agua, acorde con la demanda hídrica de los cultivos que se desean abastecer mediante esta fuente alternativa [22].

A nivel mundial, ha existido una constante preocupación por la calidad del agua destinada al consumo, ya que esta determina la viabilidad de sus distintos usos. En el caso del agua lluvia como fuente alternativa, diversos estudios han evidenciado la relevancia de evaluar su contaminación fisicoquímica [14, 31] y su inocuidad, a fin de establecer su idoneidad para diferentes aplicaciones [12, 32-36]. En zonas industriales y urbanas, se han identificado concentraciones de diversos contaminantes que, al ser arrastrados por la lluvia o la escorrentía sobre las cubiertas de las edificaciones, terminan disueltos o suspendidos en el agua.

La calidad del agua condiciona sus potenciales usos. A nivel mundial, diversas investigaciones se han enfocado en cuantificar la disponibilidad del agua lluvia captada [5,12]; sin embargo, actualmente se concentran principalmente en evaluar su calidad desde una perspectiva fisicoquímica, mediante parámetros como pH, turbidez, color, conductividad, sólidos disueltos, sólidos totales, sólidos suspendidos, alcalinidad, dureza, nitritos, nitratos, algunos metales de interés sanitario [5, 14, 25, 29] y contaminantes emergentes [28]. En distintos estudios se han reportado alteraciones en las concentraciones de algunos de estos parámetros, lo que limita su uso directo [25, 29], aunque permite caracterizar la calidad del agua lluvia en diferentes contextos. De igual forma, se ha investigado la calidad microbiológica del agua lluvia recolectada, a través de indicadores como coliformes totales, mesófilos, coliformes fecales, *enterococos fecales* y *pseudomonas aeruginosa* [14, 26, 28, 32, 35], evidenciándose deterioro por presencia de materia fecal en las cubiertas de las zonas evaluadas. Lo anterior dificulta el uso del agua lluvia para consumo humano, orientándola hacia otros fines como la descarga de baterías sanitarias, el riego o las labores de limpieza [5,14, 28, 29].

Valorar y utilizar el agua lluvia como fuente alternativa de recurso hídrico contribuye al cumplimiento de varios Objetivos de Desarrollo Sostenible – ODS 6: Agua limpia y saneamiento, y del ODS 11: Ciudades y comunidades sostenibles.

II. Materiales y métodos

Para el desarrollo experimental se instaló un sistema piloto para la captación de aguas lluvias, con un área aferente de captación de 30 m², ubicada en una de las cubiertas de techo de la Institución Universitaria Colegio Mayor de Antioquia. El sistema estuvo compuesto por dos tanques plásticos con capacidad de 1000 L cada uno, interconectados mediante una tubería de una pulgada de diámetro (Figura 1). La instalación se complementó conectando todos los bajantes de cuatro pulgadas de la red de agua lluvia a los reservorios [5]. La calidad de agua lluvia recolectada se evaluó de acuerdo con la metodología definida en los Análisis de Aguas y Aguas Residuales de los Standard Methods [37, 38], identificándose los parámetros de turbiedad, conductividad eléctrica, pH y alcalinidad, conforme a la normativa de calidad de agua para consumo humano [39, 40].

Figura 1. Sistema de captación de agua lluvia en la I.U Colegio Mayor de Antioquia





Nota: elaboración propia.

El periodo de recolección de datos de calidad del agua lluvia se desarrolló entre los meses de agosto de 2017 y marzo de 2019. En total, se analizaron fisicoquímicamente 90 muestras de agua lluvia, correspondientes a los eventos de precipitación ocurridos durante dicho periodo. Una vez tomada cada muestra, se procedía al vaciado y lavado del sistema, quedando este listo para el siguiente evento de lluvia. Por otro lado, se evaluaron parámetros fisicoquímicos en dos muestras de agua al comienzo de la temporada de lluvias, entre febrero y marzo de 2019, considerando que en el comienzo de dichas temporadas se presentan las condiciones más desfavorables para la calidad del agua, dado que durante la época de sequía se acumula material particulado en las cubiertas, lo cual deteriora la calidad del agua lluvia [25, 29]. En estas muestras se determinaron los parámetros de turbiedad, color aparente, pH, alcalinidad, dureza total, cloruros, sulfatos, hierro, nitratos y algunos metales pesados señalados en la literatura por su relevancia sanitaria y su impacto en la salud, como cadmio, aluminio, plomo y zinc [25, 26, 27, 36, 40]. Las muestras fueron analizadas en un laboratorio externo acreditado por el IDEAM, con el fin de validar los resultados obtenidos, empleando los procedimientos de los *Standard Methods* [37].

Por otro lado, se evaluaron periódicamente parámetros microbiológicos con el objetivo de determinar el deterioro de la calidad microbiológica del agua lluvia debido al contacto con la superficie de captación, así como cuantificar el grado de contaminación que permite establecer su aptitud para el consumo humano conforme a la normatividad nacional [39, 40] y otras referencias adicionales. Los parámetros microbiológicos analizados fueron coliformes totales, coliformes fecales (*E. coli*), *Enterococcus faecales*, aerobios mesófilos y *pseudomonas aeruginosa*, mediante la técnica de filtración por membrana, de acuerdo con el *Standard Methods* [36, 37, 38, 41]. Posteriormente, se construyó una línea de tiempo con los datos recolectados, en la cual se calcularon el promedio y la desviación estándar de cada parámetro de calidad del agua, y finalmente se compararon con los valores permisibles establecidos en la normatividad vigente [39, 40].

III. Resultados y discusiones

En la Tabla 1 se presentan los valores promedio de los parámetros fisicoquímicos medidos en campo para el agua lluvia captada en el sistema piloto instalado en la I.U. Colegio Mayor de Antioquia. Las muestras se recolectaron durante la mayoría de los eventos de precipitación que permitieron la captación de agua, alcanzando un total de 90 muestras analizadas. Este número supera el tamaño muestral requerido, calculado con un nivel de confianza del 92% y un margen de error del 8%.

Tabla 1. Determinación de parámetros fisicoquímicos al agua lluvia en la I.U. Colegio Mayor de Antioquia

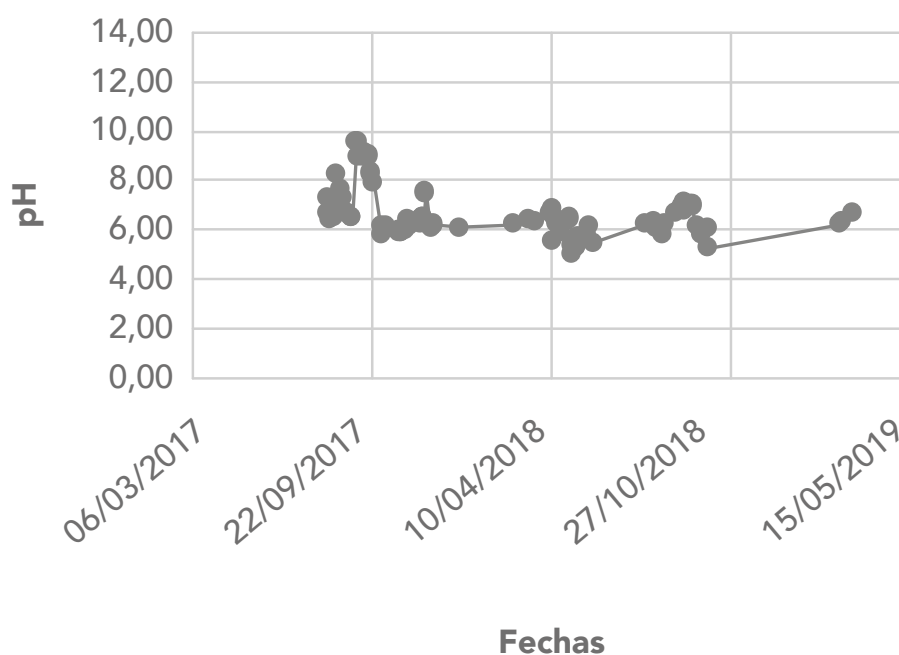
Parámetro	Concentración Promedio	Desviación Estándar
Turbiedad (UNT)	3,82	1,80
pH	6,65	1,01
Conductividad (μ S)	33,3	22,4
Alcalinidad (mg/L CaCO_3)	8,0	2,9

Nota: Elaboración propia.

Como se observa en la Tabla 1 y en la Figura 2, el pH promedio de las muestras analizadas fue de 6,65, con una desviación estándar de 1,01, lo cual indica una variabilidad de aproximadamente una unidad de pH entre las mediciones. Este valor promedio sugiere que no se presenta un fenómeno signifi-

cado de lluvia ácida o acidificación de la precipitación, dado que se encuentra por encima del umbral de pH 5,6, establecido como criterio para definir la presencia de lluvia ácida. Estos resultados coinciden con lo reportado en otros estudios [5,12,14, 25].

Figura 2. pH del agua lluvia captada en la I.U. Colegio Mayor de Antioquia



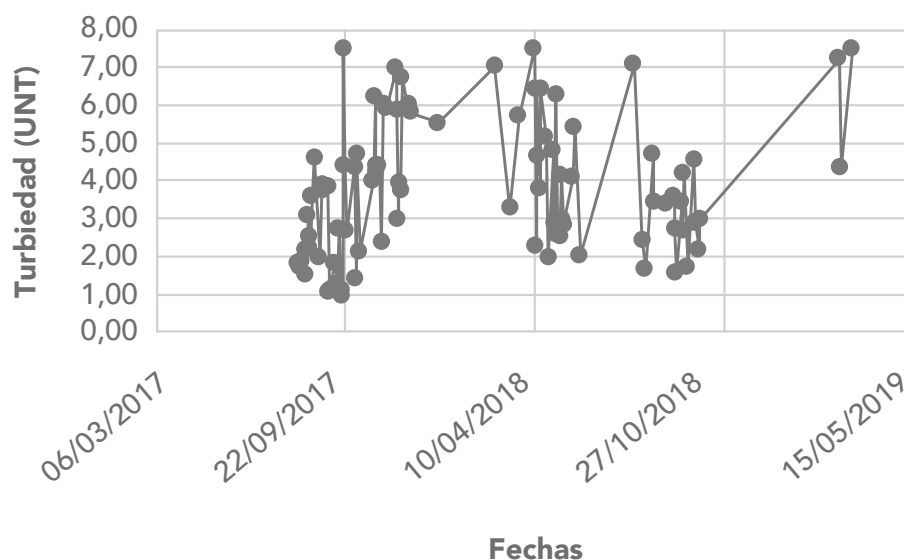
Nota: elaboración propia.

Adicionalmente, como se muestra en la Tabla 1 y en la Figura 3, la turbiedad del agua lluvia recolectada presentó un valor promedio de 3,82 UNT, con una desviación estándar de 1,80 UNT. Esta se atribuye al efecto de limpieza y arrastre de las primeras lluvias al inicio de cada temporada, que movilizan depósitos de suciedad, hojas, heces de aves, material particulado y otras impurezas acumuladas en las superficies de las cubiertas de las edificaciones.

Tal como se aprecia en la Figura 1, el área aferente de captación de agua lluvia del sistema piloto en la I.U. El Colegio Mayor de Antioquia se encuentra aledaña a árboles de gran altura, así como a vías arteriales de alto tráfico vehicular como las carre-

ras 78 y 80. Esta ubicación favorece el depósito de impurezas en las cubiertas, lo que se traduce en un aumento de la turbiedad del agua durante las primeras precipitaciones. Por otro lado, el valor promedio registrado (3,82 UNT) supera el límite máximo permisible establecido por la normatividad colombiana [32, 33], lo cual indica la necesidad de implementar procesos de acondicionamiento previo para algunos usos potenciales del agua lluvia en la institución. Esto resulta especialmente relevante considerando que parámetros como en la I.U. Colegio Mayor de Antioquia, toda vez que el color y la turbiedad inciden directamente en la percepción organoléptica del agua y pueden limitar su aceptación para determinar fines.

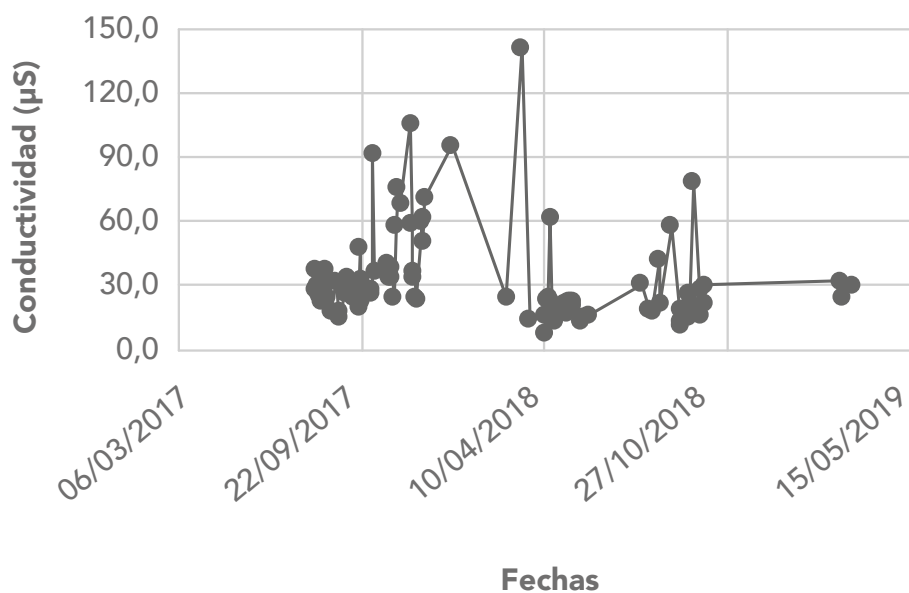
Figura 3. Turbiedad del agua lluvia captada en la I.U. Colegio Mayor de Antioquia



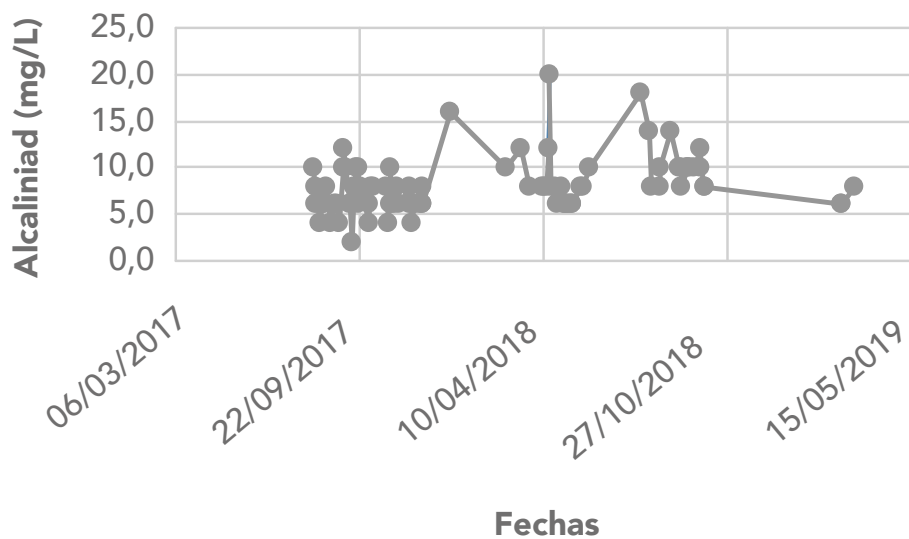
Nota: elaboración propia.

Como se observa en la Tabla 1 y la Figura 4, la conductividad eléctrica del agua lluvia presentó un valor promedio de 33,3 μS , con una desviación estándar de 22,4 μS , lo cual evidencia una variabilidad significativa en los datos. Esta variabilidad se relaciona con el efecto de lavado o arrastre de las primeras lluvias. No obstante, los valores de conductividad eléctrica registrados son relativamente bajos en comparación con los observados en cuerpos de aguas naturales, lo que es consistente con los hallazgos reportados en otros estudios [25, 29, 42].

Adicionalmente, como se muestra en la Tabla 1 y en la Figura 5, se obtuvo un valor promedio de alcalinidad de 8,0 mg/L de CaCO_3 , con una desviación estándar de 2,9 mg/L de CaCO_3 . Este valor es bajo en comparación con el de aguas naturales, lo que indica que no se presenta un arrastre significativo de iones, ni desde la atmósfera ni desde la superficie aferente de captación del agua lluvia. Estos resultados coinciden con los reportados en otros estudios [27, 29].

Figura 4. Conductividad eléctrica del agua lluvia captada en la I.U. Colegio Mayor de Antioquia

Nota: elaboración propia.

Figura 5. Alcalinidad del agua lluvia captada en la I.U. Colegio Mayor de Antioquia

Nota: elaboración propia.

Para fortalecer el diagnóstico de la calidad fisicoquímica del agua lluvia, se realizó el análisis de dos muestras recolectadas durante las primeras lluvias de los meses de febrero y marzo de 2019, correspondientes a la transición entre la temporada seca y la temporada de lluvias. En este periodo se espera una mayor carga de partículas y contaminantes debido al efecto de barrido y limpieza de los materiales depositados sobre las cubiertas y techos de la I.U. Colegio Mayor de Antioquia. Por lo anterior, en la Tabla 2 se consignan los resultados del análisis fisicoquímico realizado por un laboratorio externo acreditado por el IDEAM, con el fin de validar los resultados obtenidos.

Como se observa en los resultados de la Tabla 2, se evidencia un deterioro en la calidad del agua lluvia en los parámetros organolépticos, particularmente en el color aparente (15,5 y 23,0 UPC) y la turbiedad (11,0 y 5,0 NTU). Asimismo, se registraron valores de pH de 5,12 y 5,31, que indican una acidez significativa, en concordancia con lo establecido en la normatividad vigente [32, 33].

Por otro lado, al analizar la presencia de sulfatos ($<5,00$ mg $(\text{SO}_4)/\text{L}$) y nitratos ($<6,20$ mg NO_3/L), se observa que ambos parámetros están por debajo del límite de detección de la técnica empleada. Esto permite afirmar que, a pesar de que el estudio se llevó a cabo en una zona urbana con niveles en algunos casos significativos de contaminantes atmosféricos, no se evidencia un deterioro en la calidad del agua lluvia atribuible a la presencia de los gases de azufre y nitrógeno disueltos en el agua [28, 29, 42].

Al observar los resultados de dureza, se evidencia que esta es muy baja, por lo que el agua lluvia recolectada puede clasificarse como un agua blanda, con una baja concentración de cationes como calcio, magnesio y manganeso, típicos de la disolución de estos iones a partir de formaciones geológicas. Por lo tanto, se puede afirmar que no hay un arrastre significativo de cationes (calcio, magnesio y manganeso) desde la atmósfera ni desde los depósitos que pudieran encontrarse en las cubiertas.

Para los demás iones analizados: cadmio total ($<0,050$ mg Cd/L), aluminio ($<0,1$ mg Al/L), cloru-

ros ($<5,00$ mg Cl/L), hierro total ($<0,200$ mg Fe/L), plomo total ($<0,005$ mg Pb/L) y zinc total (0,239 y 0,136 mg Zn/L), se registraron niveles inferiores a los establecidos por la normatividad colombiana [33]. Estos resultados se correlacionan con los bajos niveles de conductividad eléctrica reportados en la Tabla 1 y 2, así como en la Figura 4.

Tabla 2. Análisis fisicoquímico del agua lluvia recolectada en la I.U. Colegio Mayor de Antioquia

Parámetro	Resultado Muestra (20 febrero 2019)	Resultado Muestra (1 marzo 2019)
Cadmio total (mg Cd/L) N	$<0,050$	$<0,050$
Dureza total (mg CaCO_3/L)	8,7	13,4
Aluminio (mg Al/L)	$<0,1$	$<0,1$
Alcalinidad, pH final titulación (U de pH)	4,32	4,38
Cloruros (mg Cl/L)	$<5,00$	$<5,00$
Alcalinidad total (mg CaCO_3/L)	3,10 $\pm$ 0,20	3,38 $\pm$ 0,21
Color aparente (UPC)	15,5	22,3
Hierro total (mg Fe/L)	$<0,200$	$<0,200$
Nitratos (mg NO_3/L)	$<6,20$	$<6,20$
pH 25°C (unidades de pH)	5,12	5,31
Plomo total (mg Pb/L)	$<0,005$	$<0,005$
Sulfatos (mg $(\text{SO}_4)/\text{L}$)	$<5,00$	$<5,00$
Turbiedad (NTU)	11	5
Zinc Total (mg Zn/L)	0,239	0,136

Nota: elaboración propia.

Para determinar la calidad microbiológica del agua lluvia captada en el sistema piloto en la I.U. Colegio Mayor de Antioquia, se recolectaron muestras de agua en la mayoría de los eventos de precipitación. En total, se obtuvieron y analizaron 38 muestras de agua, en las cuales se evaluaron los parámetros

microbiológicos de coliformes totales, coliformes fecales, coliformes fecales (*E. coli*) mesófilos, *Enterococcus faecales* y *Pseudomonas aeruginosa*. En la Tabla 3 se consignan los valores promedio obtenidos para cada uno de estos parámetros.

En la Tabla 3 se observa que, durante el periodo de recolección de muestras de agua lluvia en el sistema piloto de la I.U. Colegio Mayor de Antioquia, se presentó contaminación por microorganismos, evidenciada por la presencia de mesófilos y coliformes totales. Este resultado se explica por el contacto del agua lluvia con la superficie de captación y recolección.

Por otra parte, se evidencia la presencia de indicadores microbiológicos de origen fecal, como los coliformes fecales y *Enterococcus faecales*, asociados a la deposición de heces de diferentes animales, como aves, roedores, entre otros, sobre las cubiertas [25, 27, 29, 42]. Esta situación limita considerablemente los posibles usos del agua lluvia, ya que la presencia de microorganismos patógenos favorece la transmisión de enfermedades de origen hídrico. Por lo tanto, esta agua no es apta para el consumo humano.

Tabla 3. Determinación de parámetros microbiológicos al agua lluvia en la I.U. Colegio Mayor de Antioquia

Coliformes Totales (UFC/100mL)	Coliformes Fecales (UFC/100mL)	Mesófilos (UFC/100mL)	Enterococcus fecales (UFC/100mL)	<i>Pseudomonas aeruginosa</i> (UFC/100mL)
>200	>200	>200	>200	>200

Nota: elaboración propia.

De acuerdo con la calidad del agua lluvia registrada durante el periodo de estudio, se trata de un recurso que presenta algunas alteraciones en su composición, lo que limita sus usos potenciales. A pesar de ello, es claro que puede emplearse en actividades que no requieran su ingesta, como la limpieza, el aseo, el vaciado de sanitarios, el lavado de superficies y otros usos similares. De igual forma, pueden evaluarse procesos de tratamiento que favorezcan

la remoción de sustancias responsables del color y la turbiedad, así como la eliminación de microorganismos indicadores de contaminación fecal y otros patógenos. Si se logra acondicionar o potabilizar esta agua, podrían ampliarse sus posibles usos en la Institución, incluso para consumo humano.

IV. Conclusiones

La construcción sostenible y todas las diversas estrategias de gestión ambiental, se pueden implementar para disminuir los impactos ambientales y la demanda de bienes y servicios ambientales. Contribuyen a mejorar el desempeño ambiental de las instituciones, las empresas y la sociedad en general, en la búsqueda permanente de lograr las metas propuestas en los Objetivos de Desarrollo Sostenible – ODS.

La captación o cosecha y el empleo del agua lluvia, como fuente alternativa de recurso hídrico, puede contribuir al cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible 6 y 11, agua limpia y saneamiento, y ciudades y comunidades sostenibles. De igual forma, la construcción sostenible y muchas de sus estrategias se han consolidado como mecanismos de resiliencia frente a fenómenos asociados a la gestión del riesgo.

En el caso de la captación de agua lluvia, apoya a disminuir el riesgo de avenidas torrenciales, equidad al acceso de servicios básicos, inundaciones y otros fenómenos. Su implementación, según el contexto promueve el desarrollo sostenible y facilita el acceso de las comunidades a servicios públicos de bajo costo, al tiempo que disminuye la demanda sobre las fuentes hídricas que abastecen los sistemas de acueducto de municipios y ciudades.

El agua lluvia captada en la I.U. Colegio Mayor de Antioquia presenta alteraciones en la calidad físico-química y microbiológica similares a las de un agua natural, con presencia de partículas y microorganismos. Esto se debe a que el proceso de barrido que genera el agua lluvia sobre las cubiertas y techos arrastra material particulado depositado, hojas y materia orgánica de la cobertura de árboles aledaños, heces de aves, entre otras fuente de

contaminación, las cuales deterioran la calidad del agua captada o cosechada en las cubiertas de la Institución. Sin embargo, no se evidencia un deterioro que sobrepase los niveles establecidos en la normatividad nacional [32] respecto a los iones y metales presentes en atmósferas urbanas con actividad industrial.

El aprovechamiento del agua lluvia en la I.U. Colegio Mayor de Antioquia para usos potenciales que no requieran agua potable o apta para consumo humano disminuye la demanda de bienes y servicios ambientales asociados al recurso hídrico. Se recomienda la adecuación o construcción de una red ecológica destinada al riego, actividades de aseo y lavado, que no exigen altos estándares de calidad del agua para su ejecución.

V. Referencias

- [1] J. A. Arroyave-Rojas, L. F. Garcés-Giraldo, A. Arango-Ruiz y C. M. Agudelo-López, "Degradación del colorante tartrazina mediante fotocatalisis homogénea empleando lámpara de luz ultravioleta", *Revista Lasallista de Investigación*, vol. 5, n° 2, pp. 6-12, 2008.
- [2] J. A. Arroyave-Rojas, L. F. Garcés-Giraldo, A. Arango y C. Agudelo, "La Tartrazina, un colorante de la industria agroalimentaria, degradado mediante procesos de oxidación avanzada", *Revista Lasallista de Investigación*, vol. 5, n° 1, pp. 20 – 27, 2008.
- [3] J. A. Arroyave-Rojas, L. F. Garcés-Giraldo y A. F. Cruz-Castellanos, "Comparación de tecnologías avanzadas de oxidación (TAO's) para la degradación del pesticida Mertect", *Nova: Publicación científica en ciencias biomédicas*. Vol. 9 n° 15, pp. 1-112, 2011.
- [4] J. A. Arroyave-Rojas, L. F. Garcés-Giraldo, A. Arango-Ruiz, C. M. Agudelo-López, C.M., "Photo degradation of the tartrazine dye by means of photofenton, using an ultraviolet light lamp", *Revista Lasallista de Investigación*. vol. 5, N° 2, pp. 6-12, 2008.
- [5] J. A. Arroyave-Rojas, J. C. Díaz-Vélez, D. Vergara y N. David-Macías, "Evaluación económica de la captación de agua lluvia como fuente alternativa de recurso hídrico en la Institución Universitaria Colegio Mayor de Antioquia", *Revista Producción + Limpia*, vol. 6, N° 1. pp. 76-84, 2011, disponible en http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S190904552011000100007&lng=e&nrm=iso&tIng=es
- [6] C. J. Granero, S. M. Ferrando, A. M. Sánchez y B. C. Pérez, *Evaluación de impactos ambientales. Guía metodológica para la redacción de estudios de impactos ambientales*, 2 ed., España: Fundación Confemetal, 2015.
- [7] C. Bedoya, *Construcción sostenible para volver al camino*, Colombia: Biblioteca Jurídica Diké, 2011.
- [8] C. M. Bedoya, *Del residuo al material. Minería a la inversa*, Colombia: Biblioteca Jurídica Diké, 2015.
- [9] J. Stedinger, "Statistical Methods for Assessing Flood Risk and the Climate Change Challenge", *Revista de Ingeniería*, [serial online], vol. 36, pp. 48-53.
- [10] I. Douglas, K. Alam, M. Maghenda, Y. McDonnell, L. McLean, J. Campbell, "Unjust waters: climate change, flooding and the urban poor in Africa", *Environment & Urbanization*, [serial online], vol. 20 N° 1, pp. 187-205, 2008.
- [11] M. Alam, C. Siwar, A. Jaafar, B. Talib, "Climatic changes and household food availability in Malaysian east coast economic region", *Journal of Developing Areas*, [serial online], vol. 50 N° 5, pp. 143-155, 2016.
- [12] T. Grabowski, K. Jozwiakowski, A. Bochniak, A. Micek, "Changes in the Amount of Rainwater in the Roztocze National Park (Poland) in 2001–2020 and the Possibility of Using Rainwater in the Context of Ongoing Climate

Variability", Water, vol. 14, N° 9, 2022. <https://doi.org/10.3390/w14091334>

- [13] J. A. Arroyave-Rojas y L. F. Garcés-Giraldo, "Tecnologías Ambientalmente Sostenibles", Revista Producción + Limpia, vol. 1, N° 2. pp. 78 -86, 2007.
- [14] J. A. Arroyave-Rojas, Evaluación de la cantidad, calidad fisicoquímica y microbiológica del agua lluvia para los potenciales usos domésticos. Caso de estudio: Institución Universitaria Colegio Mayor de Antioquia, [Tesis de Maestría], ITM Institución Universitaria, Medellín, Colombia, 2022.
- [15] F. Rahel, J. Olden, "Assessing the Effects of Climate Change on Aquatic Invasive Species" Conservation Biology, [serial online], vol. 22 N° 3, pp. 521-533, 2008.
- [16] C. M. Bedoya, Construcción sostenible. Para volver al camino, Medellín, Colombia: Biblioteca Jurídica Diké, 2007.
- [17] Resolución 0549 de 2015. Por la cual se reglamenta el Capítulo 1 del Título 7 de la parte 2, del Libro 2 del Decreto 1077 de 2015, en cuanto a los parámetros y lineamientos de construcción sostenible y se adopta la Guía para el ahorro de agua y energía en edificaciones, 2015. Consejo Colombiano de Construcción Sostenible.
- [18] Decreto 1285. Por el cual se modifica el Decreto 1077 de 2015, Decreto Único Reglamentario del Sector Vivienda, Ciudad y Territorio, en lo relacionado con los lineamientos de construcción sostenible para edificaciones, 2015, Ministerio de Vivienda, Ambiente y Desarrollo territorial.
- [19] E. A. Cano, Agua lluvia para uso no potable en edificios de vivienda en altura. Incidencias legales, ambientales, técnicas y económicas, [Tesis de Maestría], Universidad Nacional de Colombia, Naranjal, Medellín, Colombia, 2016.
- [20] Norma técnica colombiana NTC 1500: Código Colombiano de fontanería, Colombia: Icontec, 2004.
- [21] Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente, "Guía de diseño para captación del agua de lluvia", Lima, Perú, 2001.
- [22] N. Palacio, Propuesta de un sistema de aprovechamiento de agua lluvia, como alternativa para el ahorro de agua potable, en la Institución Educativa María Auxiliadora de Caldas, Antioquia. Colombia, 2010.
- [23] M. Silvero, J. E. Hoyos y J. A. Ocaña, "Water sustainable management for buildings", Actas Universitarias vol. 22 N° 8, pp. 12 – 18, 2012.
- [24] O. E. Ospina-Zúñiga y H. Ramírez-Arcila, "Evaluación de la calidad del agua de lluvia para su aprovechamiento y uso doméstico en Ibagué, Tolima, Colombia", Ingeniería Solidaria, vol. 10, N° 17, pp. 125 - 138, 2014.
- [25] H. Ramírez-Arcila y O. E. Ospina-Zúñiga, "Evaluation of Rainwater Quality for its Utilization and Domestic Use in the City of Ibagué, Tolima, Colombia", Ing. Solidar, vol 10, n° 17, pp. 125-137, 2014, doi: 10.16925/in.v9i17.812
- [26] J. A. Calvopiña-Beltrán, S. M. Guerra-Punina y N. P. Grefa-Alvarado, "Calidad de agua lluvia almacenada de los techos de las viviendas para el consumo humano", "Revista Multidisciplinaria Perspectivas Investigativas, vol. 4, pp. 175-183, 2024.
- [27] J. E. Abanto Cubas, E. Morales Rojas y E. A. Díaz Ortiz, "Calidad de agua de lluvia en prototipos de captación en las comunidades nativas de Tunants y Yahuahua, Amazonas – Perú", Revista de la Universidad del Zulia, Año 13 n° 36. Pp. 189-199, 2022. <http://dx.doi.org/10.46925/rdluz.36.13>

- [28] T. Grabowski, K. Jozwiakowski, A. Bochniak, P. Stachyra, B. Radlinski, "Assessment of Rainwater Quality Regarding Its Use in the Roztocze National Park (Poland)—Case Study", *Appl. Sci.*, vol. 13, 6110, 2023. <https://doi.org/10.3390/app13106110>
- [29] A. Lempart-Rapacewicz, J. Zakharova, E. Kudlek "Rainwater Quality Analysis for Its Potential Recovery: A Case Study on Its Usage for Swimming Pools in Poland" *Sustainability*, vol. 15, 15037, 2023. <https://doi.org/10.3390/su152015037>
- [30] E. A. Cano y C. M. Bedoya, "Agua lluvia para uso no potable en edificios de vivienda en altura en Medellín. Incidencias técnicas, económicas, legales y ambientales", *Encuentro Internacional de Educación en Ingeniería ACOFI*, Cartagena, 2016.
- [31] M. Pacheco, "Avances en la Gestión Integral del Agua Lluvia (GIALL): Contribuciones al consumo sostenible del agua, el caso de "Lluviatl" en México", *Revista internacional sostenibilidad, tecnología y humanismo*, n° 3, 2008. pp. 39-57, 2008.
- [32] A. Daoud, K. Swaileh, R. Hussein y M. Matani, "Quality assessment of roof-harvested rainwater in the West Bank, Palestinian Authority", *Journal of Water and Health* [serial online], vol. 9 N° 3 pp. 525-533, 2011.
- [33] W. Ahmed, T. Gardner, S. Toze, "Microbiological Quality of Roof-Harvested Rainwater and Health Risks: A Review", *Journal Of Environmental Quality*, [serial online], vol. 40 N° 1 pp. 13-21, 2011.
- [34] W. Ahmed, A. Goonetilleke, T. Gardner, "Implications of faecal indicator bacteria for the microbiological assessment of roof-harvested rainwater quality in southeast Queensland, Australia", *Canadian Journal of Microbiology*, [serial online], vol. 56 n° 6 pp. 471-479, 2010.
- [35] W. Ahmed, L. Hodggers, J. Sidhu, S. Toze, "Fecal indicators and zoonotic pathogens in household drinking water taps fed from rainwater tanks in Southeast Queensland, Australia", *Applied and Environmental Microbiology*, [serial online]. Vol. 78 N° 1 pp. 219-226, 2012.
- [36] S. L. Ávila de Navia, S. M. Estupiñán Torres, L. M. Caicedo Cardona, X. M. Calderón Cárdenas y W. L. Rubiano Aguirre, "Diagnóstico de la calidad bacteriológica del agua del Humedal Córdoba, Bogotá", *Nova*, vol. 17 n° 31 pp. 87-95, 2019.
- [37] APHA – AWWA – WPCF, *Métodos normalizados para el análisis de aguas potables y residuales*, Madrid, España: Ediciones Diaz de Santos, 1992.
- [38] G. R. Marín, *Fisicoquímica y microbiología de los medios acuáticos. Tratamiento y control de calidad de aguas*, Madrid, España: Ediciones Diaz de Santos, 2003.
- [39] Resolución 2115. Por medio de la cual se señalan características, instrumentos básicos y frecuencias del sistema de control y vigilancia para la calidad del agua para consumo humano. 2007. Bogotá, Colombia. Ministerio de la Protección Social y Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial.
- [40] Decreto 1575. Por el cual se establece el Sistema para la Protección y Control de la Calidad del Agua para Consumo Humano". Bogotá, Colombia. 2007. Ministerio de la Protección Social y Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial.
- [41] J. Arboleda, *Teoría y práctica de la purificación del agua*, Bogotá, Colombia: McGraw – Hill, 2000.
- [42] A. D. Galván, J. A. López, L. A. Rangel y J. J. Barrientos, (2019). *Estudio de la Calidad del Agua de Lluvia Captada en la ENMSGTO, Jóvenes en la ciencia*, vol. 5, N° 1, 2019.





Microencapsulación de aceite esencial de romero por liofilización

Microencapsulation of Rosemary Essential Oil by Freeze-Drying

Álvaro Diego Restrepo Álvarez¹, Ena Patricia López Barrios²

Tipo de artículo: Investigación.

Recibido: 28/08/2024. Aprobado: 14/11/2024. Publicado: 12/12/2024

Resumen: la microencapsulación es un proceso mediante el cual se protege un principio activo utilizando una matriz polimérica, con el propósito de evitar reacción con otros compuestos, prevenir la oxidación y permitir una liberación controlada. Estas microcápsulas pueden aplicarse en alimentos, cosméticos o textiles, por ejemplo, para obtener textiles funcionales. Actualmente, el sector textil es consciente de que la sociedad demanda productos con mayores prestaciones funcionales, por lo que la microencapsulación constituye un campo de investigación en desarrollo. El objetivo de esta investigación fue microencapsular el aceite esencial de romero, con actividad antimicrobiana, para su posterior en un sustrato textil. La microencapsulación se realizó mediante la técnica de liofilización, utilizando como material de pared para la emulsión

una mezcla de, goma arábica (50%), maltodextrina (40%) y goma xantana (10%). Se diseñó un experimento factorial para estudiar la influencia del porcentaje de aceite esencial en peso en la emulsión, la velocidad de homogenización (RPM) y el tiempo agitación (t) en la preparación de las microcápsulas. Se obtuvieron microcápsulas de aceite esencial de romero con un tamaño de partícula aproximado de 120 μm . El resultado óptimo en cuanto a eficiencia y rendimiento de la microencapsulación se logró con una formulación que contenía 1% de aceite esencial de romero, 9600 rpm y un tiempo de 10 minutos, alcanzando una eficiencia del 94,1% y un rendimiento de 43,8%, lo que demuestra la viabilidad de esta metodología para la funcionalización textil.

¹ Autor correspondiente: Álvaro Diego Restrepo Álvarez Mayor título: Msc. Servicio Nacional de Aprendizaje SENA. Centro Textil y de Gestión Industrial. Grupo de Investigación Aplicada a la Industria Textil y Química (GIAITEQ). Filiación institucional: SENA. País: Colombia. Ciudad: Medellín. Correo electrónico: arestrepo@sena.edu.co ORCID: 0009-0003-9432-6916

² Autor correspondiente: Ena Patricia López Barrios. Mayor título: Msc. Servicio Nacional de Aprendizaje SENA. Centro Textil y de Gestión Industrial. Grupo de Investigación Aplicada a la Industria Textil y Química (GIAITEQ). Filiación institucional: SENA. País: Colombia. Ciudad: Medellín. Correo electrónico: enlopezb@sena.edu.co ORCID: 0000-0001-7908-884X

Palabras clave: microencapsulación; liofilización; aceite esencial de romero.

Abstract: microencapsulation is a process by which an active principle is protected with the use of a polymeric matrix, and whose purpose is to protect it from reaction with other compounds, their oxidation and allow a controlled release. These microcapsules can be applied in food, cosmetics, textiles, in the latter case, to obtain functional textiles. Currently, the textile sector is aware that today's society demands greater functional benefits in its products, which is why microencapsulation is a field of research in development. The objective was to microencapsulate rosemary essential oil with antimicrobial activity for subsequent functionalization of a textile substrate. The microencapsulation of the essential oil of rosemary was done by the lyophilization technique, using as wall material for the emulsion, gum arabic (50 %), maltodextrin (40 %) and xanthan gum (10 %). A factorial design of experiments was made to study the influence of Essential Oil by weight in the emulsion, the homogenization speed (RPM) and the stirring time (t) in the preparation of the microcapsules. The particle size of the rosemary essential oil microcapsules obtained was approximately 120 μm . The formulation prepared with 1% rosemary essential oil, 9600 rpm and a time of 10 minutes, presented the most optimal results of efficiency and performance of microencapsulation, with an efficiency percentage of 94.1% and a yield percentage of 43.8%. demonstrating the feasibility of this methodology for textile functionalization.

Keywords: microencapsulation; lyophilization; Rosemary essential oil.

I. Introducción

El romero (*Rosmarinus officinalis* L.) es un arbusto silvestre utilizado tradicionalmente como especia culinaria, principalmente para modificar o realzar los sabores de los alimentos, así como en la medicina tradicional. Es una de las principales fuentes de compuestos bioactivos de especial interés para las industrias alimentaria, cosmética y farmacéutica. De hecho, posee numerosas cualidades

farmacológicas: es hepatoprotector, antibacteriano, antitrombótico, antiulcerogénico, diurético, antidiabético, además de presentar efectos antinociceptivos, antiinflamatorios, antitumorales, antioxidantes, antimicrobianos e insecticidas [1]. Sin embargo, su alta volatilidad y susceptibilidad a la oxidación limitan su uso, por lo que la microencapsulación surge como una técnica prometedora para proteger estos compuestos activos.

Las propiedades biológicas del romero se deben a la composición química de su aceite esencial, el cual se sintetiza a través de vías metabólicas secundarias, en partes no leñosas de la planta, en pequeñas cantidades que oscilan entre el 0,01% y el 10% [2]. Las sustancias principales presentes en los aceites esenciales se clasifican como terpenoides, especialmente monoterpenos (C10) y sesquiterpenos (C15), así como diversos fenilpropanoides aromáticos [2], como es el caso del aceite esencial de romero. Los componentes principales responsables de sus propiedades antifúngicas y herbicidas frente a numerosas bacterias y hongos son el 1,8 cineol (54,6%), el alcanfor (12,27%) y el α -pineno (7,09%) [2]. El 1,8 cineol combinado con α -pineno y/o terpineno 4-ol, presenta un efecto sinérgico significativo que favorece la penetración en las células microbianas y el daño de sus membranas [3].

Sin embargo, un problema común reportado en los aceites esenciales es la pérdida de su calidad aromática y actividad biológica durante el almacenamiento y transporte, debido a la oxidación causada por condiciones ambientales como la temperatura y la exposición a la luz, ya que se trata de compuestos altamente volátiles y termolábiles [4]. Una posible solución a este problema es el aislamiento y la protección de estos compuestos, lo que permitiría alargar su período de utilidad [5]. En este contexto, la microencapsulación se presenta como una tecnología atractiva para proteger los aceites esenciales y aumentar significativamente su vida útil, ya que previene cambios no deseados como la oxidación y la volatilización. Asimismo, contribuye a mejorar su estabilidad, controlar la liberación del componente activo, reducir la evaporación y facilitar su manipulación [6].

La matriz encapsulante puede estar formada por uno o más compuestos, habitualmente denominados agentes encapsulantes, como la goma arábica, la goma xantana, la maltodextrina, la gelatina, el almidón, la proteína de soja, la proteína de suero y el quitosano, entre otros, los cuales pueden utilizarse de forma individual o en combinación. La matriz polimérica cumple una función clave para proporcionar protección frente a reacciones de degradación e incrementar la estabilidad del compuesto volátil [7].

La microencapsulación es una tecnología versátil con múltiples aplicaciones, especialmente en la industria farmacéutica donde se emplea para controlar la liberación de fármacos. Sin embargo, sus beneficios trascienden este sector, ya que permite mejorar las propiedades de diversos productos mediante la encapsulación y protección de sus componentes activos. [8, 9].

Por último, entre los métodos reportados para microencapsulación de sustancias volátiles, una de las técnicas más utilizadas en la industria es el secado por liofilización, también conocido como criodesecación. Este proceso se emplea para deshidratar materiales y aromas sensibles al calor [10]. La liofilización consiste en congelar material y, posteriormente, reducir la presión por debajo de 1,5 mbar, lo que permite un leve aumento de temperatura para que el agua congelada se sublime directamente de la fase sólida a la fase gaseosa [11]. El presente trabajo tiene como finalidad microencapsular el aceite esencial de romero con actividad antimicrobiana, para su posterior incorporación en un sustrato textil.

II. Materiales y Métodos

Aceite y reactivos

El aceite esencial 100% puro y natural, grado premium, fue suministrado por Majestic Pure Cosmeceuticals. Los reactivos químicos fueron de grado analítico y provistos por Sigma Aldrich.

Formulación, preparación de las emulsiones w/o y obtención de las microcápsulas secadas por liofilización

La emulsión w/o se preparó a partir de una solución al 30% p/v de goma arábica, 30% p/v maltodextrina y 1% p/v de goma xantana, respectivamente, en una relación de 40% de maltodextrina, 50% de goma de arábica y 10% goma xanthan, con unos sólidos totales de 8,13g [12,13]. Se utilizó un homogenizador (IKA Ultraturrax T18 digital) para completar la disolución a temperatura ambiente. Seguidamente, la emulsión se almacenó en un ultracongelador a -70°C y se liofilizó en un liofilizador Labconco de 4,5 L, a una presión de 0,009 milibares y a -50°C durante 21 horas. Finalmente, las microcápsulas liofilizadas fueron sometidas a un proceso de reducción de tamaño hasta obtener un polvo fino para su posterior análisis.

Diseño de experimentos

Se planteó un diseño factorial de experimentos para estudiar la influencia del porcentaje de aceite esencial en peso en la emulsión, la velocidad de homogenización (RPM) y el tiempo de agitación (t) en la preparación de las microcápsulas. Las RPM se establecieron en un intervalo de 9600 a 13000, el porcentaje de aceite esencial en la emulsión varió 1 % y 6% y los tiempos de agitación se situaron entre aproximadamente 3 y 10 minutos, de acuerdo con los rangos sugeridos por diversos autores para las condiciones requeridas del proceso [14]. El intervalo seleccionado para cada una de las variables fue el siguiente:

Tabla 1. Definición del diseño de experimentos

Variables (factores)	Nivel inferior (-1)	Punto central (0)	Nivel Superior (+1)
% AE en la emulsión	1	3,5	6
RPM	9600	11300	13000
Tiempo (min)	3	6,5	10

% AE: porcentaje de aceite esencial.

Nota: fuente elaboración propia.

Como variable de respuesta se estudiaron el porcentaje de eficiencia de microencapsulación (%EM) y el porcentaje de rendimiento microencapsulado (%RM) de las microcápsulas obtenidas. La concentración en %m/v de las soluciones iniciales de goma arábica (GA), maltodextrina (MD) y goma xanthan (GX) se mantuvo constante. La concentración de la emulsión preparada fue 40% en MD, 50% en GA y 10% en XG (%V/V), con una concentración total de sólidos de 8,13 g. En la Tabla 2 se presenta el diseño de experimental.

Tabla 2. Diseño de experimentos

Corrida	%AE en la emulsión	RPM	Tiempo (min)
1	1	9600	3
2	6	9600	3
3	1	13000	3
4	6	13000	3
5	1	9600	10
6	6	9600	10
7	1	13000	10
8	6	13000	10
9	3.5	11300	6.5
10	3.5	11300	6.5
11	3.5	11300	6.5

% AE: porcentaje de aceite esencial.

Nota: fuente elaboración propia.

Estabilidad de la emulsión

Para determinar la estabilidad de la emulsión, se midieron 25 ml de la emulsión previamente preparada, los cuales se almacenaron en condiciones ambientales controladas durante 24 horas. La estabilidad se calculó mediante la ecuación sugerida [15]:

$$\% \text{Estabilidad Emulsión} = \frac{\text{ml de la fase superior}}{\text{ml de la emulsión inicial}} * 100$$

Determinación del aceite esencial en la superficie

La cantidad esencial del aceite de romero presente en la superficie de las microcápsulas liofilizadas se determinó mediante espectrofotometría (Genesys 10S Uv-Vis, Thermos Fisher Scientific, USA). Para la extracción superficial, el aceite de romero presente en la superficie de las microcápsulas se extrajo en hexano, se mezcló un gramo de polvo de microcápsulas con 20 ml de hexano (grado HPLC, Sigma Aldrich) y se agitó durante 5 minutos en un vortex (BV1000 Vortex mixer, Benchmark, Scientific Inc., USA). Posteriormente, se separaron las microcápsulas del hexano mediante filtración con papel filtro (Whatman No.1), y se midió la absorbancia del extracto a 294 nm utilizando celdas de cuarzo. Se elaboró una curva estándar del aceite de romero mezclado en hexano, a diversas concentraciones en (mg/ml) [16,17].

Determinación del aceite esencial de romero encapsulado

Las microcápsulas obtenidas, tras el lavado superficial con hexano, se utilizaron para determinar la cantidad de aceite esencial encapsulado. Se disolvió un gramo de polvo de microcápsulas en 20 ml de agua destilada, y se agregaron 10 ml de hexano. Luego, la mezcla se agitó en un vórtex durante un minuto. La extracción del aceite encapsulado se realizó calentando las muestras a 45°C en baño de agua durante 15 a 20 minutos, con agitación intermitente. Seguidamente, las muestras se enfriaron a temperatura ambiente y se separó el hexano de la fase acuosa mediante centrifugación a 4000 rpm durante 20 minutos [18]. La cantidad de aceite presente en el hexano se cuantificó midiendo la absorbancia con un espectrofotómetro a 294 nm.

Para determinar la eficiencia y el rendimiento de las microcápsulas obtenidas, se utilizaron las siguientes fórmulas:

$$\% EM = \frac{\text{Aceite total} - \text{Aceite superficial}}{\text{Aceite total}} * 100\%$$

Donde:

Aceite superficial: corresponde al aceite extraído con hexano sin disolver previamente las microcápsulas en agua.

Aceite total: corresponde a la cantidad de aceite extraído con hexano después de disolver las microcápsulas en agua.

$$.\%RM = \frac{\text{Aceite microencapsulado}}{\text{Aceite Teórico}} * 100\%$$

Donde:

Aceite microencapsulado: cantidad de aceite que permaneció microencapsulado tras el lavado de la superficie con hexano.

Aceite teórico: cantidad total de aceite utilizada inicialmente en la preparación de las microcápsulas.

Análisis morfológico

A través de microscopía electrónica (ZEISS EVO, Scanning Electron Microscope, Germany) se determinó el tamaño de partículas y se observó la morfología superficial de las microcápsulas secadas en el liofilizador.

Análisis de espectroscopia de infrarrojo por transformada de Fourier (FTIR)

Los grupos funcionales de la estructura de las microcápsulas se determinaron por FTIR (FT-IR espectrómetro PerkinElmer, Alemania). Los espectros de transmitancia de las muestras de microcápsulas se determinaron en la región de 4000 a 450 cm⁻¹, a temperatura ambiente.

Prueba antimicrobiana de las microcápsulas generadas

La actividad antimicrobiana del aceite esencial de romero microencapsulado se evaluó frente a un microorganismo seleccionado (*E. coli*), mediante la prueba estándar de Kirby-Bauer por difusión en pozo, utilizando agar Mueller-Hinton. Se tomaron 120 µL de microcápsulas previamente disueltas en agua destilada a una concentración de 100 mg/ml, y se llenó el pozo de 9 mm de diámetro en el agar. El recuento microbiano se ajustó a 0,5 unidades del estándar de McFarland, equivalente a 1*10⁷ células/ml bacterias. El microorganismo se cultivó en placas e incubó a 37°C durante 24 h [19].

De esta forma, la actividad antimicrobiana se evaluó mediante el cálculo de la zona de inhibición, conforme a los siguientes criterios: si la zona de inhibición es mayor a 15 mm, se considera que la bacteria es susceptible a la solución con microcápsulas; si la zona de inhibición se encuentra entre 10 mm y 15 mm, se clasifica como de susceptibilidad intermedia; y si es menor a 10 mm, se considera resistente.

Análisis estadístico

Se planteó un diseño factorial puro 2³ (tres factores o variables independientes y dos niveles), con tres réplicas en el punto central, para estudiar la influencia del porcentaje de aceite esencial en peso en la emulsión, la velocidad de homogeneización (RPM) y el tiempo agitación (t). Adicionalmente, se empleó un diseño de superficie de respuesta para la optimización de las variables estudiadas, utilizando el programa MINITAB, con un nivel de significancia (p < 0,05).

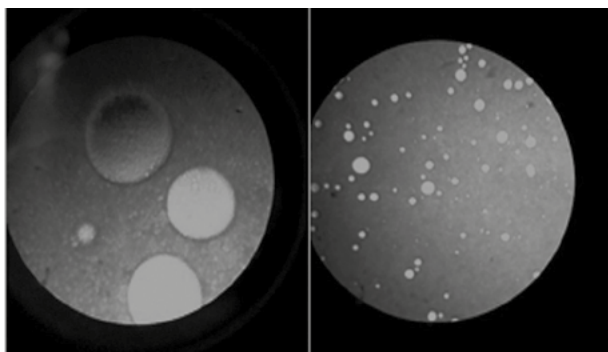
III. Resultados y discusión

Estabilidad de la emulsión

La estabilidad de la emulsión o/w fue del 84%, lo que indica que, en un periodo de 24 horas, solo se separa el 16% de las fases presentes. Este resul-

tado permite utilizar la emulsión o/w, compuesta por 50% de goma arábiga, 40% de maltodextrina y 10% de goma xantana, como matriz soporte para la microencapsulación del aceite esencial de romero.

Figura 1. Emulsión o/w observada en el microscopio óptico



Nota: fuente elaboración propia.

El mayor componente de la emulsión fue la goma arábiga, debido a su alta capacidad emulsionante, y la maltodextrina, cuyas propiedades tensioactivas, solubilidad y baja viscosidad a altas concentraciones pueden contribuir a una mayor estabilidad de las emulsiones [20]. Asimismo, se ha verificado que la goma arábiga y la maltodextrina son materiales adecuados para encapsular aceite de linaza, al proporcionar emulsiones estables [21].

Estos materiales de pared son fundamentales en la fabricación de microcápsulas, ya que una emulsión estable inhibe la agregación de gotas de aceite durante la congelación y favorece una mayor eficiencia de microencapsulación.

Eficiencia y rendimiento de la microencapsulación

En la Tabla 3 se presentan los resultados de las variables respuesta estudiadas en esta investigación:

Tabla 3. Resultados del diseño de experimentos

Corrida	% AE en la emulsión	RPM	Tiempo	% EM	% RM
1	1	9600	3	88,5	33,5
2	6	9600	3	68,5	19,0
3	1	13000	3	90,6	36,0
4	6	13000	3	79,4	20,8
5	1	9600	10	94,1	43,8
6	6	9600	10	91,5	20,2
7	1	13000	10	92,3	34,6
8	6	13000	10	91,6	20,0
9	3.5	11300	6.5	98,7	26,7
10	3.5	11300	6.5	98,4	31,5
11	3.5	11300	6.5	98,1	29,6

Nota: fuente elaboración propia.

En esta tabla se observa que el resultado óptimo de eficiencia y rendimiento de la microencapsulación se obtuvo con la formulación preparada con 1% de aceite esencial de romero, 9600 rpm y un tiempo de 10 minutos, alcanzando una eficiencia del 94,1% y un rendimiento del 43,8%. Estos valores de eficiencia son comparables con los reportados en estudios similares que emplearon el mismo aceite de romero, aunque con material es de pared diferentes, donde se obtuvieron eficiencias entre 69,9 y 96,1% [22].

Sin embargo, la mayor eficiencia observada a bajas concentraciones de aceite podría explicarse por la carga de este en las emulsiones. A medida que la cantidad de aceite utilizada en la preparación de las emulsiones aumentó, el contenido de sólidos en la mezcla resultó insuficiente para cubrir y atrapar la cantidad excedente de aceite. Esta relación inversa entre la cantidad de aceite y la eficiencia de encapsulación se debe a la incapacidad de los materiales sólidos para formar una capa estructural robusta alrededor de las gotas de aceite y recubrirlas completamente cuando se incrementa su concentración [23].

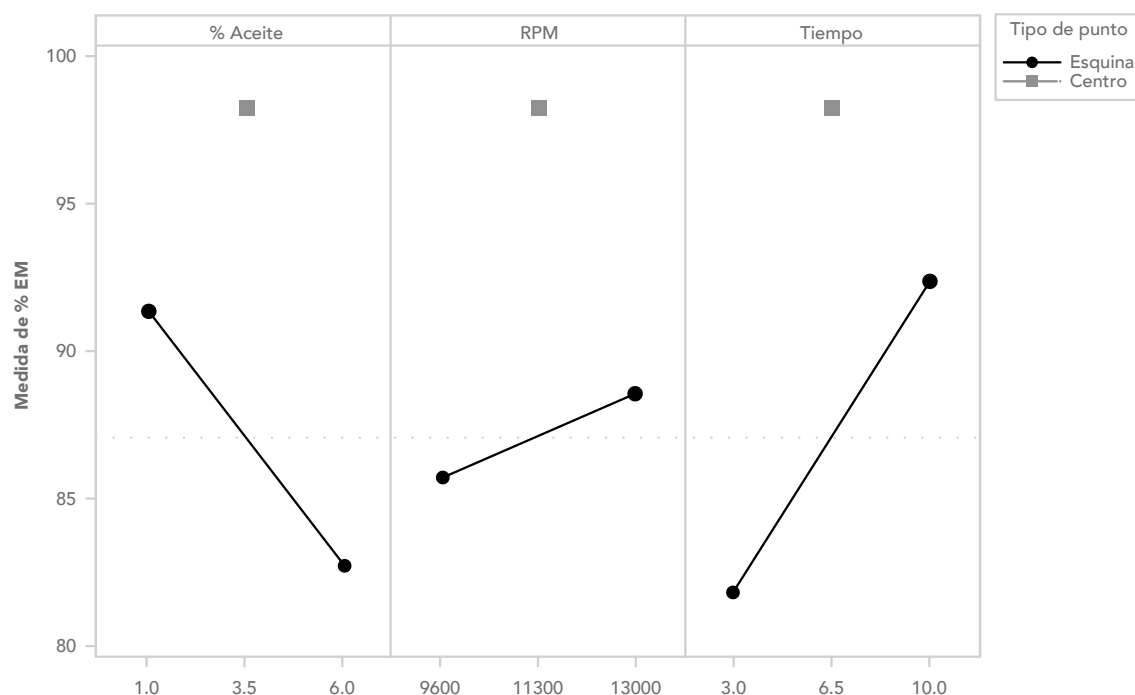
Estos resultados concuerdan con los obtenidos por El-Messery et al. [24], quienes, al trabajar con diferentes concentraciones de aceite de krill, encontraron que una menor concentración de aceite mostraba una mayor eficiencia de encapsulación. Esto se debe a que los componentes bioactivos de los aceites esenciales requieren capas de recubrimiento más gruesas para protegerse del calor o de ambientes hostiles [25].

Por otro lado, aunque el mayor porcentaje de rendimiento de microencapsulación del aceite esencial de romero fue del 43,8%, este se considera bajo. Esta baja eficiencia puede explicarse por la velocidad de congelación de la emulsión, ya que en este estudio se utilizó un proceso de congelación rápida.

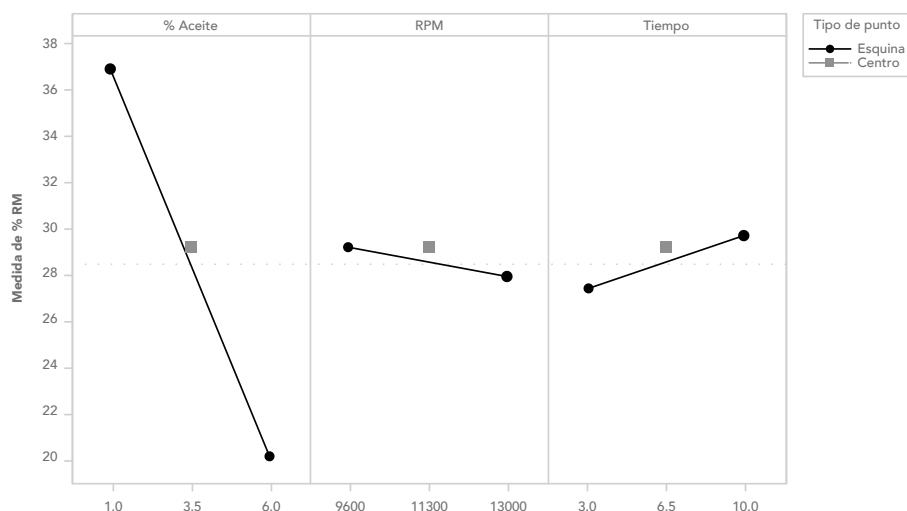
Las velocidades de congelación influyen en la formación de diferentes tipos de cristales de hielo; la congelación lenta forma cristales más grandes y menos numerosos, mientras que la congelación rápida produce cristales pequeños y abundantes que pueden romper las cápsulas, promoviendo la liberación de su contenido en la fase continua. Esto probablemente reduce el porcentaje de retención de compuestos aromáticos en la matriz sólida, lo que da lugar a un menor rendimiento de las microcápsulas.

Esto se corrobora con el estudio reportado por Enciso-Sáenz et al. [7], en el que se obtuvo un rendimiento del 98% y un mayor porcentaje de retención del aceite de Zacate limón mediante liofilización, al emplear una velocidad de congelación lenta.

Figura 2. Gráficas de efectos principales para %EM con medias ajustadas

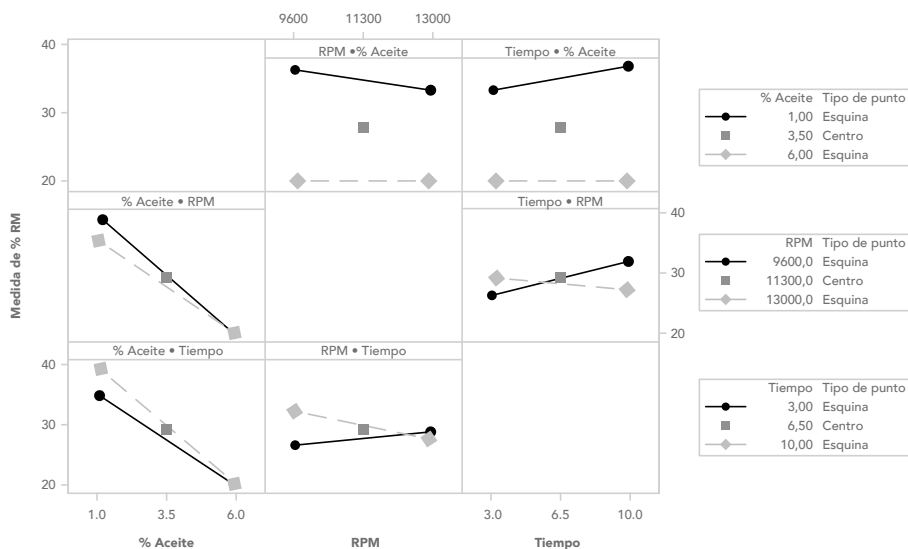


Nota: fuente elaboración propia.

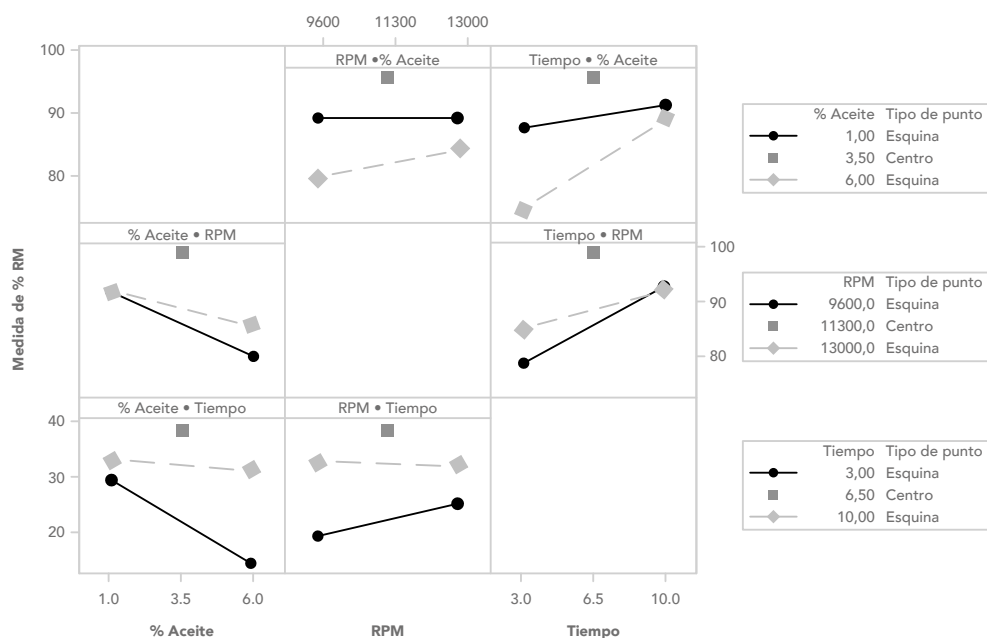
Figura 3. Gráficas de interacción para %EM con medias ajustadas

Nota: fuente elaboración propia.

En las Figuras 2 y 3 se evidencian las interacciones entre las variables que influyen en los valores de eficiencia de la microencapsulación. Se observa que un mayor porcentaje de aceite en la emulsión reduce la eficiencia de encapsulación, mientras que un incremento en las RPM utilizadas durante el proceso favorece dicha eficiencia. Igualmente, el aumento en el tiempo de agitación se asocia con una mayor eficiencia de microencapsulación.

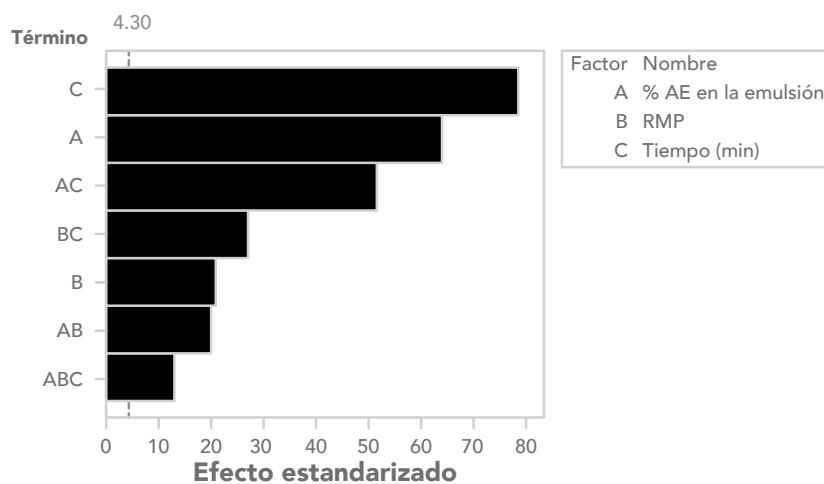
Figura 4. Gráficas de efectos principales para %RM con medias ajustadas

Nota: fuente elaboración propia.

Figura 5. Gráfica de interacciones para el %RM con medias ajustadas

Nota: fuente elaboración propia.

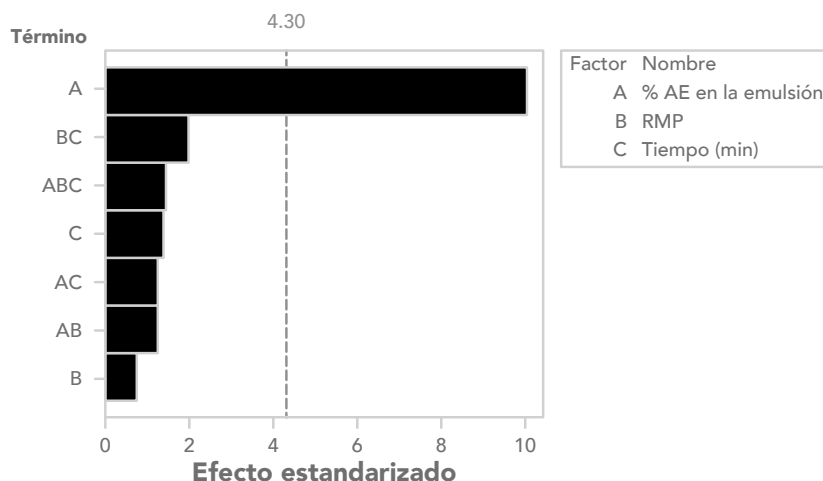
Por otro lado, las Figuras 4 y 5 muestran que la variable que más influye en el rendimiento del proceso es el porcentaje de aceite utilizado, ya que impacta directamente en la formación y estabilidad de la emulsión.

Figura 6. Diagrama de Pareto de efectos estandarizados (la respuesta es % EM; $p=0,05$) %AE porcentaje de aceite en la emulsión

Nota: fuente elaboración propia.

En el gráfico de Pareto de la Figura 6 se observa que las variables porcentaje de aceite en la emulsión (% AE), velocidad de mezclado (RPM) y tiempo de mezclado (min) son estadísticamente significativas ($p < 0,05$), dado que influyen sobre la variable de respuesta porcentaje de microencapsulación (%EM).

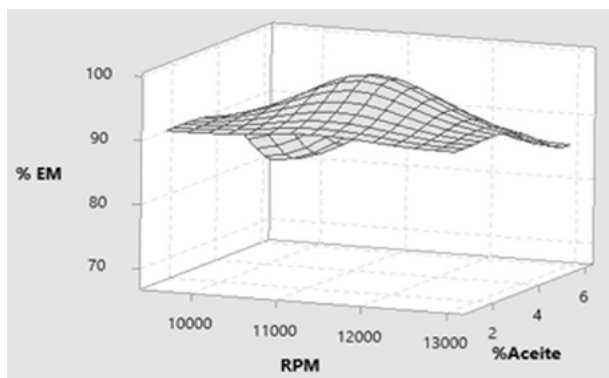
Figura 7. Diagrama de Pareto de efecto estandarizados (la respuesta es % RM; $p = 0,05$) %AE porcentaje de aceite en la emulsión



Nota: fuente elaboración propia.

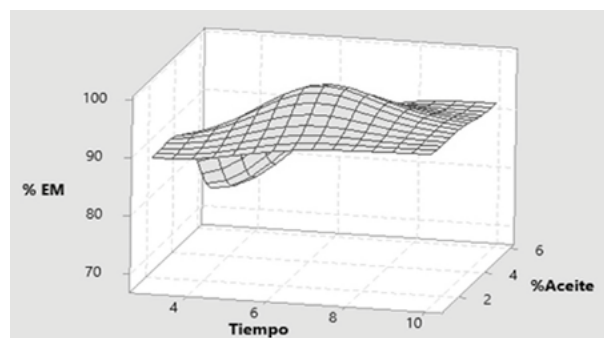
Sin embargo, en el gráfico de Pareto de la Figura 7 se observa que la única variable con un efecto significativo ($p < 0,05$) sobre la respuesta porcentaje de rendimiento microencapsulado (%RM) es el porcentaje de aceite en la emulsión.

Figura 8. Superficie de respuesta del modelo de optimización %EM, %Aceite y Tiempo



Nota: fuente elaboración propia.

Figura 9. Superficie de respuesta del modelo optimizado %EM, RPM y Tiempo



Nota: fuente elaboración propia.

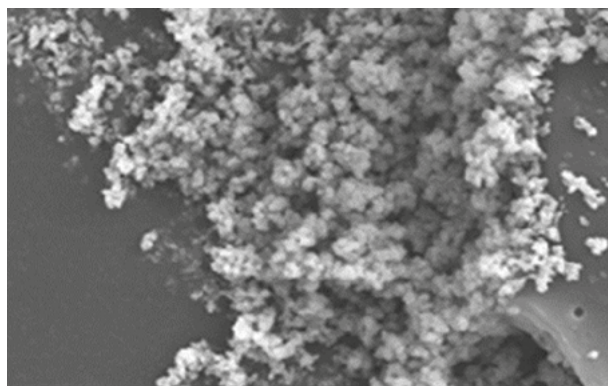
Por su parte, las Figuras 8 y 9 corresponden a las superficies de respuesta que evidencian cómo interactúan el tiempo, el porcentaje de aceite y las RPM para proporcionar las mejores condiciones posibles, según los experimentos realizados, mostrando una superficie bien definida con un máximo local de respuesta.

Análisis morfológico

La morfología y el tamaño de partículas de las microcápsulas se evaluaron mediante microscopía electrónica de barrido (Figuras 8 y 9), observándose un tamaño promedio de 200 μm . En las micrografías se aprecian las microcápsulas de aceite esencial de romero obtenidas por liofilización, mostrando un gran número de ramilletes esféricos y aglomerados (Figura 8). En la Figura 9 se presenta una microcápsula aislada, en la que se observa una envoltura polimérica natural esférica, con superficie lisa pero no uniforme, con hendiduras superficiales y sin fisuras aparentes. Estas hendiduras se deben a la rápida contracción de las partículas durante la etapa inicial del proceso de secado [7].

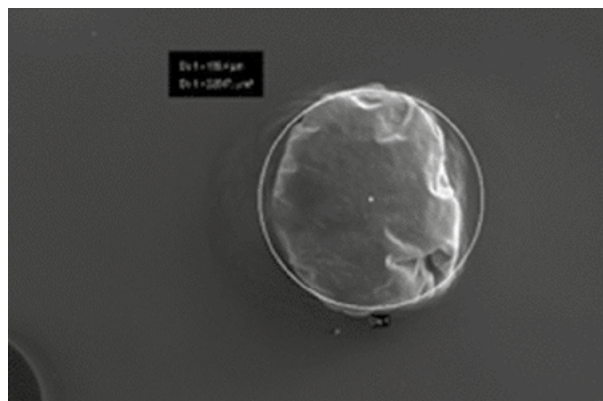
En este sentido, es probable que estas microesferas ofrezcan una buena protección al aceite encapsulado, dado que presentan una superficie continua sin grietas, lo que indica que la capacidad de los materiales de encapsulación fue adecuada para obtener microcápsulas de calidad.

Figura 10. Imagen de microcápsulas obtenidas



Nota: fuente elaboración propia.

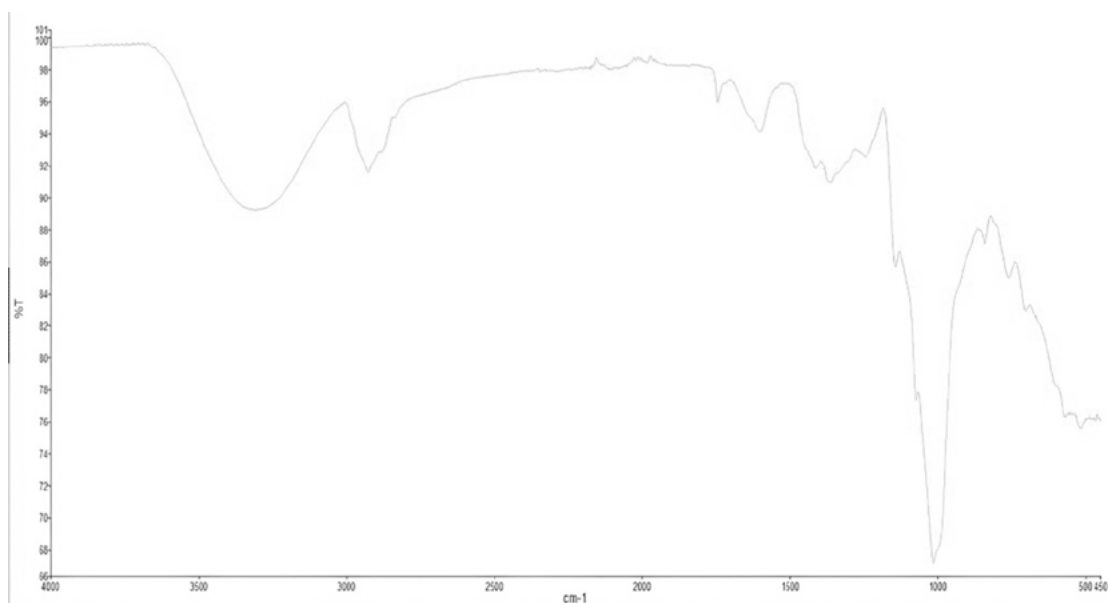
Figura 11. Imagen de microcápsulas aisladas obtenidas



Nota: fuente elaboración propia.

Análisis infrarrojo

La Figura 10 presenta el espectro infrarrojo correspondiente a la microcápsula con la formulación óptima, en el cual se evidencian las interacciones entre los materiales de pared y el aceite esencial. En el espectro se observan bandas de absorción características en los números de onda cercanos a 3200 cm^{-1} , 2900 cm^{-1} , 1650 cm^{-1} , 1600 cm^{-1} , 1400 cm^{-1} y 1020 cm^{-1} , correspondientes a los grupos funcionales hidroxilo ($-\text{OH}$), flexión de CH, vibraciones de estiramiento del enlace $\text{C}=\text{C}$ de alquenos, estiramiento de $\text{C}=\text{O}$, flexión NH y flexión C-H y CH_3 , respectivamente [26, 27].

Figura 12. Espectro IR de las microcápsulas obtenidas

Nota: fuente elaboración propia.

Prueba antimicrobiana de las microcápsulas generadas

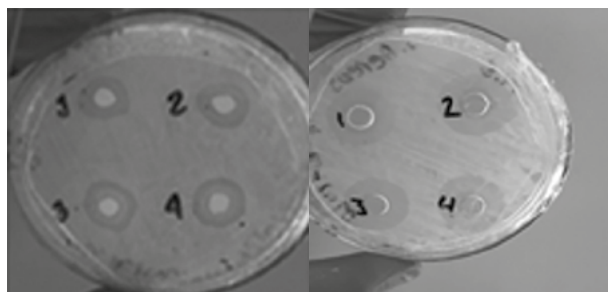
El potencial antimicrobiano del aceite esencial microencapsulado se atribuye posiblemente a la presencia de taninos, saponinas, compuestos fenólicos y flavonoides, todos ellos metabólicos

bioactivos con reconocida actividad antimicrobiana. En la Tabla 4 se presentan los resultados de la prueba de difusión en disco (Kirby-Bauer) en los cuales se evidencia que el aceite encapsulado conserva su actividad antimicrobiana, manifestada por la formación de halos de inhibición bien definidos.

Tabla 4. Resultados de la prueba antimicrobiana

Preparación de solución	Diámetro (mm) toma uno	Diámetro (mm) toma dos	Diámetro (mm) Promedio	Resultado
2ml a 100mg/ml: 1 ml Tween 20	20	18	19	Susceptible
2ml a 100mg/ml: 2 ml Tween 20	22	19	20,5	Susceptible
2ml a 100mg/ml: 4 ml Tween 20	21	19	20	Susceptible
2ml a 100mg/ml: 6 ml Tween 20	21	21	21	Susceptible

Nota: fuente elaboración propia.

Figura 13. Prueba antimicrobiana Kirby-Bauer

Nota: fuente elaboración propia.

IV. Conclusiones

La investigación demostró la viabilidad de microencapsular aceite esencial de romero mediante liofilización, utilizando una matriz polimérica compuesta por goma arábica, maltodextrina y goma xantana. Se alcanzó una eficiencia de encapsulación del 94,1% y un rendimiento del 43,8% con una formulación específica: 1% de aceite esencial, 9600 rpm y 10 minutos de agitación. Las microcápsulas obtenidas con un tamaño promedio de 120 μm , presentaron una morfología esférica y alta estabilidad emulsionante.

Estas microcápsulas, caracterizadas por su estabilidad y elevada eficiencia de encapsulación, abren nuevas posibilidades para la funcionalización de textiles, aprovechando las propiedades antimicrobianas del aceite esencial de romero. Sin embargo, se requieren estudios complementarios para optimizar las condiciones de congelación, evaluar su viabilidad durante el almacenamiento y analizar su aplicabilidad con otros aceites esenciales.

Los resultados obtenidos constituyen una base sólida para futuras investigaciones orientadas a ampliar las aplicaciones de esta tecnología en diversos sectores industriales. La exploración de diferentes matrices poliméricas, técnicas de encapsulación y compuestos activos podría optimizar aún más el proceso y potenciar su versatilidad.

V. Referencias

- [1] I. Borrás, M. Arráez-Román, M. Herrero, E. Ibáñez, A. Segura-Carretero y A. Fernández-Gutiérrez, "Comparison of different extraction procedures for the comprehensive characterization of bioactive phenolic compounds in *Rosmarinus officinalis* by reversed-phase high-performance liquid chromatography with diode array detection coupled to electrospray time-of-flight mass spectrometry", *J. Chromatogr. A*, vol. 1218, n° 42, pp. 7682-7690, 2011.
- [2] M. Stramarkou, V. Oikonomopoulou, T. Missirli, I. Thanassoulia y M. Krokida, "Encapsulation of rosemary essential oil into biodegradable polymers for application in crop management", *J Polym. Environ.*, vol. 28, n° 8, pp. 2161-2177, 2020.
- [3] S. B. Kaab, I. B. Rebey, M. Hanafi, C. Berhal, M. L. Fauconnier, C. de Clerck, R. Ksouri y H. Jijakli, "Rosmarinus officinalis essential oil as an effective antifungal and herbicidal agent", *Span. J. Agric. Res.*, vol. 17, n° 2, art. e1006, 2019.
- [4] V. G. Souza, I. F. Cerqueira, M. Ruiz, A. V. Ferreira, J. A. Vicente y P. Bourbon, "Active edible films based on chitosan incorporated with essential oils: The effect on the physicochemical properties, antioxidant and antimicrobial activities, and the application on beef", *Food Packaging and Shelf Life*, vol. 22, pp. 100396, 2019.
- [5] E. C. Conceição, J. R. de Paula, T. O. dos Santos, S. F. Alves, M. T. F. Bara y L. L. Borges, "Influence of storage conditions on the composition and antioxidant activity of essential oil from *Pterodon emarginatus* fruits microencapsulated with gum Arabic and maltodextrin", *Industrial Crops and Products*, vol. 53, pp. 61-67, 2014.

- [6] B. E. Esquivel-González, L. A. Ochoa Martínez y O. M. Rutiaga-Quíñones, "Microencapsulación mediante secado por aspersión de compuestos bioactivos", *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*, vol. 16 n° 2, pp. 180-192, 2015.
- [7] S. Enciso-Sáenz, A. J. Borrás-Enriquez, L. M. C. Ventura-Canseco, F. Gutiérrez-Miceli, L. Dendooven, A. Grajales-Lagunes, M. A. Ruiz-Cabrera, V. Ruiz-Valdiviezo y M. Abud-Archila, "Lemongrass (*Cymbopogon citratus* (DC) Stapf) essential oil encapsulation by freeze-drying", *Rmiq.*, vol. 17, n° 2, pp. 407-420, 2018.
- [8] A. B. S. Santana, S. A. Santos, T. M. L. Souza, V. C. C. Silva, J. C. Nunes y D. P. Costa, "Microencapsulation of rosemary essential oil by complex coacervation using gelatin, gum arabic and maltodextrin as wall materials", *Journal of Food Process Engineering*, vol. 43, n° 6, pp. e13583, 2020.
- [9] S. F. Alves, L. L. Borges, T. O. Dos Santos, J. R. de Paula, E. C. Conceição y M. T. F. Bara, "Microencapsulation of essential oil from fruits of *Pterodon emarginatus* using gum Arabic and maltodextrin as wall materials: composition and stability", *Dry. Technol.*, vol. 32, n° 1, pp. 96-105, 2014.
- [10] L. Shi, D. Wang, Q. Wei y H. Jia, "Microencapsulation of cinnamon essential oil by spray drying using whey protein isolate-maltodextrin blends as wall materials", *International Journal of Dairy Technology*, vol. 73, n° 2, pp. 333-342, 2020.
- [11] R. Pavela y G. Benelli, "Essential Oils as Ecofriendly Biopesticides? Challenges and Constraints", *Trends Plant Sci.* vol. 21 n° 12, pp. 1000-1007, 2016.
- [12] A. El-Abbassi, E. F. Sana, L. El-Bouzidi, M. Lahrouni y K. Nauman, "Recent advances in microencapsulation of bioactive compounds", en *Recent progress in medicinal plants: analytical and processing techniques*, Estados Unidos: Stadium Press, 2016, pp. 129-146.
- [13] M. O. C. Serrano, A. G. de A. Ferreira, J. J. de Araújo, M. J. Dos Santos y T. C. dos Santos, "Microencapsulation of chia seed oil using different combinations of gum arabic, maltodextrin, and xanthan gum: Emulsion characterization and stability", *Journal of Food Engineering*, vol. 260, pp. 1-11, 2019.
- [14] V. Kaushik, Y. H. Roos, "Limonene encapsulation in freeze-drying of gum Arabic-sucrose-gelatin systems", *LWT - Food Science and Technology*, vol. 40 n° 8, pp. 1381-1391, 2007.
- [15] A. S. Anandharamakrishnan y S. Padma, "Microencapsulation of fish oil using gum arabic, maltodextrin and modified starch: Process optimization and stability evaluation", *International Journal of Biological Macromolecules*, vol. 112, pp. 350-357, 2018.
- [16] B. Başığit, H. Sağlam, Ş. Kandemir, A. Karaaslan y M. Karaaslan, "Microencapsulation of sour cherry oil by spray drying: evaluation of physical morphology, thermal properties, storage stability, and antimicrobial activity", *Powder Technol.*, vol. 364, pp. 654-663, 2020.
- [17] S. S. B. Silva, C. R. L. Peixoto, A. P. de Moura, S. R. C. Dos Santos, y M. R. P. Silva, "Evaluation of microencapsulation efficiency of rosemary essential oil using gum arabic and maltodextrin as wall materials", *Food Chemistry*, vol. 312, pp. 126080, 2020.

- [18] E. S. Ribeiro, L. F. F. Pereira, R. S. F. Silva, y M. P. Cereda, "Encapsulation and release of rosemary essential oil: Influence of matrix composition on release characteristics and oil retention", *Journal of Food Engineering*, vol. 291, pp. 110214, 2022.
- [19] S. T. Imade, O. S. Omokhafa, T. O. Omojola, y A. S. Oladeji, "Microencapsulation and stability studies of ginger essential oil using gum arabic and maltodextrin as wall materials", *LWT - Food Science and Technology*, vol. 133, pp. 110051, 2020.
- [20] J. Hudzicki, "Kirby-Bauer disk diffusion susceptibility test protocol", *ASM*, pp. 1-23, 2016.
- [21] A. Ö Zeynep, E. Pelin, "Influence of Wall Material Composition on Microencapsulation Efficiency of Cold Pressed Pumpkin Seed Oil by Freeze-Drying", *Novel. Tech. Nutri. Food Sci.*, vol. 3 n° 1 pp. 1-10, 2023.
- [22] A. Turasan, S. Sahin y G. Sumnu, "Encapsulation of rosemary essential oil", *LWT - Food Sci. Technol.*, vol 64 n° 1, pp. 112-119, 2015.
- [23] H. C. F. Carneiro, R. V. Tonon, C. R. F. Grosso, M. D. Hubinger, "Encapsulation efficiency and oxidative stability of flaxseed oil microencapsulated by spray drying using different combinations of wall materials", *J. Food Eng.*, vol. 115, n° 4, pp. 443-451, 2013.
- [24] T. M. El-Messery, U. Altuntas, G. Altin, B. Özçelik, "The effect of spray-drying and freeze-drying on encapsulation efficiency, in vitro bioaccessibility and oxidative stability of krill oil nanoemulsion system", *Food Hydrocolloids*, vol. 106, 106062, 2020.
- [25] P. Yun, S. Devahastin, N. Chiewchan, "Microstructures of encapsulates and their relations with encapsulation efficiency and controlled release of bioactive constituents: A review", *Compr. Rev. Food Sci. Food Saf.*, vol. 20, pp. 1768-1799, 2021.
- [26] L. H. Tan, L. W. Chan y P. W. S. Heng, "Effect of oil loading on microspheres produced by spray drying", *J. Microencapsul.*, vol. 22, n° 3, pp. 253- 259, 2005.
- [27] M. Karaaslan, F. ŞEngün, Ú. Cansu, B. Başıyigit, H. Sağlam y A. Karaaslan, "Gum arabic/ maltodextrin microencapsulation confers peroxidation stability and antimicrobial ability to pepper seed oil", *Food Chem.*, vol. 337, art. 127748, 2021.





Ciberseguridad aplicada a la gestión de datos en empresas de bienes y servicios: una revisión de literatura

Cybersecurity Applied to Data Management in Goods and Service Companies: a Literature Review

Sebastián Gómez Sepúlveda¹, Juan Esteban Vélez Mazo²

Tipo de Artículo: revisión de literatura.

Recibido: 13/11/2024. **Aprobado:** 12/12/2024. **Publicado:** 12/12/2024

Resumen: Este trabajo aborda la necesidad de utilizar encriptadores en empresas de bienes y servicios que enfrentan ciberataques cada vez más crecientes y sofisticados. Aunque la encriptación es clave para proteger la información, muchas organizaciones no invierten en estas herramientas hasta haber sido víctimas de un ataque significativo. El objetivo de esta investigación es evaluar el uso de encriptadores en entornos empresariales y cómo contribuyen a mitigar ataques como *phishing* o los DDoS, analizando tanto sus ventajas como sus limitaciones. Para ello, se realizó una Revisión Sistemática de la Literatura (RSL), seleccionando y analizando estudios que implementaron encriptación en entornos empresariales reales. El hallazgo

principal de este trabajo indica que la probabilidad de que una empresa invierta en ciberseguridad aumenta a medida que incrementa la intensidad de los ciberataques. Esto sugiere que, en muchos casos, la inversión en encriptación y ciberseguridad ocurre solo después de un ataque, en lugar de ser una medida preventiva constante.

Palabras clave: criptografía; encriptador; ciberseguridad; hackeo; *phishing*.

Abstract: This work addresses the need for encryptors in service companies facing increasing and sophisticated cyberattacks. While encryption is

¹ Autor correspondiente: Sebastian Gómez Sepúlveda. Mayor título: Estudiante de Ingeniería de Sistemas. Filiación institucional: Universidad Católica Luis Amigó. País: Colombia, Ciudad: Medellín. Correo electrónico: sebastian.gomezse@amigo.edu.co ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-2221-5015>

² Autor correspondiente: Juan Esteban Vélez Mazo. Mayor título: Estudiante de Ingeniería de Sistemas. Filiación institucional: Universidad Católica Luis Amigó. País: Colombia, Ciudad: Medellín. Correo electrónico: juan.velezaz@amigo.edu.co ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-2774-4412>

key to protecting information, many organizations do not invest in these tools until they have been victims of a significant attack. The aim of this research is to evaluate the use of encryptors in businesses and how they help mitigate attacks such as phishing or DDoS, analyzing both their advantages and limitations. A Systematic Literature Review (SLR) was used, selecting and analyzing studies that implemented encryption in real business environments. The main finding indicates that the likelihood of companies investing in cybersecurity increases as cyberattacks grow in severity. This suggests that, in many cases, investment in encryption and cybersecurity occurs only after an attack, rather than being a constant preventive measure.

Keywords: cryptography; encryptor; cybersecurity; hacking; phishing.

I. Introducción

La ciberseguridad es un tema de vital importancia y utilidad en cualquier actividad desarrollada dentro de un sistema informático. Sin embargo, en muchos países en vías de desarrollo, este aspecto ha sido frecuentemente descuidado, dejando múltiples vulnerabilidades abiertas. La falta de atención a la ciberseguridad expone a empresas u organizaciones, a empleados y clientes al riesgo de sustracción de datos confidenciales, generando un entorno de incertidumbre e inseguridad.

La finalidad de este estudio es examinar y sistematizar el conocimiento existente sobre la ciberseguridad, indagando sobre cómo varios autores abordan los diversos componentes involucrados. Se busca identificar las estrategias más eficaces para difundir los beneficios que la ciberseguridad aporta en múltiples ámbitos, así como resaltar la información clave que todo individuo debería conocer para prevenir fallos y protegerse adecuadamente en el ambiente digital.

Inicialmente, se delimitó el tema de investigación. Se realizó un análisis detallado de la documentación disponible en bases de datos institucionales, utilizando términos clave estratégicos para identificar

los documentos más relevantes. Posteriormente, se llevó a cabo una revisión minuciosa de los artículos seleccionados, evaluando su contenido en función de las preguntas planteadas. Este enfoque permitió obtener una visión integral del tema que, aunque no cuenta con una amplia documentación, proporcionó información valiosa.

El hallazgo principal de este trabajo fue confirmar que, a mayor intensidad de ciberataques, aumenta la probabilidad de que las organizaciones invirtieran en sistemas de ciberseguridad. Resultados evidencian que las empresas suelen esperar a ser blanco de un ataque para realizar inversiones significativas en encriptación y seguridad informática.

II. Justificación de la revisión

La ciberseguridad depende en gran medida del uso de sistemas de cifrado de datos para garantizar la confidencialidad e integridad de la información. Entre los métodos tradicionales, el cifrado simétrico es ampliamente utilizado debido a su eficiencia y velocidad en el procesamiento de datos [1]. Por otro lado, el cifrado asimétrico emplea un par de claves para cifrar y descifrar información, lo que permite mejorar la seguridad en las comunicaciones y en la implementación de firmas digitales [2].

En Colombia, las empresas enfrentan desafíos significativos en materia de ciberseguridad, ya que el país se encuentra entre los diez más afectados por ataques de ransomware [3]. Informes recientes han señalado un aumento en los ciberataques dirigidos a sectores críticos, como el educativo, financiero y sanitario, lo que resalta la vulnerabilidad de las organizaciones frente a estas amenazas [4]. Además, muchas empresas colombianas carecen de personal especializado y recursos adecuados para mitigar estos riesgos, lo que agrava aún más la situación.

Las tendencias actuales en ciberseguridad incluyen la integración de inteligencia artificial y aprendizaje automático para mejorar los sistemas de cifrado y detección de amenazas [5]. Asimismo, la adopción de técnicas de encriptación basadas en blockchain

ha demostrado proporcionar mayor seguridad y transparencia en la gestión de datos [6]. Estos avances continúan transformando el panorama de la seguridad informática, abordando tanto los desafíos actuales como los futuros en la protección de la información.

III. Formulación de las preguntas de investigación

¿Cuáles son las principales vulnerabilidades de ciberseguridad en las empresas de bienes y servicios?

¿Cómo se han implementado los encriptadores de datos en el sector real?

¿Cuáles son las principales ventajas, desventajas y desafíos en el uso de encriptadores para garantizar la ciberseguridad en las empresas?

IV. Definiciones y conceptos básicos

A continuación, se presentan los conceptos o términos más relevantes en el campo de la ciberseguridad:

Ataques de Día Cero: son ataques que explotan vulnerabilidades de *software* que aún no han sido divulgadas públicamente ni tienen un parche o solución disponible [7].

BOUND DDoS: Distributed Denial-of-Service, (DDoS) es un delito cibernético en el que el atacante satura un servidor con tráfico de Internet para evitar que los usuarios accedan a servicios y sitios en línea conectados [8].

Denegación de servicio: consiste en sobrecargar un sistema con tráfico o solicitudes excesivas, impidiendo que los usuarios legítimos accedan a los servicios [9].

GDPR: el Reglamento General de Protección de Datos (GDPR) (Reglamento 2016/679) es una normativa con la que el Parlamento Europeo, el Consejo

de la Unión Europea y la Comisión Europea tienen la intención de reforzar y unificar la protección de datos para todos los individuos dentro de la Unión Europea (UE) [10].

Ingeniería Social: es una técnica que los hackers emplean para manipular a las personas y obtener información confidencial. A diferencia de otros métodos de ataque cibernético que se centran en las vulnerabilidades técnicas, la ingeniería social se dirige a la psicología humana [11].

ISO 27001: es un estándar internacional que establece los requisitos para la implementación, mantenimiento y mejora continua de un Sistema de Gestión de la Seguridad de la Información (SGSI) [12].

Machine Learning: subconjunto de la inteligencia artificial que permite a los sistemas informáticos aprender de los datos, identificar patrones y tomar decisiones con mínima intervención humana [13].

Phishing: tipo de ciberataque que utiliza correos electrónicos, mensajes de texto, llamadas telefónicas o sitios web fraudulentos para engañar a las personas y hacer que compartan datos confidenciales, descarguen malware o se expongan de otro modo a la ciberdelincuencia [14].

Ransomware: es un tipo de *software* malicioso diseñado para cifrar los datos de la víctima y exigir un rescate a cambio de la clave de descifrado [15].

UNSW-NB15: es un conjunto de datos de intrusión de red [16].

V. Proceso de búsqueda de documentos

Palabras de búsqueda: cybersecurity vulnerabilities, information systems, security breaches, data encryption, applications of data encryption, advantages.

Cadenas o ecuaciones de búsqueda:

TITLE-ABS-KEY (("cybersecurity" AND "vulnerabilities" AND "information systems" AND " security breaches") AND NOT "biosecurity") AND PUBYEAR > 2019 AND PUBYEAR < 2025 AND (LIMIT-TO (SUBJAREA, "COMP") OR LIMIT-TO (SUBJAREA, "ENGI")) AND (LIMIT-TO (EXACTKEYWORD, "Cyber Security") OR LIMIT-TO (EXACTKEYWORD, "Cybersecurity") OR LIMIT-TO (EXACTKEYWORD, "Security Breaches") OR LIMIT-TO (EXACTKEYWORD, "Vulnerability")) AND (LIMIT-TO (PUBSTAGE, "final")) AND (LIMIT-TO (OA, "all"))

TITLE-ABS-KEY ("data encryption" AND "applications of data encryption") AND PUBYEAR > 2019 AND PUBYEAR < 2024 AND (LIMIT-TO (SUBJAREA, "COMP") OR LIMIT-TO (SUBJAREA, "ENGI")) AND (LIMIT-TO (DOCTYPE, "ar")) AND (LIMIT-TO (EXACTKEYWORD, "Data Encryption") OR LIMIT-TO (EXACTKEYWORD, "Computer Networks") OR LIMIT-TO (EXACTKEYWORD, "Network Security") OR LIMIT-TO (EXACTKEYWORD, "Cryptography") OR LIMIT-TO (EXACTKEYWORD, "Encryption Technologies"))

TITLE-ABS-KEY ("cybersecurity" AND "data-encryption" AND "advantages") AND (LIMIT-TO (SUBJAREA, "COMP") OR LIMIT-TO (SUBJAREA, "ENGI")) AND (LIMIT-TO (DOCTYPE, "ar")) AND (LIMIT-TO (EXACTKEYWORD, "Cybersecurity") OR LIMIT-TO (EXACTKEYWORD, "Cryptography") OR LIMIT-TO (EXACTKEYWORD, "Data Encryption") OR LIMIT-TO (EXACTKEYWORD, "Cyber Security"))

Bases de datos empleadas: se utilizaron las siguientes bases de datos para la investigación: Science Direct, Web of Science y Google Academic.

Período de búsqueda: el periodo de búsqueda abarcó desde el año 2020 hasta el 2025.

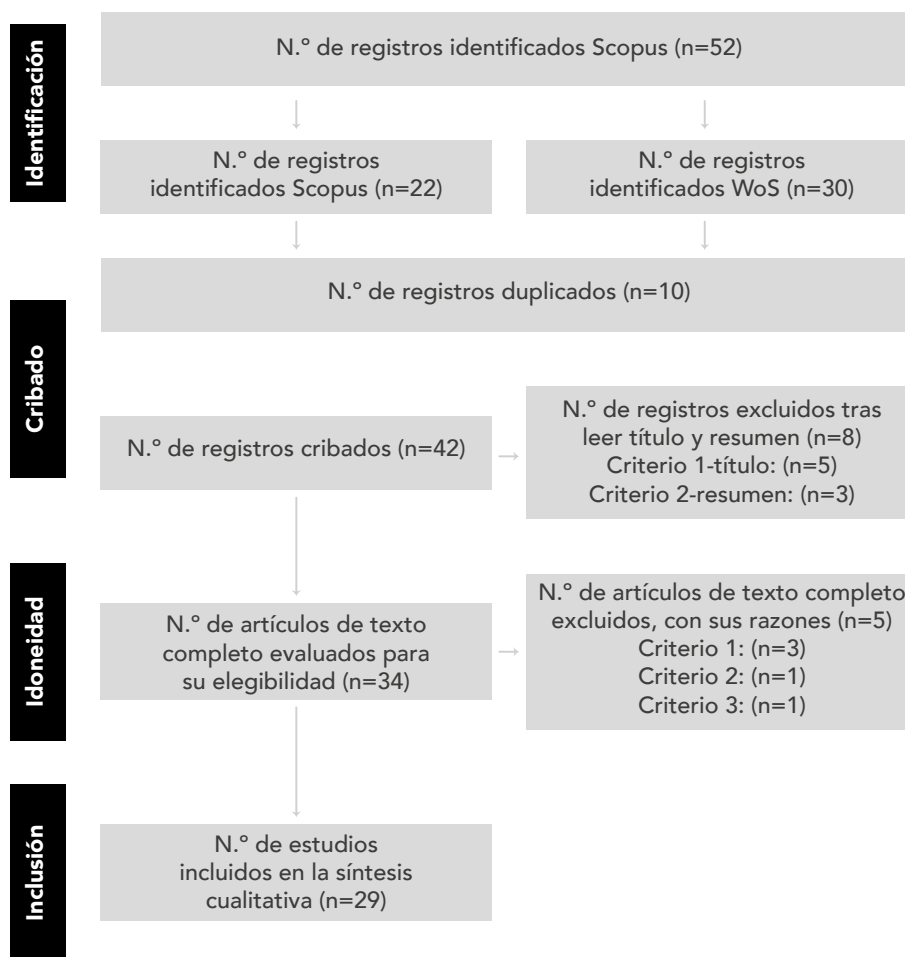
Criterios de inclusión: que los artículos seleccionados se enfocarán en analizar los ataques presentados en empresas de servicios (*phishing*; DDoS, etc.).

Que los artículos hayan empleado un encriptador o encriptación real en sus empresas u organizaciones.

Que los artículos hayan señalado los puntos fuertes o débiles de los encriptadores al ser implementados en sus empresas u organizaciones.

Criterios de exclusión: los artículos que no se enfocaron en analizar ataques específicos (como *phishing* o DDoS) en empresas de servicios, sino que abordaron sobre ataques en sectores distintos (por ejemplo, bioseguridad) o describieron ataques sin detalles específicos aplicables a empresas de servicios. Los artículos que no emplearon ni implementaron encriptadores reales en sus entornos de estudio, sino que trabajaron desde una perspectiva teórica (simulaciones, estudios teóricos sin implementación en empresas) o usaron métodos alternativos de protección (como firewalls o autenticación multifactor sin encriptación).

Los artículos que no evaluaron ni discutieron puntos fuertes o débiles de la encriptación en contexto empresarial. En lugar de eso, se limitaron a describir la implementación básica de encriptadores sin mencionar su efectividad o analizar sólo aspectos técnicos sin impacto específico en la empresa.

Figura 1. flujograma Prisma 2020

Nota: fuente elaboración propia.

VI. Discusión

¿Cuáles son las principales vulnerabilidades de ciberseguridad en las empresas de bienes y servicios?

Para esta investigación se referencian las vulnerabilidades más comunes en las empresas, así como los ataques más comunes que realizan personas mal intencionadas o hackers para explotarlas.

El *phishing* es uno de los ataques informáticos más delicados, ya que proviene de la ingeniería social, la

cual se encarga de atacar uno de los puntos débiles de cualquier organización: el usuario o trabajador. Estos ataques pueden desembocar en ataques automatizados, como la inyección de ransomware con el objetivo de secuestrar información [17].

La combinación del *phishing* con la falta de preparación de los trabajadores en las empresas genera se llega a una de las mayores vulnerabilidades: los ataques por correos electrónicos, dado que todas las empresas utilizan este medio y es la forma más sencilla de atacar. Los ataques basados en correo electrónico, que han crecido a un ritmo de más del

150% anual desde 2019, se están volviendo cada vez más comunes y han alcanzado niveles sin precedentes, con 4,7 millones de ataques registrados solo en 2022 [18].

Debido a esto, las empresas utilizan herramientas automatizadas para mitigar este tipo de ataques, pero estas también tienen vulnerabilidades, lo que significa que muchos correos electrónicos continúan evadiendo los sistemas automatizados, y un 85% sustancial de las violaciones de seguridad son atribuibles a las vulnerabilidades de los errores del usuario [18].

En este contexto, cuando se explotan vulnerabilidades, los hackers o ciberdelincuentes usan una técnica llamada ataque por denegación de servicio o DDoS que, aunque no es una vulnerabilidad en sí, es la forma más sencilla de detectar y explotar vulnerabilidades [19].

El *phishing*, la denegación de servicio, los Ataques de Día Cero, el ransomware y el acceso no autorizado a los sistemas de información son algunos ejemplos de vulneraciones. Cada uno de estos tipos tiene posibles consecuencias económicas y reputacionales para la empresa afectada. Entre ellos, uno de los más complejos es el Ataque de Día Cero, el cual causa una desestabilización de la empresa y, si el equipo T.I. no realiza una contingencia apropiada, podría causar grandes pérdidas [20].

Como se estableció al inicio de esta investigación, una de las vulnerabilidades más latentes, comunes o fáciles de explotar es la falta de conocimiento del empleado o usuario, ya que por medio de ellos pueden entrar a los sistemas de la empresa, especialmente si trabajan de forma remota. Al estar enlazados directamente con la red de la empresa, los empleados son más vulnerables y no comprenden lo delicado que puede ser que la entidad donde trabajan sea perjudicada por un error suyo [21].

Además, la investigación destaca nuevamente al usuario o empleado como una de las causas más probables de ataques una de las vulnerabilidades más comunes y peligrosas dentro de una empresa. En [22] señalan que el 34% de las organizaciones

considera a los empleados desprevenidos como la mayor vulnerabilidad. La mayoría de ellos carece de conciencia sobre las amenazas y problemas de seguridad de la información.

Dado que esta investigación aborda no solo las TIC sino también el sector de bienes y servicios en general, Es definir y ejemplificar uno de los ataques más complejos: el Ransomware WannaCry. Este caso evidenció la gravedad del desconocimiento en las empresas de bienes y servicios y la necesidad de implementar normas para mitigar las vulnerabilidades como lo es la ISO 27001 [23].

Según la documentación, se puede considerar como vulnerabilidad el hecho de no darle importancia a los incidentes catalogados como de bajo impacto o gravedad, ya que estos podrían escalar y causar un problema mayor de alto riesgo, que supondría para la empresa pérdidas o fugas significativas [24].

También, en las empresas se encuentran vulnerabilidades originadas en el *software* que comúnmente se compra y se vende como seguro. Este es el caso de Windows uno de los sistemas operativos más usados en sus servidores y computadoras empresariales.

La documentación revela que existe una vulnerabilidad en "Wickr" que permite conseguir datos sensibles, como las contraseñas de los usuarios, por medio del algoritmo de validación: AES-GCM. Esto permitiría cambiar contraseñas por la fuerza, dejando expuestos los datos de los usuarios [25].

Para concluir y dejando en claro que el principal objetivo de un ciberdelincuente es atacar al usuario o trabajador, pues es la manera más fácil de acceder a la información sensible de personas y empresas, se encontró que en muchos casos no es el error humano en sí, sino el mal diseño de procesos lo que hace que el error humano y las violaciones de seguridad sean inevitables [26]. Esto demuestra que también es responsabilidad de los procesos que estas vulnerabilidades existan.

Ahora bien, una buena práctica podría ser el uso de factores de autenticación o un constante monitoreo de la red, sin dejar de lado al trabajador, ya que ciertos comportamientos pueden generar hábitos que crean vulnerabilidades importantes para la empresa [26].

Se evidenció que el usuario o trabajador es la principal víctima de los ciberdelincuentes para afectar a las empresas, con una tendencia mayoritaria a emplear ataques de ingeniería social. Sin embargo, hacen falta más estudios sobre el resto de numerosos ataques y vulnerabilidades en el campo de la ciberseguridad.

¿Cómo se han implementado los encriptadores de datos en el sector real?

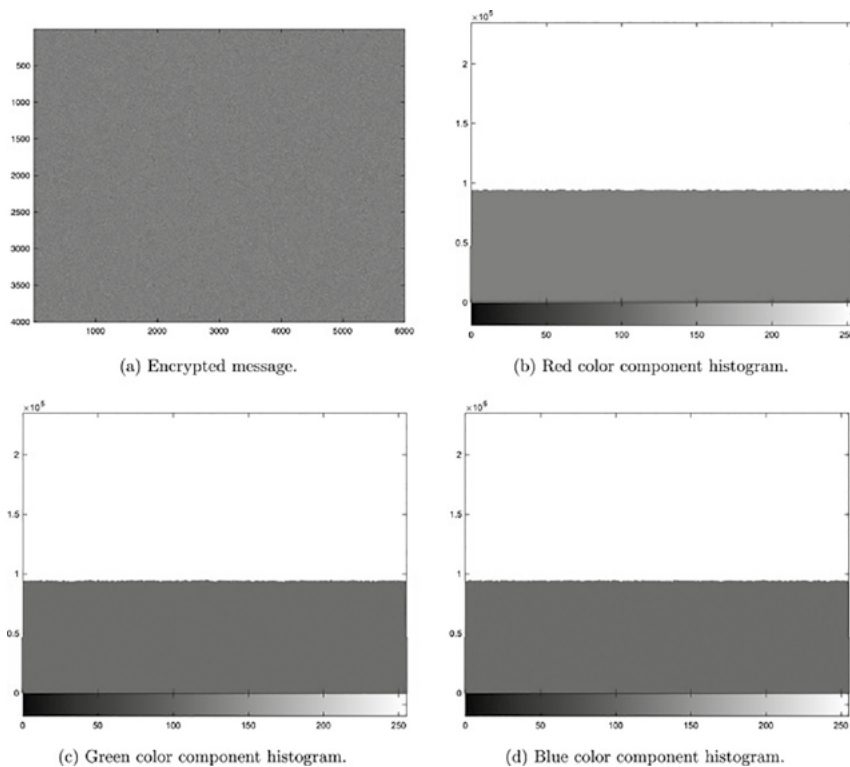
La implementación de encriptadores o cifradores de datos en el sector real ha incrementado en los últimos años aunque estas tecnologías o técnicas existen desde hace tiempo. Hay varios tipos de tecnologías de cifrado de datos, entre ellas los cifrados de enlaces y los cifrados de nodos. Estas dos tecnologías se usan en las herramientas denominadas encriptadores, y según la tecnología usan varios algoritmos para garantizar la seguridad de datos: Algoritmo DES (Data Encryption Standard), Algoritmo MD5 (Message-Digest Algorithm 5) y Algoritmo RSA (Rivest-Shamir-Adleman) [6].

Una de las técnicas implementadas en el sector es el cifrado de imágenes en color, presentado como una aplicación del método de sincronización. Este algoritmo permite descifrar datos sin pérdida, garantizando que solo usuarios autorizados puedan acceder a los datos originales, utilizando las teorías matemáticas del Derivado de Caputo y la Integral de Riemann-Liouville. De esta forma, la imagen se vuelve ilegible para terceros, pero al llegar al destinatario autorizado se recupera con todos sus detalles, preservando la seguridad de la información [27].

Figura 2. Mensaje



Nota: fuente O. Martínez-Fuentes et al. [27].

Figura 3. Mensaje encriptado

Nota: fuente O. Martínez-Fuentes et al. [27].

Figura 4. Mensaje descifrado

Nota: fuente O. Martínez-Fuentes et al. [27].

Actualmente, se utiliza un modelo de encriptación de imágenes diferente al anterior, de nombre: criptosistema híbrido (técnica de encriptación de módulos), que se basa principalmente en módulos S-box y PRN. Este sistema emplea un mecanismo de dos fases en una sola ronda sobre los datos de la imagen para generar su versión cifrada [28].

Ahora bien, al inicio se mencionaron algunos algoritmos utilizados en los cifrados; sin embargo, en el campo actual se usan otros, como el ANS, que consiste básicamente en comprimir los datos para agilizar su transporte. Este método presenta un bajo nivel de seguridad, lo cual se soluciona mediante el cifrado del flujo de bits comprimido. Sin embargo, requiere la implementación de dos algoritmos: uno para la compresión y otro para el cifrado [29].

De igual manera, se puede agregar otra mejora de seguridad para este protocolo: la Comp Crypt [29], que comprime y cifra los datos en un solo algoritmo, creando así un proceso más ágil [29].

Otro de los algoritmos de cifrado es el AES, un cifrado en bloques que divide los datos en diferentes secciones clave, posterior a su envío, para luego unirlos de una manera inversa y así proyectar el dato sin fallas [1].

En la actualidad, con la influencia de nuevas tecnologías como los sistemas de aprendizaje automático o *Machine Learning*, los cuales aprenden tareas específicas y manejan grandes volúmenes de información sensible, resulta crucial encriptar los datos en el momento en que son capturados por el programa, con el fin de evitar su robo [5].

Estas herramientas no se emplean exclusivamente en empresas de *software*. En el sector energético también se utilizan encriptadores para proteger las señales e información, y así prevenir ataques que puedan comprometer el suministro eléctrico [30].

El sector de la educación también está usando encriptadores para proteger los datos de los estudiantes y así garantizar su seguridad física y virtual, ya que en ellos puede haber información delicada no solo de los propios estudiantes, sino de sus familiares, lo cual representaría un robo con posibles implicaciones crecientes [31].

La encriptación de datos también está contribuyendo a impulsar empresas de manufacturación, ya que facilita su proceso de digitalización. Ofrece sugerencias efectivas para la transformación digital e introduce, en detalle, la arquitectura general y la estructura funcional del sistema de servicio. Al encriptar los datos del usuario y almacenarlos de forma segura para análisis, es posible ofrecer una experiencia personalizada a cada usuario de la empresa [31].

Así pues, se pudo evidenciar que los encriptadores de datos están cada vez más presentes en todos los sectores empresariales y pueden brindar una

gran seguridad en cualquier sector. No obstante la documentación e información al respecto sigue siendo muy limitada o meramente teórica.

¿Cuáles son las principales ventajas, desventajas y desafíos en el uso de encriptadores para garantizar la ciberseguridad en las empresas?

El uso de encriptadores en el ámbito empresarial brinda ventajas claras, como mayor protección de los datos y el cumplimiento de normativas. Sin embargo, su implementación puede resultar costosa y exige una gestión continua. Los organismos de normalización han comenzado a emitir directrices que exigen a las empresas adoptar medidas de seguridad acordes con los niveles requeridos para mitigar los altos riesgos asociados a ciberataques. Un ejemplo de ello es la norma ISO/SAE 21434 sobre ciberseguridad para vehículos de carretera [32].

El uso de sistemas de encriptación ligeros en la nube ofrece beneficios relevantes, al mejorar la seguridad de los datos mediante técnicas de cifrado optimizadas para dispositivos de baja potencia. Sin embargo, entre los desafíos destacan la gestión de claves y la necesidad de confiar en el proveedor de servicio lo que puede generar vulnerabilidades cuando los usuarios no controlan directamente la seguridad de su información [33].

Entre las ventajas del uso de encriptadores en entornos corporativos se encuentran la protección de información confidencial y la reducción de riesgos frente a accesos no autorizados, al transformar los datos en un formato ilegible sin las claves correspondientes. Para enfrentar los desafíos asociados a la protección, transmisión y control de la información, algunos autores [34] proponen un sistema de cifrado basado en atributos de política de texto cifrado (CP-ABE). Esta solución no solo asegura la integridad de los datos, sino que también previene accesos no autorizados, protege la información transferida entre dispositivos y refuerza la seguridad en redes corporativas.

Igualmente, se identifican desafíos adicionales, como la necesidad de implementar medidas de autenticación y autorización, así como la integración

de la encriptación con otros sistemas de seguridad, como los firewalls. En el futuro, se recomienda realizar análisis periódicos de vulnerabilidades y encriptar los datos de forma sistemática para facilitar la detección temprana de vulnerabilidades y proteger los datos incluso si estos terminan en manos equivocadas [35].

Los encriptadores, por tanto, son herramientas clave para garantizar la ciberseguridad empresarial, al ofrecer una protección de los datos y preservar la integridad de las comunicaciones sensibles. No obstante, entre sus desventajas se encuentra el mantenimiento de estos sistemas. Como medida preventiva, se aconseja escaneos periódicos de vulnerabilidades y el cifrado de datos [36].

Una ventaja destacada es la evolución constante de los cifradores. Los modelos actuales incorporan mejoras sustanciales. Un caso ilustrativo es el uso de técnicas que transforman las características del tráfico de red en imágenes alfa de cuatro canales, las cuales se analizan mediante el modelo de aprendizaje profundo ResNet50 para la clasificación. Este enfoque logró una precisión del 99.8%, en la detección, superando a los modelos tradicionales en dos conjuntos de datos públicos: UNSW-NB15 y BOUND DDoS [37].

Las compañías priorizan la protección de la integridad y la privacidad de los datos, especialmente en entornos compartidos como la nube, donde los mecanismos de cifrado sin certificados permiten realizar auditorías sin comprometer la identidad del usuario. En los últimos años, muchas aplicaciones en la nube han permitido a los usuarios trabajar de forma colaborativa con datos compartidos. Por lo tanto, la auditoría de información entre múltiples usuarios ha cobrado creciente relevancia [2].

Las empresas se encuentran en un proceso constante de actualización, y gracias a estándares de seguridad como la norma ISO 27001 o el Reglamento General de Protección de Datos (GDPR), logran adaptarse a un entorno en el que los ataques cibernéticos también evolucionan continuamente. Estos ataques son cada vez más complejos, multi-vectoriales y de rápida evolución, lo que provoca

graves interrupciones en los servicios críticos y compromete la continuidad operativa [4].

Sin embargo, también existen desventajas y desafíos, como la complejidad técnica y los costos asociados a la implementación de soluciones de cifrado avanzadas, así como la necesidad de cumplir con diversas normativas internacionales sobre ciberseguridad [38].

Si bien los métodos tradicionales, como el cifrado de datos, la seguridad del usuario y el uso de cortafuegos, se utilizan como medidas iniciales de protección, pero el uso de contraseñas débiles o las brechas en su gestión impiden evitar accesos no autorizados y comprometen la autenticación del usuario [39].

En síntesis, el uso de encriptadores en las empresas ofrece claras ventajas, especialmente en la protección de la integridad y la privacidad de los datos. Sin embargo, persisten desafíos técnicos y financieros en su implementación, como la gestión de claves y la dependencia de proveedores externos. Asimismo, se identifica un vacío en la literatura sobre el uso de cifradores en entornos corporativos, lo que revela la necesidad de más estudios en este campo.

VII. Conclusiones

A partir de esta revisión, se concluye que uno de los puntos más vulnerables las empresas es el factor humano, especialmente cuando los empleados trabajan de forma remota y carecen del conocimiento necesario para mitigar posibles ataques. A su vez, se evidencia que muchas organizaciones sólo toman medidas para reforzar su ciberseguridad después de haber sufrido incidentes, lo que conlleva fugas de información valiosa y pérdidas económicas significativas.

También se observa que la documentación disponible hasta ahora se ha centrado principalmente en el análisis de ataques ocurridos, descuidando el desarrollo de estrategias preventivas de mitigación. Esto representa una deficiencia importante en la literatura actual. Otras limitaciones detectadas

incluyen la escasa atención a enfoques preventivos, la baja inversión en programas de concienciación para los usuarios y la ausencia de soluciones criptográficas robustas ante amenazas emergentes, como los ataques cuánticos.

De igual forma, se concluye que el uso de cifradores de datos en el sector productivo real ha evolucionado significativamente para garantizar la protección de la información sensible frente a las amenazas cibernéticas. Empresas de sectores como energía, finanzas y salud, han adoptado algoritmos de cifrado avanzados como AES y RSA, para asegurar la integridad de sus transacciones y comunicaciones.

La ciberseguridad empresarial implica ventajas, desventajas y desafíos. Entre sus principales beneficios destaca la protección de datos y la integridad de las comunicaciones. La integración de sistemas de cifrado con otras soluciones de seguridad podría fortalecer de manera sustancial la postura defensiva de las organizaciones. En este sentido, los encriptadores desempeñan un papel fundamental en la protección de datos y en la reducción de riesgos frente a amenazas que puedan comprometer información importante y de gran valor.

Dado lo anterior, se recomienda que futuras investigaciones se orienten hacia el desarrollo de estrategias de seguridad proactivas, la implementación de metodologías de formación en ciberseguridad para los empleados y el estudio de nuevos algoritmos de cifrados resistentes a los avances de la computación cuántica.

VIII. Referencias

- [1] Y. He, N. Ye, y R. Zhang, "Analysis of data encryption algorithms for telecommunication network-computer network communication security", *Wirel. Commun. Mob. Comput.*, vol. 2021, n° 1, 2021. doi: 10.1155/2021/2295130.
- [2] H. Yan, Y. Liu, Z. Zhang, y Q. Wang, "Efficient privacy-preserving certificateless public auditing of data in cloud storage", *Secur. Commun. Netw.*, vol. 2021, n° 1, 2021. doi: 10.1155/2021/6639634.
- [3] Prensario Hub. 2023. [En línea] Disponible en: <https://www.prensariohub.com/colombia-entre-los-diez-paises-mas-atacados-por-ransomware/>
- [4] H. Mouratidis, S. Islam, A. Santos-Olmo, L. E. Sanchez, y U. M. Ismail, "Modelling language for cyber security incident handling for critical infrastructures", *Comput. Secur.*, vol. 128, 2023. doi: 10.1016/j.cose.2023.103139.
- [5] S. Z. El Mestari, G. Lenzini, y H. Demirci, "Preserving data privacy in machine learning systems", *Comput. Secur.*, vol. 137, 2024. doi: 10.1016/j.cose.2023.103605.
- [6] L. Ding, Z. Wang, X. Wang, y D. Wu, "Security information transmission algorithms for IoT based on cloud computing", *Comput. Commun.*, vol. 155, pp. 32–39, 2020. doi: 10.1016/j.comcom.2020.03.010.
- [7] L. Ablon y A. Bogart, "Zero Days, Thousands of Nights", RAND, 2017. [En línea]. Disponible en: https://www.rand.org/pubs/research_reports/RR1751.html.
- [8] Fortinet, "¿Qué es un ataque DDoS? Significado, definición y tipos", Fortinet. [En línea]. Disponible en: <https://www.fortinet.com/lat/resources/cyberglossary/ddos-attack#:~:text=Ataque%20DDoS%20significa%20%22Ataque%20de,y%20sitios%20en%20línea%20conectados.> [Accedido: 21-sep-2024].
- [9] US Cybersecurity Institute, "Understanding Denial of Service (DoS) Attacks and Effective Prevention Strategies", 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.uscsinstitute.org/cybersecurity-insights/resources/understanding-denial-of-service-dos-attacks-and-effective-prevention-strategies.> [Accedido: 22-sep-2024].

- [10] PowerData, "GDPR: Lo que debes saber sobre el reglamento general de protección de datos", PowerData. [En línea]. Disponible en: <https://www.powerdata.es/gdpr-proteccion-datos>. [Accedido: 22-sep-2024].
- [11] CompTIA, "What is social engineering?", CompTIA. [En línea]. Disponible en: <https://www.comptia.org/content/articles/what-is-social-engineering>. [Accedido: 20-sep-2024].
- [12] Global Suite Solutions, "¿Qué es la norma ISO 27001 y para qué sirve?", Global Suite Solutions. [En línea]. Disponible en: <https://www.globalsuitsolutions.com/es/que-es-la-norma-iso-27001-y-para-que-sirve/>. [Accedido: 23-sep-2024].
- [13] California Institute of Technology, "What is Machine Learning?", [En línea]. Disponible en: <https://pg-p.ctme.caltech.edu/blog/ai-ml/what-is-machine-learning>. [Accedido: 22-sep-2024].
- [14] M. Kosinski, "¿Qué es el phishing?", IBM, 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.ibm.com/es-es/topics/phishing>. [Accedido: 22-sep-2024].
- [15] Cloud Security Alliance, "What is Ransomware", 2021. [En línea]. Disponible en: <https://cloudsecurityalliance.org/blog/2021/11/28/what-is-ransomware>. [Accedido: 22-sep-2024].
- [16] "UNSW-NB15", Papers with Code. [En línea]. Disponible en: <https://paperswithcode.com/dataset/unswnb15#:~:text=UNSW%20NB15%20is%20a%20network,dataset%20contains%20raw%20network%20packets>. [Accedido: 22-sep-2024].
- [17] F. I. Arroyabe, C. F. A. Arranz, M. F. Arroyabe y J. C. Fernandez de Arroyabe, "Cybersecurity capabilities and cyber-attacks as drivers of investment in cybersecurity systems: A UK survey for 2018 and 2019", *Comput. Secur.*, vol. 124, 2023, doi: 10.1016/j.cose.2022.102954.
- [18] N. Marshall, D. Sturman, y J. C. Auton, "Exploring the evidence for email phishing training: A scoping review", *Comput. Secur.*, vol. 139, 2024, doi: 10.1016/j.cose.2023.103695.
- [19] A. Nagurney y S. A. Shukla, "Multifirm models of cybersecurity investment competition vs. cooperation and network vulnerability", *Eur. J. Oper. Res.*, vol. 260, n° 2, pp. 588–600, 2017. doi: 10.1016/j.ejor.2016.12.034.
- [20] M. F. A. Shaikh y M. Siponen, "Information security risk assessments following cybersecurity breaches: The mediating role of top management attention to cybersecurity", *Comput. Secur.*, vol. 124, 2023. doi: 10.1016/j.cose.2022.102974.
- [21] S. Vrhovec, I. Bernik, y B. Markelj, "Explaining information seeking intentions: Insights from a Slovenian social engineering awareness campaign", *Comput. Secur.*, vol. 125, 2023. doi: 10.1016/j.cose.2022.103038.
- [22] K. Khando, S. Gao, S. M. Islam, y A. Salman, "Enhancing employees information security awareness in private and public organisations: A systematic literature review", *Comput. Secur.*, vol. 106, 2021. doi: 10.1016/j.cose.2021.102267.
- [23] M. Mirtsch, K. Blind, C. Koch, y G. Dudek, "Information security management in ICT and non-ICT sector companies: A preventive innovation perspective", *Comput. Secur.*, vol. 109, 2021, doi: 10.1016/j.cose.2021.102383.
- [24] C. M. Patterson, J. R. C. Nurse, y V. N. L. Franqueira, "'I don't think we're there yet': The practices and challenges of organisational learning from cyber security incidents", *Comput. Secur.*, vol. 139, 2024, doi: 10.1016/j.cose.2023.103699.

- [25] G. Kim, S. Kang, U. Hur, y J. Kim, "A study on vulnerability of the WICKR login system in windows from a live forensics perspective", *Comput. Secur.*, vol. 139, 2024. doi: 10.1016/j.cose.2023.103672.
- [26] K. Mersinas, M. Bada, y S. Furnell, "Cybersecurity behavior change: A conceptualization of ethical principles for behavioral interventions", *Comput. Secur.*, vol. 148, 2025. doi: 10.1016/j.cose.2024.104025.
- [27] O. Martínez-Fuentes, J. J. Montesinos-García, y J. F. Gómez-Aguilar, "Generalized synchronization of commensurate fractional-order chaotic systems: Applications in secure information transmission", *Digit. Signal Process.*, vol. 126, 2022. doi: 10.1016/j.dsp.2022.103494.
- [28] M. I. Haider, T. Shah, A. Ali, D. Shah, y I. Khalid, "An innovative approach towards image encryption by using novel PRNs and S-boxes modeling techniques", *Math. Comput. Simul.*, vol. 209, pp. 153–168, 2023. doi: 10.1016/j.matcom.2023.01.036.
- [29] S. Camtepe et al., "Compcrypt-Lightweight ANS-Based Compression and Encryption", *IEEE Trans. Inf. Forensics Secur.*, vol. 16, pp. 3859–3873, 2021. doi: 10.1109/TIFS.2021.3096026.
- [30] C. Jost, M. Näslund, J. Mattson, y B. Smeets, "Cryptography in an all encrypted world", *Ericsson Technol. Rev.*, vol. 92, n° 10, pp. 1–14, 2015.
- [31] Y. Lin, "Digital transformation path for manufacturing enterprises using Internet of Things and data encryption technology", *Sci. Program.*, vol. 2022, 2022, doi: 10.1155/2022/6862999.
- [32] I. O. for Standardization, ISO/SAE 21434: 2021: Road Vehicles: Cybersecurity Engineering, ISO, 2021.
- [33] S. Mohammed et al., "A new lightweight data security system for data security in the cloud computing", *Meas. Sensors*, vol. 29, 2023. doi: 10.1016/j.measen.2023.100856.
- [34] P. K. Kumar, B. R. Prathap, M. M. Thiruthuvanathan, H. Murthy, y V. J. Pillai, "Secure approach to sharing digitized medical data in a cloud environment", *Data Sci. Manag.*, vol. 7, n° 2, pp. 108–118, 2024. doi: 10.1016/j.dsm.2023.12.001.
- [35] T. Kaarlela, T. Niemi, T. Pitkääho, y J. Harjula, "Retrofitting enables sustainability, Industry 4.0 connectivity, and improved usability", *Adv. Ind. Manuf. Eng.*, vol. 9, 2024. doi: 10.1016/j.aime.2024.100146.
- [36] A. Chidukwani, S. Zander, y P. Koutsakis, "Cybersecurity preparedness of small-to-medium businesses: A Western Australia study with broader implications", *Comput. Secur.*, vol. 145, 2024, doi: 10.1016/j.cose.2024.104026.
- [37] Y. Yan, Y. Yang, F. Shen, M. Gao, y Y. Gu, "GDE model: A variable intrusion detection model for few-shot attack", *J. King Saud Univ. Comput. Inf. Sci.*, vol. 35, n° 10, 2023. doi: 10.1016/j.jksuci.2023.101796.
- [38] A. Mishra, Y. I. Alzoubi, M. J. Anwar, y A. Q. Gill, "Attributes impacting cybersecurity policy development: An evidence from seven nations", *Comput. Secur.*, vol. 120, 2022. doi: 10.1016/j.cose.2022.102820.
- [39] H. Dalmaz, E. Erdal, y H. M. Ünver, "A new hybrid approach using GWO and MFO algorithms to detect network attack", *CMES - Comput. Model. Eng. Sci.*, vol. 136, n° 2, pp. 1277–1314, 2023. doi: 10.32604/cmcs.2023.025212.





Evaluación de las propiedades fisicoquímicas de los efluentes de Mozambique Sugar Company

Evaluation of the Physicochemical Properties of Effluents from Mozambique Sugar Company

Antonio Casañas¹, Nicolau Chirinza², Paulino Muguirrima³, Federico León Zerpa⁴, Carlos Mendieta⁵

Tipo de Artículo: investigación.

Recibido: 23/04/2024. **Aprobado:** 13/11/2024. **Publicado:** 12/12/2024

Resumen: Las aguas residuales de las industrias azucareras presentan características complejas y su tratamiento constituye un desafío para los ingenieros ambientales, especialmente en lo referente a su reutilización. El principal objetivo de este estudio es determinar las características fisicoquímicas de las aguas residuales generadas por la Açucareira de Moçambique. La elección de esta industria se justifica por los altos volúmenes de agua que utiliza en sus procesos productivos (alrededor de 900

m³/h), así como por la necesidad de adoptar un modelo adecuado de gestión de efluentes. Para ello, se recolectaron muestras durante un periodo de seis meses, con una frecuencia bimensual, y se analizaron parámetros físicos y químicos. Los resultados obtenidos se compararon con los valores establecidos en el Decreto n° 18/2004, vigente en Mozambique, y con las estimaciones del Banco Mundial reportadas en diversos artículos científicos. Debido a estos resultados, fue posible confirmar

¹ Autor correspondiente: Antonio Casañas. Mayor título: Máster en Ingeniería Industrial. Filiación institucional: Universidad de las Palmas de Gran Canaria. País: España, Ciudad: Palmas de Gran Canaria. Correo electrónico: tonicasanas@hotmail.com.

² Autor correspondiente: Nicolau Chirinza. Mayor título: Ingeniero de Procesos. Filiación institucional: Universidad Zambeze. País: Mozambique, Ciudad: Beira. Correo electrónico: nicolau.chirinza101@alu.ulpgc.es. ORCID: 0009-0006-2260-1802

³ Autor correspondiente: Paulino Muguirrima. Mayor título: Ingeniero Físico. Filiación institucional: Universidad Zambeze. País: Mozambique, Ciudad: Beira. Correo electrónico: paulino.muguirrima101@alu.ulpgc.es. ORCID: 0000-0002-7253-3477

⁴ Autor correspondiente: Federico León Zerpa. Mayor título: Ingeniero Industrial. Filiación institucional: Universidad de las Palmas de Gran Canaria. País: España, Ciudad: Palmas de Gran Canaria. Correo electrónico: federico.leon@ulpgc.es. ORCID: 0000-0003-2284-8400

⁵ Autor correspondiente: Carlos Mendieta Pino. Mayor título: Ingeniero Industrial. Filiación institucional: Universidad de las Palmas de Gran Canaria. País: España, Ciudad: Palmas de Gran Canaria. Correo electrónico: carlos.mendiet@ulpgc.es. ORCID: 0000-0002-1808-0112

el método más adecuado para estos efluentes de manera ambientalmente más sostenible.

Palabras clave: gestión ambiental; industria azucarera; aguas residuales; sistemas de tratamiento.

Abstract: Wastewater from the sugar industry has complex characteristics and is considered a challenge for environmental engineers in their search for treatment and reuse. The main objective of this study is to determine the physic-chemical characteristics of the wastewater from the Mozambique Sugar Plant. The choice is due to the large volumes of water (around 900 m³ /h) that the sugar industry uses in its production processes, as well as the effluent management model that must be adopted. For this study, samples were taken over a six-month period, every two months, and physical and chemical parameters were analyzed. The results were compared with the regulations (Decree 18/2004) in use in Mozambique and the values estimated by the World Bank in the various articles. With the results obtained, it was possible to suggest the best method for treating these effluents in a more environmentally friendly way.

Keywords: Environmental management; sugar industries; wastewater; treatment systems.

I. Introduction

Wastewater from the sugar industry contains various compounds and needs to be treated chemically or biologically before being discharged into water bodies. The efficient reuse of wastewater produced by sugar industries is a point to be considered nowadays, with the aim of making the processes sustainable. Thus, interest in evaluating the characteristics of the effluents generated in the sugar industry has grown both in the fields of applied research and in finding the best technological treatment alternative to meet the final destination of the effluent or the reuse of the water [1].

Wastewater from the food industry contains a high level of chemical and organic compounds, and in some cases can be up to 10 times higher than

municipal wastewater. The discharge of effluents with a high load of organic compounds can create serious environmental problems. This is why, before these effluents are discharged into the environment, they must be cleaned first and properly [2,3,4,5]. Many studies report that large quantities of pollutants in sugar industry wastewater, most notably biochemical oxygen demand (BOD), chemical oxygen demand (COD) and total dissolved solids (TDS) are always above the recommended environmental discharge standards [1,2,3].

The sugar industry is basically seasonal in nature and only operates for 150 to 210 days a year (November to May) [4]. A significantly large volume of waste is generated during sugar manufacture and contains a large amount of pollutant load, especially in terms of suspended solids, organic matter and pressed sludge, bagasse and atmospheric pollutants. Various chemicals are used in the sugar industry mainly for coagulating impurities and refining end products. Ca(OH)₂ is used to clarify and increase the pH of juices. A small amount of H₃ PO₄ is added before refining to improve clarification [1]. We are interested in the understanding of the characteristics of the effluents from Açucareira de Moçambique and the conditions in which they are discharged into the environment, with a view to finding more appropriate and sustainable measures.

In environmental engineering and more specifically in effluent treatment technologies, the concentration of organic matter in the effluent is measured using two main analytical parameters, biochemical oxygen demand (BOD) and chemical oxygen demand (COD). BOD shows the amount of oxygen required to stabilise carbonaceous organic matter through biochemical processes, indirectly indicating the amount of biodegradable organic carbon, while COD measures the consumption of oxygen due to the chemical oxidation of organic matter, indirectly measuring the content of organic matter present [9, 10].

The choice of treatment technologies for any effluent depends on the COD/BOD ratio, according to studies [13]. Thus, according to him: low COD/BOD ratio (<2.5): the biodegradable fraction is high, and

the use of biological treatment is recommended. Intermediate COD/BOD ratio (from 2.5 to 4.0): the biodegradable fraction is not high, and it is recommended to carry out treatability tests to validate the use of biological treatment. Biological treatment refers to secondary level treatment [10,12]. High COD/BOD ratio (>4.0): the inert (non-biodegradable) fraction present in the effluent is high, it is not recommended to use a biological system, and the potential for using a chemical treatment system should be assessed. Low COD/BOD ratio (4.0): the inert (non-biodegradable) fraction present in the effluent is high, the use of a biological system is not recommended, and the potential for using a chemical treatment system should be evaluated [11, 13, 14].

To analyse biodegradability, a minimum BOD:N:P ratio of 100:5:1 is used for aerobic processes and a COD:N:P ratio of at least 350:7:1 for anaerobic processes, as suggested by [13]. Some authors, such as those mentioned in Table 1, have carried out studies in the sugar industry and show some characteristic results. The table shows that, in general, most of the results for the treatment of industrial effluents are in the range of primary and secondary treatments [11, 12, 13]. The main objective of this study is to determine the physico-chemical characteristics of the wastewater from the Mozambique Sugar Plant.

Table 1. Effluent parameter values from some authors

Parameters	[1]	[8]	[11]
Temperature(C)	40	29.3-44.3	24.3
pH	5.5	6.7-8.4	4.0
BOD (mg/l)	970	654.4-1968.5	431.9
COD (mg/l)	3682	1100.3-2148.9	1536.8
Conductivity ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	2230	540.3-925.9	534
Phosphate (mg/l)	5.9	1-19	15
Nitrogen (mg/l)		11.9-40.6	30

Note: self-made source.

II. Materials and Methods

The Mozambique Sugar Factory (Mafambisse) is a sugar industry located in the district of Dondo, south of the city of Beira, 1 kilometer from National Road 6 (EN6). The sugar plant has been run by the company Tongaat Hulett since 1996. Tongaat Hulett is a South African company that operates in the sugar business in several South African countries: Mozambique, Botswana, South Africa, Swaziland, Zimbabwe and Namibia. Normally, the sugar industry is made up of two productive sectors: the agricultural sector, i.e. the cane field, and the processing sector (Factory) [14-19].

In Mozambique, Tongaat Hulett has factories in Xinavane, Maputo province, and in the administrative post of Mafambisse, Dondo district, Sofala province, with the mission of promoting services and products derived from sugar cane, seeking customer satisfaction and the development of the country, while always caring for and protecting the environment [6,7].

However, they use a large volume of water, ranging from $[900\text{m}^3 \text{ to } 1000\text{m}^3]/\text{hour}$ extracted from the River Púngue to cool machines, bearings, mills, boilers and in some cases even in the Process area and other activities that use water and even for human consumption.

Figure 1. Localization of sugar cane factory in mafambisse



Note: Google Earth source.

Materials

The sugarcane transformation process is highly complex, generating significant quantities of wastewater comprising liquid and solid discharges from the processing, handling, and transformation of sugarcane. These discharges result from cooling, heating, extraction and reaction processes, as well as the washing of by-products and the control of other rejected specification by-products. The quantities and qualities of these discharges are highly variable. As the water passes through the chambers and tanks from extraction to sugar crystallization, its pollutant load in terms of organic matter and various pollutants increases significantly. Approximately 75% of the total volume of effluents discharged by sugar cane industries is due to sugar cane washing, which also includes washing water from tanks containing processing residues. On the other hand, the defibration and milling processes, which aim to extract the juice, result in solid waste: bagasse, which is made up of fibre [8].

Methods

All the effluent samples were collected and analyzed on the same day, according to the methodology described in Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (23rd Edition.2017) [20, 24]. For these analyses, the samples were collected in 500 ml Pet bottles using a hand-made collector. After collection, the bottles with the samples were duly identified and transported in an insulated box to the Microbiology and Biochemistry laboratories of the Department of Industrial Process Engineering at Zambezi University for analyses. The collection process was carried out throughout the study period of 6 months, at intervals of every 2 months, in the sections of the pumps (total effluent from the factory), boiler outlet and total effluent from the workshops. As shown in figure 2 below.

Figure 2. Photo of effluent samples taken from workshops, pumps and boilers



Note: author source.

Table 2. Physico-Chemical Parameters of the sugar plantation

Parameters	Pump	Boilers	Oficinas	Decree 18/2004
Temperature (O C)	45	50	40	< =24
pH	6.34	8.13	6.96	6-9
Hardness (mg/l)	240.63	490.20	177.13	
Alkalinity (mg/l)	187.00	215.00	138.33	
Chlorides (ml/g)	105.60	172.63	81.43	
TDS (mg/l)	1392.00	1174.67	1137.00	
TSS (mg/l)	17.33	25.67	22.00	50
Turbidity (NTU)	9.15	11.16	15.03	
BOD(m/l)	731.67	628.00	675.00	50
COD(m/l)	1048.67	991.33	1351.00	250
Conductivity (S/cm)	2.49	1.96	7.83	
Phosphate (mg/l)	11.91	16.22	16.23	2
Nitrogen (mg/l)	14.11	10.58	11.39	10

Note: self-made source.

III. Results

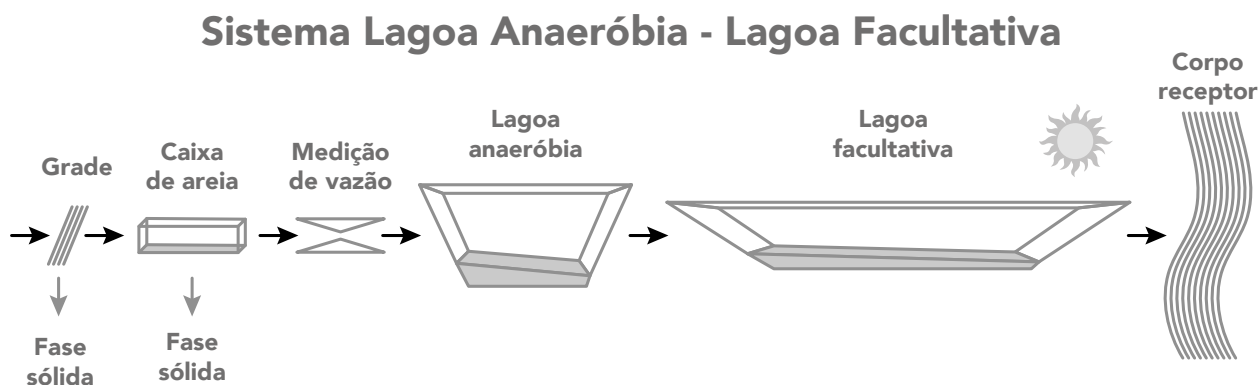
The physicochemical properties of the wastewater from the sugar industry studied are well above the limit values of the legislation in use (Decree 18/2004), although some values are not used in the document [25, 27]. Thus, according to the data obtained and the volumes of effluent generated (900-1000 m³ /h), it would be best to use aerobic lagoons, because with a residence time of more than 120 hours or up to 7 days, the temperature is guaranteed to be reduced to ambient values and aerobic processes are allowed to occur, which could reduce the contaminant load, according to references [12,13]. The results of the COD/BOD ratio for the present study in the different study areas range from 1.48 to 2.0, respectively for the pump, boiler, and workshop sectors. This technology will be ana-

lysed in detail using technical parameters such as effluent flow and the area available for disposal and final treatment.

Proposed Representation

The study of the physical and chemical parameters of the effluents from the Mozambican sugar mill showed that the pH value was within the standards established by the regulation on environmental quality standards and effluent emissions for the sugar industry (Decree 18/2004). In this study, the ratio ranged from 1.4 to 2.0, well below the established limits, which indicates the high biodegradability of the effluent load. The suggested technology is therefore biological treatment.

Figure 3. Flowchart of an anaerobic lagoon system followed by facultative lagoons



Note: Adapted source J. M. Lima Brito [28].

IV. Discussion

The analysed effluent treatment system consists of a pre-treatment consisting of screens, a grease separator, followed by the actual treatment by means of stabilisation ponds.

In the stabilisation ponds the effluent load is gradually degraded until it is discharged into rivers in an environmentally friendly manner.

V. Conclusions

The study of the physical and chemical parameters of the effluents from the Mozambican sugar mill showed that the pH value was within the standards established by the regulation on environmental quality standards and effluent emissions for the sugar industry (Decree 18/2004).

According to Mozambican legislation, the COD/BOD ratio is 5. In this study, the ratio ranged from 1.4 to 2.0, well below the established limits, which indicates the high biodegradability of the effluent load. The suggested technology is therefore biological treatment.

VI. References

- [1] K. Pradeep, S. Omprakash, "Quality and management of wastewater in sugar industry", *Water Sci.* Vol. 7, pp. 461-468, 2014.
- [2] A. Marszalek and E. Puszczalo, "Effect of Photooxidation on nanofiltration membrane fouling during wastewater treatment from the confectionary Industry", *Water*, vol. 12, n° 3, 793, 2020. doi: 3390/w12030793/
- [3] S. i. Abou-Elela, F. A. Nasr, S. A. El-Shafai, "Wastewater management in small- and medium-size enterprises: Case studies", *Environmental Systems and Decisions*, vol 28, PP. 289-296, 2008. doi: 10.1007/s10669-007-9142-4
- [4] H. Ozgun, N. Karagul, R. K. Dereli, M. E. Ersahin, T. Coskuner, D. I. Ciftci, I. Ozturk, M. Altinbas, "Confectionery industry: a case study on treatability-based effluent characterisation and treatment system performance", *Water Sci. Technol.* Vol. 66, pp. 15-20, 2012. doi: 10.2166/wst.2012.094.
- [5] O.P. Sahu, P. K. Chaudhari, "Electrochemical treatment of sugar industry wastewater: COD and colour removal", *Journal of Electroanalytical. Chem.*, vol. 739, pp. 122-129, 2015.
- [6] A. F. D. Yotamo, "Energy Balance of Boilers and Steam Lines", *Monograph*, 2009.
- [7] E.C. Marques, "Efficient Steam Generation from Bagasse", *Internship Report*, 2014.
- [8] A. Nouhou Moussa, B. Sawadogo, Y. Konate, S. Sadio Sidibe y M. Heran, "Critical State of the Art of Sugarcane Industry Wastewater Treatment Technologies and Perspectives for Sustainability", *Membranes* vol. 13, 709, 2023. doi: /10.3390/membranes13080709.
- [9] J. de Andrade, K. M. Diniz, "Environmental Impacts of the Sugarcane Agroindustry: subsidies for Management", *Piracicaba*, 2007.
- [10] N. Silva Batista, A. Aguiar, "Study of physico-chemical parameters and their correlations for dairy effluents in the state of Minas Gerais", XXII Latin American Scientific Initiation Meeting, XVIII Latin American Postgraduate Meeting and VIII Teaching Initiation Meeting, University of Vale do Paraíba, 2018.
- [11] D. Apoorva, B. Chandrashekar, "Treatment of Sugar Industry Wastewater by Adsorption method", *International Research Journal of Modernisation in Engineering Technology and Science*, vol. 4, n° 8, 2022.
- [12] P. Muguirrima, N. Chirinza, S. Grande, C. Mendieta Pino, F. León Zerpa, S. Pérez, A. R. Martín, "Tratamiento de efluentes domésticos mediante métodos biofiltro sostenibles, X Jornadas Iberoamericanas de Innovación Educativa en el ámbito de las TIC y las TAC, Las Palmas de Gran Canaria, pp. 159-165, 2023.
- [13] M. P. Matos, "Effect of Binomial Time-Temperature of sample Incubation on Biochemical Oxygen Demand Diffusion of wastewater", *Master's dissertation*, Federal University of Viçosa, Minas Gerais 2012.
- [14] D. K. Amenorfenyo et al., "Microalgae brewery wastewater treatment: potentials, benefits and the challenges," *Int Journal Environ. Res. Public. Health*, vol. 16, n° 11, 2019. doi: 10.3390/ijerph16111910.

- [15] Z. Luo, D. Xu, Y. Ma, and Q. Cheng, "Experimental study on co-firing of coal and brewery wastewater sludge", *Applied Sciences* (Switzerland), vol. 10, n° 21, pp. 1-11, 2020. doi: 10.3390/app10217589.
- [16] M. Vítězová, A. Kohoutová, T. Vítěz, N. Hanišáková, and I. Kushkevych, "Methanogenic microorganisms in industrial wastewater anaerobic treatment", *Processes*, vol. 8, n° 12, pp. 1-27, 2020. doi: 10.3390/pr8121546.
- [17] K. P. Shabangu, B. F. Bakare, and J. K. Bwapwa, "The Treatment Effect of Chemical Coagulation Process in South African Brewery Wastewater: Comparison of Polyamine and Aluminum-Chlorohydrate coagulants", *Water*, vol. 14, n° 16, 2022, doi: 10.3390/w14162495.
- [18] A. Karlović, A. Jurić, N. Ćorić, K. Habschied, V. Krstanović, y K. Mastanjević, "By-products in the malting and brewing industries-re-usage possibilities", *Fermentation*, vol. 6, n° 3, 2020. doi: 10.3390/FERMENTATION6030082.
- [19] P. Thanekar y P. Gogate, "Application of hydrodynamic cavitation reactors for treatment of wastewater containing organic pollutants: Intensification using hybrid approaches", *Fluids*, vol. 3, n° 4, 2018. doi: 10.3390/fluids3040098.
- [20] S. M. Khumalo, B. F. Bakare, S. Rathilal, and E. K. Tetteh, "Characterisation of South African Brewery Wastewater: Oxidation-Reduction Potential Variation", *Water*, vol. 14, n° 10, 2022. doi: 10.3390/w14101604.
- [21] G. Salbitani and S. Carfagna, "Ammonium utilisation in microalgae: A sustainable method for wastewater treatment", *Sustainability*, vol. 13, n° 2, pp. 1-17, 2021. doi: 10.3390/su13020956.
- [22] A. Chakraborty, A. Pal, y B. B. Saha, "A Critical Review of the Removal of Radionuclides from Wastewater Employing Activated Carbon as an Adsorbent", *Materials*, vol. 15, n° 24, 2022. doi: 10.3390/ma15248818.
- [23] C. A. Mendieta-Pino, T. Garcia-Ramirez, A. Ramos-Martin, and S. O. Perez-Baez, "Experience of Application of Natural Treatment Systems for Wastewater (NTSW) in Livestock Farms in Canary Islands", *Water Journal*, vol. 14, n° 14, 2022. doi: 10.3390/w14142279.
- [24] S. M. Khumalo, B. F. Bakare, S. Rathilal y E. K. Tetteh, "Characterisation of South African Brewery Wastewater: Oxidation-Reduction Potential Variation", *Water*, vol. 14, n° 10, 2022, doi: 10.3390/w14101604.
- [25] A. G. Rao, T. S. K. Reddy, S. S. Prakash, J. Vanajakshi, J. Joseph, and P. N. Sarma, "pH regulation of alkaline wastewater with carbon dioxide: A case study of treatment of brewery wastewater in UASB reactor coupled with absorber," *Bioresour Technol*, vol. 98, n° 11, pp. 2131-2136, 2007, doi: 10.1016/j.biortech.2006.08.011.
- [26] F. Younas et al., "Current and emerging adsorbent technologies for wastewater treatment: Trends, limitations, and environmental implications", *Water*, vol. 13, n° 2, 2021. doi: 10.3390/w13020215.
- [27] G. G. Santonja, P. Karlis, K. R. Stubdrup, and T. Brinkmann, "Best Available Techniques (BAT) Reference Document for the Food, Drink and Milk Industries", 2010.
- [28] J. M. Lima Brito, "Tratamento biológico de Efluentes industriais", *Uberlandia*, 2017.



Tipografía: Avenir
Materiales: propalcote 300 g y bond 90 g.

Impreso por: Papeles Pa' Ya
Carrera 69k # 71-23 (oficina 302), Bogotá, Colombia
Teléfono: +57 317 435 8309
E-mail: papeles.paya.sas@gmail.com
Bogotá, Colombia

Sello Editorial TdeA
Tecnológico de Antioquia - Institución Universitaria
Dirección de Investigación - Facultad de Ingeniería
Calle 78B No. 72-220. Medellín - Colombia, Suramérica.
www.tdea.edu.co
2024

1. Estudio del uso potencial, como coagulante para tratamientos de agua potable, del extracto de semilla de Moringa Oleífera
2. Contribución de las energías renovables a la disminución de los gases efecto invernadero: una revisión de la literatura
3. Entrevistas guiadas para la optimización de procesos judiciales: un enfoque desde el *LegalTech*
4. *Machine Learning* aplicado a la predicción de pacientes en EPS: una revisión de literatura
5. Aplicación de la ingeniería de sistemas en la búsqueda y adopción de mascotas: una revisión de literatura
6. Evaluación de la calidad fisicoquímica y microbiológica del agua lluvia para los potenciales usos domésticos. Caso de estudio: Institución Universitaria Colegio Mayor de Antioquia
7. Microencapsulación de aceite esencial de romero por liofilización
8. Ciberseguridad aplicada a la gestión de datos en empresas de bienes y servicios: una revisión de literatura
9. Evaluación de las propiedades fisicoquímicas de los efluentes de Mozambique Sugar Company

Cuaderno

Activa

• REVISTA CIENTÍFICA DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA •