



CAMPUS

Revista Campus
Lima, Perú
V- XXIX
Nº 38 / PP. 217 - 436
julio-diciembre 2024
ISSN: 1812-6049

usmp.edu.pe/campus



USMP
UNIVERSIDAD DE
SAN MARTÍN DE PORRES

Facultad de
Ingeniería y
Arquitectura



| | |
|------------------------------|------------------------------------|
| Rector | José Antonio Chang Escobedo |
| Vicerrector Académico | Raúl Eduardo Bao García |
| Decano | Luis Cárdenas Lucero |
| Editor | Luis Celi Saavedra |

CAMPUS

Revista de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura



| | |
|------------------------------|------------------------------------|
| Rector | José Antonio Chang Escobedo |
| Vicerrector Académico | Raúl Eduardo Bao García |
| Decano | Luis Cárdenas Lucero |
| Editor | Luis Celi Saavedra |

CAMPUS

Revista de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura

| Campus | Lima, Perú | V. XXIX | No. 38 | PP. 217-436 | julio-diciembre | 2024 | ISSN (impreso): 1812-6049 | ISSN (en línea): 2523-1820 |



Dirección electrónica:
<http://usmp.edu.pe>

DIRECTOR DE LA REVISTA CAMPUS
Luis Celi Saavedra
Universidad de San Martín de Porres, Perú

EDITORA GENERAL
Rosalvina Campos Pérez
Universidad Nacional Federico Villarreal, Perú

EDITOR ASOCIADO
Danilo Manzani
Universidad de Sao Paulo, Brasil

CONSEJO EDITORIAL

Perla Velasco-Elizondo
Universidad Autónoma de Zacatecas, México

Carlos Vázquez Rivas
Universidad de Puerto Rico, Recinto de Río Piedras,
Puerto Rico

George Argota Pérez
Universidad de La Habana, Cuba

Humberto Cervantes Maceda
Universidad Autónoma Metropolitana, México

Luis Castro Careaga
Universidad Autónoma Metropolitana, México

Nils Murrugarra Llerena
University of Pittsburgh, Estados Unidos

Luis Hernán García Paucar
Aston University, Inglaterra

Maritza Catalina Condori Bustamante
Universidad de Sao Paulo, Sao Paulo, Brasil

John Tredinnick-Rowe
University of Plymouth-United Kingdom

Martín Moisés Soto Córdova
Universidad de Ciencias y Humanidades, Perú

Carlos Andrés Mugruza Vasallo
Universidad Nacional Tecnológica de Lima Sur, Perú

Luis Carrasco Venegas
Universidad Nacional del Callao, Perú

Raquel Rosario Caro Zaldívar
Universidad Nacional Federico Villarreal, Perú

Luz Castañeda Pérez
Universidad Nacional Federico Villarreal, Perú

José Alberto Iannacone Oliver
Universidad Ricardo Palma, Perú

Andrés Ramos Salas
Universidad de San Martín de Porres, Perú

Gladys Irma Charca Ramos
Universidad Tecnológica del Perú, Perú

Norma León Lescano
Universidad de San Martín de Porres, Perú

Alexander Gorina Sánchez
Universidad de Oriente, Cuba

TECNOLOGÍA INFORMÁTICA
Milagros Quispe Rodríguez

TRADUCCIÓN
Julio Herrera Campos

Periodicidad: 2 números al año

Correspondencia y solicitudes: Av. La Fontana 1250- Urbanización Santa Patricia-La Molina -Lima 12
Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad de San Martín de Porres, Lima, Perú
Teléfono: 511- 208600 anexo 1146 Correo: revistacampus@usmp.pe
Hecho el depósito legal en la Biblioteca Nacional del Perú N° 2016-02094

Editado por: Facultad de Ingeniería y Arquitectura. Av. La Fontana 1250- Urbanización Santa Patricia-La Molina
-Lima 12

CAMPUS

Contenido

- Mejora de la calidad de agua para consumo humano mediante la implementación de filtros bioarena y filtros lentos de arena intermitentes 227
JULIO ALEXANDER LÓPEZ GARCÍA
LIA RAMOS FERNÁNDEZ
JOSELITO JERSIN ROBLES SILVESTRE
ANDRE JUAREZ CASTRO
HENRY JUAREZ SOTO
- Exégesis crítica en la aplicación blockchain en la seguridad de la información en diversos sectores..... 253
DOMINICK REVILLA
DIEGO RODRÍGUEZ
ALBERTO MENDOZA DE LOS SANTOS
- Efectos tóxicos agudos y crónicos de hidrocarburos en mamíferos 269
GENESIS SALAZAR
MAYRA PISCONTE
EMELY CONDORI
MILAGROS HUAMANÍ
JIMENA MORALES
MARÍA FERNANDA BARDALES
KIMBERLY ÑAHUIN
LUCERO HUAMANÍ
JOSÉ IANNAZONE
- Técnicas de protección contra malware impulsadas por IA en entorno móviles.. 297
GIOVANI SALCEDO QUISPE
LEONARDO SACRAMENTO BENITES
ALBERTO MENDOZA DE LOS SANTOS
- Software de inteligencia artificial para detectar microsueños en conductores.... 311
RUSO ALEXANDER MORALES GONZALES
JOSÉ ANTONIO GUZMÁN VALDIVIA
JOSÉ ALFREDO HERRERA QUISPE
- Comparación de rendimiento de ejecución de tareas en distintos sistemas operativos:
una revisión sistemática 337
CHRISTIAN MANUEL RODRÍGUEZ CHILET
MANUEL ALONSO CARRANZA AVELLANEDA
ADRIAN OLULO VERAMENDI
IVÁN CARLO PETRLIK AZABACHE
- Ingeniería Agroindustrial desde la capacidad de innovación organizacional y la competitividad empresarial 361
EDWIN GONZALO MONTÁNCHEZ PICARDO
- Creación de contenido en TikTok para la preservación del medioambiente 371
VIOLETA LEONOR ROMERO CARRIÓN
JULIÁN CCASANI ALLENDE
CÉSAR AUGUSTO RIVADENEYRA RIVAS
EVELYN ZAVALA ZAVALA
- Predicción del rendimiento productivo de cuyes mediante el uso de fitobióticos 385
MANUEL AUGUSTO TIMANA SANDOVAL
GLADYS GALLEGOS CAMACHO
JUAN CARLOS SOSA VELARDE
SILY ALEX SOBRADO CLAUDIO
ENRIQUE RAÚL ADAMA ROJAS
MARILYN AURORA BUENDÍA MOLINA
- Tecnología de naturación vertical y su efecto en el confort térmico en edificaciones comerciales de Lima..... 395
FREDY PORFIRIO CONDORI HUAMÁN
- Predicción del desempeño del motor diésel usando estrategias de regresión en machine learning 407
CÉSAR ELÍAS MENDOZA-SUÁREZ
MARGARITA CHEVARRIA MOSCOSO
- Desarrollo y aplicación de un software para el análisis energético de una planta de harina y aceite de pescado 421
LUIS ENRIQUE ZANABRIA ALAN
GIANCARLO VALVERDE PADILLA

Mejora de la calidad de agua para consumo humano mediante la implementación de filtros bioarena y filtros lentos de arena intermitentes

Improving the quality of water for human consumption through the implementation of biosand filters and intermittent slow sand filters

Recibido: noviembre 13 de 2024 | Revisado: noviembre 29 de 2024 | Aceptado: diciembre 10 de 2024

JULIO ALEXANDER LÓPEZ GARCÍA¹
LIA RAMOS FERNÁNDEZ¹
JOSELITO JERSIN ROBLES SILVESTRE¹
ANDRE JUAREZ CASTRO¹
HENRY JUAREZ SOTO²

RESUMEN

La calidad del agua para consumo humano es sumamente importante, y su acceso es un desafío fundamental, especialmente en zonas con fuentes de agua contaminadas. Este estudio evaluó la eficiencia de remoción de patógenos mediante implementación de Filtros Bioarena (FBA) en las aguas provenientes del río Rímac, para mejorar su calidad. En las comunidades (115 usuarios) Los Girasoles y Los Frutales, se instalaron aleatoriamente 13 FBA y dos filtros lento de arena intermitente (FLAI), este sistema de tratamiento de agua domiciliario operó continuamente durante 113 días, donde se aplicó encuestas a los 30 participantes antes y después de la instalación de los FBA, evaluando aspectos relacionados al consumo de agua y alimentos, tales como prácticas de toma de agua, uso responsable del agua, higiene, compra de alimentos y exposición a contaminación. Los resultados mostraron que, durante los periodos de mayor turbiedad del agua (avenidas), el caudal de los filtros disminuyó, pero los FBA lograron una eficiencia del 99%, mientras que los FLAI demostraron mayor estabilidad en los parámetros de calidad del agua. Esto los hace adecuados para aplicaciones comunitarias de grandes volúmenes de agua y uso de tecnologías como herramientas de salud pública, considerando que la granulometría del material filtrante es crucial para retención de patógenos, y que la capa biológica actúa como barrera efectiva para eliminación de microorganismos, contribuyendo a la obtención de agua purificada.

Palabras clave: Calidad del agua; Filtro bioarena (FBA); Patógenos; Tratamiento de agua; salud Pública

ABSTRACT

The quality of water for human consumption is extremely important, and its access is a fundamental challenge, especially in areas with contaminated water sources. This study evaluated the efficiency of pathogen removal through the implementation of Biosand Filters (FBA) in the waters from the Rimac River, to improve its quality. In the communities (115 users) Los Girasoles and Los Frutales, 13 FBA and two slow intermittent sand filters (FLAI) were randomly installed, this home water treatment system operated continuously for 113 days, where surveys were applied to the 30 participants. before and after the installation of the FBA, evaluating aspects related to water

- 1 Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima - Perú
- 2 Escuela de Posgrado. Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima - Perú

Autor de correspondencia:
lopezgarciajulioalexander@gmail.com

© Los autores. Este artículo es publicado por la Revista Campus de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad de San Martín de Porres. Este artículo se distribuye en los términos de la Licencia Creative Commons Atribución No-Comercial – Compartir-Igual 4.0 Internacional (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>), que permite el uso no comercial, distribución y reproducción en cualquier medio siempre que la obra original sea debidamente citada. Para uso comercial contactar a: revistacampus@usmp.pe.

https:

and food consumption, such as water drinking practices, responsible use of water, hygiene, food purchase and exposure to contamination. The results showed that, during periods of greater water turbidity (flushes), the flow rate of the filters decreased, but the FBA achieved an efficiency of 99%, while the FLAI demonstrated greater stability in the water quality parameters. This makes them suitable for community applications of large volumes of water and use of technologies as public health tools, considering that the granulometry of the filter material is crucial for pathogen retention, and that the biological layer acts as an effective barrier for the elimination of microorganisms. contributing to obtaining purified water.

Keywords: Water quality; BioSand Filter (BSF); Pathogens; Water treatment; Public health

Introducción

Han transcurrido siglos desde que se identificó por primera vez que el agua contaminada era portadora de infección y transmisora de enfermedades. Hasta ahora la calidad del agua potable es un problema crítico a nivel mundial, especialmente, en los países de bajos recursos, donde el acceso a fuentes de agua segura es limitado (Salazar-Ceballos & Alvarez-Miño, 2020). Actualmente, más de 2 mil millones de personas tienen acceso únicamente a agua contaminada con materia fecal (Gebrewahd *et al.*, 2020; Parsa *et al.*, 2021; McHiouer *et al.*, 2022). Además, 785 millones de personas carecen de servicios básicos de saneamiento (KayilaJames, 2019; Da Silva & Frazão, 2020), de las cuales 579 millones dependen de agua superficial sin tratamiento o de pozos subterráneos sin protección (OMS, 2019; Khaustov *et al.*, 2020; HarknessJennifer & Jurgens, 2022; Job, 2022).

La exposición a patógenos presentes en el agua ha sido reconocida por autoridades gubernamentales a nivel global como un problema de salud pública significativo (Landrigan *et al.*, 2020). Los

patógenos, definidos como organismos que causan enfermedades (Constantinides *et al.*, 2020), incrementan el riesgo de enfermedades gastrointestinales (Ugwu & Ofomatah, 2022; Shokoohi *et al.*, 2022; Luvhimbi *et al.*, 2022; Musa *et al.*, 2022; Gwenzi *et al.*, 2023).

En América Latina, se ha reportado que comunidades en países como Perú, Bolivia, Chile, México y El Salvador consumen agua de ríos y pozos con concentraciones de patógenos superiores a los niveles permitidos (Mukul *et al.*, 2020; Miller *et al.*, 2022; Musazadeh *et al.*, 2022; Tang *et al.*, 2022; Vázquez Salgado *et al.*, 2022). Aunque algunos de estos países han implementado soluciones que han mitigado parcial o totalmente el problema (Yeh *et al.*, 2021), persisten retos significativos. En Perú, los estudios sobre la calidad del agua se han centrado principalmente en la evaluación de coliformes comunes y bacterias como *Citrobacter* y *Escherichia coli* (Buccheri *et al.*, 2019). Sin embargo, es probable que haya una población de otros patógenos potenciales que no ha sido suficientemente estudiada. En años recientes, se han realizado avances significativos en el estudio de métodos

para eliminar patógenos del agua y asegurar un suministro más saludable para las poblaciones afectadas, tanto rurales como urbanas (Castro de Esperanza, 2006; Sun *et al.*, 2022; Singh *et al.*, 2022; Nematollahi *et al.*, 2022).

Los patógenos están naturalmente presentes en grandes cantidades en cuerpos de agua, lo que representa una amenaza significativa para la salud humana (Caraco & Turner, 2018). La contaminación de fuentes de agua, tanto subterráneas como superficiales, sigue siendo un problema crítico (Shehzad *et al.*, 2018; Stevens, 2020), y puede entrar en la cadena alimentaria, provocando enfermedades a través del consumo de productos contaminados como verduras (Mandal & Suzuki, 2002; van Lieverloo *et al.*, 2021; Bechtel & Gibbons, 2021).

En el caso del río Rímac, la principal fuente de agua potable para el área metropolitana de Lima, la contaminación por actividades industriales, mineras y recreativas ha incrementado los niveles de patógenos en el agua, afectando a las poblaciones que dependen de ella (Castrezana Campos, 2017; Chen *et al.*, 2021; Sarkar, 2022; Yin *et al.*, 2022; Zhao & Dong, 2023). La contaminación también afecta a quienes utilizan el agua para higiene y otras actividades diarias (Pacharres, 2019; Musa *et al.*, 2022; Luvhimbi *et al.*, 2022). La Autoridad Nacional del Agua (ANA) ha identificado más de 700 fuentes de contaminantes en el río Rímac (ANA, 2019), incluyendo descargas de aguas residuales industriales y urbanas, lo que propicia la proliferación de bacterias potencialmente patógenas como *Escherichia coli* y *Salmonella typhi*, asociadas a enfermedades diarreicas (Bautista *et al.*, 2018).

En respuesta a estos desafíos, tecnologías de tratamiento de agua, como los filtros Bioarena (FBA) y los Filtros Lentos de Arena Intermitente (FLAI), se presentan como alternativas viables para mejorar la calidad del agua en comunidades rurales y periurbanas que aún dependen de ríos contaminados (Wong *et al.*, 2021; Azmil Arif *et al.*, 2022). Los FBA y FLAI operan a nivel comunitario, combinando procesos biológicos, mediante la formación de una capa biológica en la superficie de la arena (Qian *et al.*, 2022), con procesos físico-químicos que ocurren durante la filtración a través de arena fina (CAWST, 2012; Jadhav *et al.*, 2015; Rajan & Prem, 2018; Wang *et al.*, 2022). Estas tecnologías representan una solución accesible y efectiva para abordar los problemas de calidad del agua en áreas con acceso limitado a infraestructuras de tratamiento convencionales.

Método

El filtro bioarena (FBA)

Estructura

El Filtro Bioarena (FBA) fue construido siguiendo las especificaciones del manual de CAWST (2012), utilizando materiales de PVC de 3/8 de sección transversal para la tubería, y un recipiente de concreto de 94 cm de altura con una base cuadrada de 30.5 cm de lado. Los materiales para el medio filtrante, como grava y arena, se adquirieron en tiendas de materiales agregados locales y se sometieron a un proceso de tamizado para obtener las granulometrías requeridas. La configuración del medio filtrante consta de varias capas de grava y arena, organizadas de la siguiente manera: la primera capa de grava tiene un tamaño mayor a 12 mm;

la segunda capa de grava, de menos de 12 mm; la tercera capa de grava, de menos de 6 mm; la cuarta capa, de grava con un tamaño de 1 mm; y la capa final de arena fina, con un tamaño de 0.07 mm. Cada capa de grava tiene un espesor de 5 cm, mientras que la capa de arena tiene un espesor de 45.5 cm, con un tamaño efectivo de partícula (d_{10}) de 0.2 mm y un coeficiente de uniformidad (UC) de 1.7 mm. Para evitar la formación de bolsas de aire durante el proceso de montaje, se humedecieron los dos primeros medios de drenaje con agua limpia.

Se incorporó una capa difusora de material acrílico con perforaciones de $\frac{3}{4}$ de pulgada, diseñada para permitir el paso del agua de manera uniforme y controlada, evitando la alteración de la superficie de la arena durante la filtración. La capacidad del espacio disponible para el filtrado en el FBA es de 15 litros.

Filtración y prueba de caudal

Para controlar el tiempo total de filtración, inicialmente, se cargó el filtro con 15 litros de agua limpia de pozo, libre de sedimentos. Se midió el volumen de agua filtrada a través de la salida del filtro utilizando un tubo de ensayo, registrando el volumen de salida por minuto. El caudal promedio observado fue de 550 mililitros por minuto.

La prueba de caudal se llevó a cabo para caracterizar el patrón de flujo del filtro, siguiendo la metodología descrita por Terin *et al.* (2021).

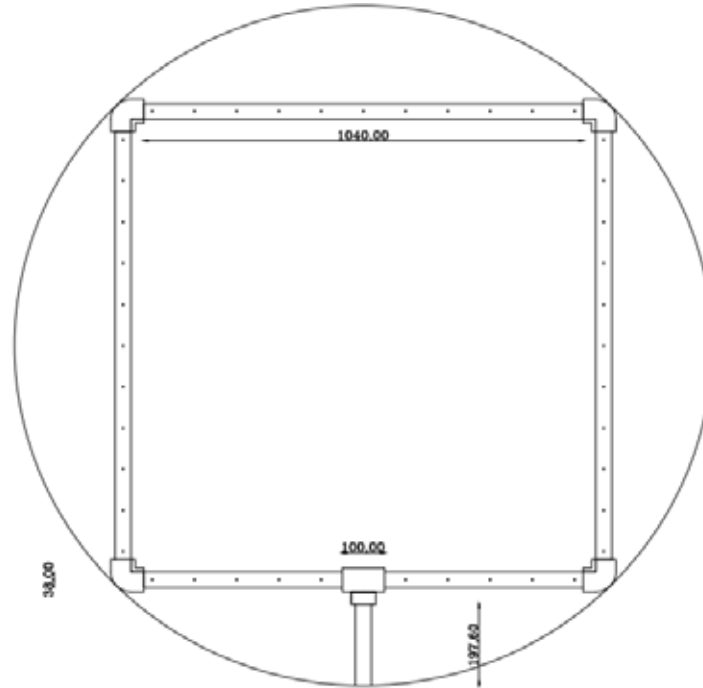
Filtro lento de arena intermitente (FLAI)

Estructura

El sistema FLAI requiere una estructura robusta y de gran tamaño que soporte, adecuadamente, sus componentes. Esta estructura consta de tres secciones principales: una losa de concreto a nivel del suelo, una segunda losa situada a 45 cm de altura para asegurar un flujo óptimo del filtrado, y una base de apoyo con plataformas que sostienen los tanques y filtros. El grosor y los refuerzos de la losa deben ser calculados en función de las condiciones específicas del suelo donde se instalará el sistema. Se recomienda que la losa tenga una leve inclinación (1-2%) para facilitar el drenaje del agua, manteniendo la zona circundante seca y limpia. En suelos, con problemas de drenaje, puede ser necesario implementar un resumidero o un canal de escurrimiento (CAWST, 2012).

El sistema de tuberías de drenaje recoge el agua filtrada del fondo del tanque de filtración y la dirige al tanque de almacenamiento. Es fundamental prevenir que partículas de arena fina ingresen a la tubería, ya que podrían obstruirla. Para ello, la tubería perforada se sitúa cerca del fondo, por debajo de una capa de grava gruesa de 10 cm. Además, se debe garantizar que haya una capa de grava fina de 5 a 7 cm sobre la tubería para evitar obstrucciones. Los orificios de la tubería, de 3 mm de diámetro, deben estar espaciados a intervalos de 5 cm. En total, se recomienda perforar entre 50 y 75 orificios en el sistema.

Figura 1
Tubería de drenaje del tanque de filtración (FLAI)



Configuraciones operativas

Funcionamiento del sistema

El sistema de tratamiento de agua domiciliario operó de manera continua durante un periodo de 113 días, comprendido entre el 8 de junio y el 22 de mayo de 2022. Al finalizar la operación, el agua tratada y desinfectada fue almacenada en el reservorio final con el objetivo de monitorear el crecimiento microbiano a lo largo de un ciclo diario de evaluación.

Mantenimiento

La acumulación de partículas y el desarrollo de la capa biológica disminuyeron la tasa de filtración del FBA. Se procedió a realizar el mantenimiento cuando la tasa de producción cayó por debajo de 0.5 L/min. El proceso de mantenimiento incluyó la remoción

de la capa superior de arena fina, la cual fue enjuagada con agua limpia de pozo. Adicionalmente, se limpiaron los primeros centímetros de la capa de arena, removiéndolos cuidadosamente y añadiendo agua de pozo hasta que el agua superficial se observó clara, indicando la limpieza adecuada del medio filtrante.

Toma de muestras y análisis

Se recolectaron y analizaron muestras de agua sin tratar del río Rímac, utilizado para abastecer la central hidroeléctrica Moyopampa y posteriormente canalizado para el suministro de la población de San Antonio de Pedregal. Además, se recolectaron muestras de agua pretratada, filtrada y desinfectada. El análisis de las muestras se realizó en horas de la mañana durante los días de semana, conforme a los protocolos establecidos (APHA, 2012).

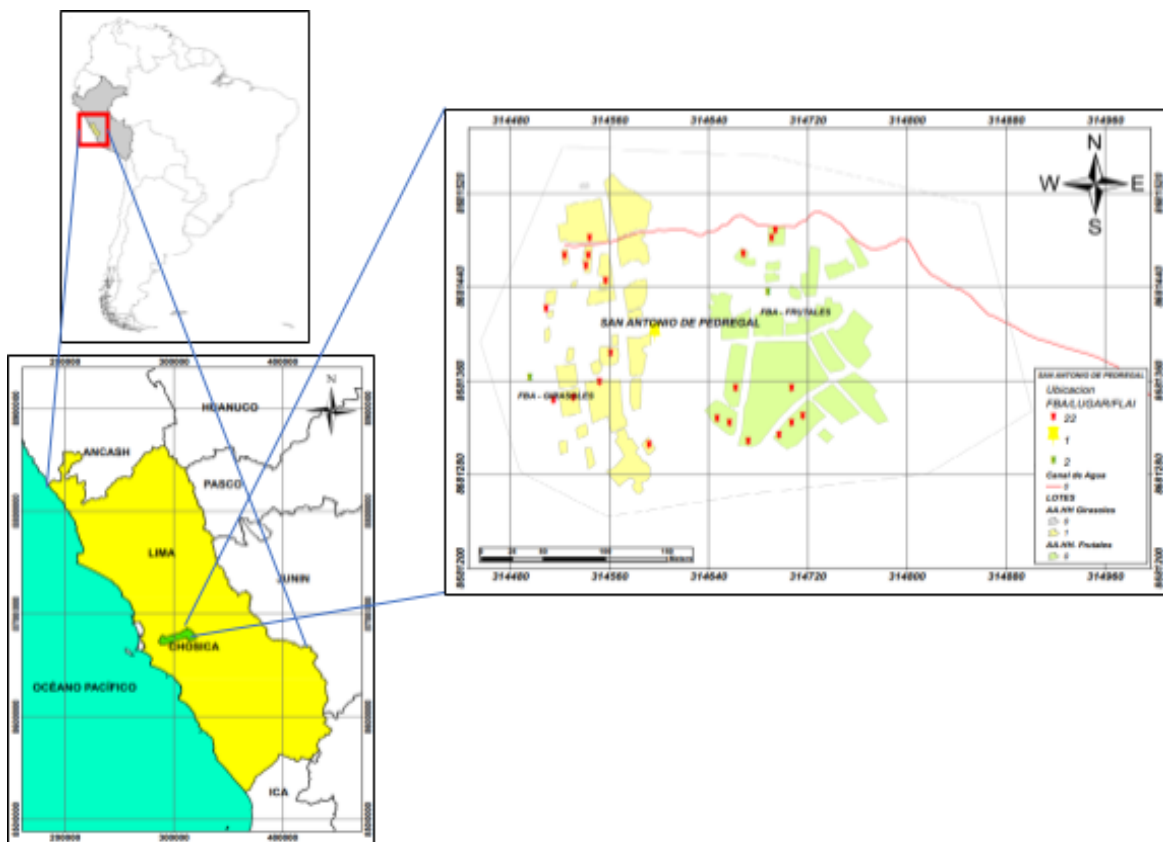
El estudio

El estudio se llevó a cabo en la comunidad de San Antonio de Pedregal II Zona, ubicada en Lurigancho – Chosica, a 36.5 kilómetros de la Carretera Central, aproximadamente a una hora y media de la ciudad de Lima. La comunidad se

encuentra en la margen izquierda del río Rímac, en la vertiente occidental de la cordillera de los Andes, entre las quebradas Pahua, al este, y Chucumayo, a una latitud de $11^{\circ}55'25.56''$ S y una longitud de $76^{\circ}42'6.62''$ O, a una altitud de 604 metros sobre el nivel del mar.

Figura 2

Mapa físico. Ubicación de los filtros instalados en San Antonio de Pedregal II Zona del distrito Lurigancho-Chosica



San Antonio de Pedregal II Zona, cuenta con un total de 115 lotes, distribuidos en dos Comités de Base, con una población aproximada de 460 habitantes. Durante el periodo de noviembre a marzo, la precipitación de lluvias provoca que el agua destinada al consumo llegue a los hogares con altos niveles de sedimentos. Como respuesta a esta problemática, se instalaron 30 biofiltros, distribuidos aleatoriamente en

las dos comunidades de Los Girasoles y Los Frutales, con 15 biofiltros en cada una. Además, se implementó un filtro lento de arena intermitente (FLAI) en cada comunidad a nivel general. Estas comunidades se abastecen de agua a través de un canal que proviene de la Hidroeléctrica Moyopampa.

Durante las asambleas comunitarias, se solicitó el permiso de

las directivas y los pobladores de ambas comunidades para la implementación de los filtros. Esta colaboración permitió la instalación de los FBAs y los FLAIs en coordinación con las autoridades locales. La construcción de los filtros y su instalación fueron apoyadas mediante faenas, es decir, trabajo comunal. Al finalizar la instalación, se procedió a medir el caudal de salida de cada filtro para asegurar su correcta operación.

Descripción de la encuesta de línea de base

Entre mayo y junio de 2022, se llevó a cabo una encuesta en las comunidades de Los Girasoles y Los Frutales, con el objetivo de recopilar los datos necesarios para evaluar la aceptación del filtro como parte de la línea de base del programa AGUSAN, encargado de la investigación sobre la calidad y mejora del agua en comunidades. El programa estableció que las encuestas se centraran en aspectos prioritarios como la salud de los habitantes y la presencia de contaminantes en el agua, especialmente, en aquellas zonas donde la pobreza y la contaminación por agentes patógenos son prevalentes. Los resultados del estudio revelaron que los residentes están expuestos a un entorno y consumo de agua contaminada con patógenos que afectan su salud, particularmente, la de los niños. Además, se constató que las condiciones sanitarias de la comunidad no cumplen con los niveles adecuados.

Descripción de los parámetros de calidad de agua para pH, CE, caudal

El pH es un indicador fundamental para determinar si una sustancia es ácida, neutra o básica, y está relacionado con la concentración de iones de hidrógeno, un

parámetro crucial tanto para la calidad de las aguas naturales como residuales (Wan Nafi & Taseidifar, 2022; Singh & Noori, 2022). Aunque el pH no ejerce efectos directos sobre los consumidores, es un parámetro esencial para evaluar la calidad del agua. Para que la desinfección con cloro sea eficaz, el pH del agua debe ser inferior a 8; valores superiores a 11 pueden causar irritación ocular y agravar trastornos cutáneos. La medición del pH se realiza in situ, para evitar alteraciones en los equilibrios iónicos que podrían ocurrir durante el transporte o por un almacenamiento prolongado en recipientes, lo que modificaría los resultados en laboratorio (Navarro *et al.*, 2013).

La conductividad eléctrica (CE) es otro parámetro importante. El agua pura tiene una baja conductividad, por lo que la medición de la conductividad permite estimar la cantidad de sólidos disueltos. La CE indica la presencia de sales en el agua, lo que aumenta su capacidad para transmitir corriente eléctrica, una propiedad que se utiliza en mediciones tanto de campo como de laboratorio, expresándose en microSiemens por litro ($\mu\text{S/l}$) (Tibebe *et al.*, 2022; Nguyen & Huynh, 2022).

El caudal se refiere al volumen de agua que pasa por una superficie en un tiempo determinado. Para medir el caudal de filtración por minuto, se registró el tiempo desde que comenzó el vertido del agua, tomando muestras a intervalos de un minuto. El caudal de filtración puede variar debido a la naturaleza artesanal de los filtros, fabricados con materiales locales y elaborados, en algunos casos, de forma manual.

Resultados y Discusión

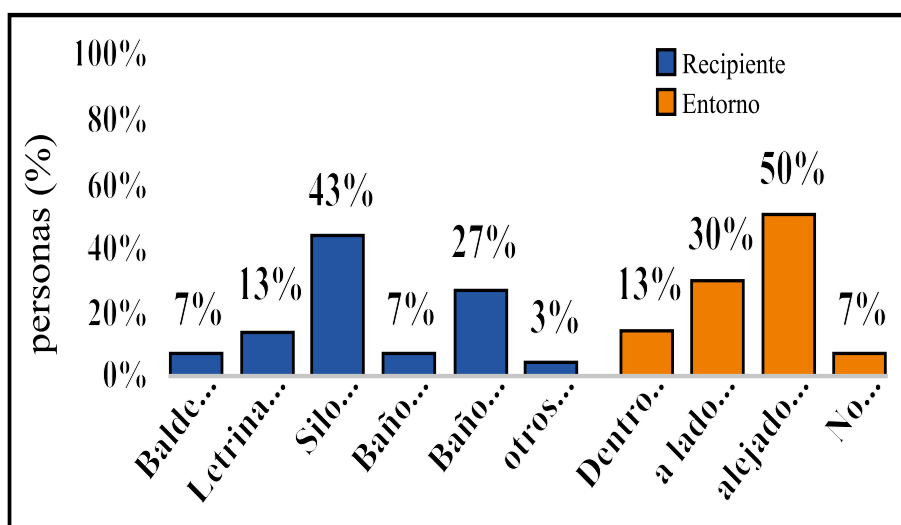
Situación ambiental en la comunidad San Antonio de Pedregal II¹

La encuesta inicial realizada a los pobladores permitió identificar los principales problemas ambientales en la comunidad. Los problemas más destacados incluyen la quema de basura, la falta de un lugar adecuado para el acopio de residuos sólidos, y la contaminación de los ríos Rímac y Santa Eulalia (aguas arriba), donde se vierten residuos y aguas grises que eventualmente llegan a las fuentes de agua consumidas por la comunidad. Este hallazgo evidencia la existencia de fuentes de contaminación significativas en la zona.

De los 30 encuestados, divididos en partes iguales entre las comunidades de 'Los Girasoles' y 'Los Frutales', el 43% señaló que utilizan silos para sus necesidades, mientras que el 50% indicó que las realizan en áreas alejadas de sus viviendas (Figura 3). En muchos casos, los silos están construidos cerca de las riberas de los ríos, lo que genera problemas de contaminación, como la emisión de malos olores y la proliferación de roedores, afectando la salud de la población. Estos factores también contribuyen a conflictos sociales debido a las quejas recurrentes por las plagas que invaden las viviendas y, en ocasiones, los depósitos de agua.

Figura 3

Porcentaje de familias que indican el lugar donde realizan sus necesidades fisiológicas



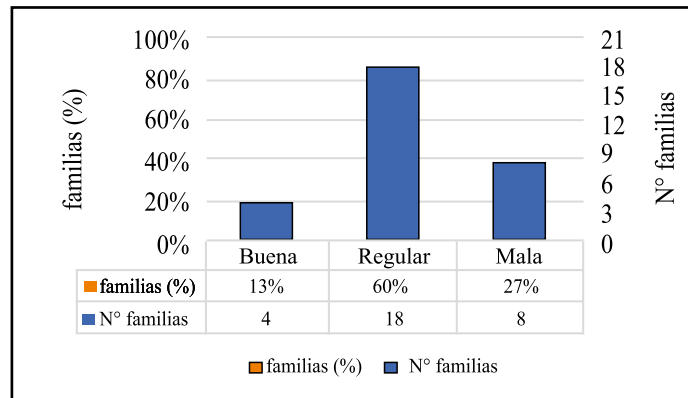
La información obtenida a través de la encuesta sobre la calidad del agua en la zona de estudio reveló que el 60% de los habitantes considera que el agua que consumen es de calidad regular, mientras que un 27% la califica como de mala calidad, no apta para el consumo. Solo el 13% de los encuestados afirmó que el

agua es de buena calidad (Figura 4).

Un factor clave identificado por el 77% de las familias para la contaminación del agua es la presencia recurrente de relaves mineros, lo que contribuye significativamente a la degradación de su calidad.

Figura 4

Porcentaje de pobladores en percepción de la calidad del agua y fuentes de contaminación en la zona de estudio



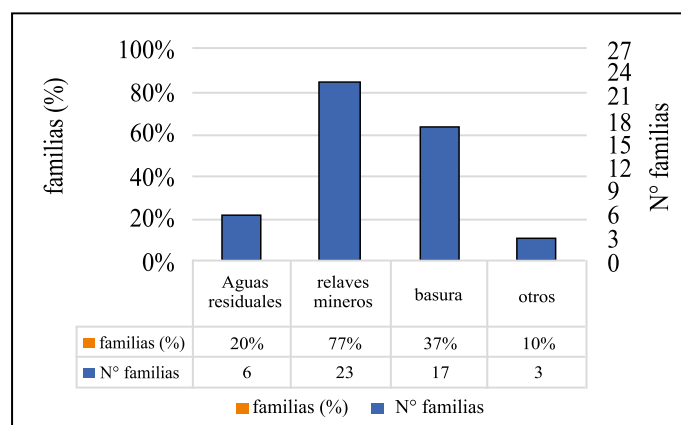
La contaminación por residuos sólidos es señalada por el 57% de las familias, mientras que el 20% atribuye la contaminación a aguas residuales (Figura 5). Ante esta situación, los habitantes han implementado medidas adicionales para el tratamiento y protección de sus fuentes hídricas, como el almacenamiento en recipientes sellados antes de su uso. Además, la población reporta que los contaminantes, como los coliformes termotolerantes, contribuyen

a enfermedades gastrointestinales, lo que ha generado preocupación y demanda de acciones preventivas.

- El agua que se presenta en temporadas de lluvia es de un color marrón.
- El agua que se consume no es apta para consumo de la persona.
- El agua que se toma proviene de un canal que está expuesto a todo tipo de contaminantes.

Figura 5

Porcentaje de familias manifiesta la fuente de contaminación en la zona de estudio



En la Figura 6(a), se observa que el 93% de las familias encuestadas obtiene su agua del canal proveniente del desvío de la toma de la hidroeléctrica Moyopampa, mientras que solo un 3%

opta por comprar agua embotellada o, en ocasiones, del camión cisterna.

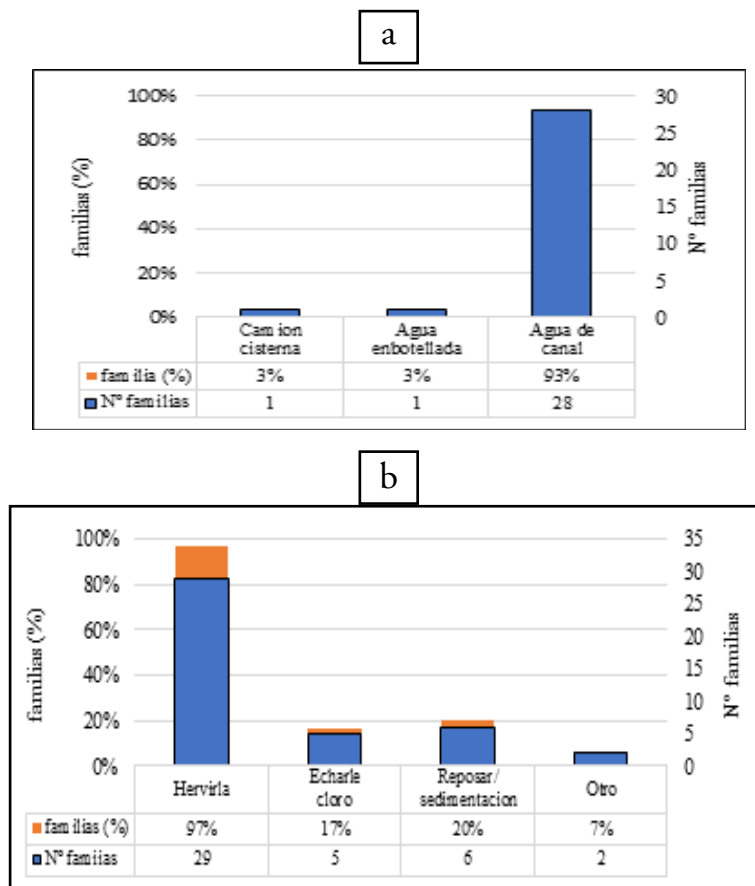
En la Figura 6(b), se detalla que, del agua consumida del canal, el 97%

de las familias prefiere hervirla como método para eliminar microorganismos. Adicionalmente, el 20% reporta que, en momentos en que el agua llega con gran cantidad de sedimentos, prefieren dejarla

reposar en un recipiente durante 10 a 15 minutos antes de usarla. Asimismo, un 17% de las familias emplea cloro para eliminar patógenos del agua.

Figura 6

(a) Porcentaje de familias de los medios que adquiere el agua, (b) porcentaje de familias que eliminan microorganismos del agua



Encuesta de aceptación de la tecnología

Los resultados de las encuestas muestran que el 100% de las familias encuestadas manifiesta estar satisfecho con el agua tratada mediante el biofiltro de arena (FBA). Indican que no han experimentado ningún tipo de inconveniente. Consideran que este método es útil y práctico para purificar el agua en su entorno.

De las 30 familias encuestadas,

todas afirmaron que la calidad del agua filtrada a través del FBA es superior a la del agua proveniente del canal que habitualmente consumen. Describen mejoras como: ‘...el sabor es mejor, no hay insectos ni sedimentos, no tiene tierra, ya no se forma sarro en las ollas, el agua es más cristalina, más clara, más fría, se puede consumir directamente del filtro y sabe como agua hervida...’.

Asimismo, el 90% de los encuestados percibe una mejora en la

salud de su familia: ‘...antes, por la prisa, tomaba agua cruda de los tanques de almacenamiento y me daba cólicos, pero ahora ya no tengo problemas estomacales. A los niños les daba diarrea, antes iban al baño hasta tres veces al día y ahora no, se sienten mejor sin diarrea, tienen un estómago más sano. Ahora los niños beben el agua directamente y no les hace daño, e incluso mis alimentos han mejorado...’”.

Calidad del agua de consumo humano en la comunidad de San Antonio de Pedregal II

Los datos de la Tabla 1 presentan los resultados del análisis del agua

recolectada en la zona de estudio. Cabe destacar que el primer conjunto de resultados corresponde al análisis previo al suministro de agua al biofiltro de arena (FBA). Se observa que el 46.15% de los beneficiarios aplica un tratamiento previo antes de ingresar el agua al reservorio del filtro, por lo que no se encontraron contaminantes en esta etapa. Sin embargo, el 53.85% de la población consume agua que no cumple con los estándares establecidos en el Reglamento de Calidad de Agua para Consumo Humano (D.S. 091-SA-2010), aprobado en 2010 por el Ministerio de Salud (Tabla 2), como parte de la Ley General de Salud (Ley N°26842).

Tabla 1

Datos de análisis de agua antes de suministrar al filtro bioarena (FBA)

| Nº | producto | N. Coliformes Termotolerantes (NMP/100 mL) | pH | CE | S D | MILIVOLTIOS | T °C |
|----|----------|--|------|------|------|-------------|------|
| 1 | FBA - 01 | 240 | 7.52 | 0.55 | 0.27 | -54 | 18.9 |
| 2 | FBA - 02 | 49 | 7.62 | 0.52 | 0.26 | -60 | 18.5 |
| 3 | FBA - 09 | 130 | 7.57 | 0.52 | 0.26 | -58 | 18.4 |
| 4 | FBA - 10 | <1.8 | 7.64 | 0.55 | 0.27 | -61 | 18.5 |
| 5 | FBA - 13 | 49 | 7.68 | 0.52 | 0.26 | -64 | 18.6 |
| 6 | FBA - 16 | 33 | 7.52 | 0.52 | 0.26 | -55 | 18.3 |
| 7 | FBA - 18 | 33 | 7.58 | 0.49 | 0.25 | -58 | 18.4 |
| 8 | FBA - 21 | 23 | 7.51 | 0.55 | 0.27 | -54 | 18.2 |
| 9 | FBA - 25 | <1.8 | 7.51 | 0.54 | 0.27 | -54 | 18.9 |
| 10 | FBA - 26 | <1.8 | 7.65 | 0.52 | 0.26 | -62 | 18.6 |
| 11 | FBA - 27 | <1.8 | 7.61 | 0.52 | 0.26 | -60 | 18.1 |
| 12 | FBA - 28 | <1.8 | 7.69 | 0.54 | 0.27 | -64 | 18.5 |
| 13 | FBA - 30 | <1.8 | 7.53 | 0.52 | 0.26 | -55 | 18.4 |

Se recolectaron muestras de agua de un total de 13 filtros pertenecientes a las comunidades de ‘Los Girasoles’ y ‘Los Frutales’. Los resultados del análisis realizado en el laboratorio de calidad total indican que el agua no contiene coliformes termotolerantes (Tabla 2), lo que confirma

que es apta para el consumo. El 100% de los filtros ha logrado remover estos microorganismos, lo cual coincide con los resultados de las encuestas realizadas a la población, donde se señala que ya no experimentan problemas estomacales.

Tabla 2

Datos de análisis de agua después de suministrar al filtro bioarena (FBA)

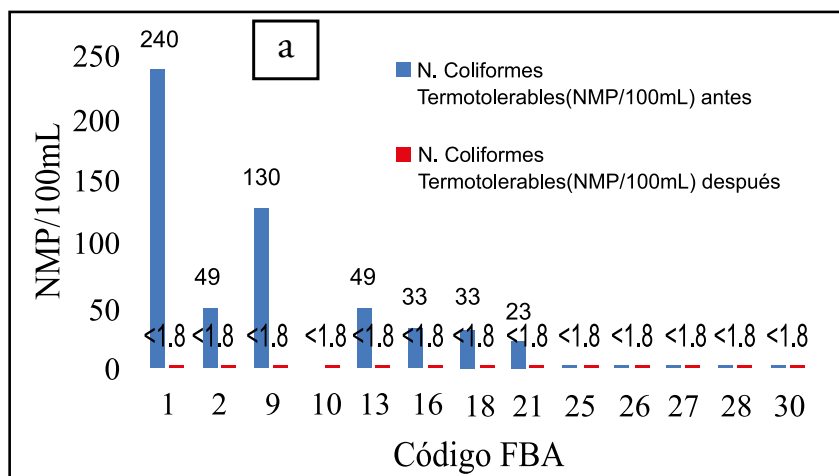
| N° | Producto | N. Coliformes termotolerantes (NMP/100 mL) | pH | CE | SD | T °C |
|----|----------|--|-------|------|------|------|
| 1 | FBA - 01 | <1.8 | 11.36 | 0.38 | 0.41 | 19.9 |
| 2 | FBA - 02 | <1.8 | 11.78 | 0.01 | 0.01 | 20.1 |
| 3 | FBA - 09 | <1.8 | 7.71 | 0.51 | 0.25 | 19.4 |
| 4 | FBA - 10 | <1.8 | 10.91 | 0.95 | 0.48 | 18.8 |
| 5 | FBA - 13 | <1.8 | 10.72 | 0.98 | 0.49 | 19.4 |
| 6 | FBA - 16 | <1.8 | 9.60 | 0.41 | 0.20 | 19.1 |
| 7 | FBA - 18 | <1.8 | 8.27 | 0.43 | 0.22 | 18.8 |
| 8 | FBA - 21 | <1.8 | 10.80 | 0.90 | 0.45 | 18.9 |
| 9 | FBA - 25 | <1.8 | 10.51 | 0.65 | 0.32 | 19.6 |
| 10 | FBA - 26 | <1.8 | 8.20 | 0.48 | 0.24 | 18.7 |
| 11 | FBA - 27 | <1.8 | 8.43 | 0.41 | 0.20 | 18.8 |
| 12 | FBA - 28 | <1.8 | 7.76 | 0.51 | 0.25 | 18.6 |
| 13 | FBA - 30 | <1.8 | 7.86 | 0.48 | 0.24 | 18.8 |

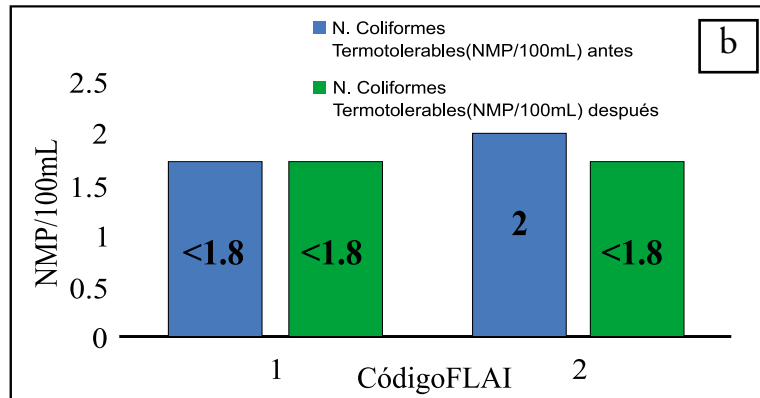
En la Figura 7(a) se presentan los resultados obtenidos en el laboratorio de calidad total certificada, donde se observa que el 53.3% del agua recolectada antes de ser suministrada al filtro contiene coliformes termotolerantes. Sin embargo, tras el proceso de filtrado, el 100% de las muestras analizadas presenta un conteo

de <1.8 NMP/100 mL, lo que equivale a cero coliformes termotolerantes, haciendo el agua apta para el consumo humano. En la Figura 7(b), se muestra que el agua antes de ingresar al filtro tiene un nivel de 2 NMP/100 mL de coliformes, mientras que después del filtrado, el conteo de coliformes termotolerantes es cero.

Figura 7

Variación de coliformes termotolerantes FBA(a), FLAI(b)





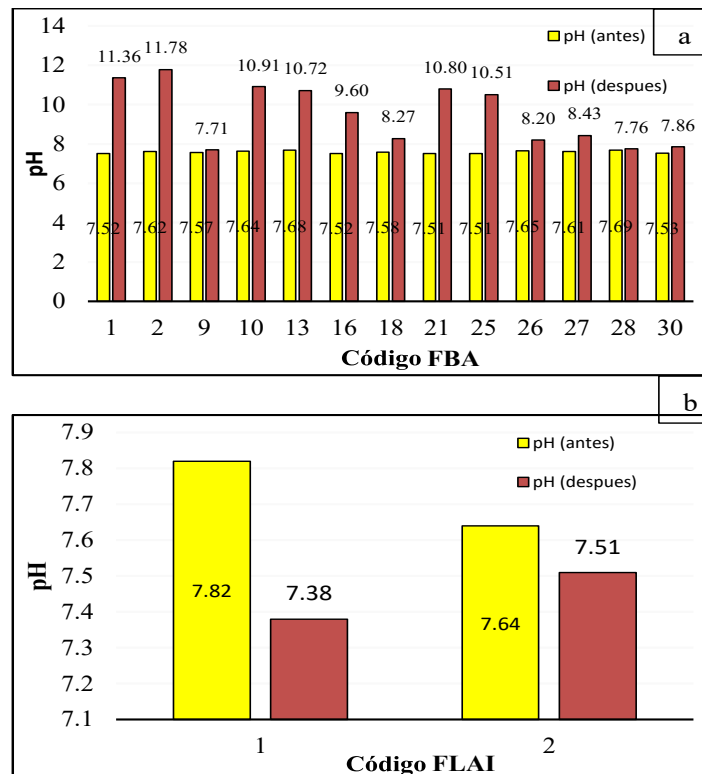
En el análisis de las muestras recolectadas también se evaluó el pH como parámetro relevante. En la Figura 8(a) correspondiente al FBA y en la Figura 8(b) del FLAI, se puede observar que el pH del agua antes de ser suministrada al filtro es similar en todas las pruebas. Sin embargo, los resultados a la salida del filtro muestran una fluctuación del pH, que varía entre 7.38 y 11.78.

de carbonatos en el suelo utilizado para las pruebas, lo que provoca que el agua se vuelva más básica debido a la disociación de estos compuestos, elevando el pH. En contraste, en la Figura 8(b), el FLAI no presenta una variación significativa en el pH, lo cual se atribuye al constante movimiento del agua y a que esta se mantiene a temperatura ambiente, lo que evita la disociación de sus elementos y mantiene un pH más estable.

Esta variación se debe a la presencia

Figura 8

Variación de pH FBA(a), FLAI(b)

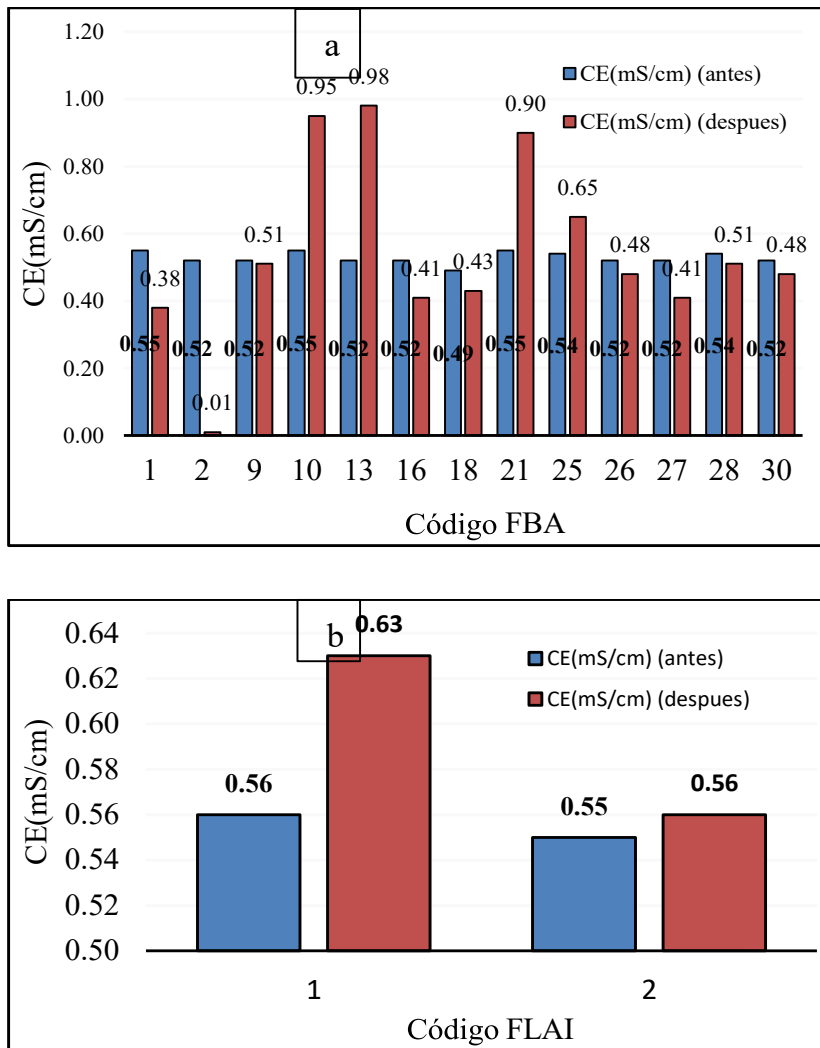


En las Figuras 9(a) y 9(b), se observa un incremento en la conductividad eléctrica debido a la mayor disociación de los elementos presentes en el agua, producto del aumento de la temperatura. Este fenómeno ocurre tanto en el FBA

como en el FLAI, aunque en este último la variación es mínima. Los resultados permiten identificar la variación de los parámetros en términos de conductividad eléctrica (mS/cm) en las muestras de agua antes y después del proceso de filtración.

Figura 9

Variación de la CE (mS/cm) FBA(a), FLAI(b)



En la Figura 10(a), correspondiente a los datos del FBA, se observa que la concentración de sólidos disueltos totales en el agua presenta un ligero incremento en sales inorgánicas después del proceso de filtrado, particularmente en cinco filtros. Este aumento de sales podría deberse al reposo o al menor uso del filtro, lo que podría contribuir a la formación de sarro

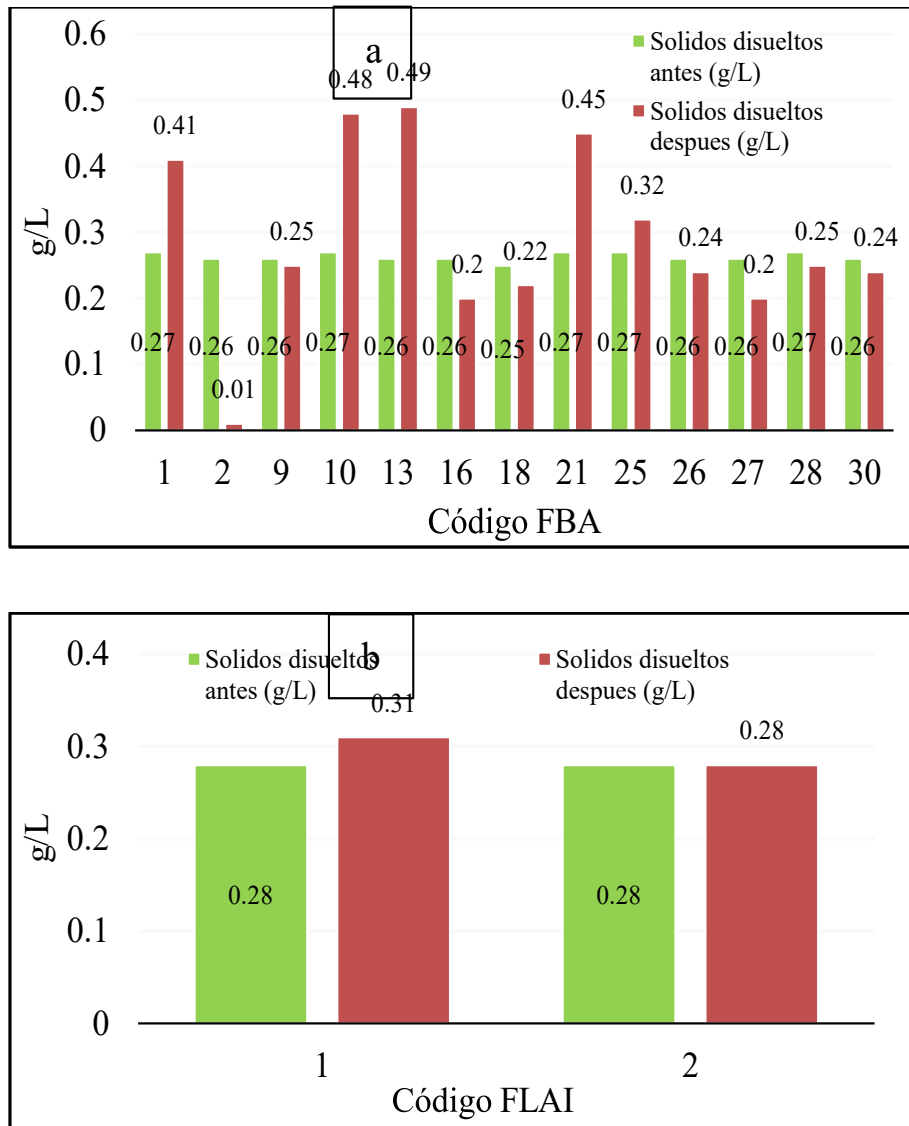
al hervir el agua. Aunque las sustancias disueltas no representan una amenaza para la salud, pueden desalentar a los consumidores a utilizar o beber el agua, a pesar de ser seguros. El agua de entrada se encuentra dentro del rango de 0-300 mg/L, lo que indica una excelente calidad en ocho filtros.

En contraste, cinco muestras de agua filtrada se ubican en el rango de 300-600 mg/L, lo que corresponde a un nivel de calidad bueno. La Figura 10(b) muestra que, en el caso del FLAI,

el incremento en sólidos disueltos es mínimo, manteniéndose dentro del rango de 0-300 mg/L, lo que indica agua de excelente calidad.

Figura 10

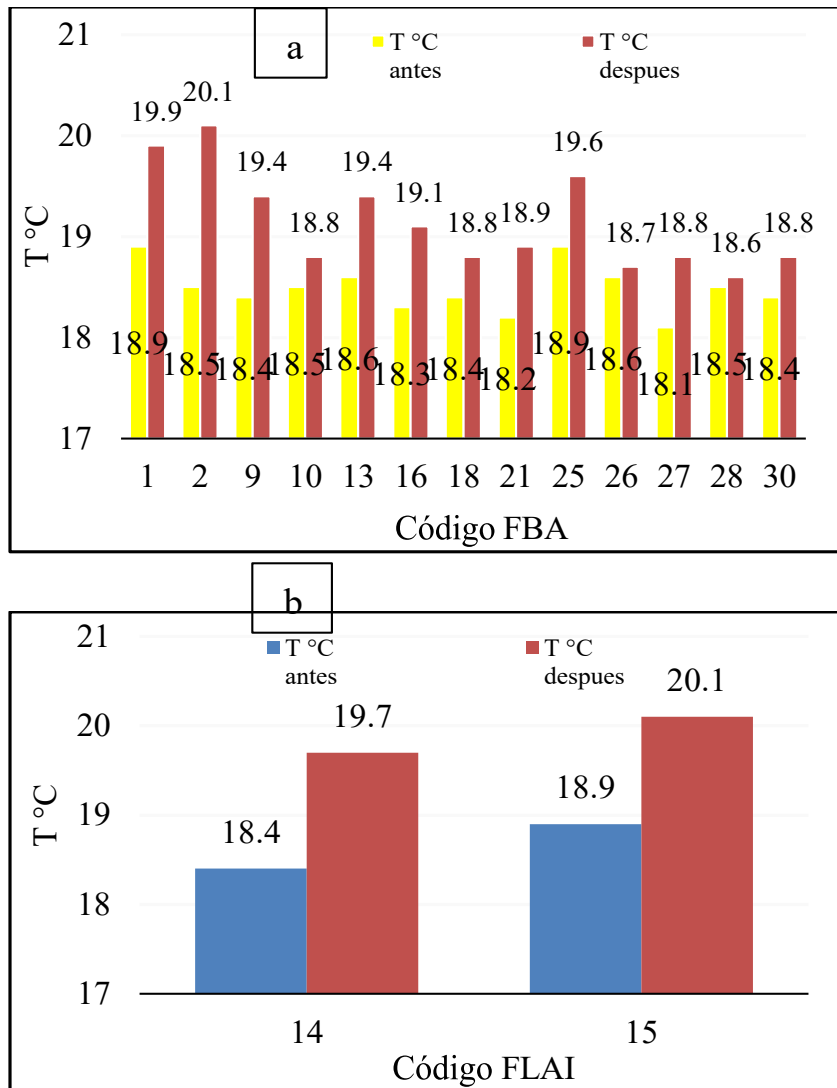
Variación de sólidos disueltos (g/L) FBA(a), FLAI(b)



En la Figura 11(a) y 11(b) observamos que la variación de la temperatura de agua antes de entrar al filtro tiene una variación de 18.1 - 18.9 °C, pero cuando lo analizamos en la salida

del filtro la temperatura varía de 18.6 - 20.1 °C esto se debe a que hay una mayor fricción gracias a la energía que provocada por la termodinámica del agua con respecto a las gravas y a su mayor tamaño.

Figura 11
 Variación de la T °C FBA(a), FLAI (b)



Eficiencia de la implementación de filtros bioarena (FBA) y filtros lento de arena intermitente (FLAI)

De las 30 familias encuestadas, el 100% respondió que la calidad de agua a partir del tratamiento del FBA es mejor con respecto a lo del canal que consumen actualmente. Ellos mencionaron que mejora “...el sabor, no hay bichitos ni arenillas, no tiene tierra, ya no tiene mucho sarro en las ollas, es más cristalina, es más blanquita, heladita, se puede

consumir directo del filtro y sabe cómo agua hervida...”

Asimismo, el 90% percibe que la salud de su familia ha mejorado: “... antes por apurada tomaba agua cruda de los tanques de almacenamiento y me daba cólicos y ahora ya no me enfermo del estómago, a los más pequeños les daba diarrea, antes cada tres veces al día iban al baño ahora no, se siente mejor sin diarrea, tienen estómago sano, los niños toman agua de frente y no les hace daño, han mejorado mis alimentos...”.

Medición de caudales

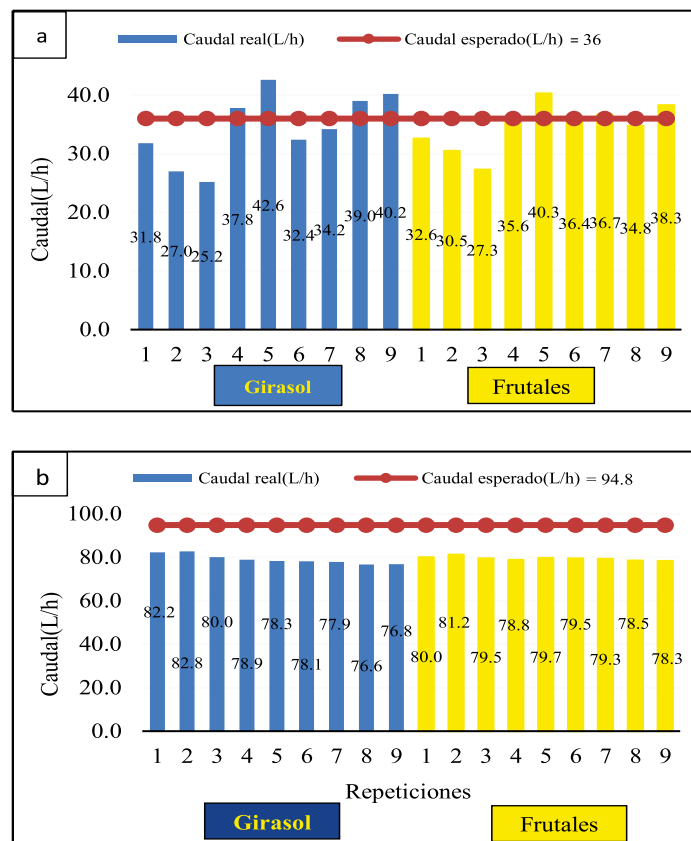
La influencia del caudal en la remoción de los patógenos, se registró datos de caudales de los FBA instalados en fechas distintas. Los resultados promedio de los 9 FBA en cada comunidad evaluados a lo largo de seis meses se presentan en la Figura 12(a).

Se elaboró el siguiente gráfico, donde se observa un valor que oscila entre 25.2 l/h a uno mayor 42.6 l/h. El valor esperado era de 36 l/hora en el FBA; en el cual algunos filtros están dentro de lo aceptable y algunos en exceso no se logró debido a una mala calibración de la granulometría de la arena del medio filtrante, reduciéndose el tiempo de retención del agua tratada en el FBA.

A pesar que estos valores difieren, notablemente, esto puede influenciar en la remoción de los patógenos. Cabe resaltar que los FBA, con caudales de descarga excesivamente altos, fueron detectados durante el primer monitoreo, procediéndose al cambio del medio filtrante para obtener un caudal más cercano a 36 l/h. La influencia del caudal en la remoción de los patógenos se registró datos de caudales de los FLAI instalados en fechas distintas. Los resultados promedio de los dos filtros lento de arena intermitente (FLAI) evaluados a lo largo de nueve días (Figura 12(b)). A pesar que los valores del caudal no llegan a lo esperado 94,8 l/h y estos son menores notablemente del esperado, la eficiencia de remoción de coliformes termotolerantes de los FLAI alcanzó el 100% resultando eficiente.

Figura 12

Caudal promedio del FBA(a), FLAI(b)

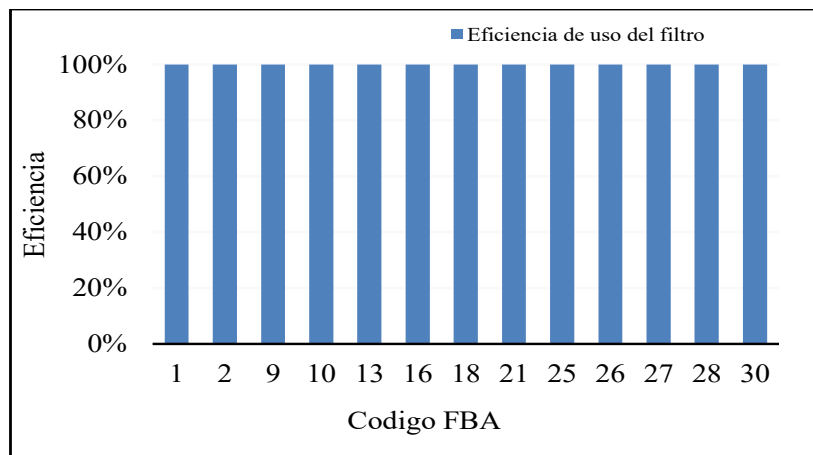


Con los datos observamos que el resultado en la eficiencia de remoción para coliformes termotolerantes es un 99.9% el cual nos arroja <1.8 NMP/100ml o su equivalente a cero, lo cual el FBA domiciliario es apto para el uso y mejora de la calidad del agua.

En la Figura 13 se aprecia la eficiencia de los filtros FBA domiciliario en su 100%. La eliminación de los coliformes termotolerantes se debió a que los microorganismos quedaron atrapados en los poros del filtro obteniéndose un agua limpia que cumple con los límites establecidos por la Norma del MINSA/DIGESA.

Figura 13

Porcentaje de eficiencia en coliformes termotolerantes en el filtro bioarena (FBA)

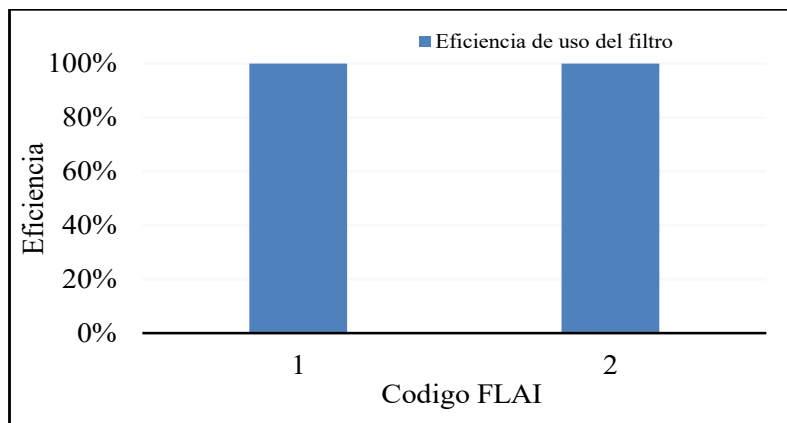


La eficiencia del filtro lento de arena intermitente (FLAI) para este parámetro fue de 100%, ya que se eliminaron los coliformes además de cumplirse con la norma teniéndose un valor menor a 1.8 NMP/100 ml o su equivalente a cero (Figura 14). La presencia de coliformes termotolerantes antes de suministrar

el agua se debió, principalmente, a la contaminación del agua en el canal por heces de perro, gallinas o material orgánico. La eliminación de los coliformes termotolerantes se originó porque los microorganismos quedaron atrapados en los poros del filtro.

Figura 14

Porcentaje de eficiencia en coliformes termotolerantes en el filtro lento de arena intermitente (FLAI)



Discusión

- La encuesta inicial realizada a los habitantes de San Antonio de Pedregal II reveló que un porcentaje significativo de la población percibe el agua que consumen como de mala calidad, principalmente, debido a la presencia de residuos de relaves mineros y aguas residuales. Estos resultados concuerdan con otros estudios de Alderete (2022) que han identificado actividades industriales y mineras como las principales fuentes de contaminación en áreas cercanas a cuerpos de agua. Este hallazgo resalta la necesidad de intervenciones más efectivas para el tratamiento del agua en comunidades con acceso limitado a fuentes seguras de agua potable.
- Los resultados del análisis de agua post-filtración con los FBA indican una eficiencia del 99.9% en la eliminación de coliformes termotolerantes, cumpliendo con los estándares de calidad del agua para consumo humano establecidos por la normativa peruana D.S. 091-SA-2010. Este nivel de eficiencia es consistente con estudios previos de Sosa (2015) donde los FBA han demostrado ser efectivos para la eliminación de microorganismos patógenos cuando se implementan correctamente y se da mantenimiento adecuado a la capa biológica.
- Los datos obtenidos de los caudales de filtración de los FBA instalados en diferentes fechas muestran una variación considerable, con algunos filtros excediendo los caudales recomendados (36 L/h). Esta variación en el caudal podría afectar la eficiencia de remoción de patógenos, ya que un flujo demasiado rápido podría reducir el tiempo de contacto del agua con el medio filtrante y la capa biológica, disminuyendo así la efectividad del proceso de eliminación de contaminantes (Hojo *et al.*, 2022). Es necesario ajustar la granulometría de la arena y calibrar adecuadamente el flujo de los filtros para optimizar la retención de patógenos.
- La comparación entre los FBA y los FLAI mostró que ambos sistemas alcanzaron una eficiencia del 100% en la remoción de coliformes termotolerantes. Sin embargo, los FLAI presentan una menor variabilidad en parámetros de calidad del agua, como el pH y la conductividad eléctrica, debido a su operación continua que mantiene condiciones más estables en el medio filtrante. De acuerdo a Freitas *et al.*, (2022) estos resultados sugieren que los FLAI podrían ser más adecuados para aplicaciones comunitarias donde se requiere un tratamiento de agua constante y de mayor volumen.
- Las encuestas realizadas a las familias después de la instalación de los filtros indican una percepción positiva de la calidad del agua tratada. Un 90% de los encuestados reportó mejoras en la salud familiar, destacando la reducción de enfermedades gastrointestinales. Este resultado refleja el impacto significativo que tienen los filtros adecuados en la mejora de la calidad de vida en

comunidades rurales con problemas de acceso a agua limpia (Castro de Esperanza, 2006).

- La variación de parámetros como el pH y la conductividad eléctrica antes y después de la filtración revela que, en algunos casos, el incremento del pH podría estar asociado a la presencia de carbonatos en el medio filtrante. Este fenómeno debe ser monitoreado, ya que un pH demasiado alto puede afectar la aceptabilidad del agua por parte de los consumidores.

Conclusiones

1. El estudio confirma que la calidad del agua consumida en la comunidad de San Antonio de Pedregal II está, significativamente, comprometida por la contaminación de relaves mineros y aguas residuales. Este problema se ve agravado por la falta de sistemas de tratamiento adecuados y evidencia la necesidad urgente de implementar soluciones efectivas que minimicen la exposición de la comunidad a fuentes de agua contaminadas.
2. Los Filtros Bioarena (FBA) demostraron ser altamente efectivos en la eliminación de coliformes termotolerantes alcanzaron una eficiencia del 99.9% y cumplieron con los estándares de calidad de agua para consumo humano. La correcta construcción y mantenimiento de los FBA, especialmente el cuidado de la capa biológica, es fundamental para asegurar su funcionamiento óptimo. Este tipo de tecnología es una opción viable y económica

para mejorar la calidad del agua en comunidades con recursos limitados.

3. Los caudales de filtración varían significativamente entre los filtros instalados, lo que afecta la eficiencia de eliminación de patógenos. por lo cual es necesario un mayor control del flujo, monitoreo y calibración durante la instalación y operación de los FBA para asegurar su efectividad.
4. Tanto los FBA como los FLAI lograron una alta eficiencia en la remoción de patógenos, pero los FLAI demostraron una mayor estabilidad en los parámetros de calidad del agua. Esta estabilidad los hace más adecuados para aplicaciones comunitarias donde se requiere tratamiento de grandes volúmenes de agua y es en entornos rurales donde pueden ser implementados de manera efectiva.
5. La implementación de los FBA y FLAI no solo mejoró la calidad del agua, sino que también tuvo un impacto positivo en la salud de las comunidades, reforzando la importancia de estas tecnologías como herramientas de salud pública en comunidades con acceso limitado a agua segura.
6. El incremento del pH observado en algunas muestras de agua tratada puede estar relacionado con la composición del material filtrante. Aunque este aumento no compromete la seguridad del agua, podría influir en la aceptabilidad del agua por parte de los usuarios. Este hallazgo subraya la importancia de

seleccionar, adecuadamente, los materiales de filtración y realizar monitoreos regulares para mantener

la calidad del agua dentro de los rangos aceptables.

Referencias

- ANA. (2019). *Diagnóstico inicial para el Plan de gestión de recursos hídricos en el ámbito de las cuencas Chillón, Rímac, Lurín y Chilca*. Perú. Ministerio de Agricultura, 151.
- Aznil Arif, M., Nurfaizey, A., Salim, M., Masripan, N., Jaafar, J. & Othman, M. (2022). Electrospinning of Polyacrylonitrile Nanofibres and Applications in Membrane Distillation Technology: A Review. *International Journal of Nanoelectronics and Materials*, 15, 183 - 207.
- Bautista, M., Bonatti, T., Fiuza, V., Terashima, A., Canales-Ramos, M. & Jose, J. (2018). Ocurrencia y caracterización molecular de quistes de *Giardia duodenalis* y ooquistes de *Cryptosporidium* en muestras de agua cruda del río Rímac, Perú. *Environ Sci Contaminación Res*. doi:<https://doi.org/10.1007/s11356-018-1423-6>
- Bechtel, T. & Gibbons, J. (2021). Population Genomic Analysis of *Listeria monocytogenes* From Food Reveals Substrate-Specific Genome Variation. *Frontiers in Microbiology*, 12. doi:<https://doi.org/10.3389/fmicb.2021.620033>
- Buccheri, M., Salvo, E., Coci, M., Quero, G., Zoccarato, L., Privitera, V. & Rappazzo, G. (2019). Investigating microbial indicators of anthropogenic marine pollution by 16S and 18S High-Throughput Sequencing (HTS). *FEMS Microbiology Letters*, 366. doi:<https://doi.org/10.1093/femsle/fnz179>
- Caraco, T. & Turner, W.C. (2018). Pathogen transmission at stage-structured infectious patches: Killers and vaccinators. *Journal of Theoretical Biology*, 436, 51-63. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jtbi.2017.09.029>
- Castrezana Campos, M. (2017). The geography of Mexico breast cancer. *Investigaciones Geográficas*, 140 - 157.
- Castro de Esperanza, M. (2006). Transferencia de Tecnología en los Países en Desarrollo. Remoción del Arsénico en el Agua de bebida en América. Barcelona. https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/26969/libro_agua_infra-APF_MC_FM.pdf?sequence=1#page=69
- Chen, L., Liu, J., Zhang, W., Zhou, J., Luo, D. & Li, Z. (2021). Uranium (U) source, speciation, uptake, toxicity and bioremediation strategies in soil-plant system: A review. *Journal of Hazardous Materials*, 413. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2021.125319>

- Constantinides, B., ChauKevin, K., Phuong Quan, T., Rodger, G., Anderson, M., Jeffrey, K., ... Byukusenge, M. (2020). Genomic surveillance of *Escherichia coli* and *Klebsiella* spp. in hospital sink drains and patients. *Genomic surveillance of Escherichia coli and Klebsiella spp. in hospital sink drains and patients*, 6, 4-16. doi:https://10.1099/mgen.0.000391
- Da Silva, F. & Frazão, P. (2020). Characteristics of sanitation companies associated to water fluoridation of the supply systems of Brazilian municipalities, 2008. *Revista Brasileira de Epidemiologia*, 23, 1-22. doi:https://doi.org/10.1590/1980-549720200086
- Freitas, B., Terin, U., Fava, N., Maciel, P., Garcia, L., Medeiros, R., . . . Sabogal-Paz, L. (2022). A critical overview of household slow sand filters for water treatment. *Water Res*, 208. doi:https://doi.org/10.1016/j.watres.2021.117870.
- Gebrewahd, A., Adhanom, G., Gebremichail, G., Kahsay, T., Berhe, B., Asfaw, Z., . . . Weldetinsaa, H. (2020). Bacteriological quality and associated risk factors of drinking water in Eastern zone, Tigray, Ethiopia, 2019. *Tropical Diseases, Travel Medicine and Vaccines*, 6. doi:10.1186/s40794-020-00116-0
- Gwenzi, W., Kanda, A., Danha, C., Muisa-Zikalali, N., & Chaukura, N. (2023). Occurrence, Human Health Risks, and Removal of Pharmaceuticals in Aqueous Systems: Current Knowledge and Future Perspectives. *Applied Water Science Volume 1: Fundamentals and Applications*, 63-101. doi:https://10.1002/9781119725237.ch2
- HarknessJennifer, S. & Jurgens, B. (2022). Effects of imported recharge on fluoride trends in groundwater used for public supply in California. *Science of the Total Environment*, 830. doi:https://10.1016/j.scitotenv.2022.154782
- Hojo, L., Rezende, R., Lautenschlager, S. & Sabogal-Paz, L. (2022). Household slow sand filters operating in continuous and intermittent flows: Computational fluid dynamics simulation and validation by tracer experiments. *Chemical Engineering Science*, 247. doi:https://10.1016/j.ces.2021.117058
- Job, C. (2022). A Review of Low-Impact Development Factors Affecting Managed Aquifer Recharge. *Groundwater*. doi:https://doi.org/10.1111/gwat.13207
- KayilaJames, O. (2019). Improving urban settlements for the poor: Case studies of dandora and chaani projects in Kenya. *Reaching the Urban Poor: Project Implementation in Developing Countries*, 145-162. doi:https://10.4324/9780429303807-8
- Khaustov, V., Tyupin, V. & Agarkov, N. (2020). Drain water of

- tyrnyauz deposit during and after operation. *Gornyi Zhurnal*, 100-104. doi:<https://10.17580/gzh.2020.10.12>
- Landrigan, F., Stegeman, J., FlemingLora, E., Aleman, D., Anderson, D., Backer, L., . . . Demeneix, B. (2020). Human health and ocean pollution. *Annals of Global Health*, 86, 1-64. doi:<https://10.5334/aogh.2831>
- Luvhimbi, N., Tshitangano, T., Mabunda, J., Olaniyi, F. & Edokpayi, J. (2022). Water quality assessment and evaluation of human health risk of drinking water from source to point of use at Thulamela municipality, Limpopo Province. *Scientific Reports*, 12. doi:<https://10.1038/s41598-022-10092-4>
- Mandal, B. & Suzuki, K. (2002). Arsenic round the world: a review. *Talanta*, 58, 201-235. doi:[https://doi.org/10.1016/S0039-9140\(02\)00268-0](https://doi.org/10.1016/S0039-9140(02)00268-0)
- McHiouer, F., Boughrou, A. & El Ouarghi, H. (2022). Groundwater Quality Assessment for Human Drinking in Rural Areas, Al-Hoceima Province (Northern Morocco). *Ecological Engineering and Environmental Technology*, 138-147. doi:<https://doi.org/10.12912/27197050/147450>
- Miller, A., Tuiz, E., Shaw, L., Diluvio, D., García, P., Dhaenens, E., ... Rohloff, P. (2022). Population Estimates of GFR and Risk Factors for CKD in Guatemala. *Kidney International Reports*, 6, 796-805. doi:<https://10.1016/j.ekir.2020.12.015>
- Mukul, S., Arfin Khan, M.A. & Uddin, M.B. (2020). Identifying threats from invasive alien species in Bangladesh. *Global Ecology and Conservation*, 23. doi:<https://10.1016/j.gecco.2020.e01196>
- Musa, S., Ezie, K., Scott, G., Shallangwa, M., Abraham, A., Olajide, T., ... Lucero Priso, D. (2022). The challenges of addressing the cholera outbreak in Cameroon. *Public Health in Practice*, 4. doi:<https://10.1016/j.puhip.2022.100295>
- Musazadeh, M., Kabdaşlı, I., Jademi, S., Sandoval, M.Á., Moussavi, S.P., Malekdar, F., ... Dehghani, M.H. (2022). A critical review on the existing wastewater treatment methods in the COVID-19 era: What is the potential of advanced oxidation processes in combatting viral especially SARS-CoV-2? *Journal of Water Process Engineering*, 49. doi:<https://10.1016/j.jwpe.2022.103077>
- Navarro, A., Garcia, Y., Vasquez, A. y Marrugo, J. (2013). Eficiencia de un humedal de flujo subsuperficial para el tratamiento de las aguas residuales del empacado de hortalizas. *Avances en ciencias e Ingeniería*, 4, 39-50.
- Nematollahi, M.J., Keshavarzi, B., Mohit, F., Moore, F. & Busquets, R. (2022). Microplastic occurrence

- in urban and industrial soils of Ahvaz metropolis: A city with a sustained record of air pollution. *Science of the Total Environment*, 819. doi:<https://10.1016/j.scitotenv.2021.152051>
- Nguyen, T. & Huynh, T. (2022). Assessment of surface water quality and monitoring in southern Vietnam using multicriteria statistical approaches. *Sustainable Environment Research*, 32. doi:<https://10.1186/s42834-022-00133-y>
- Parsa, S., Momeni, S., Hemmat, A. y Afrand, M. (2021). Efectividad de la energía solar agua desinfección en la era de la pandemia de COVID-19 (SARS-CoV-2) para contaminado agua/tratamiento de aguas residuales teniendo en cuenta el efecto UV y la temperatura. *Revista de ingeniería de procesos de agua*, 43. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2021.102224>
- Qian, S., Hou, R., Yuan, R., Zhou, B., Chen, Z. & Chen, H. (2022). Removal of Escherichia coli from domestic sewage using biological sand filters: Reduction effect and microbial community analysis. *Environmental Research*, 209. doi:<https://10.1016/j.envres.2022.112908>
- Rajan, P. & Prem, M. (2018). Schmutzdecke-a filtration layer of slow sand filter. *Int. J. Curr. Microbiol. Appl. Sci*, 7, 637-645. doi:<https://doi.org/10.20546/ijcmas.2018.707.077>
- Salazar-Ceballos, A. & Alvarez-Miño, L. (2020). Public Health and Sustainable Development: training future generations in a developing country. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 588. doi:10.1088/1755-1315/588/3/032021
- Sarkar, B. (2022). Micellar enhanced ultrafiltration in the treatment of dye wastewater: Fundamentals, state-of-the-art and future perspectives. *Groundwater for Sustainable Development*, 17. doi:<https://10.1016/j.gsd.2022.100730>
- Shehzad, K., Xie, C., He, J., Cai, X., Xu, W. & Liu, J. (2018). Facile synthesis of novel calcined magnetic orange peel composites for efficient removal of arsenite through simultaneous oxidation and adsorption. *Journal of Colloid and Interface Science*, 511, 155-164. doi:<https://10.1016/j.jcis.2017.09.110>
- Shokoohi, R., Khazaei, M., Karami, M., Seid-mohammadi, A., Khazaei, S., & Torkshavand, Z. (2022). Application of fingernail samples as a biomarker for human exposure to arsenic-contaminated drinking waters. *Scientific Reports*, 12. doi:<https://10.1038/s41598-022-08845-2>
- Singh, S. & Noori, A. (2022). Groundwater quality assessment and modeling utilizing water quality index and GIS in Kabul Basin, Afghanistan. *Environmental Monitoring and Assessment*, 194.

- doi:<https://10.1007/s10661-022-10340-0>
- Singh, G., Sinam, G., Kumari, B., Kriti, Gautam, A., Patnaik, S. & Mallick, S. (2022). Spatio-temporal variation of fluoride in groundwater and agricultural soil and crops of Unnao district, UP: Monitoring and assessment. *Environmental Research*, 210. doi:<https://10.1016/j.envres.2022.112927>
- Stevens, L.E. (2020). The springs biome, with an emphasis on arid regions. *Encyclopedia of the World's Biomes*, 4-5, 354 - 370. doi:<https://10.1016/B978-0-12-409548-9.12451-0>
- Sun, L., Liu, J., Zhao, H., Wang, Z., Liu, X., Chang, Y. & Yao, D. (2022). Phytoremediation performance of three traditional ornamental hydrophytes and the structure of their rhizosphere microorganism populations. *Environmental Science and Pollution Research*, 29, 50727 - 50741. doi:<https://10.1007/s11356-022-19543-x>
- Tang, X., Cao, A., Zhang, Y., Chen, C., Hao, B., Xu, J., ... Wang, Q. (2022). Soil properties affect vapor-phase adsorption to regulate dimethyl disulfide diffusion in soil. *Science of the Total Environment*, 825. doi:<https://10.1016/j.scitotenv.2022.154012>
- Terin, U., Freitas, B., Fava, N., & Sabogal-Paz, L. (2021). Evaluation of a multibarrier household system as an alternative to surface water treatment with microbiological risks. *Environ technol*, 1-13. doi:<https://doi.org/10.1080/09593330.2021.1921856>
- Tibebe, D., Zewge, F., Lemma, B. & Kassa, Y. (2022). Assessment of spatio-temporal variations of selected water quality parameters of Lake Ziway, Ethiopia using multivariate techniques. *BMC Chemistry*, 16. doi:<https://10.1186/s13065-022-00806-0>
- Ugwu, K. & Ofomatah, A. (2022). Bioavailability and health risk assessment of potentially toxic elements in salty water environment of Okposi, Southeastern Nigeria. *SN Applied Sciences*, 4. doi:<https://10.1007/s42452-022-05080-2>
- van Lieverloo, J.H., Bijlaart, M., Wells-Bennik, M., Den Besten, H. & Zwietering, M. (2021). Thermal inactivation kinetics of seven genera of vegetative bacterial pathogens common to the food chain are similar after adjusting for effects of water activity, sugar content and pH. *Microbial Risk Analysis*, 19. doi:<https://10.1016/j.mran.2021.100174>
- Vázquez Salgado, L., Oliveira, J., Dopazo, C. & Bandín, I. (2022). Effect of rearing density on nervous necrosis virus infection in Senegalese sole (*Solea senegalensis*). *Journal of Fish Diseases*, 44, 2003-2012. doi:<https://10.1111/jfd.13514>
- Wan Nafi, A. & Taseidifar, M. (2022). Removal of hazardous ions from

- aqueous solutions: Current methods, with a focus on green ion flotation. *Journal of Environmental Management*, 319. doi:<https://10.1016/j.jenvman.2022.115666>
- Wang, Z.-J., Du, X.-Q., Ye, X.-Y., Song, X.-M., Zhang, J.-S., & Gao, C.-P. (2022). Suspended solid surface clogging during urban stormwater groundwater recharge. *Jilin Daxue Xuebao (Diqiu Kexue Ban)/Journal of Jilin University (Earth Science Edition)*, 42, 492 - 498.
- Wong, W.-K., Hang, N., Tsai, M.-Y., Shi, G.-C. & Tsai, Y.-C. (2021). Web Service and a Mobile App for Reporting Site Pollution and Other Features. Proceedings of the 3rd IEEE Eurasia Conference on IOT, Communication and Engineering 2021, ECICE 2021, 117 - 120. doi:<https://10.1109/ECICE52819.2021.9645628>
- Yin, T., Zheng, Y., Liu, T., Wang, X., Gao, J., Nie, Z., ... Yuan, J. (2022). Study on Water Purification Effect and Operation Parameters of Various Units of Wastewater Circulation. *Water (Switzerland)*, 14. doi:<https://10.3390/w14111743>
- Zhao, Y. & Dong, J. (2023). Effect of inactivating RNA viruses by coupled UVC and UVA LEDs evaluated by a viral surrogate commonly used as a genetic vector. *Biomedical Optics Express*, 13, 4429-4444. doi:<https://10.1364/BOE.468445>

Exégesis crítica en la aplicación blockchain en la seguridad de la información en diversos sectores

Critical exegesis on the application of blockchain in information security across various sectors

Recibido: octubre 13 de 2024 | Revisado: noviembre 07 de 2024 | Aceptado: diciembre 03 de 2024

DOMINICK REVILLA¹
DIEGO RODRÍGUEZ¹
ALBERTO MENDOZA DE LOS SANTOS¹

RESUMEN

En la actualidad, la protección de la información se ha convertido en una necesidad indispensable y omnipresente. En este contexto, la tecnología blockchain ha surgido como una solución disruptiva, generando un impacto significativo gracias a su estructura descentralizada y su capacidad para proporcionar un registro inmutable y transparente de las transacciones. Este artículo tiene como objetivo analizar cómo el blockchain ha sido implementado exitosamente para proteger datos sensibles, abarcando desde aplicaciones financieras hasta la gestión de registros médicos, mediante una revisión sistemática de la información recopilada entre los años 2018 y 2024. El estudio ofrece una visión integral y actualizada sobre cómo esta tecnología está transformando la seguridad de la información, destacando su creciente relevancia en un entorno digital cada vez más vulnerable a las amenazas cibernéticas.

Palabras clave: Cadena de bloques, integridad de datos, seguridad de información, privacidad

ABSTRACT

Nowadays, the protection of information has become an indispensable and omnipresent need. In this context, blockchain technology has emerged as a disruptive solution, generating a significant impact thanks to its decentralized structure and its ability to provide an immutable and transparent record of transactions. This article aims to analyze how blockchain has been successfully implemented to protect sensitive data, ranging from financial applications to medical records management, through a systematic review of information collected between the years 2018 and 2024. The study offers a comprehensive and updated vision of how this technology is transforming information security, highlighting its growing relevance in a digital environment that is increasingly vulnerable to cyber threats.

Keywords: Blockchain, data integrity, security information, privacy

¹ Universidad Nacional de Trujillo,
Trujillo, Perú

Autor de correspondencia:
t1523300121@unitru.edu.pe

© Los autores. Este artículo es publicado por la Revista Campus de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad de San Martín de Porres. Este artículo se distribuye en los términos de la Licencia Creative Commons Atribución No-Comercial – Compartir-Igual 4.0 Internacional (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>), que permite el uso no comercial, distribución y reproducción en cualquier medio siempre que la obra original sea debidamente citada. Para uso comercial contactar a: revistacampus@usmp.pe.

[https:](#)

Introducción

Hoy en día vivimos en una era digital en la cual el flujo de información es demasiado constante y masivo, lo que da paso a que la seguridad de los datos se convierta en un recurso de alto valor para entidades o empresas de cada sector. Esta tendencia a almacenar y salvaguardar información nos obliga a tener dependencia de los sistemas tecnológicos y a la conectividad global; por lo que mantener la seguridad de datos sensibles ya no es opcional, es decir, se ha convertido en una obligación esencial para asegurar la continuidad operativa, la imagen corporativa y el acatamiento de las normativas legales.

En la última década, la seguridad de la información ha pasado por una evolución significativa, ampliándose más allá de la seguridad informática básica para abarcar un enfoque más global conocido como seguridad de la información. Según Carvajal (2020), este concepto incluye la ciberseguridad y otros aspectos de la protección de datos, cubriendo cada etapa del manejo de información, como su uso, almacenamiento y transferencia. Las organizaciones han empezado a comprender que la ciberseguridad es solo una parte de un enfoque más amplio, que abarca la protección integral de la información.

Los avances han llevado a la creación de nuevos sistemas de control que permiten monitorear la información de manera más precisa y reaccionar frente a potenciales vulnerabilidades. Paralelamente, existen otras ventanas accesibles para todo el mundo que se han convertido en canales importantes para descifrar patrones de acceso y

comportamiento de los usuarios, lo que conlleva a surgir riesgos, totalmente nuevos, para la seguridad de la información. Tejada Berrio (2021) nos dice que los datos tanto personales como empresariales están cada vez más expuestos a amenazas, y esto ha llevado a la implementación de legislaciones y estándares que obligan a las organizaciones a protegerse de intentos de robo de información que ellos manejan.

A nivel internacional, las normas ISO 27001, entre otras, han sido adoptadas ampliamente para asegurar que las organizaciones gestionen, adecuadamente, los riesgos generados comúnmente por la digitalización de información, protegiendo los activos más valiosos de la empresa, incluyendo los datos personales.

El block-chain es una tecnología que permite sincronizar transacciones o datos para proteger información de forma segura, descentralizada e inmutable. Surgió en 2008 como la base en el funcionamiento de la criptomoneda Bitcoin, propuesta por Satoshi Nakamoto. Desde entonces, ha evolucionado hasta convertirse en un instrumento tecnológico importante para salvaguardar la información en distintos sectores. Según Tapscott & Tapscott (2016), la principal característica del block-chain es su capacidad para registrar datos en bloques interconectados mediante criptografía, lo que asegura que la información no pueda ser alterada sin el consenso de todos los participantes en la red.

Con el tiempo, esta tecnología ha superado su uso inicial en las

criptomonedas, expandiéndose hacia áreas que requieren altos niveles de protección de datos. Todo empezó en el sistema financiero. Su uso fue evolucionando llegando a ser una herramienta fundamental para incrementar la transparencia y la protección de las transacciones electrónicas. Nakamoto (2008), menciona que cada operación registrada en block-chain queda verificada y no puede ser alterada, lo que ayuda a disminuir el riesgo de estafas o fraudes y asegura la integridad de los movimientos financieros. De este modo, las instituciones financieras han adoptado esta tecnología para fortalecer la confianza en sus sistemas y realizar auditorías en tiempo real.

Para Patel (2021), en el sector de la salud, el block-chain se utiliza para proteger datos sensibles, como los historiales médicos. Al almacenar esta información en una cadena de bloques, se garantiza que solo los profesionales autorizados tengan acceso a ella, lo que ayuda a mantener la confianza de los pacientes. Esta tecnología no solo evita alteraciones en los registros médicos, sino que también facilita el intercambio seguro de información entre instituciones de salud. Así, la aplicación del block-chain en este ámbito ha mejorado el manejo de información personal y el tipo de atención médica.

En resumen, el block-chain tiene estructura descentralizada y su capacidad para asegurar la autenticidad manteniendo la integridad de los datos lo ha hecho ideal para proteger transacciones financieras, historiales médicos y procesos logísticos.

Método

En la presente revisión sistemática se optó por aplicar la metodología Prisma (Preferred Reporting Items for Systematic Review and Meta-Analyses).

Para el proceso de revisión se estableció el siguiente planteamiento: ¿Cómo ha impactado en los últimos seis años la implementación de la tecnología blockchain como seguridad de la información en diversos sectores?

Según (Moer et al, 2009) Prisma logra que el autor haga un análisis profundo ya que le ofrece pautas claras para desarrollar revisiones sistemáticas.

De manera que Moreno *et al.* (2018), una revisión sistemática consiste en un compendio organizado y detallado de la información existente con el propósito de resolver una pregunta particular, destacándose por exponer de manera clara y accesible los pasos seguidos en su elaboración.

De acuerdo a lo propuesto por Moreno *et al.* (2018), la elaboración de una revisión sistemática sigue una serie de etapas: formulación de una pregunta estructurada, búsqueda en bases de datos, selección de documentos relevantes, recopilación de información, evaluación crítica y análisis estadístico de los datos obtenidos, culminando con la presentación de los hallazgos.

En relación con la búsqueda de información, identificamos las palabras clave pertinentes para nuestro tema de investigación, que incluyen: “cadena de

bloques”, “Seguridad de la información” y “Integridad de datos”. Posteriormente, además de identificar estos términos, también se consideraron sus traducciones al inglés y sinónimos correspondientes.

La selección de términos en español utilizada en la búsqueda fue la siguiente: [(“Seguridad de la información”) AND ((“Cadena de bloques”) AND ((“Integridad de datos”)))]]. La selección de términos en inglés empleada fue: [(“Information Security”) AND ((Blockchain) OR (“Block-Chain”)) AND (“data integrity”)].

A continuación, se utilizaron las palabras clave mencionadas en bases de datos como Scopus, IEEE Xplore, SciELO y Google Académico. Para llevar a cabo esta investigación, se establecieron parámetros específicos, como el considerar solo publicaciones desde el 2018 al 2024, con el fin de analizar el

impacto actual del avance tecnología.

Resultados

Para obtener resultados exactos en la búsqueda de la literatura a revisar, utilizamos criterios de exclusión como: No contiene palabras claves, no guardan relación el blockchain y con la seguridad de información y por duplicidad. Por parte de los criterios de inclusión tomamos en cuenta que las publicaciones deben estar comprendidas entre los últimos seis años y que estén en inglés y español.

El número de publicaciones encontradas según los criterios antes mencionados fueron en total 158 artículos obtenidos de la siguiente forma: Google Académico, 43 artículos; SciELO, 15 artículos; Scopus, 69 artículos y IEEE: 31 artículos.

Figura 1
Resultados por tipo de base de datos

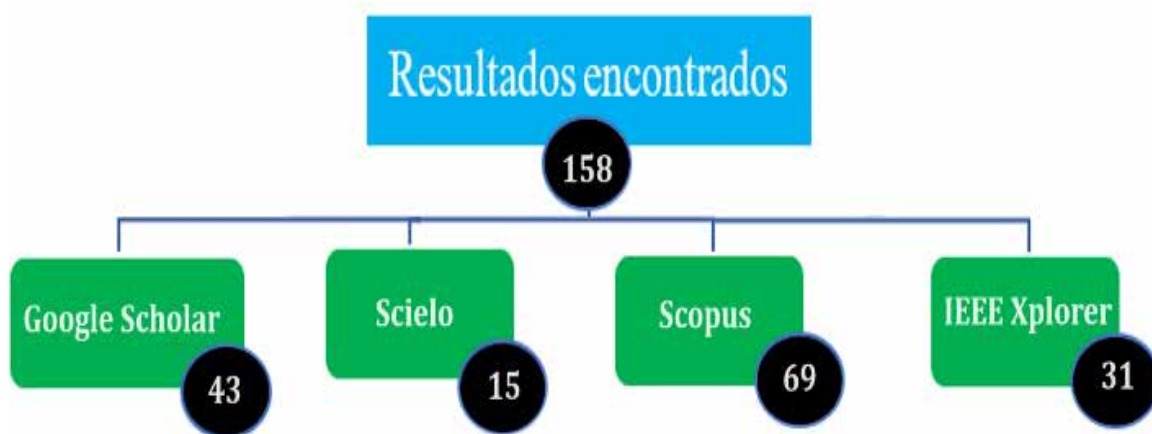


Figura 2
Flujograma del proceso de selección de artículos

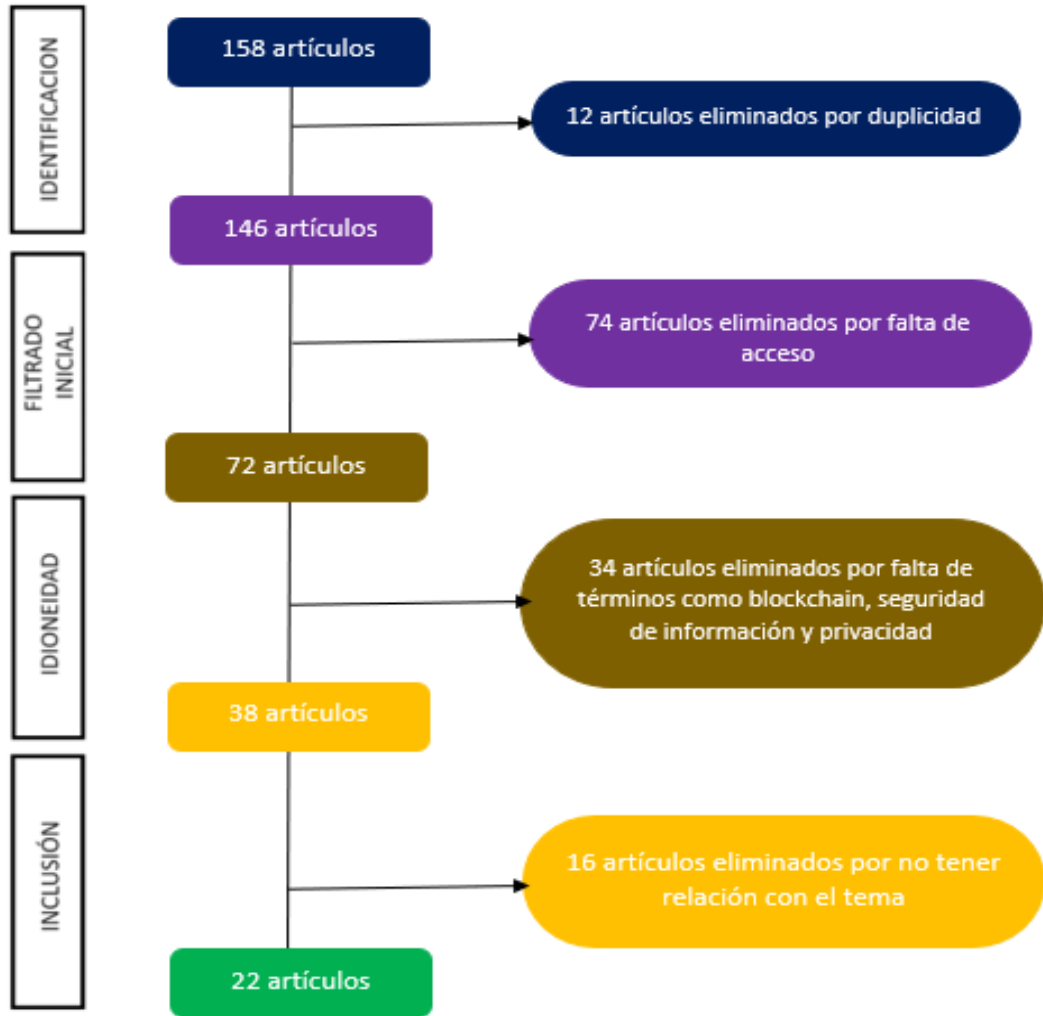


Figura 3
Gráfico de concurrencia

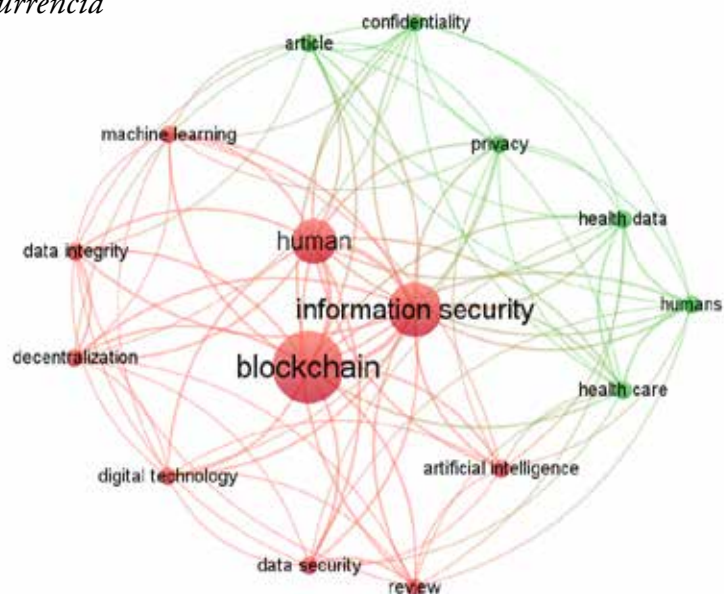


Tabla 1*Exégesis crítica en la aplicación Blockchain en la Seguridad de la Información de diversos sectores*

| Id | Título | Autores | Año | Sector |
|----|--|--|------|-------------------------------|
| 1 | El impacto del Blockchain en la cadena de suministros de la industria agropecuaria | Burgos Rojas, M. A., Haro Polo, C. I., & Mendoza de los Santos, A. C. | 2022 | Cadena de Suministro |
| 2 | Explorando los principales Atributos de Blockchain para la protección de Datos médicos | Reyes Riveros, A. J., Cárdenas Iglesias, J. M., & Mendoza de los Santos, A. C. | 2024 | Salud |
| 3 | The Health Care Sector's Experience of Blockchain: | Yeung, K. | 2021 | Salud |
| 4 | A blockchain framework for patient-centered health records and exchange | Hylock, R. H., & Zeng, X. | 2019 | Salud |
| 5 | A Secure Storage and Sharing Scheme of Stroke Electronic Medical Records Based on Consortium Blockchain. | Qin, Q., Jin, B., & Liu, Y. | 2021 | Salud |
| 6 | Ensuring data integrity of healthcare information in the era of digital health. | Zarour, M., Alenezi, M., Ansari, M. T. J., Pandey, A. K., Ahmad, M., Agrawal, A., Kumar, R., & Khan, R. A. | 2021 | Salud |
| 7 | Improving Diagnosis through Digital Pathology | Subramanian, H., & Subramanian, S. | 2022 | Salud |
| 8 | A Blockchain-Based Efficient Data Integrity Verification Scheme in Multi-Cloud Storage | Y. Zhang, H. Geng, L. Su and L. Lu, | 2022 | Almacenamiento en la nube |
| 9 | Blockchain Technology in Education. | Machado, A., Sousa, M., & Rocha, Á. | 2020 | Educación |
| 10 | Research on the Application of Blockchain Technology in Education and Teaching in Higher Vocational Colleges | Yin, X., Yu, Y., Hu, B., Luo, Q., & Tang, Z. | 2022 | Educación |
| 11 | Blockchain-Based Caching Architecture for DApp Data Security and Delivery | Kim, D., & Park, S. | 2024 | Aplicaciones Descentralizadas |
| 12 | Blockchain Driven Access Control Mechanisms, Models and Frameworks | Bashir Dar, A., Hamid Lone, A., Naaz, R., Iqbal Baba, A., & Wu, F. | 2022 | Internet de las cosas |
| 13 | Blockchain and IPFS Integrated Framework in Bilevel Fog-Cloud Network for Security and Privacy of IoMT Devices | Mehbodniya, A., Neware, R., Vyas, S., Kumar, M. R., Ngu-lube, P., & Ray, S. | 2021 | Internet de las cosas |
| 14 | Revamped Dual-key Stealth Address Protocol for IoT Using Encryption and Decentralized Storage. | Odoom, J., Xiaofang, H., Danso, S. A., Soglo, R. S., & Nyarko, B. N. E. | 2023 | Internet de las cosas |

| | | | | |
|----|---|--|------|------------------------------|
| 15 | Blockchain Based Public Cloud Security for E-Voting System on IoT Environment | Vijaya Kumar, A., Sarvani, G. V., & Satya, D. | 2020 | Internet de las cosas |
| 16 | BBTCD: blockchain based traceability of counterfeited drugs. | Rai, B. K. | 2022 | Industria farmacéutica |
| 17 | Blockchain for Data Originality in Pharma Manufacturing | Durá, M., Leal, F., Sánchez-García, Á., Sáez, C., García-Gómez, J. M., Chis, A. E., & González-Vélez, H. | 2023 | Industria farmacéutica |
| 18 | A Blockchain Secured Pharmaceutical Distribution System to Fight Counterfeiting | Zoughalian, K., Marchang, J., & Ghita, B. | 2022 | Industria farmacéutica |
| 19 | Project data categorization, adoption factors, and non-functional requirements for blockchain based digital twins in the construction industry 4.0. | Teisserenc, B., & Sepasgozar, S. | 2021 | Construcción / Industria 4.0 |
| 20 | New Blockchain Based Special Keys Security Model with Path Compression Algorithm for Big Data | Bakir, C. | 2022 | Big data |
| 21 | Blockchain technology based information classification management service | Hong, G. W., Kim, J. W., & Chang, H. | 2021 | Big data |
| 22 | Agricultural IoT Data Storage Optimization and Information Security Method Based on Blockchain | Zhao, Y., Li, Q., Yi, W., & Xiong, H. | 2023 | Agricultura |

Cadena de suministro

Según Burgos *et al.* (2022) en una industria de fresas en Zhejiang, tras cuatro años operando sin un sistema de gestión y control de datos, se optó por implementar Blockchain para asegurar la veracidad de la información utilizada y monitorear en todo momento el recorrido de los datos a lo largo de la cadena de suministro, identificando quién los generó, así como el lugar y momento de su creación.

Salud

Reyes *et al.* (2024) concluyen que existen cuatro pilares fundamentales

en la preservación y seguridad de la información médica: el control de accesos, la privacidad de datos, la seguridad de datos y la encriptación.

Según Yeung (2021), las tecnologías blockchain en el sector sanitario han demostrado potencial en la gestión de datos y la privacidad de los pacientes, permitiendo un intercambio seguro y automatización de la trazabilidad. Sin embargo, los autores subrayan que la adopción a gran escala enfrenta desafíos técnicos y organizacionales, como la interoperabilidad y la confianza social. Aunque las aplicaciones en áreas no clínicas como la gestión administrativa han mostrado cierto éxito, los avances

en el uso clínico aún son incipientes. El futuro de blockchain en la salud dependerá de superar estos desafíos y lograr una implementación que ofrezca valor agregado frente a alternativas más tradicionales.

Hylock & Zeng (2019), describen cómo blockchain puede transformar la manera en que se acceden y comparten los datos de los pacientes, permitiendo a los individuos tener mayor control sobre su información médica. Al emplear estándares de interoperabilidad y contratos inteligentes, se propone que los pacientes puedan gestionar quién tiene acceso a sus registros médicos, mejorando tanto la seguridad como la privacidad en la atención médica. Este enfoque refleja un avance significativo hacia atender las necesidades, preferencias y valores individuales de cada paciente, aunque su éxito dependerá de la adopción y colaboración entre instituciones que, actualmente, tienen prácticas muy fragmentadas.

Según la propuesta de Qin *et al.* (2021), el consorcio blockchain para gestionar los registros médicos de accidentes cerebrovasculares, abordando la necesidad de intercambiar datos médicos de manera segura y eficiente entre hospitales. El uso de mecanismos como el encriptado proxy y el cifrado buscable asegura dos aspectos claves para el manejo de información: privacidad e integridad, en este caso de datos médicos, haciendo que el intercambio entre instituciones sea más seguro y confiable. Este caso demuestra, claramente, cómo blockchain puede mejorar la gestión de enfermedades críticas, permitiendo que los tratamientos se optimicen con acceso rápido y seguro a los datos. Sin embargo,

el alto costo de estas soluciones podría ser una barrera para su adopción.

En el sector salud, Zarour *et al.* (2021), refieren al uso de blockchain con el enfoque en garantizar la integridad de los datos médicos. La tecnología proporciona una forma segura y eficiente de gestionar y proteger los datos de los pacientes, reduciendo el riesgo de manipulación y brechas de seguridad. Blockchain ofrece un enfoque descentralizado que fortalece la confianza en la información médica. Nuestra perspectiva es que este uso es esencial en un mundo donde la protección de datos personales se vuelve cada vez más importante; sin embargo, la integración de blockchain en sistemas de salud puede encontrar resistencia debido a su complejidad.

De acuerdo con Subramanian & Subramanian (2022), el blockchain se aplica al sector salud, específicamente, en la gestión de la patología digital. Utilizando contratos inteligentes y almacenamiento descentralizado (IPFS), se busca mejorar la eficiencia y seguridad en el almacenamiento y transmisión de imágenes médicas de alta resolución, reduciendo costos y mejorando la accesibilidad al diagnóstico remoto. Consideramos que el uso de blockchain en este ámbito tiene un gran potencial para hacer que la atención médica sea más eficiente y accesible; sin embargo, la adopción generalizada sigue siendo un desafío debido a las barreras técnicas y de infraestructura

Almacenamiento Cloud

El servicio de almacenamiento en la nube nace como una alternativa a los métodos de almacenamiento tradicionales.

El almacenamiento en la nube ofrece la capacidad de almacenar y acceder a grandes volúmenes de datos, lo que disminuye los costos de gestión para los usuarios que manejan grandes cantidades de información.

En su artículo, Y. Zhang *et al* (2022), proponen implementar un esquema de verificación de integridad de datos, que en comparación con ciertos métodos basados en TPA (auditores), será implementado usando tecnología Blockchain consiguiendo servicios de verificación de integridad más difíciles de manipular

Educación

Según Manchado *et al.* (2020), el uso de tecnologías blockchain se utiliza en la evaluación formativa, específicamente, en la obtención de diplomas. Sin embargo, también se emplean en el diseño e implementación de actividades de aprendizaje y en el seguimiento de todos los procesos de manera distribuida.

Asimismo, Yin *et al.* (2022) mencionan que las aplicaciones que emplean blockchain en la educación proponen implementar un sistema de big data de información y aprendizaje con el fin de que los estudiantes y profesores quienes son los principales usuarios se conviertan en beneficiarios de los recursos e información didáctica.

Aplicaciones descentralizadas

Según Kim & Park (2024), las aplicaciones descentralizadas tradicionales enfrentan problemas de rendimiento, especialmente, en términos

de latencia debido a las restricciones en la entrada/salida de datos fuera de la cadena. Para solucionar esto, los autores proponen una arquitectura de caché basada en nodos de blockchain, lo que reduce la latencia en más del 89% y mejora el rendimiento al tiempo que asegura la integridad de los datos mediante valores hash y un cifrado basado en atributos que protege el acceso no autorizado. Actualmente, estas aplicaciones se utilizan en sectores como los servicios financieros para proteger transacciones, el Internet de las Cosas para gestionar datos distribuidos, la atención médica para garantizar la seguridad de los registros médicos, y la gestión de derechos digitales para asegurar la autenticidad de la información, mejorando la privacidad y seguridad en entornos sensibles.

Internet de las cosas

Según Bashir Dar *et al.* (2022), las tecnologías blockchain han demostrado ser superiores a los sistemas de control de acceso tradicionales en sectores como el IoT y el cuidado de la salud, donde se requiere una mayor seguridad y privacidad para el acceso a los datos. Al integrar contratos inteligentes y control de acceso en base a atributos, blockchain ofrece una trazabilidad y la descentralización, eliminando intermediarios y reduciendo el riesgo de manipulaciones o accesos no autorizados. Estos avances son esenciales en áreas donde la confianza en la autenticidad de los datos es crucial, como en la gestión de registros médicos electrónicos y la seguridad de dispositivos IoT.

Según Mehbodniya *et al.* (2021), el uso de un marco integrado de blockchain e IPFS en una red de nube

de dos niveles para dispositivos IoT tiene como objetivo mejorar mantener la privacidad de los datos, especialmente, dentro del ámbito del Internet de las Cosas Médicas (IoMT). Este enfoque asegura que los datos médicos sensibles sean almacenados y transmitidos de manera eficiente, utilizando una estructura descentralizada para evitar la vulnerabilidad a ataques y asegurando la autenticación de dispositivos y la protección de la privacidad del paciente. Este marco se implementa en niveles de borde, niebla y nube, mejorando la escalabilidad y optimización de recursos, lo cual es crucial en escenarios de atención médica en tiempo real, como el seguimiento remoto de pacientes. Las transacciones entre dispositivos IoMT se aseguran mediante contratos inteligentes, que garantizan la autenticidad y verificación de no repudio.

Odoom *et al.* (2023), se enfocan en la tecnología IoT y las aplicaciones descentralizadas, proponiendo un protocolo que utiliza blockchain para mejorar la privacidad y seguridad en el manejo de transacciones. El sistema emplea direcciones sigilosas y almacenamiento descentralizado, lo que asegura que las transacciones realizadas a través de IoT sean más seguras y confidenciales. Por ello, este protocolo aborda con éxito problemas críticos de privacidad en el IoT, aunque su complejidad técnica podría limitar su adopción a corto plazo.

Vijaya Kumar *et al.* (2020), tratan sobre la aplicación de blockchain en sistemas de votación electrónica dentro del ámbito de la tecnología IoT. Blockchain garantiza que los votos sean almacenados de manera segura y que

no se puedan manipular, utilizando un enfoque de doble autenticación y encriptación. Por lo tanto, creemos que el uso de blockchain en votaciones electrónicas es fundamental para asegurar la integridad de los sistemas democráticos, especialmente, en contextos donde la seguridad del voto es un tema sensible; sin embargo, la infraestructura necesaria puede ser una barrera en países en desarrollo y el nuestro no está preparado para ello.

Industria farmacéutica

Según Rai *et al.* (2023), la trazabilidad de medicamentos falsificados es un problema crítico en la cadena de suministro farmacéutica debido a la falta de transparencia y la posibilidad de manipulación de los datos. Para abordar esto, los autores proponen una solución utilizando blockchain con contratos inteligentes y almacenamiento en IPFS para prevenir la integridad de los datos y permitir un seguimiento descentralizado de los medicamentos en toda la cadena de suministro. Esta aplicación de blockchain mejora la seguridad, privacidad y trazabilidad de los medicamentos, lo que es especialmente útil en sectores como la atención médica, donde es crucial garantizar la autenticidad de los productos. Además, tecnologías como Ethereum y contratos inteligentes permiten intercambios eficientes y seguros entre las partes involucradas, eliminando la necesidad de intermediarios y reduciendo el riesgo de falsificaciones.

Durá *et al.* (2023), refieren al blockchain en un ámbito farmacéutico que es utilizado para garantizar la integridad y originalidad de los datos

en la fabricación de medicamentos. Esto se logra mediante el uso de una red privada de blockchain y contratos inteligentes, que permiten rastrear y verificar la autenticidad de los datos a lo largo del proceso de fabricación. Con ello podemos decir que mejora la transparencia y la trazabilidad, esenciales para combatir la falsificación de medicamentos. Consideramos que esta tecnología puede revolucionar la cadena de suministro farmacéutica al garantizar la seguridad de los productos, aunque su implementación dependerá de la disposición de las empresas para adoptar nuevas tecnologías.

Para Zoughalian *et al.* (2022), el blockchain se utiliza para combatir la falsificación de medicamentos a través de un sistema de distribución seguro. El uso de pruebas de conocimiento cero y modelos de reputación asegura que los medicamentos distribuidos sean auténticos y que todas las transacciones dentro de la cadena de suministro sean rastreables y verificables. Interpretamos que el sistema ofrece una solución sólida al problema global de la falsificación de medicamentos, aunque su implementación en mercados menos regulados podría presentar desafíos.

Construcción / Industria 4.0

Según Teisserenc *et al.* (2021), las tecnologías de blockchain y los gemelos digitales son clave para la Industria de la Construcción 4.0, permitiendo una mayor eficiencia, colaboración y sostenibilidad a través de la digitalización de los procesos. Los gemelos digitales, replicas virtuales de activos físicos, mejoran la trazabilidad y seguridad de todos los datos en cada una de las etapas

en el proyecto, y el uso de blockchain asegura la integridad y confianza en la cadena de valor. Esta tecnología, aplicada a la construcción da acceso a una mejor administración de los recursos, así como la automatización de procesos mediante contratos inteligentes. Los sectores donde estas tecnologías tienen un impacto más evidente incluyen la gestión de residuos, la gestión de energía en edificios inteligentes, y la infraestructura urbana contribuyendo a la economía circular y la sostenibilidad ambiental.

Big Data

El análisis de Bakir (2022), propone un nuevo modelo de seguridad para big data usando blockchain y un algoritmo de compresión de rutas. Este enfoque permite gestionar grandes cantidades de información y mantenerla segura, asegurando la multidimensionalidad de la seguridad de información. Este modelo es útil en campos que generan grandes volúmenes de datos, como las redes sociales y la medicina. Consideramos que su contribución a la eficiencia del manejo de datos es significativa, pero la implementación de este modelo en big data podría verse limitada por su complejidad.

Hong *et al.* (2021), proponen el uso de blockchain para clasificar y proteger grandes volúmenes de datos. El sistema asegura la integridad de los datos a través de un libro mayor distribuido, lo que permite una gestión de la seguridad más económica y eficiente. Blockchain, en este caso, reduce los costos al ofrecer un enfoque unificado de seguridad. Considero que esta aplicación es, particularmente, útil en

la gestión de datos a gran escala, aunque su implementación puede estar limitada por la infraestructura tecnológica de las organizaciones.

Agricultura

Zhao *et al.* (2023), presentan el uso de blockchain para optimizar el almacenamiento de datos en el IoT agrícola. Mediante el uso de un árbol de Merkle ordenado y un método de escritura por lotes, se mejora la eficiencia y seguridad en el almacenamiento y manejo de grandes cantidades de datos. Blockchain asegura la trazabilidad y autenticidad de los datos agrícolas, mejorando la confianza en los sistemas de trazabilidad alimentaria. Este enfoque es innovador y necesario en el contexto agrícola actual, donde la seguridad y calidad de los productos son fundamentales; sin embargo, la adopción dependerá de la capacitación de los productores en el uso de estas tecnologías.

Discusión

Según lo visto, la implementación de la tecnología blockchain ha ganado relevancia en los últimos años en diversos sectores ya que tiene la capacidad para proporcionar trazabilidad, seguridad y transparencia en los datos y procesos.

Por lo visto en el caso de Burgos *et al.* (2022), la industria de las fresas se vio beneficiada con esta tecnología ya que logró superar la falta de un sistema de gestión y control de datos.

El uso de blockchain permitió seguir el camino de la información a lo

largo de la cadena, identificando a los responsables de generar y manipular los datos, así como el momento y origen de creación.

La trazabilidad antes mencionada es fundamental en la cadena de suministro donde la autenticidad y calidad del producto son esenciales.

También hay que recalcar que blockchain permite asegurar la veracidad de los datos compartidos entre múltiples actores y automatizar transacciones mediante contratos inteligentes.

Otro campo impactado en el almacenamiento en la nube por el cual blockchain sustituye a los métodos tradicionales de auditoría (TPA), proporcionando a los usuarios servicios de almacenamiento más confiables y resistentes a las manipulaciones.

Conclusiones

El desarrollo y la implementación de las tecnologías blockchain demostraron ser una solución expresada en transparencia, seguridad y eficiencia en diferentes sectores: cadena de suministro, salud, almacenamiento cloud, aplicaciones descentralizadas entre otras.

La trazabilidad es un pilar importante en blockchain que permite monitorear el flujo de la información y encontrar el origen de estos logrando no solo corroborar la autenticidad de los datos, sino también reducir riesgos asociados a la manipulación y falsificación.

Por otro lado, la intersección entre blockchain y tecnologías novedosas como los gemelos digitales permiten logros significativos en áreas de la construcción y la gestión de recursos lo cual demuestra que la digitalización de procesos mediante blockchain no solo es una herramienta de innovación tecnológica, sino también una estrategia clave para lograr objetivos de sostenibilidad.

Por último, la implementación de blockchain donde la protección de datos es crítica como el almacenamiento en la nube, refuerza la importancia de contar con sistemas robustos que garanticen la confidencialidad e integridad de la información, reduciendo la necesidad

de intermediarios y la admisión solo a usuarios autorizados.

Por parte de las limitaciones al momento de la elaboración del artículo, solo se tomó en cuenta cuatro bases de datos: Scopus, IEEE Xplorer, SciELO y Google Académico, cantidad que puede aumentar si se pretende lograr una revisión más profunda, donde se aborde más campos en comparación con la presente literatura.

Finalmente, se espera continuar ampliando las revisiones futuras ya que la tecnología blockchain no tiene mucho tiempo en desarrollo y aún no ha llegado a su máxima expansión y es una tecnología en dinámica.

Referencias

- Alharbi, A. (2023). Applying Access Control Enabled Blockchain (ACE- BC) Framework to Manage Data Security in the CIS System. <https://doi.org/10.3390/23063020>
- Technology in Supply Chain Management. In *Journal of Technology and Systems* (Vol. 6, Issue 5). www.carijournals.org
- Bakir, C. (2022). New Blockchain Based Special Keys Security Model with Path Compression Algorithm for Big Data. *IEEE Access*. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2022.3204289>
- Bashir Dar, A., Hamid Lone, A., Naaz, R., Iqbal Baba, A., & Wu, F. (2022). Blockchain Driven Access Control Mechanisms, Models and Frameworks: A Systematic Literature Review. *Journal of Information Security and Cybercrimes Research*, 5(1), 01–30. <https://doi.org/10.26735/tyif2196>
- Burgos Rojas, M. A., Haro Polo, C. I., & Mendoza De los Santos, A. C. (2022). El impacto del Blockchain en la cadena de suministros de la industria agropecuaria: Una Revisión Bibliográfica. *INGENIERÍA INVESTIGA*, 4. <https://doi.org/10.47796/ing.v4i0.708>
- Cárdenas-Solano, L. J., Martínez-Ardila, H., & Becerra-Ardila, L.

- E. (2016). Information security management: A bibliographic review. *Profesional de La Informacion*, 25(6), 931–948. <https://doi.org/10.3145/epi.2016.nov.10>
- Carvajal R., A. E. (2020). Reflexiones sobre la seguridad de la información. *Revista SISTEMAS*, 155, 8–17. <https://doi.org/10.29236/sistemas.n155a2>
- Durá, M., Leal, F., Sánchez-García, Á., Sáez, C., García-Gómez, J. M., Chis, A. E., & González-Vélez, H. (2023). Blockchain for Data Originality in Pharma Manufacturing. *Journal of Pharmaceutical Innovation*, 18(4), 1745–1763. <https://doi.org/10.1007/s12247-023-09748-z>
- Hong, G. W., Kim, J. W., & Chang, H. (2021). Blockchain technology based information classification management service. *Computers, Materials and Continua*, 67(2), 1489–1501. <https://doi.org/10.32604/cmc.2021.013344>
- Hylock, R. H., & Zeng, X. (2019). A blockchain framework for patient-centered health records and exchange (healthChain): Evaluation and proof-of-concept study. *Journal of Medical Internet Research*, 21(8). <https://doi.org/10.2196/13592>
- Kim, D., & Park, S. (2024). Blockchain-Based Caching Architecture for DApp Data Security and Delivery. *Sensors*, 24(14). <https://doi.org/10.3390/s24144559>
- M Machado, A., Sousa, M., & Rocha, Á. (2020). Blockchain Technology in Education. *ICEEG '20*, 130–134. doi: <https://doi.org/10.1145/3409929.3416793>
- ehbodniya, A., Neware, R., Vyas, S., Kumar, M. R., Ngulube, P., & Ray, S. (2021). Blockchain and IPFS Integrated Framework in Bilevel Fog-Cloud Network for Security and Privacy of IoMT Devices. *Computational and Mathematical Methods in Medicine*, 2021. <https://doi.org/10.1155/2021/7727685>
- Moher, D., Liberati, A., Tetzlaff, J., Altman, D. G., Altman, D., Antes, G., Atkins, D., Barbour, V., Barrowman, N., Berlin, J. A., Clark, J., Clarke, M., Cook, D., D'Amico, R., Deeks, J. J., Devereaux, P. J., Dickersin, K., Egger, M., Ernst, E., ... Tugwell, P. (2009). Preferred reporting items for systematic reviews and meta-analyses: The PRISMA statement (Chinese edition). *Journal of integrative medicine*, 7(9), 889–896. <https://doi.org/10.3736/jcim20090918>
- Moreno, B., Muñoz, M., Cuellar, J., Domancic, S., & Villanueva, J. (2018). Revisión Sistemática: definición y nociones básicas. <http://dx.doi.org/10.4067/S0719-01072018000300184>
- Nakamoto, S. (n.d.). Bitcoin: A Peer-to-Peer Electronic Cash System. www.bitcoin.org

- Odoom, J., Xiaofang, H., Danso, S. A., Soglo, R. S., & Nyarko, B. N. E. (2023). Revamped Dual-key Stealth Address Protocol for IoT Using Encryption and Decentralized Storage. *International Journal of Computer Network and Information Security*, 15(1), 14–25. <https://doi.org/10.5815/ijcnis.2023.01.02>
- Patel, V. (2019). A framework for secure and decentralized sharing of medical imaging data via blockchain consensus. *Health Informatics Journal*, 25(4), 1398–1411. <https://doi.org/10.1177/1460458218769699>
- Qin, Q., Jin, B., & Liu, Y. (2021). A Secure Storage and Sharing Scheme of Stroke Electronic Medical Records Based on Consortium Blockchain. *BioMed Research International*, 2021. <https://doi.org/10.1155/2021/6676171>
- Rai, B. K. (2023). BBTCD: blockchain based traceability of counterfeited drugs. *Health Services and Outcomes Research Methodology*, 23(3), 337–353. <https://doi.org/10.1007/s10742-022-00292-w>
- Reyes Riveros, A. J., Cárdenas Iglesias, J. M., & Mendoza de los Santos, A. C. (2024). Explorando los Principales Atributos de Blockchain para la protección de Datos médicos: Una Revisión Sistemática. *Innovación Y Software*, 5(1), 156-176. <https://doi.org/10.48168/innosoft.s15.a130>
- Subramanian, H., & Subramanian, S. (2022). Improving Diagnosis through Digital Pathology: Proof-of-Concept Implementation Using Smart Contracts and Decentralized File Storage. *Journal of Medical Internet Research*, 24(3). <https://doi.org/10.2196/34207>
- Tapscott, D., & Tapscott, A. (2016). *Blockchain Revolution: How the Technology Behind Bitcoin Is Changing Money, Business, and the World*. Penguin. <https://icdt.osu.edu/blockchain-revolution-how-technology-behind-bitcoin-changing-money-business-and-world>
- Teisserenc, B., & Sepasgozar, S. (2021). Project data categorization, adoption factors, and non-functional requirements for blockchain based digital twins in the construction industry 4.0. *Buildings*, 11(12). <https://doi.org/10.3390/buildings11120626>
- Tejada, J., Universidad, *Bolivariana*, P., De Derecho, EN., Ciencias, Y., Facultad, P., & Derecho Medellín, D. E. (2021). DATOS PERSONALES Y PILARES DE LA SEGURIDAD DE LA INFORMACIÓN.
- Vijaya Kumar, A., Sarvani, G. V., & Satya, D. (2020). Blockchain Based Public Cloud Security for E-Voting System on IoT Environment. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 981(4). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/981/4/042013>

- Y. Zhang, H. Geng, L. Su and L. Lu, "A Blockchain-Based Efficient Data Integrity Verification Scheme in Multi-Cloud Storage," in *IEEE Access*, vol. 10, pp. 105920-105929, 2022. <https://doi.org/10.1109/2022.3211391>
- Yeung, K. (2021). The Health Care Sector's Experience of Blockchain: A Cross-disciplinary Investigation of Its Real Transformative Potential. *Journal of Medical Internet Research*, 23(12). <https://doi.org/10.2196/24109>
- Yin, X., Yu, Y., Hu, B., Luo, Q., & Tang, Z. (2022). Research on the Application of Blockchain Technology in Education and Teaching in Higher Vocational Colleges. *ACM International Conference Proceeding Series*, 30–36. doi: <https://doi.org/10.1145/3523181.3523186>
- Zarour, M., Alenezi, M., Ansari, M. T. J., Pandey, A. K., Ahmad, M., Agrawal, A., Kumar, R., & Khan, R. A. (2021). Ensuring data integrity of healthcare information in the era of digital health. *Healthcare Technology Letters*, 8(3), 66–77. <https://doi.org/10.1049/htl2.12008>
- Zhao, Y., Li, Q., Yi, W., & Xiong, H. (2023). Agricultural IoT Data Storage Optimization and Information Security Method Based on Blockchain. *Agriculture (Switzerland)*, 13(2). <https://doi.org/10.3390/agriculture13020274>
- Zoughalian, K., Marchang, J., & Ghita, B. (2022). A Blockchain Secured Pharmaceutical Distribution System to Fight Counterfeiting. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(7). <https://doi.org/10.3390/ijerph19074091>

Efectos tóxicos agudos y crónicos de hidrocarburos en mamíferos

Acute and chronic toxic effects of oil on mammals

Recibido: noviembre 16 de 2024 | Revisado: noviembre 29 de 2024 | Aceptado: diciembre 02 de 2024

GENESIS SALAZAR¹
MAYRA PISCONTE¹
EMELY CONDORI¹
MILAGROS HUAMANÍ¹
JIMENA MORALES¹
MARÍA FERNANDA BARDALES¹
KIMBERLY ÑAHUIN¹
LUCERO HUAMANÍ¹
JOSÉ IANNAcone²

RESUMEN

El crecimiento de las industrias globalizadas ha incrementado la demanda de petróleo, aumentando los accidentes en su explotación y transporte. Por ende, el objetivo de este trabajo es evaluar los efectos tóxicos agudos y crónicos del petróleo en mamíferos terrestres y acuáticos. Se realizó una búsqueda de información en bases de datos como Scopus, Science Direct, SciELO y de otras fuentes como Google Académico. Para ello se empleó el enfoque PRISMA para el análisis y selección de información, logrando seleccionar 54 artículos para la presente revisión sistemática. La revisión sobre la exposición de mamíferos a hidrocarburos reveló que los cetáceos son los más estudiados, con un enfoque en mamíferos marinos. Los contaminantes más mencionados fueron el petróleo y los hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAPs), debido a derrames como Deepwater Horizon y Exxon Valdez. Estos hidrocarburos causan daño al ADN, inflamación y mutaciones genéticas, afectando la salud y reproducción de las especies, con impactos agudos y crónicos, subrayando la necesidad de estrategias de mitigación para proteger la fauna marina y la salud humana. Los estudios recientes muestran que los derrames de hidrocarburos causan efectos crónicos en mamíferos, como daños genéticos y fisiológicos, afectando su supervivencia y reproducción. Esto se da por la exposición mediante el contacto, inhalación e ingestión. Es por ello que se necesitan políticas estrictas y medidas de remediación efectivas debido a la bioacumulación y difícil degradación de los hidrocarburos.

Palabras clave: Efectos agudos, efectos crónicos, derrames de hidrocarburos, mamíferos, toxicidad

ABSTRACT

The growth of globalized industries has increased the demand for oil, increasing accidents in its exploitation and transport. Therefore, the aim of this work is to assess the acute and chronic toxic effects of oil on terrestrial and aquatic mammals. A search for information was carried out in databases such as Scopus, Science Direct, SciELO and other sources such as Google Scholar. The PRISMA approach was used for the analysis and selection of information, and 54 articles were selected for this systematic review. The review on mammalian exposure to hydrocarbons revealed that cetaceans are the most studied, with a focus on marine mammals. The most frequently mentioned

1 Universidad Científica del Sur,
Lima, Perú

2 Universidad Nacional Federico
Villarreal, Lima, Perú

Autor de correspondencia:
joseiannacone@gmail.com

© Los autores. Este artículo es publicado por la Revista Campus de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad de San Martín de Porres. Este artículo se distribuye en los términos de la Licencia Creative Commons Atribución No-Comercial – Compartir-Igual 4.0 Internacional (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>), que permite el uso no comercial, distribución y reproducción en cualquier medio siempre que la obra original sea debidamente citada. Para uso comercial contactar a: revistacampus@usmp.pe.

https:

contaminants were oil and polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs), due to spills such as Deepwater Horizon and Exxon Valdez. These hydrocarbons cause DNA damage, inflammation and genetic mutations, affecting the health and reproduction of species, with acute and chronic impacts, underlining the need for mitigation strategies to protect marine wildlife and human health. Recent studies show that oil spills cause chronic effects on mammals, such as genetic and physiological damage, affecting their survival and reproduction. This occurs through exposure by contact, inhalation, and ingestion. This is why strict policies and effective remediation measures are needed due to bioaccumulation and difficult oil degradation.

Keywords: Acute effects, chronic effects, oil spills, mammals, toxicity

Introducción

En los últimos años, con el rápido desarrollo de las industrias globalizadas, la demanda de petróleo y sus derivados ha aumentado anualmente. Además, la alta tasa de crecimiento en su explotación y transporte ha sido la causa de numerosos accidentes (Wang *et al.*, 2024). Se estima que entre el 0,4% y el 0,8% de la producción de petróleo se vierte en los océanos, siendo el 98% de estos vertidos procedentes del transporte marítimo de este hidrocarburo, el cual puede depositarse en columnas de agua y sedimentos (Liao *et al.*, 2024).

El 20 de abril de 2010, una explosión en una plataforma de perforación de British Petroleum (BP) en el Golfo de México provocó un derrame de al menos 20 a 44 millones de galones de petróleo crudo (Ramenzoni *et al.*, 2024). El 15 de enero de 2022, aproximadamente, 6000 barriles de petróleo fueron vertidos al mar desde un petrolero peruano en una refinería cerca de Lima durante el proceso de descarga, debido a los efectos de un tsunami, contaminando 174 has de aguas marinas, playas y reservas naturales (Mogollón *et al.*, 2023).

Los derivados del petróleo como los hidrocarburos aromáticos policíclicos

(PAHs) son tóxicos, cancerígenos, contaminantes ubicuos ambientales y demás, debido a su peso molecular, persistencia y lipofiliidad (Tian *et al.*, 2023), es por ello que los desastres de derrames de petróleo denominados “hiper derrames”, como el derrame de petróleo del Exxon Valdez (EVOS) de 1989 y el derrame de Deepwater Horizon (DWH) de 2010 (Murphy *et al.*, 2016), tuvieron impactos significativos sobre los mamíferos marinos; el EVOS resultó en la mortalidad de miles de nutrias marinas (*Enhydra lutris*) y afectó gravemente a una manada y a una población transitoria de orcas (*Orcinus orca*) (Esler *et al.*, 2018). Mientras que, el derrame de petróleo del DWH en el Golfo de México, provocó la muerte de al menos 160 mamíferos marinos y las tasas de reproducción del delfín mular (*Tursiops truncatus*), disminuyeron significativamente durante casi cuatro años (Lane *et al.*, 2015). Gran parte de esta mortalidad se registró en los días y semanas posteriores a estos acontecimientos; esto quiere decir que la vida silvestre ha estado en contacto directo con el petróleo recién derramado. Este período se llama etapa aguda. Mientras que, los efectos crónicos, pueden extenderse a lo largo de meses, años o décadas y, en algunos casos, ir más allá de la mortalidad aguda (Lindeberg *et al.*, 2018). Es por ello que el objetivo

del presente trabajo es evaluar los efectos tóxicos agudos y crónicos del petróleo en los mamíferos terrestres y acuáticos, analizando los cambios en la salud y reproducción de los mamíferos afectados por el impacto del petróleo.

Método

La revisión sistemática se realizó mediante el enfoque metodológico PRISMA, para ello se hizo empleo de las bases de datos Scopus, Science Direct, SciELO y de otras fuentes como Google Académico. Se emplearon los siguientes términos en inglés: “Toxicity”, “Toxic effects”, “lethal effects”, “sublethal effects”, “acute”, “chronic”, “Oil”, “Petroleum”, “Mammals” y “Marine mammals”. Luego, se aplicaron operadores booleanos AND y OR para combinar los términos. Es importante destacar que en la base de datos de Scielo se llevó a cabo una búsqueda en español utilizando términos traducidos. Se desarrollaron las siguientes ecuaciones de búsqueda: para ScienceDirect, Scopus y Google Académico, “(toxic OR effects OR “lethal effect” OR “sublethal effect”

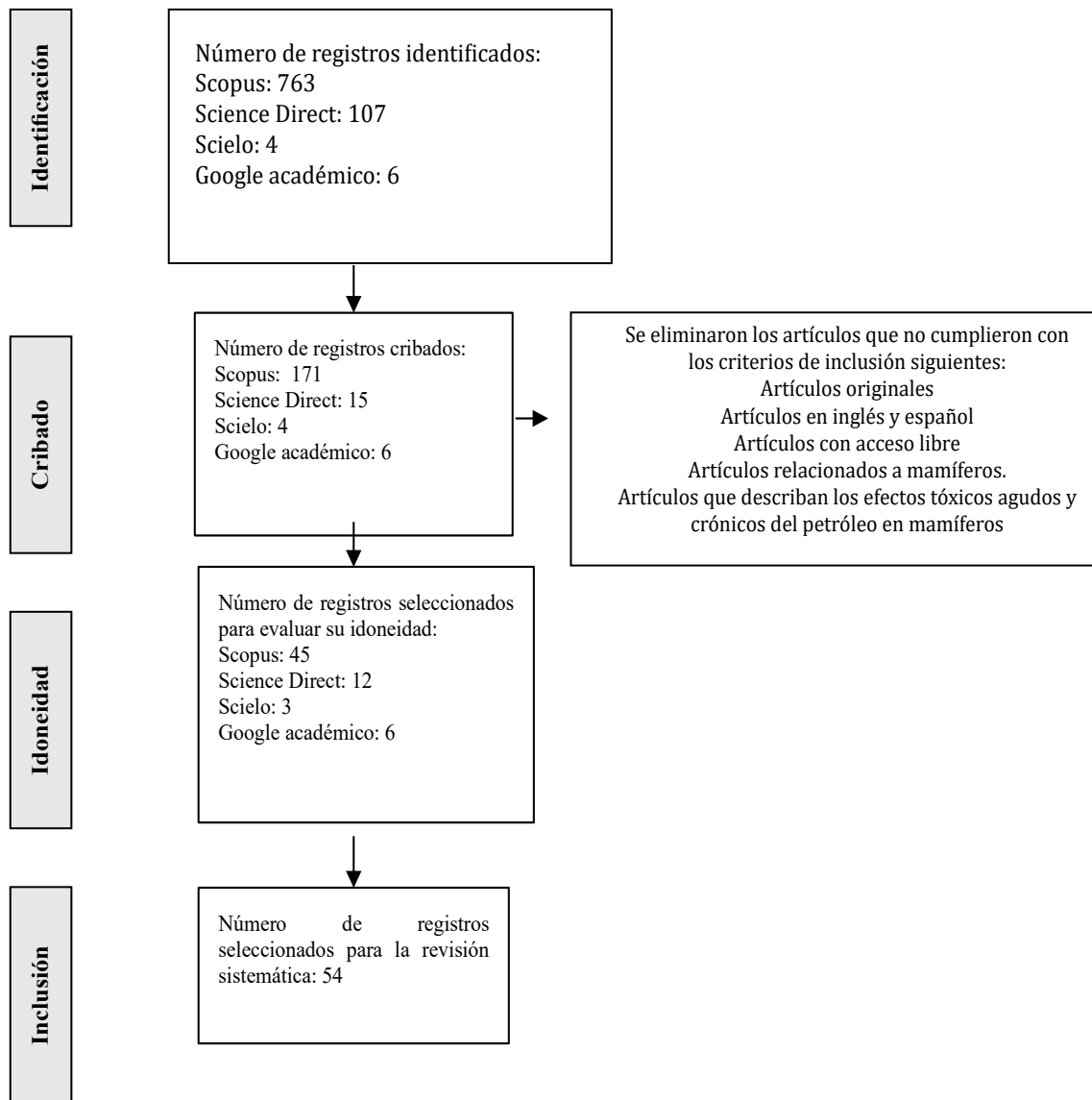
AND (petroleum OR Hydrocarbons) AND (mammal) y (toxic AND effects OR toxicity) AND (acute OR chronic) AND (Polycyclic aromatic hydrocarbons) AND mammals” y para SciELO “(Petróleo AND mamíferos)”.

La selección de artículos se dio mediante la aplicación de los siguientes criterios de inclusión: 1) solo artículos originales; 2) artículos escritos en inglés y español; 3) artículos con acceso libre; 4) artículos relacionados a mamíferos; y 5) artículos que describen los efectos tóxicos agudos y crónicos del petróleo en mamíferos.

Basándonos en estos criterios, se seleccionaron artículos de las tres bases de datos utilizando los criterios de inclusión 1, 2 y 3, lo que resultó en un total de 190 artículos, siendo 15 de ScienceDirect, 171 de Scopus, cuatro de SciELO, y seis de Google Académico. Luego, se verificó el cumplimiento de los criterios 4 y 5 revisando los títulos y resúmenes. Se seleccionaron los artículos más relevantes obteniéndose 54 artículos en total (Figura 1).

Figura 1

Diagrama de flujo PRISMA de la selección de artículos sobre los efectos tóxicos agudos y crónicos del petróleo en los mamíferos terrestres y acuáticos



Resultados y Discusión

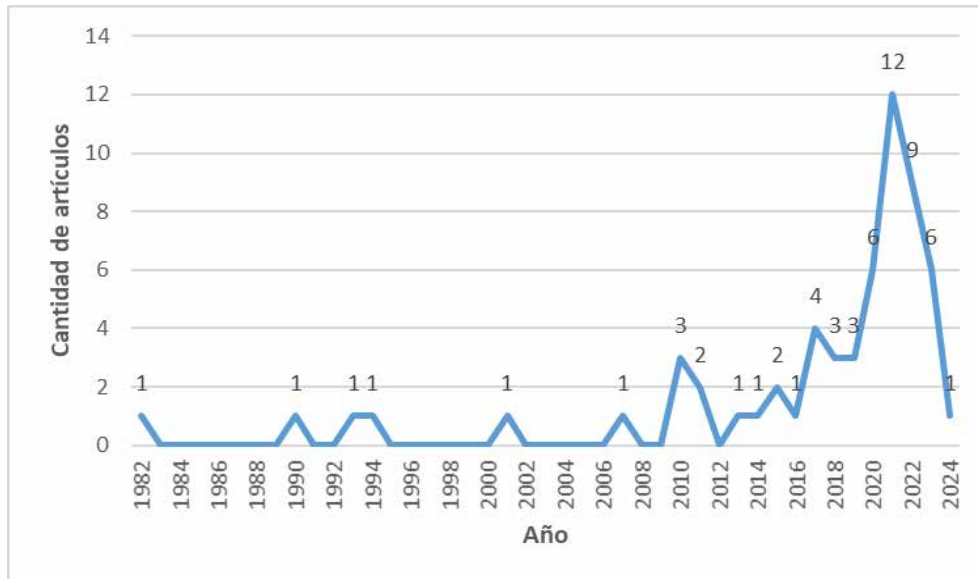
Artículos por año de publicación

La Figura 2 muestra la cantidad de artículos originales existentes en la base Scopus por año de publicación. Ello se realizó a partir de la fórmula “mammals AND (petroleum OR hydrocarbons)

AND effects”. Se encontraron 86 artículos con esta fórmula, desde el año 1982 hasta el 2024. Se observa que la mayor producción científica se da a partir del 2010 en adelante, teniendo como al 2022 con una máxima cantidad de artículos reportados sobre este tema. No obstante, esta producción decae después de este año, cabe resaltar que esta información es hasta el segundo trimestre del 2024.

Figura 2

Cantidad de artículos por año de publicación sobre los efectos tóxicos agudos y crónicos del petróleo en los mamíferos terrestres y acuáticos



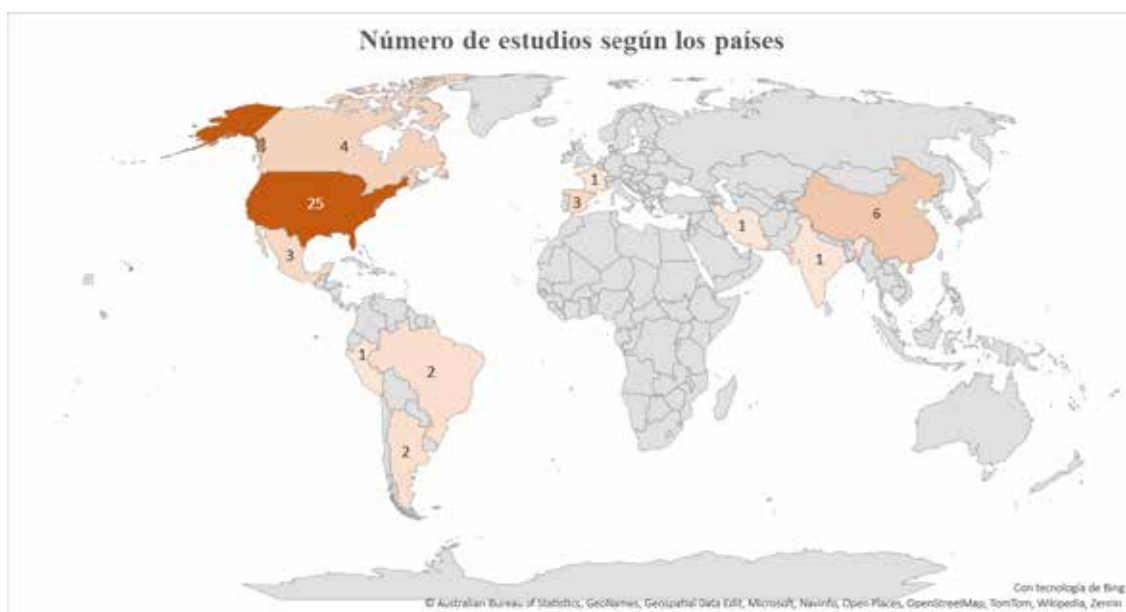
Artículos por país de publicación

Tras haberse realizado una búsqueda detallada, se identificó que Estados Unidos ha realizado más estudios

sobre el efecto de los mamíferos con respecto a los efectos de los hidrocarburos, y los países con menos registro exploratorio son Perú, India, Malasia, Irán y Francia (Figura 3).

Figura 3

Artículos por país de publicación sobre los efectos tóxicos agudos y crónicos del petróleo en los mamíferos terrestres y acuáticos



Estudio de caso y mecanismo de acción

Se encontraron 54 artículos relacionados con el tema de la revisión. El más frecuentemente mencionado fue los cetáceos, entre ballenas y delfines, presentando 24 artículos. La mayoría de los estudios se centran en mamíferos marinos, mientras que solo 13 artículos abordan la relación entre mamíferos terrestres e hidrocarburos, entre ellos, las consecuencias de la exposición de los hidrocarburos en los ratones, principalmente, debido a su conveniencia experimental y a preocupaciones éticas (Parasuraman *et al.*, 2014). También se encontraron seis estudios que utilizan células humanas para evaluar la toxicidad de los hidrocarburos.

Los artículos destacan al petróleo como el hidrocarburo más mencionado, seguido de los Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos (HAPs). El petróleo, una mezcla de hidrocarburos originada por la descomposición de materia orgánica, es esencial como fuente de energía y materia prima para productos como gasolina y diésel (Castello *et al.*, 2018). Aunque los HAPs pueden encontrarse en el petróleo y sus derivados, no son idénticos al petróleo en sí, sino una categoría específica de compuestos que pueden generarse como subproductos durante su quema y procesamiento (Lemos *et al.*, 2024).

En ecosistemas marinos, la presencia de estos hidrocarburos se debe a derrames accidentales, donde grandes cantidades son liberadas en cuerpos de agua. Los impactos generales de los vertidos de crudo dependen de variables como el volumen del vertido, la tasa o ritmo del derrame, el tipo de crudo, y la ubicación de la fuente del vertido

(Villamar, 2011). A partir de este, se marca la diferencia entre un incidente menor y una catástrofe medioambiental. Por ejemplo, el derrame de petróleo de Deepwater Horizon (DWH) donde liberó aproximadamente 4,9 millones de barriles de petróleo en el Golfo de México, lo que lo convierte en el peor derrame de petróleo marino en la historia de Estados Unidos, y el superpetrolero 'Exxon Valdez' derramando 42 millones de litros de petróleo crudo (Lane *et al.*, 2015). A raíz de la liberación de petróleo sin precedentes, se iniciaron múltiples estudios para evaluar los posibles efectos toxicológicos por derrame en la fauna marina con un total de 30 artículos, así como los estudios experimentales que demuestran los probables efectos tóxicos con un total de 21 artículos del total después de la exposición a hidrocarburos. Sin importar la dimensión, se reconoce que los efectos al medio ambiente se clasifican en dos categorías: agudos, que son efectos de corto plazo, y crónicos, de largo plazo (Smith *et al.*, 2017).

Con respecto al ingreso de los hidrocarburos a los organismos, los estudios han identificado diversas rutas de absorción dependiendo de la investigación y la especie investigada, siendo las principales vías identificadas la exposición directa, la inhalación, la ingestión, el contacto dérmico, la transferencia materna y la absorción específica en células reproductoras o trofoblásticas (Tabla 1). En mamíferos marinos la principal vía de absorción es la exposición directa, tal es el caso de los lobos marinos. Villamar (2011) y Zapata-Pérez *et al.* (2014) mencionan que esta exposición se da al tener un contacto directo con el petróleo en su hábitat, lo que ocurre generalmente a través de derrames. De manera similar,

Castelló *et al.* (2018) observaron que especies como ballenas, delfines, lobos marinos y elefantes marinos también absorben hidrocarburos del petróleo principalmente por exposición debido a derrames. Estos estudios subrayan que la exposición ambiental en el hábitat marino es una fuente significativa de absorción de hidrocarburos para estas especies. Además, Schwartz *et al.* (2004) encontraron que las nutrias marinas pueden absorber petróleo por exposición oral durante los experimentos.

Asimismo, los estudios con cetáceos y delfines, como los de López-Berenguer *et al.* (2023) y Singh *et al.* (2023), indicaron que estos animales pueden absorber hidrocarburos tanto por vía dérmica como por ingestión e inhalación durante derrames. Esto es particularmente relevante en eventos de derrames de petróleo, donde múltiples vías de exposición pueden contribuir a la carga tóxica en los organismos marinos. En casos específicos, como en el estudio de Lemos *et al.* (2024) con manatíes, se observó transferencia materna del petróleo como vía de absorción. Este hallazgo es crucial para entender el impacto a largo plazo de los hidrocarburos en poblaciones animales, ya que la transferencia materna puede afectar a las crías y contribuir a la bioacumulación de toxinas.

En estudios con roedores, se han utilizado métodos experimentales controlados para investigar la absorción de hidrocarburos. Crépeaux *et al.* (2014) y Jin *et al.* (2014) expusieron a ratas a HAP y otros compuestos mediante inyecciones intraperitoneales y exposición directa. Estos métodos permiten estudiar los

efectos tóxicos de los hidrocarburos en un entorno controlado y proporcionan datos relevantes sobre la absorción y distribución de estos compuestos en el organismo. Por otro lado, Brzezinski *et al.* (2024) demostraron que los ratones pueden absorber antraceno mediante exposición cutánea, resaltando la diversidad de rutas de absorción de hidrocarburos según la especie y el tipo de hidrocarburo.

Además, en el contexto de células humanas, como se menciona en los estudios de Jamshed *et al.* (2022) y Boogaard *et al.* (2017), la exposición a hidrocarburos y ácidos nafténicos puede inducir inflamación y otras respuestas celulares, indicando que incluso a nivel celular, los hidrocarburos pueden causar efectos significativos mediante la exposición directa. Esto subraya la importancia de comprender los mecanismos de acción de los hidrocarburos en niveles celulares para evaluar sus riesgos para la salud humana.

Finalmente, estudios como los de Balmer *et al.* (2015) y de Schwacke *et al.* (2014) con delfines muestran que la exposición dérmica e inhalación son vías importantes de absorción de petróleo durante derrames, mientras que Pulido-Capurro *et al.* (2022) y otros estudios destacaron la combinación de vías dérmicas y alimentarias en animales como lobos y nutrias. Estos estudios contribuyen a una comprensión integral de cómo los hidrocarburos pueden afectar a diferentes especies a través de múltiples rutas de absorción, enfatizando la necesidad de estrategias de mitigación efectivas en casos de contaminación por petróleo.

Tabla 1

Artículos seleccionados para la revisión, mamífero e hidrocarburo estudiado, estudio de caso y principales vías de absorción

| Autor | Mamífero | Hidrocarburo | Estudio de caso | Vía de absorción |
|--------------------------------------|---|--|-----------------------|-------------------------------|
| Zapata-Pérez <i>et al.</i> (2014) | Lobo marino | Petróleo | Derrame | Exposición |
| Castello <i>et al.</i> (2018) | ballenas, delfines, lobos marinos, elefantes marino | Petróleo | Derrame | Exposición |
| Villamar (2011) | Lobo marino | Petróleo | Derrame | Exposición |
| Crépeaux <i>et al.</i> (2014) | Ratas | HAP | Experimento | Exposición |
| Schwartz <i>et al.</i> (2004) | Nutrias marinas | Petróleo | Experimento | Exposición oral |
| Brzezinski <i>et al.</i> (2024) | Ratones | Antraceno | Experimento | Exposición cutánea |
| López-Berenguer <i>et al.</i> (2023) | Cetáceos y delfines | Hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP) | Derrame | Absorción |
| Lemos <i>et al.</i> (2024) | Manatí | Petróleo | Derrame | Transferencia materna |
| Tao <i>et al.</i> (2021) | Ratones | Criseno | Experimento | Exposición oral |
| Li <i>et al.</i> (2020) | Ratones | Benzo y Pireno | Experimento | Inhalación |
| Jin <i>et al.</i> (2014) | Ratones | Hidrocarburo aromático policíclico (3-metilcolantreno) | Experimento | Inyecciones intraperitoneales |
| Ackleh <i>et al.</i> (2017) | Ballenas (esperma analizado) | Petróleo | Experimento | Contacto |
| Hoseini <i>et al.</i> (2020) | La foca del Caspio (Fusa Caspica) | PAH's | Derrame | Alimentación |
| Miller <i>et al.</i> (2004) | Necropsia a 17 cetáceos | Hidrocarburos aromáticos halogenados | Derrame | Contacto |
| Wise <i>et al.</i> (2018) | Esperma de las ballenas | Petróleo crudo | Experimento | Células reproductoras |
| López-Berenguer <i>et al.</i> (2023) | Delfines | Naftaleno y fenantreno | Derrame | Respiración e ingesta |
| Sun <i>et al.</i> (2020) | Delfines (Sousa chinensis) | PAHs | Experimento | Contacto |
| Parasuraman <i>et al.</i> (2014) | Ratas | Éter de petróleo | Experimento | Ingesta |
| Flores-Serrano <i>et al.</i> (2014) | Murcielago, armadillo, zarigüeya, zorrillo | HAP | Derrame y experimento | Exposición |
| Santos-Neto <i>et al.</i> (2024) | Delfin | HAP | Derrame y experimento | Exposición |
| García-Alvarez <i>et al.</i> (2014) | Delfin | HAP | Derrame y experimento | Exposición |

| | | | | |
|----------------------------------|--|--|-------------|---|
| Lourenço <i>et al.</i> (2021) | Cetáceos | HAP | Derrame | Exposición |
| Propst <i>et al.</i> (1999) | Ratas | Éter de petróleo | Experimento | Ingesta |
| Hellou <i>et al.</i> (1990) | beluga, focas, cachalote, ballena, delfín y marsopa común. | HAP | Derrame | Exposición |
| Perono <i>et al.</i> (2022) | Ratones | compuestos aromáticos policíclicos (PAC) | Experimento | Ingestión |
| Jamshed <i>et al.</i> (2022) | Células humanas (trofoblastos) | Ácidos nafténicos (NAFC) | Experimento | Exposición a NAFC en células trofoblásticas placentarias |
| Schwacke <i>et al.</i> (2022) | Delfín | Petróleo | Derrame | Dérmica e ingestión |
| Singh <i>et al.</i> (2023) | Delfín | HAP | Derrame | Dérmico, ingestión e inhalación |
| Schwacke <i>et al.</i> (2014) | Delfín | Petróleo | Derrame | Dérmico, ingestión e inhalación |
| Baker <i>et al.</i> (1981) | Nutria | Petróleo | Derrame | Dérmico, ingestión e inhalación |
| Boogard <i>et al.</i> (2017) | Células humanas | Hidrocarburos sintéticos derivados del gas natural (GTL) | Experimento | Inflamación alveolar aguda e inflamación perivascular aguda de los pulmones |
| Smith <i>et al.</i> (2017) | Delfín | Petróleo | Experimento | Exposición, Inhalación y dérmico |
| Lane <i>et al.</i> (2015) | Delfín | Petróleo | Derrame | Exposición |
| Esler <i>et al.</i> (2018) | Orcas | Petróleo | Derrame | Exposición, Inhalación y dérmico |
| Lair <i>et al.</i> (2015) | Ballenas | Petróleo | Derrame | Exposición, Dérmico y digestión |
| Balmer <i>et al.</i> (2015) | Delfín | Petróleo | Derrame | Exposición, dérmico e inhalación |
| Venn-Watson <i>et al.</i> (2015) | Delfín | Petróleo | Derrame | Inhalación y dérmico |

| | | | | |
|-------------------------------------|---|------------|-------------|------------------------|
| Harwell <i>et al.</i> (2013) | Nutria | HAP | Derrame | Inhalación y digestión |
| Castello <i>et al.</i> (1998) | Lobo marino | Diesel | Derrame | Dérmico |
| Zajda <i>et al.</i> (2017) | Células humanas | HAP | Experimento | Exposición |
| Pulido-Capurro <i>et al.</i> (2022) | Lobo y nutria | Petróleo | Derrame | Dérmico y alimentaria |
| Benedict <i>et al.</i> (2003) | Ratones | HAP | Experimento | Exposición |
| Einaudi <i>et al.</i> (2014) | Ratones | PAH, BaP | Experimento | Exposición al BaP |
| IPIECA & IOGP (2015) | Cetáceos (ballenas y delfines), focas, manatíes, nutrias, dugongos y osos polares | BTEX, HAP | Experimento | Dérmico |
| Gao <i>et al.</i> (2018) | Células humanas | HAP | Experimento | Exposición |
| Helm <i>et al.</i> (2015) | Nutrias marinas, focas, leones marinos y morsas | Petróleo | Derrame | Alimentación |
| Xie <i>et al.</i> (2021) | Delfines y marsopas | PCB | Derrame | Dérmico y alimentación |
| Otten <i>et al.</i> (2023) | Cetáceos | Petróleo | Derrame | Dérmico |
| Wang <i>et al.</i> (2023) | Células humanas | Petróleo | Derrame | Alimentación |
| Nevalainen <i>et al.</i> (2018) | Focas y ballenas | Petróleo | Derrame | Alimentación |
| Hellfeld <i>et al.</i> (2023) | Células humanas | Petróleo | Derrame | Alimentación |
| Hajji & Lucas (2024) | Lobos marinos | Petróleo | Derrame | Exposición |
| Venkatraman <i>et al.</i> (2024) | Células humanas | HAP | Derrame | Exposición |
| Kuroda <i>et al.</i> (2013) | Ratas | Ozoquerita | Experimento | Exposición |

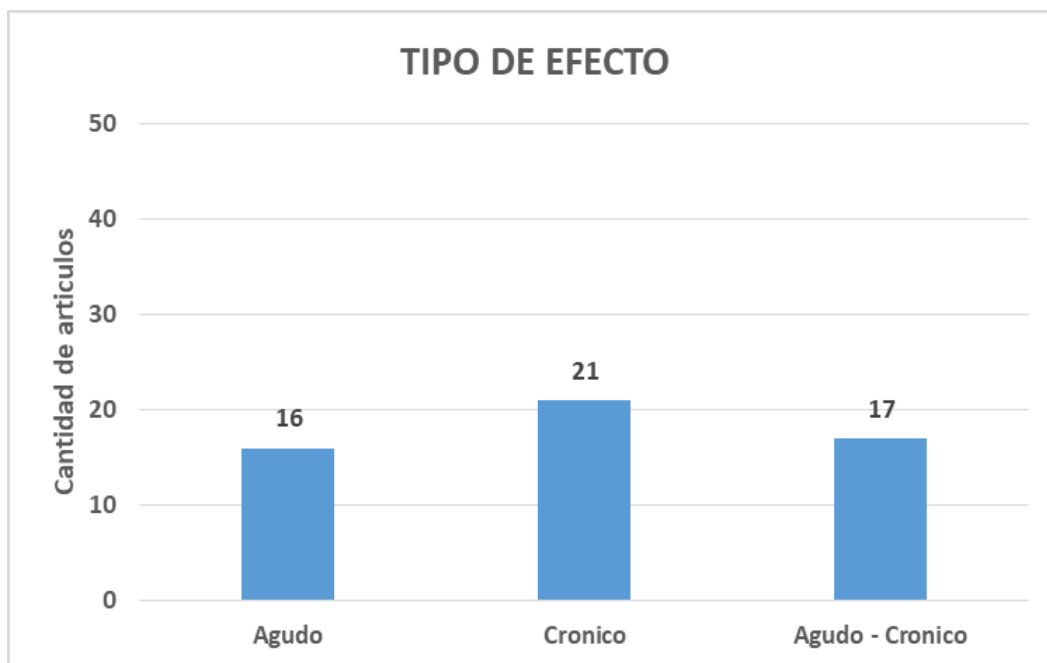
Efectos tóxicos agudos y crónicos

Se observó que la mayoría de los estudios se centran en investigar los efectos crónicos de los hidrocarburos en los mamíferos, sumando un total de 21 artículos. Mientras que 16 del total de los artículos analizados se centraron en los efectos agudos (Figura 4). Así mismo, es importante señalar que 17 artículos

abordan tanto los efectos agudos como crónicos. En la Figura 4, se observa el impacto de diversos hidrocarburos en mamíferos marinos, incluyendo efectos agudos, crónicos y agudo - crónicos, que resultan en daños significativos en la salud de estas especies, como alteraciones en el ADN, disminución de reproducción, enfermedades fisiológicas, etc.

Figura 4

Efectos agudo, crónico y agudo - crónico del petróleo en los mamíferos terrestres y acuáticos



En la Tabla 2, se muestran los efectos nocivos del petróleo y sus derivados en diferentes especies marinas a través de varios estudios. Teniendo en cuenta el estudio de Zapata-Pérez *et al.* (2014), donde se analizó el impacto del petróleo en los lobos marinos de un pelo. Los resultados indicaron una disminución significativa en las tasas de supervivencia, reproducción y cambios en la edad de maduración. Además, se observó una alteración del ADN, que influye en la muerte celular y tumores, con efectos genotóxicos transmitidos a la descendencia. Estos hallazgos resaltan la gravedad de la contaminación por petróleo en la salud y ciclo de vida de los lobos marinos. Por otro lado, Castello *et al.* (2016) investigaron los efectos de los derrames de crudo, abarcando diversas especies marinas como ballenas, delfines, lobos marinos, elefantes marinos y tortugas. Los resultados mostraron una variedad de afecciones clínicas, incluyendo

estomatitis, gingivitis, conjuntivitis, lesiones pustulosas y rinitis.

Este estudio subraya que los derrames de crudo tienen consecuencias devastadoras para la salud de múltiples especies marinas, afectando tanto su integridad física como su capacidad para sobrevivir en su entorno natural. En un estudio anterior Castelló *et al.* (1998) analizaron el impacto del diésel en los lobos marinos, donde los hallazgos mostraron comportamientos anómalos, como persistencia de rascado, pelaje oleoso, cambios en el comportamiento, especialmente, en individuos previamente estresados o enfermos. Además, se reportaron efectos fisiológicos como pérdida de calor por el pelaje e irritación de las mucosas, que pueden causar daños en el sistema nervioso central, insuficiencia hepática, y renal. Estos resultados destacan los efectos adversos del diésel en la salud y el comportamiento de los lobos

marinos. Finalmente, Pulido-Capurro *et al.* (2022) realizaron una investigación sobre el impacto del petróleo en varias especies marinas; incluyendo a *Otaria byronia* (lobo chusco), *Arctocephalus australis* (lobo fino) y *Lontra felina* (nutria de mar). Los resultados mostraron una disminución en la depredación y una alta tasa de mortalidad en organismos jóvenes, además se observó la incorporación de elementos carcinogénicos en la cadena alimentaria y una reducción en el apareamiento y reproducción. Estos hallazgos indican que la exposición al petróleo no solo afecta la supervivencia directa de estas especies, sino que también tiene implicaciones a largo plazo para la salud del ecosistema.

López-Berenguer *et al.* (2023) examinaron los efectos de los HAP en cetáceos y delfines. Los resultados indicaron alteraciones en el desarrollo fetal y posnatal, subrayando la vulnerabilidad de estas especies a los contaminantes presentes en su hábitat. La exposición a HAP puede tener consecuencias a largo plazo de estos mamíferos marinos, lo cual es alarmante considerando su importancia ecológica. Por otro lado, López-Berenguer *et al.* (2023) estudiaron el impacto del naftaleno y fenantreno en delfines, que a comparación a otros estudios no se encontraron efectos visibles significativos, ya que las concentraciones de los hidrocarburos fueron bajas y se surge que los delfines podrían acondicionarse rápidamente al medio. Este hallazgo destaca la adaptación de algunas especies marinas a contaminantes específicos, aunque no descarta posibles efectos subclínicos o a largo plazo. Schwacke *et al.* (2022) investigaron los efectos del derrame de petróleo de Deepwater Horizon en delfines, utilizando modelos

poblacionales, donde los resultados mostraron un deterioro en la reproducción y una rápida mortalidad, lo cual resalta el impacto devastador de grandes derrames de petróleo en especies longevas, estos efectos son particularmente preocupantes debido a la dificultad de recuperación de poblaciones afectadas por eventos de contaminación masiva. IPIECA & IOGP (2015) abarcaron una amplia gama de mamíferos, incluyendo cetáceos, focas, manatíes, nutrias, dugongos y osos polares, evaluando el impacto de compuestos como BTEX (benceno, tolueno, etilbenceno y xileno), y HAP, lo cual se reportaron diversas afecciones, tales como reducción en la tasa de crecimiento, daño en los tejidos, afectación de la capacidad reproductiva y daño genéticos. Estos resultados subrayan la gravedad de la exposición a estos compuestos en múltiples especies marinas y la necesidad de regulaciones más estrictas para proteger los ecosistemas marinos. Finalmente, Xie *et al.* (2021) estudiaron los efectos de los PCB en delfines jorobados y marsopas sin aletas, los hallazgos indicaron varios efectos fisiológicos adversos, subrayando el impacto negativo de los PCB, que persisten en el ambiente y pueden acumularse en la cadena alimentaria, este estudio destaca la amenaza continua de los PCB para la salud de las especies marinas, a pesar de las restricciones de su uso.

Crepeaux *et al.* (2014) investigaron los efectos de los HAP en ratas, encontrando que la exposición a estos compuestos causaba efectos adversos a largo plazo en el comportamiento y el metabolismo energético cerebral, siendo preocupante, ya que los HAP son contaminantes comunes en el medio ambiente, y su impacto negativo en el cerebro puede tener implicaciones serias para la salud neurológica. En un

estudio paralelo, Parasuraman *et al.* (2014) analizaron los efectos del éter de petróleo en ratas, observando cambios significativos en el comportamiento con dosis de hasta 2000 mg/kg, además reportaron una reducción del peso corporal, cambios morfológicos y casos de canibalismo. Estos resultados subrayan la toxicidad del éter de petróleo y sus efectos detrimentales en la salud y el comportamiento de las ratas, lo cual podría extrapolarse a otras especies expuestas a este compuesto. Asimismo, Propst *et al.* (1999) también estudió el efecto del éter de petróleo en ratas, reportando daño en órganos y alteraciones morfológicas, estos efectos adversos resaltan la necesidad de evaluar y controlar la exposición a éter de petróleo, dado su potencial para causar daño significativo a la salud. Por otro lado, Kuroda *et al.* (2013) examinaron los efectos tóxicos de la ozoquerita, una mezcla de diversos hidrocarburos, en ratas, los resultados indicaron que la exposición prolongada provoca inflamación crónica sistémica y tenía un efecto levemente cancerígeno en el hígado de ratas macho. Estos resultados son alarmantes, ya que sugieren que la ozoquerita y compuestos similares pueden tener efectos crónicos y potenciales carcinogénicos, lo cual es relevante para la evaluación de riesgos en la salud ambiental.

Baker *et al.* (1981) y Helm *et al.* (2015), examinaron los efectos del petróleo en nutrias y otros mamíferos marinos, reportando una amplia gama de problemas en la salud, desde autólisis gástrica y problemas respiratorios hasta hipertrofia ventricular izquierda y quistes tiroideos, estos estudios demostraron que la exposición al petróleo puede causar daños sistémicos graves y afectar la viabilidad a largo plazo de estas especies. Asimismo, Lair *et al.* (2015) analizaron e informaron que la exposición al petróleo en

ballenas puede causar adenocarcinoma de la mucosa gastrointestinal, una condición grave que afecta la salud y longevidad de estos grandes mamíferos marinos.

Jamshed *et al.* (2022) investigaron los efectos de los componentes fraccionarios de ácidos nafténicos (NAFC) presentes en el agua afectada por procesos de arenas bituminosas en células trofoblásticas humanas, encontrando componentes que introducen estrés celular, aumentando la secreción de marcadores de estrés, inhibiendo la proliferación y migración de células trofoblásticas placentarias, esto podría tener implicaciones significativas para el desarrollo placentario y la salud fetal. Boogaard *et al.* (2017) evaluaron las propiedades toxicológicas de los productos de gas líquido (GTL), derivados de hidrocarburos sintéticos, en humanos, concluyendo que estos productos pueden afectar negativamente el desarrollo reproductivo y prenatal destacando la necesidad de evaluación rigurosa de estos compuestos antes de su uso generalizado.

Wang *et al.* (2023) y Hellfeld *et al.* (2023) ambos documentaron los efectos del petróleo en el desarrollo humano, donde ambos observaron que la exposición al petróleo puede interferir con el desarrollo normal, lo que subraya la importancia de regular la exposición a estos contaminantes para proteger la salud pública. Finalmente, Venkatram *et al.* (2024) exploraron los efectos de los HAP en humanos y encontraron que estos compuestos están asociados con trastornos cardiopulmonares y una mayor susceptibilidad a cánceres, lo cual demuestra la necesidad de controlar y reducir las emisiones de HAP para prevenir enfermedades graves en la población.

Tabla 2
Efectos tóxicos agudos y crónicos del petróleo en los mamíferos terrestres y acuáticos

| Mamífero analizado | Tipo de efecto | | |
|---|--|---|---|
| | Autores | Agudo | Crónico |
| Hidrocarburo | Zapata <i>et al.</i> (2014) Pulido-Capurro <i>et al.</i> (2022) | Decrementos en tasas de supervivencia. Disminución de la degradación, alta tasa de mortalidad en organismos jóvenes. | Alteración del ADN (muerte celular, tumores). Efectos genotóxicos transmitidos a la descendencia, incorporación de elementos carcinogénicos en la cadena alimentaria, reducción de apareamiento y reproducción |
| | Castello <i>et al.</i> (2014) Pulido-Capurro <i>et al.</i> (2022) | | |
| Lobo marino | Castello <i>et al.</i> (1998) | Comportamientos anómalos como persistencia de rascado, pelaje oleoso y cambios en el comportamiento, especialmente en individuos previamente estresados o enfermos. | Pérdida de calor por el pelaje e irritación de las mucosas, pudiendo causar daños en el sistema nervioso central, insuficiencia hepática y renal. |
| Derrames de crudo | - | - | Castello <i>et al.</i> (2016) Estomatitis, gingivitis, conjuntivitis, lesiones pustulosas, rinitis, alteraciones de las uñas |
| Hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP) | IPIECA & IOGP (2015) | Tasa de crecimiento, daño en el tejido, la capacidad de reproducción, la actividad fisiológica, los daños en los tejidos y el daño genético | López-Berenguer <i>et al.</i> (2024) Alteraciones en el desarrollo fetal y posnatal |
| Delfines de crudo | - | - | Castello <i>et al.</i> (2016) Estomatitis, gingivitis, conjuntivitis, lesiones pustulosas, rinitis, alteraciones de las uñas |

| | | | | |
|---|--------------------------------------|--|--------|--|
| | | No se registraron efectos visibles, las concentraciones de los hidrocarburos fueron bajas y posiblemente los delfines se acondicionaron rápidamente al medio. | - | - |
| Naftaleno y fenantreno | López-Berenguer <i>et al.</i> (2023) | | | |
| Petróleo | Santos-Neto <i>et al.</i> (2024) | Reproducción deteriorada, mortalidad | Rápida | |
| Ratas | | | | |
| Hidrocarburo aromático policíclico (HAP) | | | | Crépeaux <i>et al.</i> (2014). Efectos adversos sobre el comportamiento a largo plazo y el metabolismo energético cerebral en ratas. |
| Éter de petróleo | Parasuraman <i>et al.</i> (2014) | Cambios en comportamiento de hasta 2000 mg/kg | | Parasuraman <i>et al.</i> (2014). Reducción del peso corporal, cambios morfológicos y canibalismo. Propst <i>et al.</i> (1999). Daño de órganos y alteraciones morfológicas. |
| Ozoquerita (mezcla de diversos hidrocarburos) | | | | Kuroda <i>et al.</i> (2013). La exposición prolongada provoca inflamación crónica sistémica, además de ser levemente cancerígeno en el hígado de ratas macho. |
| Fueloil | | | | Schwartz <i>et al.</i> (2004). Alteraciones metabólicas, enfermedades gastrointestinales, aumento en el número de leucocitos anemia crónica |
| Nutrias | Helm <i>et al.</i> (2015) | Autolisis gástrica, presencia de sangre, mucosidad y aceite en el lumen gástrico, hematomas subcutáneos y hemorragias de la mucosa, hiperemia, traqueítis. Ojos y sistema respiratorio | | Helm <i>et al.</i> (2015). Hiperplasia del conducto biliar, fibrosis e inflamación de las triadas portales, dilatación de túbulos renales y formación de cilindros hialinos, hipertrofia ventricular izquierda, quistes tiroideos. Problemas de salud y reproducción |
| BTEX, HAP | IPECA & IOGP (2015) | Tasa de crecimiento, daño en el tejido, la capacidad de reproducción, la actividad fisiológica, los daños en los tejidos y el daño genético | | - |

| | | | |
|----------|--|--|--|
| | - | Castello <i>et al.</i> (2016) Wise <i>et al.</i> (2018) | Estomatitis, gingivitis, conjuntivitis, lesiones pustulosas, rinitis, alteraciones de las uñas. Alteración de las células reproductoras (esperma). Se vuelven infértiles ante la exposición y por ende, reducción poblacional de las ballenas. Muerte prenatal |
| Ballenas | | | |
| | Petróleo | Wise <i>et al.</i> (2018) | Adenocarcinoma de la mucosa gastrointestinal |
| | Hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP) | Hellou <i>et al.</i> (1990) | Presencia de tumores, tasa de crecimiento, daño en el tejido, la capacidad de reproducción, la actividad fisiológica, los daños en los tejidos y el daño genético |
| Humanos | Ácidos nafténicos (NAFC) | Jamshed <i>et al.</i> (2022) | Estrés celular, aumento en la secreción de marcadores de estrés en trofoblastos placentarios, inhibición de la proliferación y migración de células trofoblástica |
| | Hidrocarburos sintéticos derivados del gas natural (GTL) | | |
| | Petróleo | Wang <i>et al.</i> (2023) | Desarrollo |
| | Hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP) | | |
| | | Boogaard <i>et al.</i> (2017) | Desarrollo reproductivo y prenatal |
| | | | |
| | | Venkatraman <i>et al.</i> (2024) | Trastornos cardiopulmonares, susceptibilidad cancerígena |

Efectos reproductivos y del desarrollo

En la Figura 5 se muestra que el impacto de los diferentes hidrocarburos sobre la fertilidad es el efecto más estudiado, con un total de 22 artículos que lo analizan. Seguido por el efecto en el desarrollo fetal, postnatal y óvulos, con 20 estudios que lo analizan. Por último, el efecto teratogénico es el menos estudiado, con solo ocho artículos que lo abordan.

En cuanto a los impactos de los hidrocarburos en la fertilidad (ya sea inducido o por derrame), según Villamar (2011), son debilitantes porque reducen la reproducción de los mamíferos al alterar su desarrollo normal, además de afectar los mecanismos de alimentación y disminuir la capacidad de defensa contra enfermedades. Asimismo, tipos de hidrocarburos como los hidrocarburos aromáticos policíclicos (PAC) pueden provocar afección en los ovarios o los óvulos de los mamíferos, ya que las alteraciones en las vías de señalización que regulan la foliculogénesis, la esteroidogénesis y la angiogénesis ovárica pueden resultar en problemas reproductivos adversos, como el síndrome de ovario poliquístico, la insuficiencia ovárica prematura y la infertilidad (Perono *et al.*, 2022).

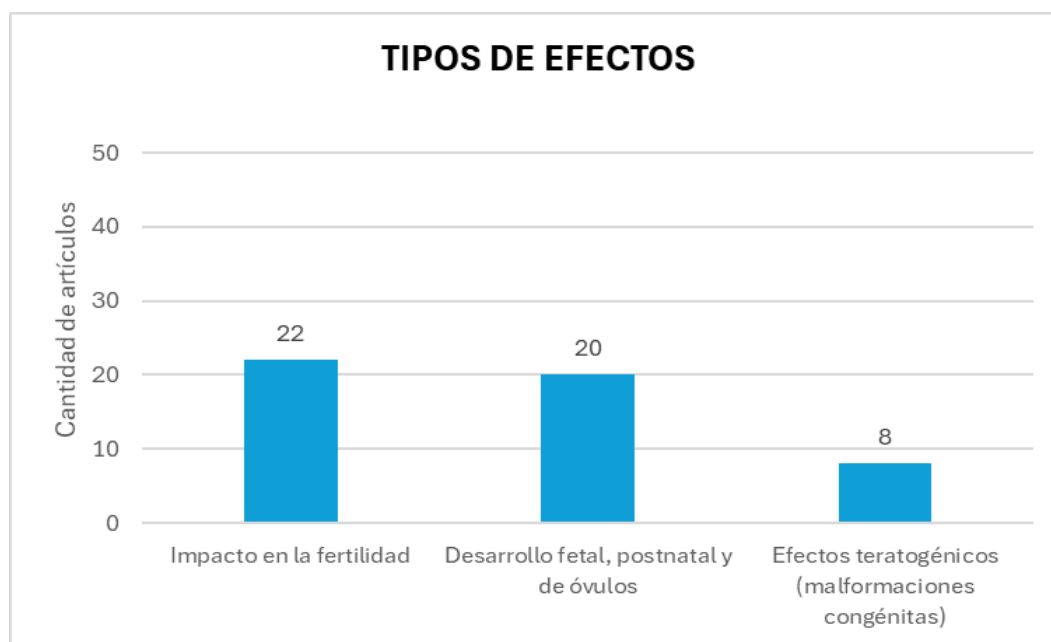
En animales acuáticos como los cachalotes, la exposición a los hidrocarburos puede impedirles reproducirse con éxito. Esto podría deberse a la afectación de sus células reproductivas, y, si logran reproducirse, estas sustancias químicas podrían provocar anomalías en el desarrollo o retraso en el crecimiento de sus crías, generando así preocupación hacia las poblaciones a largo plazo (Wise *et al.*,

2018). Asimismo, los hidrocarburos como PCB generan efectos negativos a mamíferos como los delfines jorobados machos ya que luego de la exposición, el PCB se transporta hacia sus testículos generando una disminución en las hormonas reproductivas, generando bajas tasas de reproducción de esta especie (Sun *et al.*, 2020). Además, según Lane *et al.* (2015) esta exposición puede provocar pérdidas fetales o neonatales de los delfines hembra, pero no pudieron determinar el momento exacto. Por otro lado, en mamíferos terrestres o aéreos como los murciélagos, los armadillos, zorrillo mapache, ratas y conejo, los hidrocarburos también generan efectos adversos en su reproducción, ya que se producen alteraciones en el sistema endocrino, generalmente en el reproductivo masculino (Chung *et al.*, 2011; Flores-Serrano *et al.*, 2014).

Con respecto a los efectos teratogénicos, la exposición prolongada a hidrocarburos aromáticos o hidrocarburos en mamíferos, como las ratas, puede ocasionar malformaciones craneofaciales y defectos cardíacos, incluyendo la elongación del corazón (Parasuraman *et al.*, 2014). Asimismo, en el caso del hidrocarburo antraceno, debido a que es una de las sustancias que alteran el sistema endocrino, puede interferir con la regulación hormonal durante etapas críticas del desarrollo (Venkatraman *et al.*, 2024). Otros estudios realizados como el de Freije *et al.* (2022) han demostrado que la acumulación de benzo y antraceno pueden reducir el peso al nacer y causar irregularidades genéticas en ratones, destacando la vulnerabilidad del embrión en desarrollo.

Figura 5

Efectos reproductivos y del desarrollo del petróleo en los mamíferos terrestres y acuáticos.



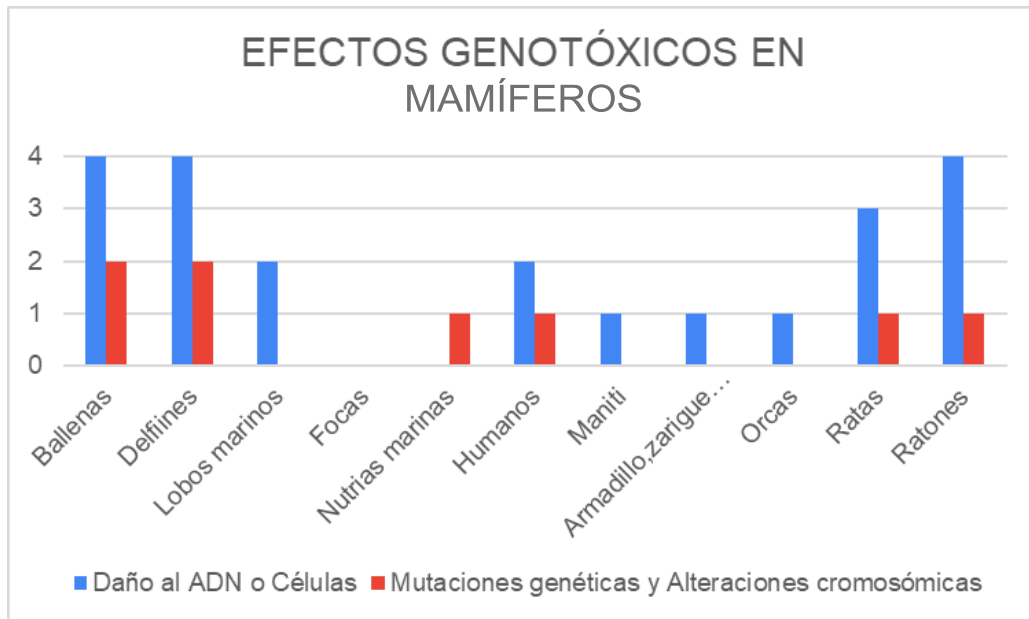
Tipo de efectos genotóxicos y bioquímicos

Los artículos encontrados coinciden que la exposición e ingesta del contaminante en mamíferos marinos y terrestres provoca efectos genotóxicos, como daño al ADN o células del animal, mutaciones genéticas y alteraciones cromosómicas, asimismo, los mamíferos más analizados para el conocimiento de sus efectos negativos son los cetáceos y roedores.

La exposición a hidrocarburos puede llevar a la formación de metabolitos reactivos que se unen al ADN, provocando mutaciones y daño cromosómico. Este daño genético puede resultar en una disfunción celular y contribuir al desarrollo de enfermedades como el cáncer. (Venkatraman *et al.*, 2024). La exposición de compuestos químicos como BaP PAH en roedores va tener efectos agudos, como roturas del ADN en los

ovocitos y las CC, así como un aumento de los aductos de ADN inducidos por BaP en las CC (Einaudi *et al.*, 2014).

Además, la ingesta de contaminantes derivados de hidrocarburos causa alteraciones del ADN y alteraciones cromosómicas en cetáceos, delfines, lobos marinos, orcas, estos contaminantes persisten en el medio marino causando efectos a corto y largo plazo en muchos procesos y sistemas biológicos, incluidos los genéticos, moleculares, neurológicos. Si bien los animales jóvenes pueden ser más vulnerables a la exposición directa a los contaminantes, los efectos en los adultos pueden limitar efectivamente la población reproductora; ambos iniciarán efectos poblacionales (Hajji & Lucas, 2024). Por otro lado, los humanos pueden sufrir efectos adversos al exponerse a una fracción de ácido nafténico (NAFC) puede afectar adversamente la función de las células trofoblásticas placentarias en mamíferos (Jamshed *et al.*, 2022).

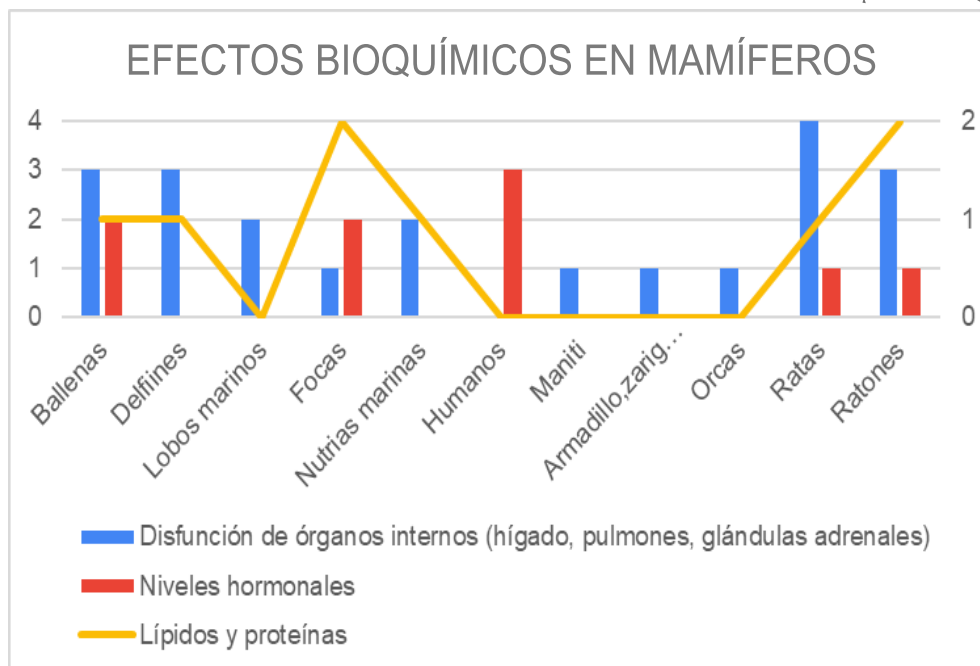
Figura 6*Efectos genotóxicos del petróleo en los mamíferos terrestres y acuáticos*

Los hidrocarburos, al ser metabolizados en los organismos de mamíferos, pueden inducir una serie de efectos bioquímicos adversos. Por ejemplo, en el hígado, los hidrocarburos pueden causar daño celular y disfunción hepática al generar metabolitos tóxicos que interfieren con las funciones hepáticas esenciales, como la detoxificación y la síntesis de proteínas. En los pulmones, la inhalación de hidrocarburos puede llevar a inflamación y daño del tejido pulmonar, afectando la capacidad respiratoria y contribuyendo al desarrollo de enfermedades como la fibrosis pulmonar. Las glándulas adrenales, que son cruciales para la producción de hormonas, también pueden ser afectadas, resultando en alteraciones hormonales que impactan el equilibrio endocrino del organismo. Además, los hidrocarburos pueden modificar los niveles de lípidos y proteínas en el cuerpo, induciendo peroxidación lipídica y daño proteico que comprometen la integridad y función de las membranas

celulares y las rutas metabólicas. Estos efectos combinados pueden provocar disfunción multiorgánica y aumentar el riesgo de enfermedades crónicas en los mamíferos expuestos (Zapata-Pérez *et al.*, 2014)

Las ballenas, delfines, lobos marinos, focas, nutrias marinas, manatíes y orcas sufren disfunción de órganos internos debido a la exposición a hidrocarburos. Los niveles hormonales alterados afectan a ballenas, focas y humanos. Los efectos negativos en los lípidos y proteínas varían entre diferentes mamíferos, siendo más severos en algunos que en otros (Castello *et al.*, 2016). La comprensión de los efectos bioquímicos de los hidrocarburos en mamíferos es crucial tanto para la conservación ambiental como para la salud pública. Estos compuestos pueden alterar significativamente las funciones metabólicas y los sistemas enzimáticos, afectando tanto a mamíferos salvajes como a humanos expuestos.

Figura 7
Efectos bioquímicos del petróleo en los mamíferos terrestres y acuáticos



Conclusiones

A partir del análisis de los artículos seleccionados podemos decir que hubo un avance creciente en los últimos años en cuanto a los artículos publicados y estudios realizados sobre efectos tóxicos agudos y crónicos de hidrocarburos en mamíferos. Además, se identificó que la mayoría de las investigaciones se realizaron después de un evento de gran magnitud de derrame, es decir que se evaluaron los efectos años después de dichos eventos, lo cual va relacionado con los efectos crónicos; siendo la mayor parte de los estudios encontrados con un total de 21 artículos del total.

Así mismo, existe diversidad de rutas de absorción de hidrocarburos en diferentes especies de mamíferos, siendo la exposición directa, la inhalación y la ingestión las principales vías de

absorción. En cuanto a los efectos adversos observados incluyen daños fisiológicos, genéticos y disfunción de órganos internos, los cuales afectan la supervivencia, reproducción y calidad de vida de estos animales.

En resumen, las contaminaciones acuáticas por los hidrocarburos generan efectos tóxicos como crónicos en los seres vivos, debido a las propiedades como características de estos, por ejemplo, su bioacumulación, su dificultad para ser degradados mediante el metabolismo de los seres vivos, así como la complejidad de la estructura de los hidrocarburos, entre otros. Del mismo modo, influyen las características fisiológicas de cada especie, así como el grupo etario, sexo, entre otros. Ante esta problemática, es necesario estrictas políticas frente a accidentes por derrame, y herramientas de remediación eficaces como eficientes.

Referencias

- Ackleh, A. S., Chiquet, R. A., Ma, B., Tang, T., Caswell, H., Veprauskas, A., & Sidorovskaia, N. (2017). Analysis of lethal and sublethal impacts of environmental disasters on sperm whales using stochastic modeling. *Ecotoxicology*, *26*, 820-830.
- Baker, J. R., Jones, A. M., Jones, T. P., & Watson, H. C. (1981). Otter *Lutra lutra* L. mortality and marine oil pollution. *Biological Conservation*, *20*(4), 311-321. [https://doi.org/10.1016/0006-3207\(81\)90017-3](https://doi.org/10.1016/0006-3207(81)90017-3)
- Balmer, B. C., Ylitalo, G. M., McGeorge, L. E., Baugh, K. A., Boyd, D., Mullin, K. D., Rosel, P. E., Sinclair, C., Wells, R. S., Zolman, E. S., & Schwacke, L. H. (2015). Persistent organic pollutants (POPs) in blubber of common bottlenose dolphins (*Tursiops truncatus*) along the northern Gulf of Mexico coast, USA. *Science Of The Total Environment*, *527-528*, 306-312. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.05.016>
- Benedict, J. C., Miller, K. P., Lin, T. M., Greenfeld, C., Babus, J. K., Peterson, R. E., & Flaws, J. A. (2003). Aryl Hydrocarbon Receptor Regulates Growth, But Not Atresia, of Mouse Preantral and Antral Follicles. *Biology of Reproduction*, *68*(5), 1511-1517. <https://doi.org/10.1095/BIOLREPROD.102.007492>
- Boogaard, P. J., Carrillo, J. C., Roberts, L. G., & Whale, G. F. (2017). Toxicological and ecotoxicological properties of gas-to-liquid (GTL) products. 1. Mammalian toxicology. *Critical reviews in toxicology*, *47*(2), 121-144. <https://doi.org/10.1080/10408444.2016.1214676>
- Brzezinski, M., Martin, L., Simpson, K., Lu, K., Gan, N., Huang, C. & Xu, W. (2024). Photodegradation enhances the toxic effect of anthracene on skin. *Journal of Hazardous Materials*, *471*, 134386. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2024.134386>
- Castello, H., Junin, M., & Lorenzani, J. (2016). *El impacto del tráfico marítimo, pesca artesanal, hidrocarburos, plásticos y contaminantes sobre la fauna marina en la región costera bonaerense*. Univ. Maimónides.
- Castello, H., Junín, M., Lorenzani, J., & Lorenzani, J. (2018). El Impacto Del Tráfico Marítimo, Pesca Artesanal, Hidrocarburos, Plásticos Y Contaminantes Sobre La Fauna Marina En La Región Costera Bonaerense. *Fundación de Historia Natural*, *1*, 1-12.
- Castellon, H., Hollmann, P., & Junín M. (1998). Efectos de la contaminación por hidrocarburos en el puerto de mar del Plata (Argentina), sobre una colonia de lobo marino de un pelo, *Otaria*

- Flavescens*. https://www.inocar.mil.ec/web/phocadownloadpap/actas_oceanograficas/acta9/OCE901_7.pdf
- Chung, JY, Kim, YJ, Kim, JY, Lee, SG, Park, JE, Kim, WR, y Kim, JM (2011). El benzo [a] pireno reduce la producción de testosterona en células de Leydig de rata mediante una alteración directa de la maquinaria esteroidogénica testicular. *Perspectivas de salud ambiental*, 119 (11), 1569-1574. <https://ehp.niehs.nih.gov/doi/abs/10.1289/ehp.1003391>
- Crépeaux, G., Grova, N., Bouillaud-Kremarik, P., Sikhayeva, N., Salquèbre, G., Rychen, G., Soulimani, R., Appenzeller, B., & Schroeder, H. (2014). Short-term effects of a perinatal exposure to a 16 polycyclic aromatic hydrocarbon mixture in rats: Assessment of early motor and sensorial development and cerebral cytochrome oxidase activity in pups. *NeuroToxicology*, 43, 90-101. <https://doi.org/10.1016/j.neuro.2014.03.012>.
- Einaudi, L., Courbiere, B., Tassistro, V., Prevot, C., Sari-Minodier, I., Orsiere, T., & Perrin, J. (2014). *In vivo* exposure to benzo (a)pyrene induces significant DNA damage in mouse oocytes and cumulus cells. *Human Reproduction*, 29(3), 548-554. <https://doi.org/10.1093/HUMREP/DET439>
- Esler, D., Ballachey, B. E., Matkin, C., Cushing, D., Kaler, R., Bodkin, J., Monson, D., Esslinger, G., & Kloecker, K. (2018). Timelines and mechanisms of wildlife population recovery following the Exxon Valdez oil spill. *Deep-sea Research. Part 2. Topical Studies In Oceanography/Deep Sea Research. Part II, Topical Studies In Oceanography*, 147, 36-42. <https://doi.org/10.1016/j.dsr2.2017.04.007>
- Flores-Serrano, R. M., Iturbe-Argüelles, R., Pérez-Casimiro, G., Ramírez-González, A., Flores-Guido, J. S., & Kantún-Balam, J. M. (2014). Ecological risk assessment for small omnivorous mammals exposed to polycyclic aromatic hydrocarbons: A case study in northeastern Mexico. *Science of the Total Environment*, 476, 218-227. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2013.12.092>
- Freije, S. L., Enquobahrie, D. A., Day, D. B., Loftus, C., Szpiro, A. A., Karr, C. J., ... & Sathyanarayana, S. (2022). Prenatal exposure to polycyclic aromatic hydrocarbons and gestational age at birth. *Environment international*, 164, 107246. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0160412022001726>
- Gao, P., da Silva, E., Hou, L., Denslow, N. D., Xiang, P., & Ma, L. Q. (2018). Human exposure to polycyclic aromatic hydrocarbons: Metabolomics perspective. *Environment International*, 119, 466-477. <https://doi.org/10.1016/J.ENVINT.2018.07.017>
- García-Álvarez, N., Boada, L. D.,

- Fernández, A., Zumbado, M., Arbelo, M., Sierra, E., & Luzardo, O. P. (2014). Assessment of the levels of polycyclic aromatic hydrocarbons and organochlorine contaminants in bottlenose dolphins (*Tursiops truncatus*) from the Eastern Atlantic Ocean. *Marine Environmental Research*, 100, 48-56. <https://doi.org/10.1016/j.marenvres.2014.03.010>
- Hajji, A. L., & Lucas, K. N. (2024). Anthropogenic stressors and the marine environment: From sources and impacts to solutions and mitigation. *Marine Pollution Bulletin*, 205, 116557. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2024.116557>
- Harwell, M. A., & Gentile, J. H. (2013). Assessing Risks to Sea Otters and the Exxon Valdez Oil Spill: New Scenarios, Attributable Risk, and Recovery. *Human And Ecological Risk Assessment*, 20(4), 889-916. <https://doi.org/10.1080/10807039.2013.828513>
- Hellfeld, R., Gade, C., Koppel, D.J., Walters, W.J., Kho, F., & Hastings, A. (2023). An approach to assess potential environmental mercury release, food web bioaccumulation, and human dietary methylmercury uptake from decommissioning offshore oil and gas infrastructure. *Journal of Hazardous Materials*, 452, 131298. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2023.131298>
- Hellou, J., Stenson, G., Ni, I. H., & Payne, J. F. (1990). Polycyclic aromatic hydrocarbons in muscle tissue of marine mammals from the Northwest Atlantic. *Marine Pollution Bulletin*, 21(10), 469-473. [https://doi.org/10.1016/0025-326X\(90\)90065-G](https://doi.org/10.1016/0025-326X(90)90065-G)
- Helm, R., Costa, D.P., DeBruyn, T.D., O'Shea, T.J., Wells, R.S., & Williams, T.M. (2015). Overview of Effects of Oil Spills on Marine Mammals. Chapter 18. Fingas, M. (ed.). *Handbook of Oil Spill Science and Technology*. Pp.455-475. <https://doi.org/10.1002/9781118989982.ch18>
- Hoseini, S. M., Namroodi, S., Zaccaroni, A., Sayad-Shirazi, A., Pérez-López, M., & Soler-Rodríguez, F. (2020). Detection of carcinogenic polycyclic aromatic hydrocarbons in stranded caspian seals (*Pusa caspica*). *Aquatic Mammals*, 46(1), 58-66. <https://dx.doi.org/10.1578/AM.46.1.2020.58>
- IPIECA, & IOGP. (2015). *Impactos de los derrames de hidrocarburos sobre la ecología marina*. <https://biblioteca.dgmm.gob.hn/wp-content/uploads/2024/04/IPIECA-IOGP-2015-Impactos-de-los-derrames-de-hidrocarburos-sobre-la-ecologia-marina.pdf>
- Kuroda, K., Kijima, A., Jin, M., Ishii, Y., Takasu, S., Matsushita, K., & Umemura, T. (2013). The effects of long-term exposure to ozokerite mainly consisting of an aliphatic series of hydrocarbons using F344 rats. *Food and chemical toxicology*, 55, 476-483. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2013.01.034>

- Jamshed, L., Perono, G. A., Yacoub, L. R., Gutgesell, R. M., Frank, R. A., Hewitt, L. M., ... & Holloway, A. C. (2022). The effects of oil sands process-affected water naphthenic acid fraction components on GDF15 secretion in extravillous trophoblast cells. *Toxicology and Applied Pharmacology*, 441, 115970. <https://doi.org/10.1016/j.taap.2022.115970>
- Jin, Y., Miao, W., Lin, X., Wu, T., Shen, H., Chen, S. & Fu, Z. (2014). Sub-chronically exposing mice to a polycyclic aromatic hydrocarbon increases lipid accumulation in their livers. *Environmental Toxicology and Pharmacology*, 38(2), 353-363. <https://doi.org/10.1016/j.etap.2014.07.014>
- Lair, S., Measures, L. N., & Martineau, D. (2015). Pathologic Findings and Trends in Mortality in the Beluga (*Delphinapterus leucas*) Population of the St Lawrence Estuary, Quebec, Canada, From 1983 to 2012. *Veterinary Pathology*, 53(1), 22-36. <https://doi.org/10.1177/0300985815604726>
- Lane, S. M., Smith, C. R., Mitchell, J., Balmer, B. C., Barry, K. P., McDonald, T., Mori, C. S., Rosel, P. E., Rowles, T. K., Speakman, T. R., Townsend, F. I., Tumlin, M. C., Wells, R. S., Zolman, E. S., & Schwacke, L. H. (2015). Reproductive outcome and survival of common bottlenose dolphins sampled in Barataria Bay, Louisiana, USA, following the Deepwater Horizon oil spill. *Proceedings - Royal Society. Biological Sciences/Proceedings - Royal Society. Biological Sciences*, 282(1818), 20151944. <https://doi.org/10.1098/rspb.2015.1944>
- Lemos, L. S., Attademo, F. L., de Paiva Jr, L. H., Costa, A. F., Reis, L. M., de Oliveira Luna, F., & Siciliano, S. (2024). Metal and metalloid maternal transfer in a newborn West Indian manatee (*Trichechus manatus*) two years after the northeastern oil spill disaster of 2019 in Brazil. *Marine Pollution Bulletin*, 200, 116147. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2024.116147>
- Li, G., Xiong, H., Saeed, K., Ma, R., Xing, Y., Bi, Y., Li, C., Huang, J., & Zhang, Y. (2020). Comparative toxicity analysis of corannulene and benzo[a]pyrene in mice. *Toxicology Letters*, 331, 130-142. <https://doi.org/10.1016/j.toxlet.2020.05.002>
- Liao, Z., Cui, X., Luo, X., Ma, Q., Wei, Y., Liang, M. y Xu, H. (2024). Exposure of farmed fish to petroleum hydrocarbon pollution and the recovery process: A simulation experiment with tiger puffer *Takifugu rubripes*. *Science of the total Environment*, 913, 169743.
- Lindeberg, M.R., Maselko, J., Heintz, R.A., Carls, M.G., Fugate, C., & Holland, L. (2018). Conditions of persistent oil on beaches in Prince William Sound 26 years after the Exxon Valdez spill. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, 147,

- 9-19. <https://doi.org/10.1016/j.dsr2.2017.07.011>
- López-Berenguer, G., Acosta-Dacal, A., Luzardo, O. P., Peñalver, J., & Martínez-López, E. (2023). Assessment of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in mediterranean top marine predators stranded in SE Spain. *Chemosphere*, *336*, 139306. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2023.139306>
- Lourenço, R. A., Taniguchi, S., da Silva, J., Gallotta, F. D. C., & Bicego, M. C. (2021). Polycyclic aromatic hydrocarbons in marine mammals: A review and synthesis. *Marine pollution bulletin*, *171*, 112699. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2021.112699>
- Miller, A.C., Wilson, J.Y., Moore, M. J., & Stegeman, J. J. (2004). Cytochrome p450 1a1 expression in cetacean integument: implications for detecting contaminant exposure and effects. *Marine Mammal Science*, *20*(3), 554–566. <https://doi.org/10.1111/J.1748-7692.2004.TB01179.X>
- Mogollón, R., Arellano, C., Villegas, P., Espinoza-Morriberón, D., & Tam, J. (2023). REPSOL oil spill off Central Perú in January 2022: A modeling case study. *Marine Pollution Bulletin*, *194*, 115282. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2023.115282>
- Murphy, D., Gemmell, B., Vaccari, L., Li, C., Bacosa, H., Evans, M., Gemmell, C., Harvey, T., Jalali, M., & Niepa, T.H.R. (2016). An in-depth survey of the oil spill literature since 1968: Long term trends and changes since Deepwater Horizon. *Marine Pollution Bulletin*, *113*, 371–379. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2016.10.028>
- Nevalainen, M., Helle, I., & Vanhatalo, J. (2018). Estimating the acute impacts of Arctic marine oil spills using expert elicitation. *Marine pollution bulletin*, *131*, 782–792. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2018.04.076>
- Otten, J., Williams, L., & Refsnider, J.M. (2023). Freshwater turtle populations as bioindicators following an oil spill: Delayed demographic changes reveal long-term impacts. *Ecological Indicators*, *154*, 110519. <https://doi-org.cientifica.remotexs.co/10.1016/j.ecolind.2023.110519>
- Parasuraman, S., Sujithra, J., Syamittra, B., Yeng, W. Y., Ping, W. Y., Muralidharan, S., ... & Dhanaraj, S. A. (2014). Evaluation of sub-chronic toxic effects of petroleum ether, a laboratory solvent in Sprague-Dawley rats. *Journal of basic and clinical pharmacy*, *5*(4), 89.
- Perono, G. A., Petrik, J. J., Thomas, P. J., & Holloway, A. C. (2022). The effects of polycyclic aromatic compounds (PACs) on mammalian ovarian function. *Current Research in Toxicology*, *3*, 100070. <https://doi.org/10.1016/j.crtox.2022.100070>

- Propst, T. L., Lochmiller, R. L., Qualls, C. W., & McBee, K. (1999). In situ (mesocosm) assessment of immunotoxicity risks to small mammals inhabiting petrochemical waste sites. *Chemosphere*, 38(5), 1049–1067. [https://doi.org/10.1016/S0045-6535\(98\)00349-X](https://doi.org/10.1016/S0045-6535(98)00349-X)
- Pulido-Capurro, V., Arana Bustamante, C., Olivera Carhuaz, E., & Riveros, J. C. (2022). El derrame de petróleo en el Terminal 2 de la Refinería la Pampilla y sus efectos en la biodiversidad de las costas del litoral marino, Perú. *Arnaldoa*, 29(1), 71–88. <https://doi.org/10.22497/ARNALDOA.291.29104>
- Ramenzoni, V. C., Comparini, L., Houlihan, A., Meyer, P., & Brouillard, P. (2024). Compounding disaster: Perceptions of coastal risk, extreme events, and oil and gas energy production in the Gulf of Mexico. *Energy Research & Social Science*, 117, 103735. <https://doi.org/10.1016/j.erss.2024.103735>
- Santos-Neto, E. B., Manhães, B. M. R., Oliveira-Ferreira, N., Cordeiro, C. V. S., Corrêa, C. A. C., Brião, J. A., & Lailson-Brito, J. (2024). PAHs in Franciscan dolphins from the Southwestern Atlantic Ocean: Concentration and maternal transfer assessments. *Marine Pollution Bulletin*, 203, 116455. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2024.116455>
- Schwartz, J. A., Aldridge, B. M., Lasley, B. L., Snyder, P. W., Stott, J. L., & Mohr, F. C. (2004). Chronic fuel oil toxicity in American mink (*Mustela vison*): systemic and hematological effects of ingestion of a low-concentration of bunker C fuel oil. *Toxicology and Applied Pharmacology*, 200(2), 146–158. <https://doi.org/10.1016/j.taap.2004.04.004>
- Schwacke, L. H., Marques, T. A., Thomas, L., Booth, C. G., Balmer, B. C., Barratclough, A., & Smith, C. R. (2022). Modeling population effects of the Deepwater Horizon oil spill on a long-lived species. *Conservation Biology*, 36(4), e13878. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1111/cobi.13878>
- Schwacke, L. H., Smith, C. R., Townsend, F. I., Wells, R. S., Hart, L. B., Balmer, B. C., ... & Rowles, T. K. (2014). Health of common bottlenose dolphins (*Tursiops truncatus*) in Barataria Bay, Louisiana, following the Deepwater Horizon oil spill. *Environmental science & technology*, 48(1), 93–103.
- Singh, V., Negi, R., Jacob, M., Gayathri, A., Rokade, A., Sarma, H., & Qureshi, Q. (2023). Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) in aquatic ecosystem exposed to the 2020 Baghjan oil spill in upper Assam, India: Short-term toxicity and ecological risk assessment. *Plos one*, 18(11), e0293601. <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/es403610f?src=getftr>

- Smith, C., Rowles, T., Hart, L., Townsend, F., Wells, R., Zolman, E., Balmer, B., Quigley, B., Ivancić, M., McKercher, W., Tumlin, M., Mullin, K., Adams, J., Wu, Q., McFee, W., Collier, T. K., & Schwacke, L. (2017). Slow recovery of Barataria Bay dolphin health following the Deepwater Horizon oil spill (2013-2014), with evidence of persistent lung disease and impaired stress response. *Endangered Species Research*, *33*, 127-142. <https://doi.org/10.3354/esr00778>
- Sun, X., Zhan, F., Yu, R. Q., Chen, L., & Wu, Y. (2020). Bio-accumulation of organic contaminants in Indo-Pacific humpback dolphins: Preliminary unique features of the brain and testes. *Environmental Pollution*, *267*, 115511. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.115511>
- Tao, L.P., Li, X., Zhao, M.Z., Shi, J.R., Ji, S.Q., Jiang, W.Y., Liang, Q.L., Lei, Y.H., Zhou, Y.Y., Cheng, R., Shi, Z., Deng, W., Zhu, J., & Zhang, S.Y. (2021). Chrysene, a four-ring polycyclic aromatic hydrocarbon, induces hepatotoxicity in mice by activation of the aryl hydrocarbon receptor (AhR). *Chemosphere*, *276*, 130108. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.130108>
- Tian, J., Lu, Z., Sanganyado, E., Wang, Z., Du, J., Gao, X. Gan, Z. y Wu, J. (2023). Trophic transfer of polycyclic aromatic hydrocarbons in marine mammals based on isotopic determination. *Science of Total Environment*, *875*, 162531.
- Venkatraman, G., Giribabu, N., Sakthi, P., Muttiah, B., Govindarajan, V., Alagiri, M., & Karsani, S. (2024). Environmental impact and human health effects of polycyclic aromatic hydrocarbons and remedial strategies: A detailed review. *Chemosphere*, *351*, 141227. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2024.141227>.
- Venn-Watson, S., Colegrove, K. M., Litz, J., Kinsel, M., Terio, K., Saliki, J., Fire, S., Carmichael, R., Chevis, C., Hatchett, W., Pitchford, J., Tumlin, M., Field, C., Smith, S., Ewing, R., Fauquier, D., Lovewell, G., Whitehead, H., Rotstein, D., & Rowles, T. (2015). Adrenal gland and lung lesions in Gulf of Mexico Common Bottlenose Dolphins (*Tursiops truncatus*) found dead following the deepwater horizon oil spill. *PloS One*, *10*(5), e0126538. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0126538>
- Villamar, Z. (2011). ¿Cuál fue la visión oficial estadounidense del daño ambiental producido por el derrame de crudo del pozo Macondo? *Norteamérica*, *6*(1), 205-218
- Wang, J., Smit, M.G.D., Verhaegen, Y., Nolte, T.M., Redman, A.D., Hendriks, J., & Hjort, M. (2023). Petroleum refinery effluent contribution to chemical mixture toxic pressure in the environment. *Chemosphere*,

- 311, 137127. <https://doi-org.cientifica.remotexs.co/10.1016/j.chemosphere.2022.137127>
- Wang, L., Lu, Y., Wang, M., Zhao, W., Lv, H., Song, S. & Ju, W. (2024). Mapping of oil spills in China Seas using optical satellite data and deep learning. *Journal of Hazardous Materials*, 480, 135809. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2024.135809>
- Wise, C. F., Wise, J. T. F., Wise, S. S., & Wise, J. P. (2018). Chemically dispersed oil is cytotoxic and genotoxic to sperm whale skin cells. *Comparative Biochemistry and Physiology Part C: Toxicology & Pharmacology*, 208, 64–70. <https://doi.org/10.1016/J.CBPC.2017.10.009>
- Xie, Q., Yu, R. Q., Yu, R., Wang, Z., Zhang, X., & Wu, Y. (2021). Historic changes of polychlorinated biphenyls (PCBs) in juvenile and adult cetaceans from the Pearl River estuary from 2003 to 2020. *Science of The Total Environment*, 800, 149512. <https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2021.149512>
- Zajda, K., Ptak, A., Rak, A., Fiedor, E., Grochowalski, A., Milewicz, T., & Gregoraszczyk, E. L. (2017). Effects of human blood levels of two PAH mixtures on the AHR signalling activation pathway and CYP1A 1 and COMT target genes in granulosa non-tumor and granulosa tumor cell lines. *Toxicology*, 389, 1–12. <https://doi.org/10.1016/J.TOX.2017.07.003>
- Zapata-Pérez, O., Rubio-Piña, J. A., & Patiño-Suárez, M. V. (2014). Evaluación y monitoreo de los efectos biológicos por derrames de petróleo en el medio marino. *Golfo de México. Contaminación e impacto ambiental: diagnóstico y tendencias. Uac, Unamicmyl, Cinvestav-Unidad Mérida*, 461-480

Técnicas de protección contra malware impulsadas por IA en entorno móviles

AI-driven malware protection techniques in mobile environments

Recibido: octubre 17 de 2024 | Revisado: noviembre 04 de 2024 | Aceptado: noviembre 29 de 2024

GIOVANI SALCEDO QUISPE¹
LEONARDO SACRAMENTO BENITES¹
ALBERTO MENDOZA DE LOS SANTOS¹

RESUMEN

En la actualidad, los dispositivos móviles son una parte esencial de la vida diaria, lo que los convierte en un objetivo atractivo para ataques de malware. Las técnicas tradicionales de protección contra malware, aunque son efectivas, se enfrentan a crecientes desafíos debido a la evolución constante de las amenazas. Este artículo explora las técnicas de protección contra malware impulsadas por inteligencia artificial (IA) en entornos móviles, evaluando su eficacia en comparación con los métodos tradicionales. A través de un análisis sistemático de la literatura, se destacan las ventajas del uso de IA, como el aprendizaje automático y profundo, para mejorar la detección y mitigación de malware en dispositivos móviles. Además, se identifican las limitaciones y los desafíos de implementar estas técnicas avanzadas.

Palabras clave: inteligencia artificial; malware; dispositivos móviles; seguridad; aprendizaje automático; detección de malware

ABSTRACT

Today, mobile devices are an essential part of daily life, making them an attractive target for malware attacks. Traditional malware protection techniques, while effective, face increasing challenges due to constantly evolving threats. This article explores artificial intelligence (AI)-powered malware protection techniques in mobile environments, evaluating their effectiveness compared to traditional methods. Through a systematic analysis of the literature, the advantages of using AI, such as machine and deep learning, to improve malware detection and mitigation on mobile devices are highlighted. Additionally, limitations and challenges of implementing these advanced techniques are identified.

Keywords: Artificial intelligence, malware, mobile devices, security, machine learning, malware detection

¹ Universidad Nacional de Trujillo, Perú

Correo electrónico de contacto:
t1513300321@unitru.edu.pe

© Los autores. Este artículo es publicado por la Revista Campus de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad de San Martín de Porres. Este artículo se distribuye en los términos de la Licencia Creative Commons Atribución No-Comercial – Compartir-Igual 4.0 Internacional (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>), que permite el uso no comercial, distribución y reproducción en cualquier medio siempre que la obra original sea debidamente citada. Para uso comercial contactar a: revistacampus@usmp.pe.

<https://>

Introducción

Con la reciente aparición de la inteligencia artificial en el mundo tecnológico, varias áreas se han visto afectadas por su influencia. Inherentemente, esta nueva tecnología está siendo utilizada para cometer múltiples delitos o ciberataques. Sin embargo, así como se le ha encontrado un uso para vulnerar datos y dispositivos, también se ha utilizado como método o como un producto para hacerle frente a estas amenazas. Poniendo el foco de atención en las aplicaciones móviles dado que estos medios tecnológicos son los dispositivos más utilizados en el país, se busca identificar los métodos que se están utilizando para la seguridad de los datos en los dispositivos móviles.

Conociendo el hecho de que ya existían varias formas de poder protegerse contra el malware en dispositivos móviles, siempre es bueno ver las opciones que ya existen, siendo alguna de ellas: Escaneo y Detección de Malware Basado en Firmas; Análisis Estático y Dinámico de Aplicaciones; y Sistemas de Detección de Intrusos Móviles (Mobile IDS).

Escaneo y detección de malware basado en firmas, se basa en el hecho de que el malware tiene su propia firma en un archivo de bits (signature), el cual ya está previamente identificado, por lo que el programa encuentra esta firma y luego la identifica (Venugopal & Hu, 2008). Sin embargo, tiene una debilidad muy grande, la cual está en su propia forma de trabajar; no puede hacer mucho contra una alguna nueva firma que no haya sido identificada en ese momento. Otra gran debilidad de esta técnica es que los propios desarrolladores del malware

pueden hacer mínimos cambios a esta firma, volviéndola inútil.

El análisis estático analiza los datos que el programa proporciona pero sin la necesidad de ser instalado en el dispositivo o se ejecute (Esmail, 2023), proporcionando una evidente ventaja debido a que no pone en riesgo el dispositivo. Sin embargo, un código malicioso con varias capas de encriptación o un código ofuscado son una de las formas para poder superar esta barrera de seguridad (Bhan *et al.*, 2023), forzando a improvisar opciones más dinámicas.

Diferenciando con el análisis estático, el análisis dinámico necesita que el dispositivo se ejecute (Esmail, 2023), por lo que lo realiza de manera segura; a veces utilizando un sandbox o un entorno virtual aparte para que no afecte de verdad al dispositivo que se busca proteger. Sin embargo, se han tenido que enfrentar a desarrolladores de malware cada vez más preparados que plantearon formas de evitar que el programa fuese ejecutado en un entorno virtual aparte (Lee *et al.*, 2024), logrando así superar la barrera de seguridad de ese método.

Por otro lado, los Sistemas de Detección de Intrusos (IDS), trabajan en la red y están enfocados en los ataques DDOS, por ejemplo (Rahman *et al.*, 2023). Estos sistemas trabajan de distintas formas: fuera de línea y en tiempo real, siendo la gran diferencia entre ambas la ventaja en la frase “tiempo real” dado que las redes actuales son cada vez más rápidas y no se pueden dar el lujo de detenerse por un momento para analizar si los datos provienen de ataques o no. Aún así, el sistema no es perfecto, dado que a veces suele reportar falsas alarmas o

simplemente, falla en detectar el ataque, dejando vulnerable al dispositivo que se quiere proteger.

Entonces, con todo lo anterior puesto en escena, se puede plantear: ¿Cuáles son las técnicas impulsadas por IA para la protección contra malware en la seguridad de los datos en entornos móviles? y ¿Cómo estas técnicas mejoran la seguridad de los datos en entornos móviles en comparación con los métodos tradicionales?

Se consideraron los siguientes objetivos:

- Dar a conocer las nuevas técnicas de protección mejoradas con IA.
- Establecer una comparativa y poder determinar si hay una verdadera mejora después del apoyo en las IAs.

Método

Se llevó a cabo un análisis documental guiado por la metodología PRISMA para realizar una revisión sistemática. Las siguientes preguntas de investigación fueron formuladas como objetivos del estudio: ¿Cuáles son

las técnicas impulsadas por IA para la protección contra malware en la seguridad de los datos en entornos móviles? y ¿Cómo estas técnicas mejoran la seguridad de los datos en entornos móviles en comparación con los métodos tradicionales?

Criterio de inclusión y exclusión

Como criterios de inclusión, se seleccionaron los artículos publicados entre 2021 y 2024, pertenecientes a las áreas de Ciencias de la Computación, Ingeniería y Ciencias de Materiales. Además, se consideró que los estudios incluyan los términos “Aprendizaje profundo”, “Aplicaciones móviles”, “Aprendizaje automático” y “Sistemas de aprendizaje”. Los artículos debían estar disponibles en español o inglés para asegurar una revisión más completa.

Por otro lado, los criterios de exclusión contemplaron aquellos artículos que no detallaron de manera práctica el uso de las técnicas o que no tuvieran una relación clara entre las técnicas de protección y la IA. Para facilitar la comprensión, los criterios se resumen en la Tabla 1.

Tabla 1

Criterios de inclusión y exclusión

| CRITERIOS DE INCLUSIÓN | CRITERIOS DE EXCLUSIÓN |
|--|--|
| Artículos publicados en el periodo de 2021 - 2024. | No se detalla de forma práctica el uso de la técnica. |
| Idioma en español o inglés | No existe una relación de la técnica de protección con IA. |
| Se muestra la aplicación de una tecnología y/o técnica IA. | |

Recolección de datos

El proceso de búsqueda y recolección de datos se realizó utilizando una combinación de palabras clave como: “Encriptación”, “Inteligencia Artificial”, “Aprendizaje automático”, “Dispositivos móviles” y “Aplicaciones móviles”. Se empleó un enfoque riguroso y transparente para acceder a fuentes científicas, utilizando plataformas como SciELO y Scopus.

En SciELO, se utilizó el término de búsqueda “malware”, obteniendo un total de 15 artículos, de los cuales, tras aplicar los criterios de inclusión y exclusión, se seleccionó uno.

Para Scopus, se realizó una búsqueda avanzada con la siguiente cadena: “(TITLE-ABS-KEY (“end-to-end encryption” OR “asymmetric encryption” OR “symmetric encryption” OR “AES” OR “RSA” OR “Elliptic Curve Cryptography” OR “ECC” OR “multi-factor authentication” OR “MFA” OR “Diffie-Hellman” OR “homomorphic encryption” OR “public key cryptography” OR “tokenization” OR “TLS” OR “Transport Layer Security” OR “wireless network security” OR

“data integrity” OR “cryptographic key management” OR “artificial intelligence” OR “AI-driven encryption” OR “machine learning encryption”) AND TITLE-ABS-KEY (“mobile data protection” OR “mobile encryption” OR “mobile devices” OR “mobile applications” OR “mobile storage” OR “messaging encryption”)) AND PUBYEAR > 2020 AND PUBYEAR < 2026 AND (LIMIT-TO (DOCTYPE , “ar”)) AND (LIMIT-TO (LANGUAGE , “English”) OR LIMIT-TO (LANGUAGE , “Spanish”)) AND (LIMIT-TO (PUBSTAGE , “final”)) AND (LIMIT-TO (SUBJAREA , “COMP”) OR LIMIT-TO (SUBJAREA , “ENGI”) OR LIMIT-TO (SUBJAREA , “MATE”)) AND (LIMIT-TO (EXACTKEYWORD , “Mobile Applications”) OR LIMIT-TO (EXACTKEYWORD , “Machine Learning”) OR LIMIT-TO (EXACTKEYWORD , “Deep Learning”) OR LIMIT-TO (EXACTKEYWORD , “Learning Systems”) OR LIMIT-TO (EXACTKEYWORD , “Machine-learning”))”. Esta búsqueda arrojó un total de 317 artículos, de los cuales se seleccionaron 18 tras aplicar los criterios de inclusión y exclusión, como se detalla en la Tabla 2.

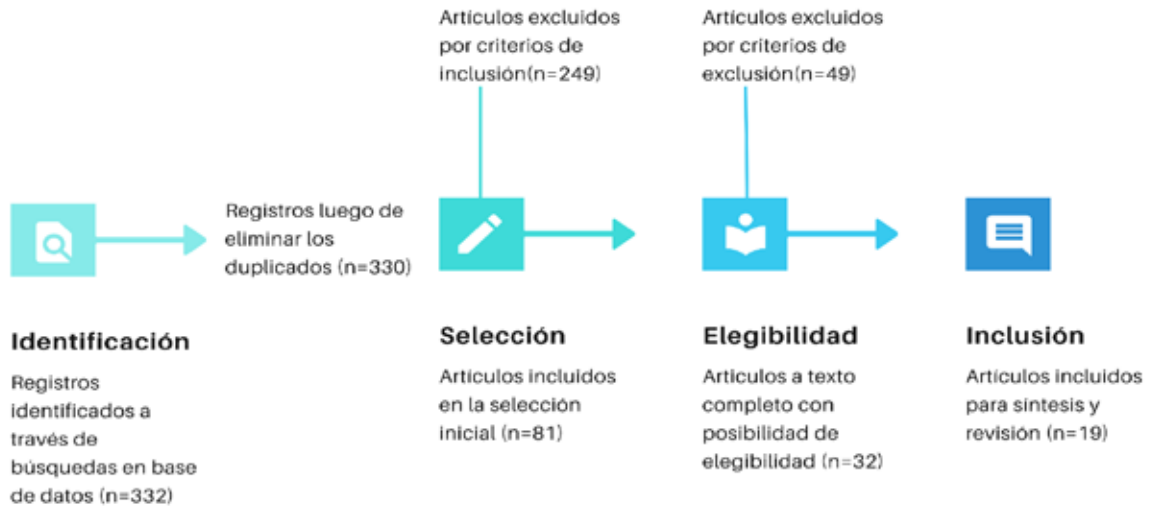
Tabla 2

Bases de datos y artículos seleccionados

| Bases de datos | Resultados | Seleccionados |
|----------------|------------|---------------|
| Scopus | 317 | 18 |
| SciELO | 15 | 1 |

Figura 1

Proceso de selección de artículos / Flujograma PRISMA **Tabla 3**



Resultados

Con los artículos seleccionados y la posterior revisión, se obtuvieron

resultados de cada uno de ellos y estos son presentados en la Tabla 3, donde se muestra el(los) autor(es), técnica, país y resultados.

Tabla 3

Resultados de artículos seleccionados

| N.º | Autor(es) | Técnica | País | Resultados |
|-----|--|---|----------------|---|
| 1 | (Poornima & Mahalakshmi, 2024) | Deep learning y Machine learning | India | La solución propuesta MAD-NET (Malware Attack Detection using Deep Belief Network) logró conseguir resultados de 99.83% utilizando varias métricas de rendimiento como precisión, recall, F1-score y exactitud. |
| 2 | Alkhtani, H; Aldhyani, T. H. H. (2022) | Soporte de máquina de vectores (SVM), k-nearest neighbors (KNN), Análisis de discriminación lineal (LDA), Redes Neuronales de Memoria a Largo Plazo (LSTM), red neuronal convolucional - memoria a largo y corto plazo (CNN-LSTM) y algoritmo de autocodificador. | Arabia Saudita | Muestra que las técnicas SVM, LSTM y CNN-LSTM son las que más eficiencia poseen al momento de detectar malware en entornos móviles. |

| | | | | |
|---|--|---|------------------------|---|
| 3 | Xing, Xiaofei <i>et al.</i> (2022) | Autocodificador en deep learning. | China | La idea propuesta por los autores demuestra ser muy superior a los demás métodos que utilizaron la misma técnica, teniendo un 96% de precisión en Android. |
| 4 | Faria, N., Gad, R., Unal, D., Al-Ali, A. K., & Suganthan, P. N. (2024) | Aprendizaje federado | Qatar | El artículo concluye que el aprendizaje federado es una técnica prometedora para la detección de malware en dispositivos móviles, ya que aborda los desafíos de privacidad y seguridad asociados con el entrenamiento de modelos en conjuntos de datos distribuidos. Además, destaca que, aunque presenta oportunidades, el aprendizaje federado también conlleva riesgos en cuanto a seguridad y plantea desafíos únicos debido a la arquitectura de los sistemas operativos móviles. |
| 5 | Vanjire, S. S., & Lakshmi, M. (2024) | Redes neuronales de convolución (CNN) y XAI | India | El enfoque combina CNN y técnicas de inteligencia artificial explicable (XAI), logrando una clasificación precisa de aplicaciones benignas y maliciosas en dispositivos Android. La integración de XAI proporciona explicaciones claras sobre las decisiones del modelo, facilitando la identificación de características críticas que determinan la maliciosidad de las aplicaciones. |
| 6 | Maray, M., Maashi, M., Alshahrani, H. M., Aljameel, S. S., Abdelbagi, S., & Salama, A. S. (2024) | Reconocimiento de Patrones Inteligente usando Optimizador de Equilibrio con Aprendizaje Profundo (IPR-EODL) | Arabia Saudita | El enfoque IPR-EODL mejora la detección y clasificación de malware en dispositivos Android, utilizando técnicas de aprendizaje profundo como redes neuronales recurrentes (RNN) y convolucionales (CNN) para identificar patrones de comportamiento en datos de aplicaciones. La técnica incluye el uso de atención del canal de memoria a largo plazo (CALSTM) y optimización de hiperparámetros con el algoritmo de Equilibrio (EO). Los resultados experimentales demuestran un desempeño significativo en la detección de malware, contribuyendo a la seguridad del ecosistema Android. |
| 7 | Jayagopalan, S., Alkhouli, M., & Aruna, R. (2023) | Modelo Keras Xception (KX-DLS) con esquema de cifrado simétrico de búsqueda dinámica (DSSE) | Emiratos Árabes Unidos | El enfoque KX-DLS permite la preservación de la privacidad en el contexto de sistemas de salud basados en IoT, asegurando que los datos de salud almacenados en la nube se analicen sin comprometer la información personal de los usuarios. El modelo ha mostrado una alta integridad de datos y pocas violaciones de privacidad, siendo más eficaz en comparación con técnicas de vanguardia anteriores. Este sistema es especialmente útil para dispositivos móviles con recursos limitados que requieren acceso a servicios de salud virtual en la nube. |

| | | | | |
|----|--|--|---------|--|
| 8 | CU, O. K., Gajendran, S., Bhavadharini, R. M., Suguna, M., & Krithiga, R. (2023) | Aprendizaje federado con DQRE-SCnet y cifrado homomórfico (FL-DQRE-SCnet) | India | El enfoque FL-DQRE-SCnet mejora la preservación de la privacidad de los registros de salud electrónicos (EHR) mediante el aprendizaje profundo y el intercambio de información, logrando una alta precisión en el diagnóstico de enfermedades. Este método minimiza las rondas de comunicación necesarias para la actualización del modelo global y garantiza la protección de datos mediante cifrado homomórfico. Los resultados muestran un rendimiento superior en comparación con métodos de referencia, alcanzando una precisión del 95%, una precisión de 94,9%, una recuperación del 94,94% y una medida F del 93,94%. Además, se obtuvo una tasa de error de 0,46 y un tiempo de ejecución de 1400 segundos. |
| 9 | Deng, X., Pei, X., Tian, S., & Zhang, L. (2022). | Marco de seguridad jerárquica para la detección de malware IIoT basado en computación de borde con un modelo Two-Stream Attention-Caps | China | Se propone un sistema de detección de malware que permite el análisis casi en tiempo real al descargar tareas de inteligencia artificial desde dispositivos móviles a servidores de borde. Este enfoque mejora la detección de malware, logrando un rendimiento superior al de los sistemas de última generación en cuatro conjuntos de datos de referencia. La estrategia de descarga computacional asegura un retraso mínimo, optimizando la coordinación de la detección entre múltiples usuarios. |
| 10 | (Iadarola <i>et al.</i> , 2021) | Deep learning | Italia | El sistema propuesto para detectar ciertos tipos de familia malware en los móviles utilizando deep learning obtuvo resultados del 96% al 97% de precisión en una muestra de 8446 móviles con Android. |
| 11 | (Bai <i>et al.</i> , 2021) | Selección automatizada de conjuntos de redes neuronales profundas (AES) | China | Se logró, de manera eficiente, que el algoritmo escoja los mejores DNN para mejorar el rendimiento de los dispositivos móviles en las situaciones que se requieran. |
| 12 | (Zeroual <i>et al.</i> , 2021) | Deep learning | Argelia | Al combinar el cifrado homomórfico con la combinación de LTP y deep learning logran adaptar el reconocimiento facial para dispositivos de bajos recursos, consiguiendo resultados al 98.7% de aprobación. |
| 13 | (Yi <i>et al.</i> , 2022) | Aprendizaje Federado (FL) | China | El método propone una solución para la seguridad de los datos en el aprendizaje federado utilizando las bases de un videojuego llamado Stackelberg, obteniendo resultados positivos en el equilibrio de Nash. |

| | | | | |
|----|---|---|----------------|--|
| 14 | (Yoon, Kim, & Lee, 2022) | Machine learning | Corea del Sur | El método propone utilizar machine learning para la detección de reseñas falsas en aplicaciones, logrando así detectar aplicaciones maliciosas o no seguras. Logrando puntuaciones F1 promedio de 0.738 para reseñas falsas, 0.723 para reseñas reales y 0.730 en general, lo que indica un buen desempeño de los modelos de detección. |
| 15 | Bayazit, E. C., Sahingoz, O. K., & Dogan, B. (2023) | Aprendizaje profundo | Turquía | Se revisan técnicas de análisis estático y dinámico para la detección de malware en Android, destacando cómo los modelos de aprendizaje profundo se utilizan para mejorar la clasificación y detección de malware. El informe examina la arquitectura de Android, los conjuntos de datos empleados en la detección y los desafíos como el embalaje, la ofuscación y el cifrado de código por parte de los atacantes. Los resultados subrayan la necesidad de seguir investigando modelos avanzados para superar estas barreras de seguridad. |
| 16 | Aslam, N., Khan, I.U., Bader, S.A., Alansari, A., Alaqa-el, L.A. <i>et al.</i> (2023) | Modelo de clasificación explicable basado en aprendizaje automático (ML), utilizando características de API y permisos, con técnicas de manejo de desequilibrio de datos como RandomOverSampler y explicabilidad con Shapley Values | Arabia Saudita | Se emplearon algoritmos de ML para la clasificación de aplicaciones, destacando el Extra Trees Classifier (ET), que alcanzó una precisión del 99.53% en la detección de malware con un tiempo de ejecución de solo 0.0198 segundos. |
| 17 | Sahoo, R. K., Pradhan, S., Sethi, S., & Udgata, S. K. (2023) | Aprendizaje automático (ML). | India | Se logró una precisión inicial del 99.79% con Random Forest para garantizar la integridad de los datos, mejorada al 100% usando análisis costo-beneficio en validación cruzada. |
| 18 | (Ma <i>et al.</i> , 2024) | Multilayer Perceptron (MLP) y Redes Neuronales Convolucionales (CNN) | China | Propone un proyecto llamado MCADS que busca detectar malware en el sistema operativo Android siendo más ligero, logrando alcanzar un 98.12% de precisión cuando fue puesto a prueba. |
| 19 | (AlSobeh <i>et al.</i> , 2024) | Marco de Aprendizaje Automático Consciente del Tiempo (TAML) | Jordania | El sistema propuesto logró alcanzar cifras muy prometedoras: En un entorno agnóstico al tiempo, el modelo logró una impresionante precisión con una puntuación F1 del 99.98%; y en experimentos conscientes del tiempo, que consideran los datos anuales, superan consistentemente a los modelos tradicionales, alcanzando una puntuación F1 media del 91% y una puntuación máxima del 99%. |

Figura 2
Mapamundi de los artículos seleccionados

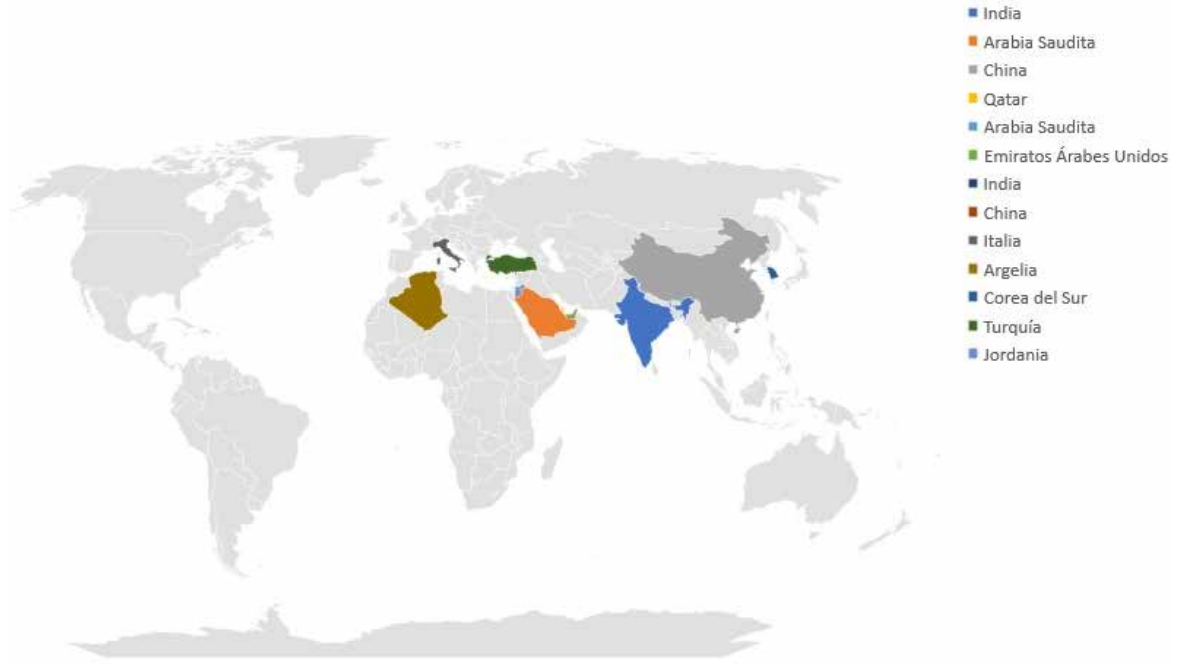
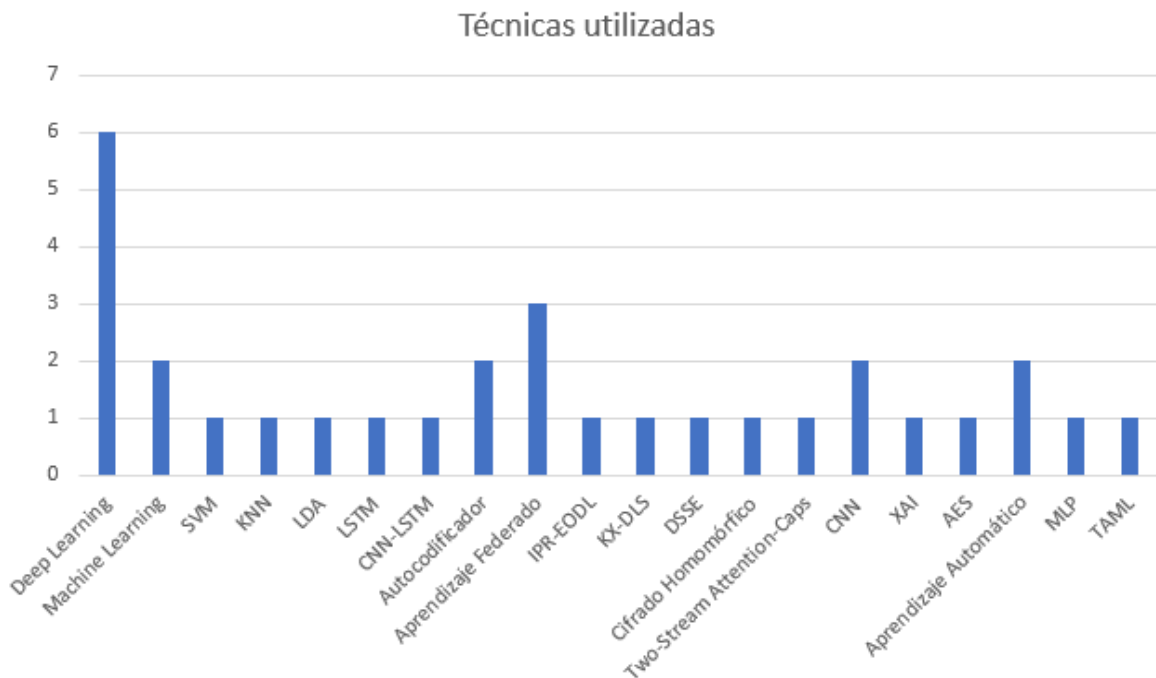


Figura 3
Gráfico de barras de las técnicas utilizadas en las propuestas



Discusión

La creciente amenaza de malware en dispositivos móviles ha llevado a un

aumento significativo en la investigación de métodos de detección eficientes y precisos. Las técnicas basadas en aprendizaje automático y profundo han

demostrado ser fundamentales en esta lucha, aportando resultados prometedores. Por ejemplo, el trabajo de Poornima y Mahalakshmi (2024) demuestra que el modelo MAD-NET, que combina redes neuronales profundas, logra una precisión del 99.83% en la detección de malware, destacando la efectividad de los enfoques de deep learning en entornos móviles. Esto es consistente con los hallazgos de Iadarola *et al.* (2021), quienes reportaron precisiones entre 96% y 97% al aplicar deep learning en dispositivos Android, lo que resalta la robustez de estos métodos en la detección de malware.

Otro hallazgo importante proviene de Alkhtani *et al.* (2022), quienes observaron que las técnicas de SVM y LSTM, junto con CNN-LSTM, son particularmente efectivas para la detección de malware en entornos móviles. Esto sugiere que una combinación de métodos puede ofrecer resultados superiores en comparación con enfoques unidimensionales. Este enfoque híbrido es respaldado por Vanjire y Lakshmi (2024), que integran redes neuronales de convolución (CNN) con técnicas de inteligencia artificial explicable (XAI), mejorando la interpretación de los resultados del modelo y facilitando la identificación de características maliciosas en aplicaciones.

El aprendizaje federado se presenta como una alternativa prometedora, ya que aborda preocupaciones de privacidad al entrenar modelos en datos distribuidos. Faria *et al.* (2024) destacan que este enfoque no solo es efectivo en la detección de malware, sino que también se enfrenta a desafíos de seguridad únicos. Esto se alinea con los resultados de CU *et al.* (2023), quienes muestran que el

aprendizaje federado, combinado con cifrado homomórfico, logra un balance entre precisión y privacidad, alcanzando tasas de precisión del 95% y 94.9% en la detección de enfermedades en registros de salud electrónicos.

A pesar de los logros, también se identifican desafíos significativos en la detección de malware. Bayazit *et al.* (2023) subrayan la necesidad de investigar más en modelos avanzados para superar obstáculos como la ofuscación y el empaquetado por parte de atacantes. La necesidad de sistemas que sean ligeros y eficientes también es un punto crítico, como lo demuestra el proyecto MCADS propuesto por Ma *et al.* (2024), que busca lograr una alta precisión (98.12%) mientras se mantiene la eficiencia en dispositivos con recursos limitados.

Finalmente, el trabajo de Aslam *et al.* (2023) sobre modelos de clasificación explicable resalta la importancia de no solo detectar el malware, sino también de entender cómo y por qué se toman las decisiones, lo que es esencial para la confianza del usuario en las tecnologías de detección. Este enfoque complementa los métodos tradicionales y ofrece una visión integral hacia el desarrollo de soluciones más efectivas en la lucha contra el malware en dispositivos móviles.

Conclusiones

Las técnicas de protección contra malware impulsadas por IA representan un avance significativo en la seguridad de dispositivos móviles. El aprendizaje automático y profundo, junto con técnicas como el aprendizaje federado, proporcionan herramientas efectivas para la detección y prevención de amenazas.

No obstante, la implementación de estas soluciones aún enfrenta desafíos, como la necesidad de equilibrar el consumo de recursos y la efectividad de la detección en dispositivos de baja capacidad. A medida que las amenazas evolucionan, las soluciones basadas en IA deben continuar desarrollándose para garantizar la seguridad de los datos en entornos móviles. Una estrategia prometedora es la combinación de estas técnicas con enfoques tradicionales, como la criptografía y la autenticación multifactor,

para lograr una protección más robusta y completa.

De cara al futuro, es esencial continuar investigando la optimización del consumo de recursos, permitiendo que las soluciones basadas en IA sean más eficientes en dispositivos con limitaciones de hardware y energía sin comprometer su efectividad. Además, la IA debe seguir mejorándose para que sus modelos se adapten rápidamente a nuevas amenazas y reduzcan la tasa de falsos positivos.

Referencias

- Alkahtani, H., & Aldhyani, T. H. H. (2022). Artificial Intelligence Algorithms for Malware Detection in Android-Operated Mobile Devices. *Sensors*, 22(6), 2268. <https://doi.org/10.3390/s22062268>
- AlSobeh, A. M. R., Gaber, K., Hammad, M. M., Nuser, M., & Shatnawi, A. (2024). Android malware detection using time-aware machine learning approach. *Cluster Computing*. <https://doi.org/10.1007/s10586-024-04484-6>
- Aslam, N., Khan, I.U., Bader, S.A., Alansari, A., Alaqeel, L.A. *et al.* (2023). Explainable classification model for android malware analysis using API and permission-based features. *Computers, Materials & Continua*, 76(3), 3167-3188. <https://doi.org/10.32604/cmc.2023.039721>
- Bai, Y., Chen, L., Abdel-Mottaleb, M., & Xu, J. (2021). Automated Ensemble for Deep Learning Inference on Edge Computing Platforms. *IEEE Internet Of Things Journal*, 9(6), 4202-4213. <https://doi.org/10.1109/jiot.2021.3102945>
- Bayazit, E. C., Sahingoz, O. K., & Dogan, B. (2023). Protecting Android Devices from Malware Attacks: A State-of-the-Art Report of Concepts, Modern Learning Models and Challenges. *IEEE Access*. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2023.3323396>
- Bhan, R., Faruki, P., & Pamula, R. (2023). Detection of Sensitive Malicious Android Functionalities using Inter-component Control-flow Analysis. *IEEE Access*, 1-1. *IEEE Access*. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2023.3321383>

- Cinar, A. C., & Kara, T. B. (2023). The current state and future of mobile security in the light of the recent mobile security threat reports. *Multimedia Tools And Applications*, 82(13), 20269-20281. <https://doi.org/10.1007/s11042-023-14400-6>
- CU, O. K., Gajendran, S., Bhavadharini, R. M., Suguna, M., & Krithiga, R. (2023). EHR privacy preservation using federated learning with DQRE-Scnet for healthcare application domains. *Knowledge-Based Systems*, 275, 110638. <https://doi.org/10.1016/j.knosys.2023.110638>
- Deng, X., Pei, X., Tian, S., & Zhang, L. (2022). Edge-based IIoT malware detection for mobile devices with offloading. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 19(7), 8093-8103. <https://doi.org/10.1109/TII.2022.3216818>
- Esmail, H. M. (2023). Android Malware Detection and Protection Systems.
- Jayagopalan, S., Alkhouli, M., & Aruna, R. (2023). Intelligent privacy preserving deep learning model for securing IoT healthcare system in cloud storage. *J. Intell. Fuzzy Syst.*, 45(4), 5223-5238. <https://doi.org/10.3233/JIFS-231713>
- Lee, S., Shin, Y., Choi, M., Cho, H., & Yi, J. H. (2024). Hybrid Dynamic Analysis for Android Malware Protected by Anti-Analysis Techniques with DOOLDA. *Journal of Internet Technology*, 25(2), Art. 2.
- Ma, R., Yin, S., Feng, X., Zhu, H., & Sheng, V. S. (2024). A lightweight deep learning-based android malware detection framework. *Expert Systems With Applications*, 255, 124633. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2024.124633>
- Maray, M., Maashi, M., Alshahrani, H. M., Aljameel, S. S., Abdelbagi, S., & Salama, A. S. (2024). Intelligent Pattern Recognition using Equilibrium Optimizer with Deep Learning Model for Android Malware Detection. *IEEE Access*. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2024.3357944>
- Nawshin, F., Gad, R., Unal, D., Al-Ali, A. K., & Suganthan, P. N. (2024). Malware detection for mobile computing using secure and privacy-preserving machine learning approaches: A comprehensive survey. *Computers and Electrical Engineering*, 117, 109233. <https://doi.org/10.1016/j.compeleceng.2024.109233>
- Poornima, S., & Mahalakshmi, R. (2024). Automated malware detection using machine learning and deep learning approaches for android applications. *Measurement Sensors*, 32, 100955. <https://doi.org/10.1016/j.measen.2023.100955>
- Sahoo, R. K., Pradhan, S., Sethi, S., & Udgata, S. K. (2023). Enhancing Data Integrity in Mobile Crowdsensing Environment with Machine Learning and Cost-Benefit Analysis. *International*

- Journal of Computing and Digital Systems, 14(1), 1-1. <http://dx.doi.org/10.12785/ijcnds/140122>
- Vanjire, S. S., & Lakshmi, M. (2024). A novel method of detecting malware on Android mobile devices with explainable artificial intelligence. *Bulletin of Electrical Engineering and Informatics*, 13(3), 2019-2026. <https://doi.org/10.11591/eei.v13i3.6986>
- Venugopal, D., & Hu, G. (2008). Efficient Signature Based Malware Detection on Mobile Devices. *Mobile Information Systems*, 4(1), 712353. <https://doi.org/10.1155/2008/712353>
- Yi, Z., Jiao, Y., Dai, W., Li, G., Wang, H., & Xu, Y. (2022). A Stackelberg Incentive Mechanism for Wireless Federated Learning With Differential Privacy. *IEEE Wireless Communications Letters*, 11(9), 1805-1809. <https://doi.org/10.1109/lwc.2022.3181509>
- Xing, X., Jin, X., Elahi, H., Jiang, H., & Wang, G. (2022). A Malware Detection Approach Using Autoencoder in Deep Learning. *IEEE Access*, 10, 25696-25706. <https://doi.org/10.1109/access.2022.3155695>
- Yoon, J., Kim, C., & Lee, J. (2022). Feature analysis for detecting mobile application review generated by AI-based language model. *Journal of Information Processing Systems*, 18(5), 650-660. <https://doi.org/10.3745/JIPS.02.0182>
- Zeroual, A., Amroune, M., Derdour, M., & Bentahar, A. (2021). Lightweight deep learning model to secure authentication in Mobile Cloud Computing. *Journal Of King Saud University - Computer And Information Sciences*, 34(9), 6938-6948. <https://doi.org/10.1016/j.jksuci.2021.09.016>

Software de inteligencia artificial para detectar microsueños en conductores

Artificial intelligence software to detect microsleeps in drivers

Recibido: noviembre 04 de 2024 | Revisado: noviembre 29 de 2024 | Aceptado: diciembre 13 de 2024

RUSO ALEXANDER MORALES GONZALES¹
JOSÉ ANTONIO GUZMÁN VALDIVIA¹
JOSÉ ALFREDO HERRERA QUISPE²

RESUMEN

Este proyecto se trabajó para abordar una problemática de gran relevancia social y económica: la detección de microsueños en conductores de minibuses. Los viajes interprovinciales, especialmente, durante la noche o en trayectos prolongados, aumentan el riesgo de fatiga y somnolencia, lo que afecta la atención del conductor. Las consecuencias no solo ponen en riesgo la integridad física de los involucrados, sino que también generan pérdidas materiales y económicas significativas. Según la Organización Mundial de la Salud, los accidentes relacionados con la somnolencia son una de las principales causas de mortalidad en las carreteras a nivel mundial (OMS, 2021). Este proyecto desarrolló un software de inteligencia artificial (IA) para monitorear y analizar en tiempo real los patrones faciales de los conductores, identificando signos tempranos de fatiga como parpadeos prolongados, bostezos e inclinaciones de la cabeza. Al finalizar, se logró una solución operativa en dispositivos móviles, capaz de alertar al conductor con señales sonoras ante la detección de un posible microsueño, permitiendo intervenciones tempranas y efectivas para prevenir accidentes. Este avance tecnológico representa un aporte significativo a la seguridad vial y puede extenderse a otros contextos de transporte público y privado.

Palabras clave: Inteligencia artificial; Detección de microsueño; Fatiga del conductor; Reconocimiento facial; Redes neuronales

ABSTRACT

This project was developed to address a significant social and economic issue: the detection of microsleeps in minibus drivers. Interprovincial trips, especially at night or during long journeys, increase the risk of fatigue and drowsiness, which affects the driver's attention. The consequences not only jeopardize the physical integrity of those involved but also lead to substantial material and economic losses. According to the World Health Organization, drowsiness-

- 1 Universidad Nacional de Moquegua, Moquegua - Perú
- 2 Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima - Perú

Autor de correspondencia:
rmoralesg@unam.edu.pe

© Los autores. Este artículo es publicado por la Revista Campus de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad de San Martín de Porres. Este artículo se distribuye en los términos de la Licencia Creative Commons Atribución No-Comercial – Compartir-Igual 4.0 Internacional (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>), que permite el uso no comercial, distribución y reproducción en cualquier medio siempre que la obra original sea debidamente citada. Para uso comercial contactar a: revistacampus@usmp.pe.

<https://>

related accidents are one of the leading causes of mortality on roads worldwide (WHO, 2021). This project developed artificial intelligence (AI) software to monitor and analyze drivers' facial patterns in real time, identifying early signs of fatigue such as prolonged blinking, yawning, and head nodding. Ultimately, a mobile solution was achieved, capable of alerting the driver with auditory signals upon detecting a potential microsleep, allowing for early and effective interventions to prevent accidents. This technological advancement represents a significant contribution to road safety and can be extended to other public and private transportation contexts.

Keywords: Artificial intelligence; Microsleep detection; Driver fatigue; Facial recognition; Neural networks

Introducción

Los accidentes de tránsito causados por microsueños son una de las principales causas de siniestralidad vial, generando graves consecuencias para la vida humana y pérdidas materiales, estos incidentes presentan tasas alarmantes de lesiones y fallecimientos (Castro, 2009). El cansancio acumulado en conductores de trayectos largos y nocturnos disminuye su capacidad de atención y reacción, lo que aumenta el riesgo de accidentes, especialmente, por choques frontales o despistes. Diversos estudios señalan que los microsueños son responsables de una gran proporción de accidentes viales (American Sleep Disorders Association, 2018). Estos accidentes ocurren frecuentemente entre la medianoche y las primeras horas de la mañana, cuando los conductores están más propensos a sufrir fatiga. A nivel local, en Moquegua, Perú, la Superintendencia de Transporte Terrestre reportó 155 accidentes en 2020-2021, en su mayoría causados por choques y despistes, donde la somnolencia fue un factor determinante (SUTRAN, 2022).

Ante esta problemática, los investigadores desarrollaron una aplicación de inteligencia artificial que monitorea las expresiones faciales de los conductores, detectando señales de fatiga

y emitiendo alertas sonoras, lo que puede reducir, significativamente, los accidentes y sus consecuencias. Se debe aclarar una vez más que la fatiga y la somnolencia constituyen dos de las principales causas de accidentes vehiculares en carreteras, lo que se ha convertido en un serio problema de seguridad vial a nivel mundial (Rey de Castro, & Rosales, 2009). En el Perú, estas condiciones representan un factor crítico en la ocurrencia de siniestros, especialmente, en rutas largas y entre conductores de vehículos de transporte de carga y pasajeros. Según la Organización Mundial de la Salud, la fatiga relacionada con la conducción incrementa, significativamente, el riesgo de accidentes debido a la disminución de la capacidad de reacción y el estado de alerta del conductor (OMS, 2018). Por tanto, es imperativo desarrollar soluciones tecnológicas que mitiguen estos riesgos. En este contexto, la presente investigación propuso el desarrollo de un software basado en inteligencia artificial (IA) para la detección de “*microsueños*”, breves lapsos en los que el conductor pierde, temporalmente, la consciencia, un fenómeno que es particularmente peligroso en la conducción prolongada (Hu, & Li, 2021).

Este artículo se enfoca en el diseño e implementación de interfaces

gráficas para la detección de somnolencia al conducir, utilizando herramientas avanzadas de inteligencia artificial. La metodología se centra en la captura y análisis de patrones de comportamiento del conductor, mediante el uso de la cámara del teléfono móvil para monitorear los movimientos oculares, uno de los indicadores más precisos de la fatiga. Estudios previos han demostrado que el seguimiento ocular puede identificar síntomas de somnolencia con un alto grado de precisión, lo cual es fundamental para prevenir accidentes Singh, *et al.* (2019). La solución propuesta emplea algoritmos de aprendizaje automático que permiten interpretar en tiempo real los datos recopilados, lo que facilita la detección temprana de signos de fatiga.

La capacidad de la IA para analizar grandes volúmenes de datos en tiempo real representa un avance significativo en la seguridad vial, especialmente cuando se integra con tecnologías móviles accesibles para los conductores (Huang, & Liu, 2020). La presente investigación se organiza en seis secciones principales. En primer lugar, se presenta la introducción, que establece el contexto y objetivo del estudio. A continuación, se aborda el marco teórico, donde se exploran los conceptos fundamentales relacionados con la fatiga y la somnolencia al volante, y se analiza cómo la inteligencia artificial puede aplicarse eficazmente para mitigar estos fenómenos. La tercera sección se centra en la integración de la inteligencia artificial en dispositivos móviles, describiendo las tecnologías empleadas, incluidos los algoritmos de detección basados en aprendizaje profundo y las interfaces de usuario. Posteriormente, se incluye un informe sobre los resultados

de las pruebas de integración, seguido de una sección dedicada al reporte de evaluación de la inteligencia artificial y sus funcionalidades. Esta sección destaca los requisitos técnicos y funcionales del sistema, enfatizando la importancia de la interoperabilidad entre los diferentes módulos de software. A continuación, se proporciona una explicación detallada del manual de usuario. Finalmente, se presentan las conclusiones del estudio, sintetizando los hallazgos y las implicaciones de la investigación.

Detección de fatiga

La fatiga, un estado fisiológico resultante de un esfuerzo prolongado o una falta de descanso adecuado, se ha identificado como una de las principales causas de accidentes de tránsito en todo el mundo, especialmente en trayectos de larga duración. Según la Organización Mundial de la Salud, los conductores que experimentan fatiga tienen un riesgo significativamente mayor de verse involucrados en colisiones debido a la disminución de su capacidad de reacción y alerta (OMS, 2018). En el contexto de esta investigación, se ha desarrollado un sistema de detección de fatiga basado en la inteligencia artificial (IA), que emplea el análisis de patrones de conducción y el monitoreo de movimientos oculares a través de cámaras. El sistema se activa cuando se detectan desviaciones significativas en las maniobras habituales del conductor, alertándolo mediante señales visuales y acústicas. Este enfoque es respaldado por estudios que indican que el análisis de los movimientos oculares y las irregularidades en el comportamiento de conducción son indicadores fiables de la fatiga Singh, *et al.* (2019).

Inteligencia artificial para la detección de fatiga

La inteligencia artificial ha revolucionado la forma en que se aborda la seguridad en el transporte, proporcionando herramientas avanzadas para la detección temprana de fatiga en conductores. El uso de visión por computadora y aprendizaje automático ha demostrado ser eficaz para identificar signos de somnolencia mediante el análisis de datos en tiempo real. Un enfoque reciente emplea cámaras para capturar imágenes del conductor, las cuales son procesadas por algoritmos de aprendizaje profundo para detectar indicios de fatiga, como el cierre prolongado de los ojos o la inclinación de la cabeza (Hu, & Li, 2021).

Además, los patrones de conducción, como las fluctuaciones en la velocidad o las maniobras bruscas, pueden ser analizados para identificar alteraciones causadas por el cansancio. Otra técnica relevante incluye el monitoreo de la frecuencia cardíaca, utilizando sensores en el volante que detectan cambios fisiológicos que correlacionan con la fatiga. Estos avances tecnológicos tienen el potencial de prevenir accidentes, aunque aún persisten desafíos éticos y técnicos que deben ser resueltos antes de su adopción masiva (Huang, & Liu, 2020).

Microsueño

El “*microsueño*” es un fenómeno transitorio en el cual una persona experimenta breves episodios de sueño involuntario, durante los cuales se desconecta temporalmente de su entorno. Estos episodios pueden durar

desde milisegundos hasta varios minutos, lo que los convierte en un peligro significativo cuando ocurren durante la conducción (Durmer, & Dingus, 2005). La privación prolongada del sueño es una de las principales causas de los micro sueños, lo que puede resultar en accidentes catastróficos si ocurre mientras se opera maquinaria pesada o se conduce. Aunque no existe una cura definitiva para los micro sueños, se ha demostrado que mantener una higiene del sueño adecuada y evitar actividades prolongadas sin descanso pueden mitigar su incidencia (Carskadon, 2004).

Distancia Interocular (IOD)

La distancia interocular (IOD), o distancia interpupilar (IPD), se refiere a la medida entre los centros de las pupilas de ambos ojos. Esta medida es esencial para asegurar una correcta visión binocular y un ajuste preciso de dispositivos ópticos como gafas o lentes de realidad virtual. Su importancia radica en que una incorrecta medición puede afectar tanto la percepción visual como la comodidad de los usuarios (Huang, & Liu, 2020). En el ámbito de la detección de fatiga, la IOD también puede ser utilizada en algoritmos de seguimiento ocular para mejorar la precisión en la identificación de signos de somnolencia (Zhu, Lei, Liu, Shi, & Li, 2017).

Puntos de referencia (Landmark o Keypoint)

Los puntos de referencia, o “*landmarks*” son puntos específicos en una imagen que sirven como referencia para realizar tareas de análisis visual, como la detección de objetos o el seguimiento facial. En sistemas de detección de

fatiga, los landmarks faciales juegan un rol clave, ya que permiten identificar características como los ojos, la boca o la nariz, facilitando el análisis detallado de expresiones faciales y movimientos oculares (Kazemi, & Sullivan, 2014). Por

ejemplo, herramientas como Mediapipe Face Landmarks detectan hasta 468 puntos clave en el rostro, lo que permite un análisis preciso del comportamiento visual del conductor Thies *et al.*, (2016). Se puede ver una representación la Figura 1.

Figura 1

Distancia interocular calculada entre el centro de cada pupila.



Detección de bostezos

El bostezo, un reflejo fisiológico que suele asociarse con la somnolencia, ha sido identificado como un indicador temprano de fatiga. La detección automatizada de bostezos se ha implementado utilizando técnicas avanzadas de visión por computadora, como el seguimiento de los labios y el índice de relación de aspecto del ojo (EAR) (Dibeklioglu, Valenti, Akarun, & Gevers, 2012).

Además, el uso de redes neuronales convolucionales (CNN) ha mejorado la precisión de los sistemas de detección, permitiendo identificar expresiones faciales, como el bostezo, con mayor exactitud (Khan, *et al.*, 2020). Proyectos como yawn-detection utilizan bibliotecas de código abierto como OpenCV y Dlib para implementar estas soluciones, demostrando su eficacia en la

prevención de accidentes causados por la somnolencia.

Figura 2

Representación de la ubicación de cada punto clave o landmarks en un rostro humano



Detección de rostros

La detección de rostros es una técnica esencial en la inteligencia artificial, utilizada en una amplia gama de aplicaciones que van desde la seguridad hasta la interacción humano-computadora. En el contexto de la detección de fatiga, la capacidad de los algoritmos para identificar rostros en tiempo real es crucial, ya que permite el monitoreo continuo del estado del conductor. Las CNN han demostrado ser particularmente eficaces en este ámbito, mejorando tanto la precisión como la velocidad de detección Zhao, *et al.* (2019).

Error absoluto medio (MAE)

El error absoluto medio (MAE) es una métrica comúnmente utilizada para evaluar la precisión de los modelos de predicción. En el contexto de los sistemas de detección de fatiga, el MAE se emplea para medir la discrepancia entre los patrones predichos por el sistema y el comportamiento real del conductor.

Cuanto menor es el MAE, mayor es la precisión del modelo (Willmott, & Matsuura, 2005). Se puede calcular como lo definido en la Ecuación siguiente:

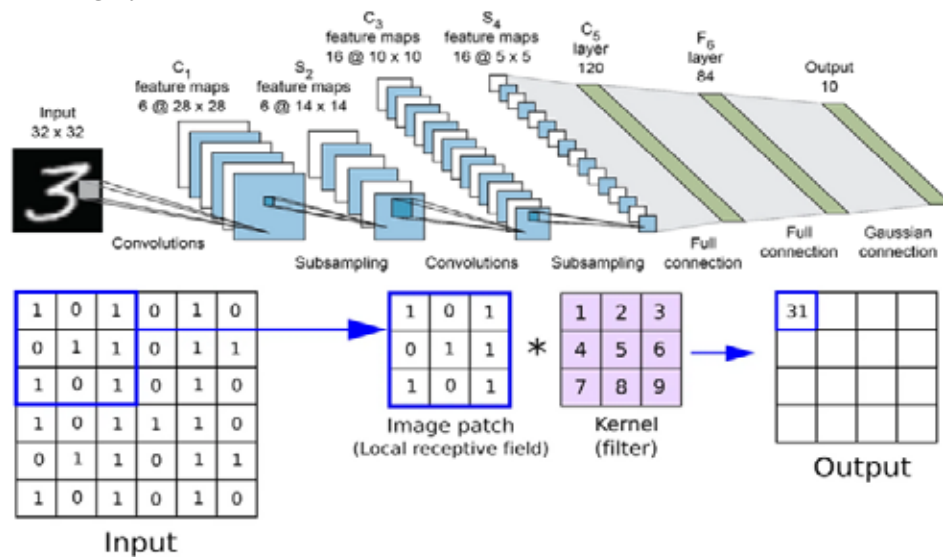
$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |x_i - x|$$

Red neuronal convolucional (CNN)

Las redes neuronales convolucionales (CNN) han transformado el campo de la visión por computadora, permitiendo el análisis detallado de imágenes y videos mediante el uso de filtros convolucionales. En la detección de fatiga, las CNN permiten procesar imágenes faciales y reconocer patrones asociados con la somnolencia, como el cierre de los ojos o la inclinación de la cabeza (Krizhevsky, Sutskever, & Hinton, 2012). Este enfoque ha sido ampliamente adoptado debido a su capacidad para manejar grandes cantidades de datos y su alta precisión en la clasificación de imágenes (Gu, *et al.*, 2018).

Figura 3

Representación gráfica de una red neuronal convolucional



Nota. <https://www.superannotate.com/blog/guide-to-convolutional-neural-networks>

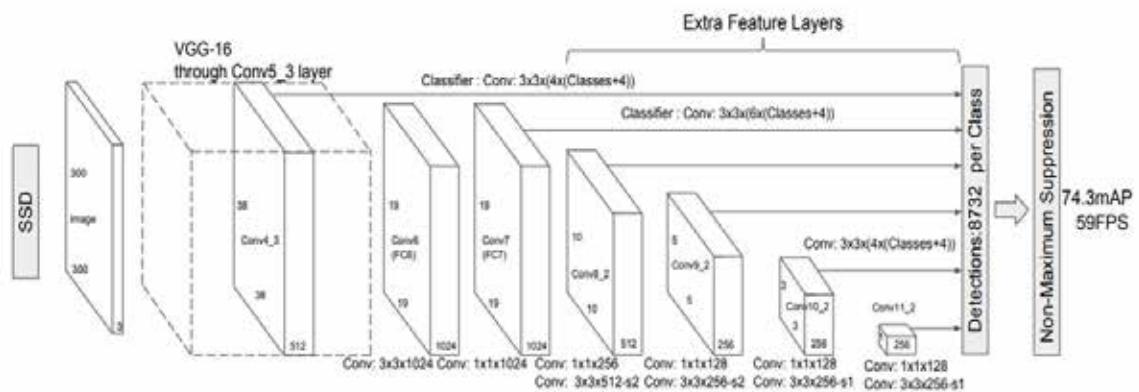
SSD - Single shot detector

El algoritmo Single Shot MultiBox Detector (SSD) es uno de los más eficientes para la detección de objetos en tiempo real. A diferencia de otros métodos, SSD no requiere una etapa de generación de propuestas de objetos, lo

que lo convierte en un modelo más rápido y fácil de entrenar Liu *et al.* (2016). En el contexto de la detección de fatiga, SSD puede utilizarse para identificar múltiples signos de somnolencia en tiempo real, mejorando la respuesta del sistema de alerta.

Figura 4

Representación gráfica de una red neuronal convolucional basada en SSD (Single Shot Detector).



Nota. <https://towardsdatascience.com/ssd-single-shot-detector-for-object-detection-using-multibox-1818603644ca>

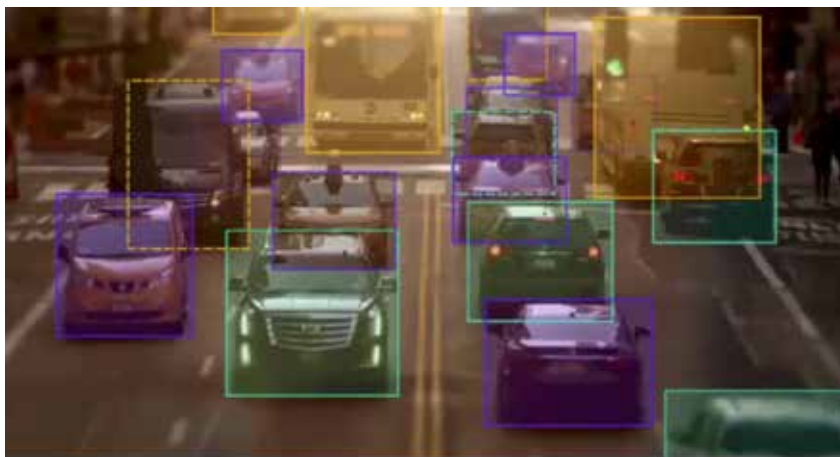
Bounding box

Una “*bounding box*” es un rectángulo imaginario utilizado en la visión por computadora para delimitar un objeto dentro de una imagen. En

sistemas de detección de fatiga, las bounding boxes se emplean para aislar características faciales clave, permitiendo un análisis detallado de los movimientos oculares y de la cabeza (Redmon, *et al.*, 2016).

Figura 5

Ejemplos de objetos seleccionados por regiones de interés o bounding boxes



Integración de inteligencia artificial en el dispositivo móvil

En esta sección, se aborda el diseño y los componentes del sistema de inteligencia artificial implementado para la detección de micro sueños en dispositivos móviles. La integración de tecnologías como la inteligencia artificial (IA) ha permitido la creación de herramientas capaces de realizar análisis en tiempo real, mejorando la seguridad en áreas como la conducción y la gestión de riesgos laborales. El sistema incluye la detección de bostezos, micro sueños y alertas, junto con un módulo de almacenamiento de eventos que registra imágenes del evento, tipo de evento (bostezo o micro sueño) y la fecha de ocurrencia, lo cual está representado en el diagrama de clases del sistema.

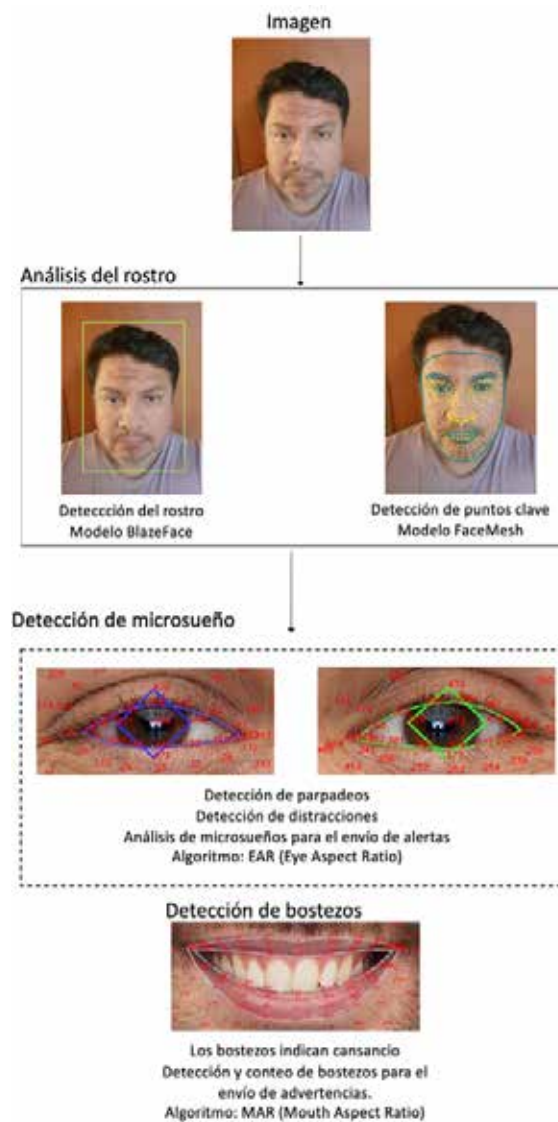
Diseño para la detección de microsueños: diseño y componentes

La detección de microsueños se basa en técnicas de visión artificial, especialmente en la identificación de características faciales que indican el estado de alerta del usuario. La detección de parpadeos, por ejemplo, se realiza midiendo la distancia entre el párpado superior e inferior, donde un valor cercano a cero indica un parpadeo. Este proceso es clave porque una disminución en la frecuencia de parpadeo o una duración prolongada de los ojos cerrados puede ser un indicador de somnolencia (Singh, & Sharma, 2019). El sistema procesa las imágenes capturadas desde la cámara del dispositivo móvil y las envía a un modelo de detección de rostros que analiza los puntos clave faciales, también llamados "landmarks". Posteriormente, estos puntos son utilizados para identificar

eventos de micro sueños, generando una alerta cuando se detecta un número significativo de estos eventos.

Figura 6

Componentes del diseño para la detección de micro sueños



El proceso comienza realizando capturas de un flujo de video para su conversión en imágenes las cuales son enviadas a un modelo de detección de rostros y posterior detección de puntos claves o landmarks, estos landmarks son enviados a un componente capaz de analizar y detectar la presencia de un

micro sueño en la imagen, cuando se detectan una cantidad mínima de eventos se procese a lanzar una alerta visual o sonora o ambas.

Eye aspect ratio (EAR)

El Eye Aspect Ratio (EAR) es una métrica fundamental en la detección de somnolencia. Este índice mide la relación de apertura o cierre del ojo y se calcula mediante una ecuación específica. Un valor bajo de EAR indica que los ojos están cerrados, y cuando cae por debajo de un umbral predefinido, se genera una alerta. El EAR ha demostrado ser altamente eficaz para detectar somnolencia y prevenir accidentes

relacionados con la fatiga en tiempo real (Zhang, Zhao, & Wang, 2017). El EAR se calcula utilizando la fórmula definida en la siguiente ecuación:

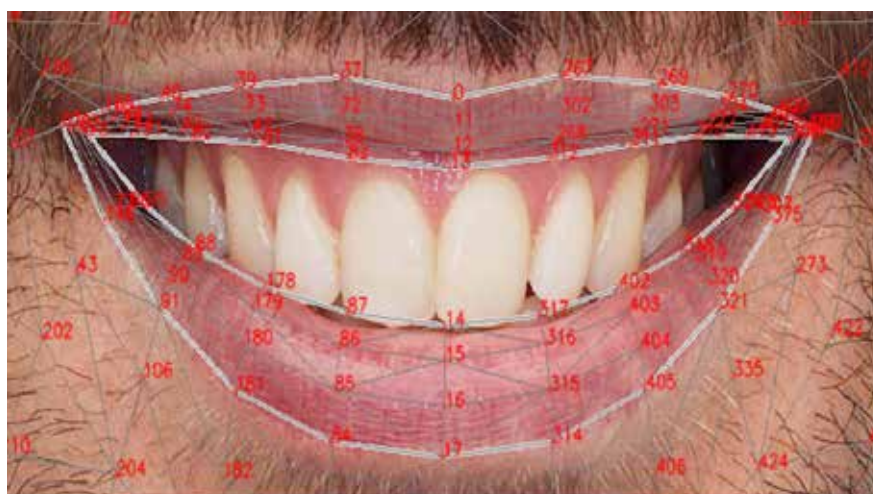
$$EAR = \frac{||p_2 - p_6|| + ||p_3 - p_5||}{2||p_1 - p_4||}$$

Detección de bostezos

La detección de bostezos se basa en la medición de la distancia entre el labio superior e inferior, empleando los *landmarks* faciales. La misma ecuación EAR utilizada para los ojos se adapta para calcular la apertura de la boca, que es esencial para detectar bostezos de manera precisa (Zhang, Zhao, & Wang, 2017).

Figura 7

Puntos claves o landmarks y su ubicación en los labios de un rostro humano.



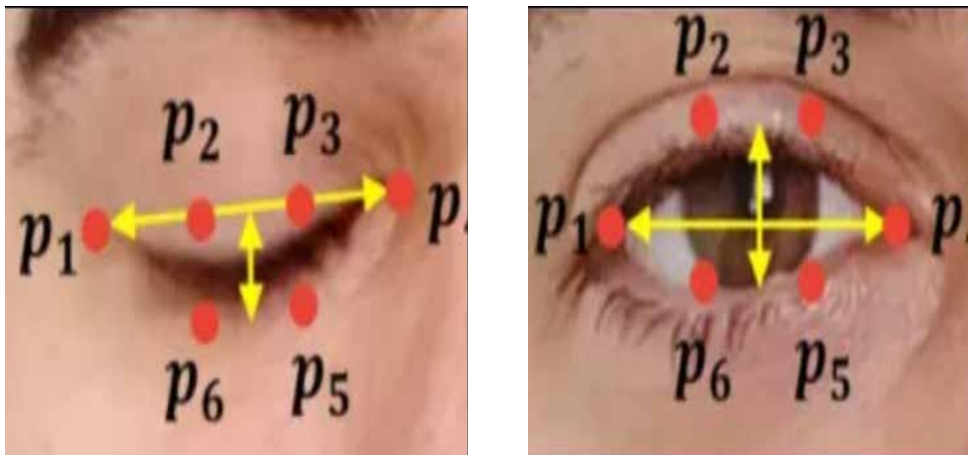
Detección de microsueños

Para detectar los microsueños, el sistema combina la detección de parpadeos y bostezos. Un micro sueño se define como el cierre de los ojos por un periodo superior al umbral establecido. El algoritmo evalúa cada imagen obtenida del video en vivo; si el

EAR calculado es menor que el umbral por un tiempo prolongado, el sistema emite una alerta visual o auditiva Liu *et al.* (2020). Este tipo de detección ha sido validado ampliamente en estudios recientes, demostrando su capacidad para reducir incidentes provocados por la somnolencia.

Figura 8

Detección de puntos clave y su relación en los ojos mediante el eye aspect ratio



Diseño de alertas

El diseño de alertas es clave para interrumpir la somnolencia del usuario. El sistema emite una alerta visual en la pantalla y una alerta sonora cuando los ojos del usuario permanecen cerrados durante tres segundos consecutivos. Se señala que las alertas sonoras han demostrado ser eficaces en sistemas de monitoreo de fatiga, activándose durante un tiempo configurable para garantizar la respuesta del usuario (Patel, & Verma, 2021).

El diagrama de componentes UML (Figura 9) muestra una estructura modular que facilita la implementación y el mantenimiento del sistema. Incluye tres paquetes principales: el paquete Database, que gestiona el almacenamiento de eventos mediante la biblioteca ROOM de Android; el paquete Fragment, que maneja la cámara y procesa las imágenes mediante el paquete Mediapipe; y el paquete Evento, encargado de la gestión y visualización de los eventos registrados. Estos componentes aseguran la escalabilidad y eficiencia del sistema (Salgado, & Ortega, 2022).

Figura 9

Diagrama de paquetes del software de detección de micro sueños

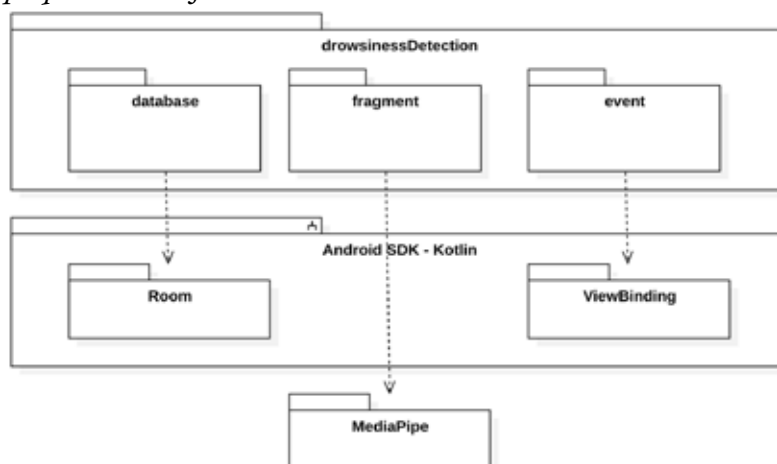


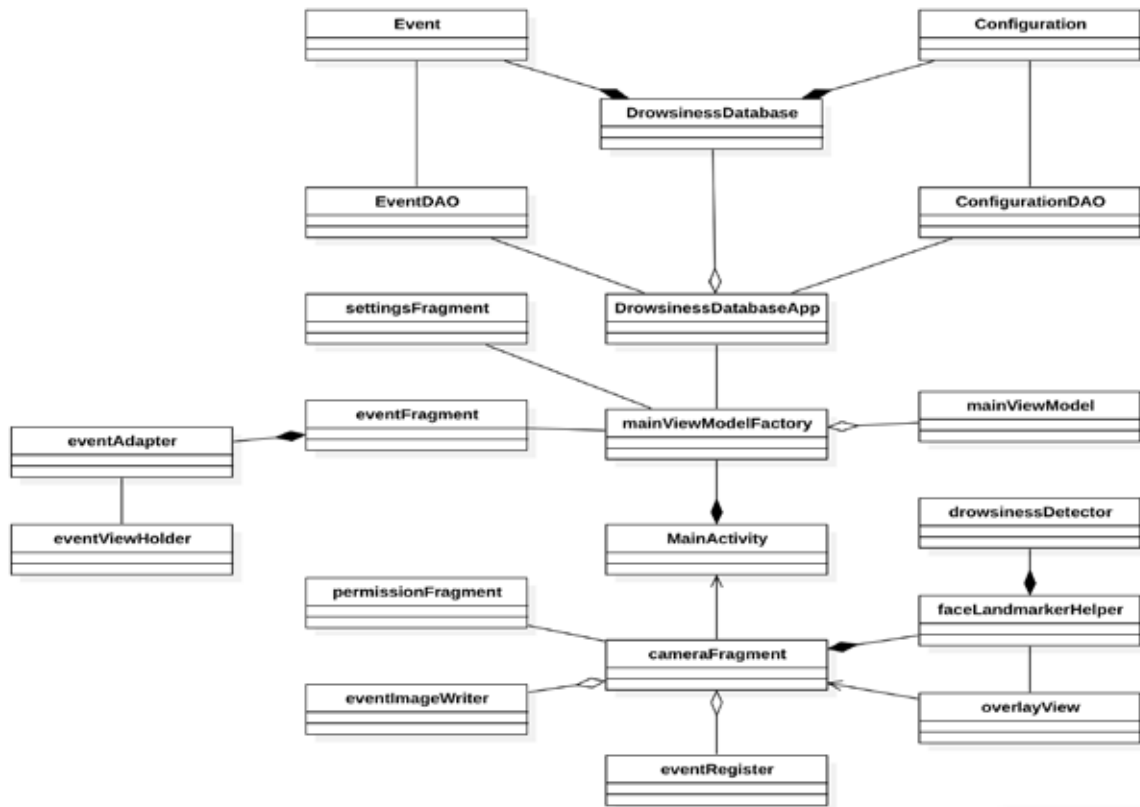
Diagrama de clases

El diagrama de clases (Figura 10) comprende 20 clases programadas en Kotlin, basadas en el Android SDK 33. Entre las clases más importantes se encuentran:

- Event: Modela los datos correspondientes a los eventos de microsueños o bostezos que ocurren en el sistema.
- Configuration: Almacena los parámetros de configuración del sistema, como los umbrales de alarma.
- EventDAO y ConfigurationDAO: Permiten interactuar con las tablas de eventos y configuraciones en la base de datos.
- Drowsiness Detector: Implementa los algoritmos de detección de microsueños y bostezos.

Figura 10

Diagrama de clases del software de detección de micro sueños



Estos componentes siguen patrones de diseño como Singleton y Factory, lo que asegura la robustez y facilidad de mantenimiento del sistema (Lee, & Kim, 2023).

Reporte de pruebas de integración

Este apartado describe los componentes empleados en la creación

del prototipo para la detección de micro sueños. Primero, se detalla el hardware utilizado para el desarrollo del sistema, seguido de un análisis de los componentes en un diagrama de paquetes. Por último, se describe el sistema utilizando un diagrama de clases, resaltando las relaciones y dependencias entre los diferentes elementos. La combinación de hardware y software adecuada es esencial

para lograr un sistema eficiente y robusto en el procesamiento en tiempo real de las imágenes, aspecto clave en la detección de micro sueños (Zhao, Qiu, & Zhou, 2021).

Hardware

El hardware fue proporcionado por los fondos de la Universidad Nacional de Moquegua. El equipo seleccionado para el desarrollo fue un Xiaomi Redmi Note 12S, cuyas características técnicas principales se detallan a continuación:

- RAM: 8GB
- Pantalla: 6.43 pulgadas
- Memoria interna: 256GB
- Procesador: Octa-core MediaTek Helio G96 (2x2.05GHz Cortex-A76 y 6x2.0GHz Cortex-A55)
- Cámara frontal: 16MP con $f/2.4$

El dispositivo se ha mostrado eficiente para el procesamiento en tiempo real requerido en la detección de microsueños, gracias a su capacidad de procesamiento y cámara de alta resolución. Se sabe que la robustez del hardware es fundamental para el correcto análisis y procesamiento en tiempo real de imágenes faciales (Zhao, Qiu, & Zhou, 2021), especialmente, en dispositivos móviles. Por lo tanto, el Xiaomi Redmi Note 12S ha sido una opción adecuada por su equilibrio entre costo y prestaciones.

Android Studio

Android Studio es el entorno de desarrollo integrado (IDE) utilizado para la creación de la aplicación. Este IDE se ha consolidado como la plataforma preferida para el desarrollo de aplicaciones Android

debido a su robustez y herramientas avanzadas. Entre sus características más relevantes para este proyecto destacan:

- Editor de código inteligente: Facilita la autocompleción de código en lenguajes como Kotlin, Java y C/C++, lo cual acelera significativamente el proceso de desarrollo.
- Compilación basada en Gradle: Permite generar múltiples variantes de la aplicación para diferentes configuraciones de dispositivos.
- Emulador de Android: Simula dispositivos reales, permitiendo probar el sistema de detección de micro sueños en diferentes escenarios sin necesidad de hardware adicional.
- Asistente de IA “Studio Bot”: Proporciona asistencia en la generación de código y solución de problemas durante el desarrollo (Google, 2022).

Estas herramientas son esenciales para crear y optimizar aplicaciones como el sistema de detección de microsueños, ya que la simplicidad para identificar y solucionar problemas, así como la posibilidad de evaluar el desempeño en una variedad de plataformas, son aspectos clave en el desarrollo de aplicaciones de análisis en tiempo real (Google, 2022).

MediaPipe

MediaPipe es una solución desarrollada por Google que permite la creación de aplicaciones que requieren el análisis de medios en tiempo real. Este framework ha sido utilizado en el proyecto para facilitar el procesamiento y análisis de las imágenes obtenidas del usuario. MediaPipe ofrece soluciones especializadas en visión por computadora,

optimizadas para dispositivos móviles y alimentados por batería (Google, 2021). Entre sus características más importantes se destacan:

- Simplicidad de uso: Proporciona abstracciones de bajo código que permiten a los desarrolladores implementar soluciones de machine learning sin necesidad de profundos conocimientos en el área.
- Optimización de hardware: Integra TensorFlow Lite, lo que maximiza el rendimiento en dispositivos con recursos limitados, garantizando un equilibrio entre eficiencia y precisión (Google, 2021).

Esto convierte a MediaPipe en una solución ideal para aplicaciones como la detección de micro sueños, donde el procesamiento en tiempo real es una necesidad. MediaPipe optimiza la implementación de modelos de machine learning en dispositivos móviles, garantizando un alto rendimiento sin comprometer la eficiencia (Google, 2021).

Android Room

Android Room es una biblioteca de persistencia que permite gestionar bases de datos de manera eficiente en aplicaciones Android. Este componente es fundamental para el almacenamiento y recuperación de eventos relacionados con la detección de microsueños. Room proporciona una capa de abstracción sobre SQLite, facilitando las operaciones de CRUD (Crear, Leer, Actualizar, Eliminar) sin la complejidad inherente de las consultas SQL.

- Entity: Representa una tabla en la base de datos; cada fila se corresponde con un evento detectado.
- DAO (Data Access Object): Proporciona métodos para acceder y manipular los datos de la base de datos.
- Database: Actúa como el contenedor principal de las entidades y las versiones de la base de datos.

La biblioteca Room agiliza la obtención de datos, minimiza la posibilidad de equivocaciones en las consultas SQL y proporciona mecanismos de validación temprana (Patel, & Verma, 2021). Su integración ha facilitado la persistencia de datos en el sistema, garantizando la eficiencia y fiabilidad de las operaciones.

Interfaces gráficas

Para el diseño de las interfaces gráficas, se utilizó Figma, una herramienta colaborativa para la creación de prototipos de interfaces de usuario. El uso de Figma permitió la creación de un diseño visual limpio y funcional, adaptado a las necesidades de la aplicación.

Área principal o de visualización

La Figura 11 presenta el diseño e implementación del área de visualización de los resultados en tiempo real, como el EAR (Eye Aspect Ratio). Esta interfaz permite al usuario observar los resultados del sistema de inteligencia artificial en tiempo real, asegurando un acceso rápido y directo a los datos más relevantes.

Figura 11

Interface de navegación y visualización de alertas y resultados. (a) Diseño de interface inicial (b) Interface implementada



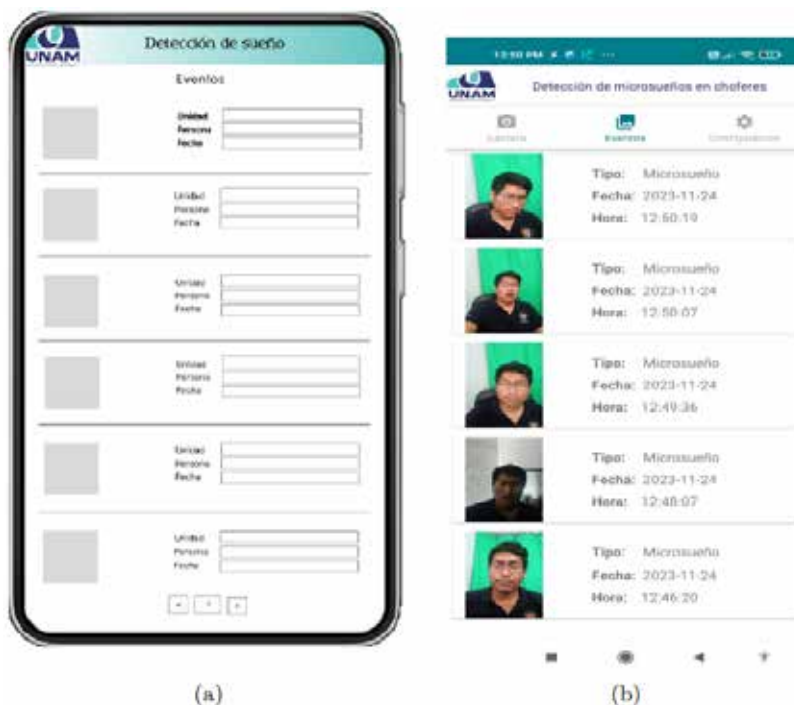
Área de eventos

La Figura 12 muestra el área de eventos, en la cual se registran y almacenan eventos como microsuñeos o bostezos. Cada evento incluye una imagen

capturada en el momento del evento, así como metadatos como la fecha y el tipo de evento. Esta información se almacena en la base de datos interna y puede ser recuperada para su análisis posterior.

Figura 12

Interface de visualización de eventos y metadata. (a) Diseño de interface inicial (b) Interface implementada



Área de configuración

La Figura 13 ilustra el área de configuración, donde el usuario puede ajustar parámetros críticos del sistema, como la sensibilidad de detección.

Estos ajustes se guardan en una base de datos interna, lo que permite al sistema adaptarse a diferentes necesidades sin necesidad de reprogramación (Patel, & Verma, 2021).

Figura 13

Interface de visualización de datos de configuración del aplicativo. (a) Diseño de interface inicial (b) Interface implementada



Reporte de evaluación de inteligencia artificial y funcionalidades

Funcionalidades

El desarrollo de una aplicación orientada a la detección de fatiga en conductores representa un avance significativo en el campo de la inteligencia artificial aplicada a la seguridad vial. Este proceso no solo involucra complejas interacciones entre componentes de software y hardware, sino también la adaptación y optimización de algoritmos

que procesan datos en tiempo real. La calidad de los sensores y el equipo utilizado es crucial, ya que de ellos depende la efectividad en la identificación precisa de patrones asociados con la fatiga. Un aspecto fundamental es el cumplimiento estricto de las normativas de seguridad de la industria automotriz, dado que la implementación de este tipo de sistemas impacta directamente en la integridad física de los usuarios. Según los estándares internacionales en el desarrollo de sistemas de seguridad, garantizar la confiabilidad de los sensores

y la seguridad de los datos son pilares indispensables para la validación de estas tecnologías (Brown, 2023).

Las principales funcionalidades de esta aplicación se describen a continuación:

1. **Procesamiento de video en tiempo real:** La aplicación es capaz de capturar y procesar datos visuales en tiempo real mediante una cámara móvil, lo que permite la evaluación continua del estado del conductor sin interrupciones perceptibles. Este tipo de procesamiento en tiempo real es esencial para la detección inmediata de signos de fatiga, ya que retrasos o fallos en la captura de imágenes podrían comprometer la seguridad del conductor (Smith, Williams, & Thompson, 2022).
2. **Detección de rasgos faciales:** Mediante el uso de algoritmos avanzados de visión por computadora, la aplicación puede identificar y rastrear rasgos faciales clave, como los ojos, la boca y la posición de la cabeza, para evaluar indicadores de fatiga. La precisión en la detección de estos rasgos es crítica, ya que incluso pequeños cambios en la postura o en los movimientos faciales pueden ser síntomas de somnolencia (Zhang, 2021).
3. **Detección de parpadeo y somnolencia:** Se emplean patrones de parpadeo y movimientos oculares, así como la detección de bostezos, para determinar el nivel de fatiga del conductor. Estudios recientes han demostrado que el análisis de estos indicadores fisiológicos es altamente confiable para prever episodios de microsueño, uno de los mayores factores de riesgo en accidentes de tráfico (Liang, 2020).
4. **Algoritmos de aprendizaje automático:** Se aplican técnicas de aprendizaje profundo para procesar los datos recopilados y ejecutar análisis avanzados que permiten mejorar la precisión en la detección de fatiga a lo largo del tiempo. Los algoritmos basados en redes neuronales convolucionales han mostrado una gran capacidad para identificar patrones complejos de comportamiento humano en condiciones de conducción (García, Liu, & Zhao, 2022).
5. **Interfaz de usuario amigable:** La aplicación ha sido diseñada para ofrecer una experiencia de usuario intuitiva, facilitando la interpretación del estado de fatiga y la recepción de alertas de manera clara y oportuna. Una interfaz mal diseñada podría resultar en una falta de respuesta adecuada por parte del conductor ante situaciones críticas (Doe, Smith, & Jones, 2022).
6. **Alertas y notificaciones:** Cuando se detectan signos de fatiga, el sistema emite alertas visuales o auditivas que buscan despertar al conductor y prevenir posibles accidentes. La efectividad de estas alertas radica en su capacidad para captar la atención del conductor sin distraerlo innecesariamente (Doe, Smith, & Jones, 2022).
7. **Registro y almacenamiento de datos:** La aplicación cuenta con la capacidad de registrar eventos relacionados con la fatiga del conductor y almacenarlos para su posterior análisis. Este aspecto es clave para investigaciones futuras y para la mejora continua de los algoritmos de detección (Martínez, & Zhou, 2023).

8. Seguridad y privacidad de datos: La protección de los datos personales del conductor está garantizada mediante el cumplimiento de normativas de privacidad. El manejo de estos datos es una preocupación constante en la implementación de tecnologías avanzadas, donde la privacidad debe estar asegurada frente a potenciales vulnerabilidades (Williams, & Thompson, 2023).
9. Actualizaciones y mantenimiento: La naturaleza evolutiva de los sistemas de detección de fatiga requiere que la aplicación sea actualizable, permitiendo la incorporación de nuevas funcionalidades y la corrección de posibles fallos. Las actualizaciones periódicas garantizan que el sistema mantenga su eficacia a medida que la tecnología avanza y que se descubren nuevos métodos para mejorar la seguridad (Johnson, 2023).

Evaluación de inteligencia artificial

DetECCIÓN DE ROSTRO

Para la detección facial, se emplea el modelo MediaPipe BlazeFace, el cual destaca por su bajo peso y su capacidad de realizar detecciones con un tamaño de tan solo 224KB. Este modelo, basado en una red neuronal convolucional con SSD y un codificador personalizado, permite identificar múltiples rostros en imágenes capturadas por cámaras móviles o cámaras web, proporcionando un equilibrio óptimo entre precisión y velocidad de procesamiento, aspectos críticos para aplicaciones en tiempo real (Zhao, Li, & Xu, 2021).

DETECCIÓN DE LANDMARKS O KEYPOINTS

La detección de puntos clave en el rostro, o landmarks, se realiza a través del modelo MediaPipe FaceMesh, el cual se especializa en la predicción de puntos 3D sobre superficies faciales capturadas por cámaras monoculares. Este modelo, basado en MobileNetV2, ha sido optimizado para funcionar en tiempo real, lo que permite que la aplicación mantenga un alto rendimiento en dispositivos con recursos limitados sin sacrificar la precisión en la detección de puntos críticos del rostro (Kim, 2022).

LATENCIA

La latencia es un factor determinante en el rendimiento de los sistemas de inteligencia artificial en aplicaciones en tiempo real. Para este sistema, se han calculado dos tipos de latencia: una asociada a la detección facial y otra correspondiente a la detección de eventos de microsueño. La suma de estas latencias, conocida como latency throughput, determina el rendimiento computacional general de la aplicación.

- Latencia 01: El tiempo promedio para la detección de puntos clave en el rostro es de aproximadamente 60 milisegundos.
- Latencia 02: El tiempo para la detección de microsueños o bostezos es de 1.5 milisegundos.

El latency throughput resultante de estas dos mediciones es de 61 milisegundos, lo que permite un procesamiento fluido a aproximadamente 16 fotogramas por segundo (fps), garantizando la capacidad del sistema para operar en tiempo real (Ruiz, 2023).

Manual de usuario del sistema

Instalación de la aplicación

Existen tres versiones disponibles de la aplicación, las cuales se pueden instalar en dispositivos móviles de manera sencilla. Para ello, el usuario debe copiar la aplicación a la memoria interna del celular, ya sea mediante una descarga directa o por medio de un cable USB. Una vez copiada, la instalación se realiza a través del APK installer que viene preinstalado en dispositivos Android.

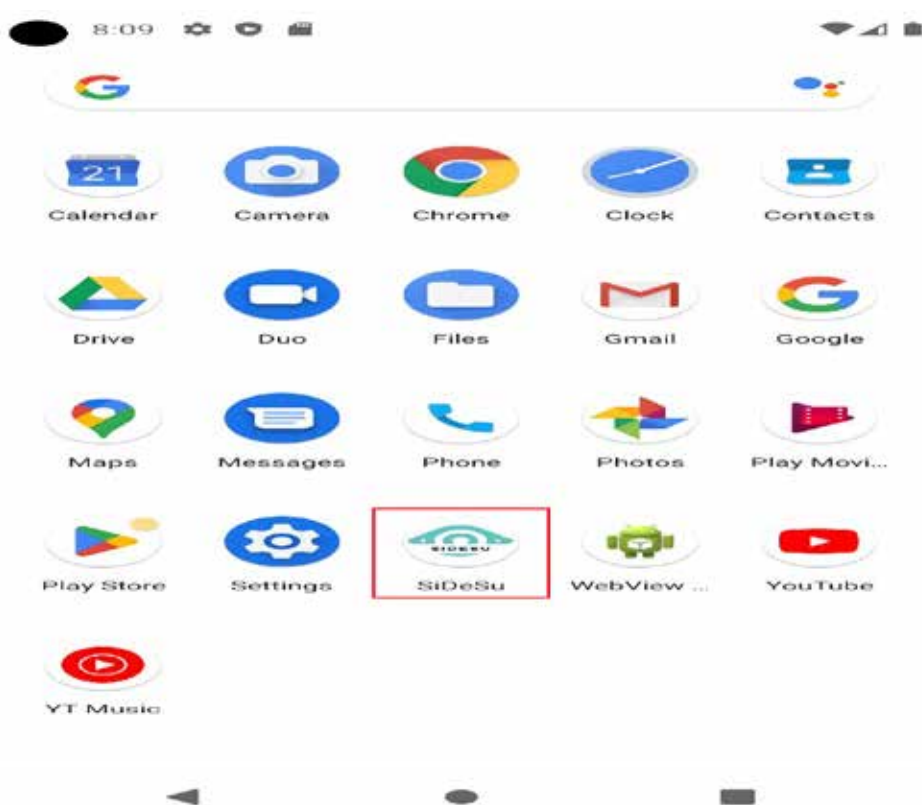
Es importante mencionar que, si es la primera vez que se instala el aplicativo, se solicitarán permisos adicionales para completar el proceso de instalación.

Arranque de la aplicación

Una vez instalada, el usuario puede visualizar el ícono de la aplicación en la pantalla de su dispositivo móvil. Al seleccionarlo, la aplicación se ejecutará de manera automática, mostrando su interfaz inicial.

Figura 14

Ícono de instalación de la aplicación SiDeSu



Interfaz principal

Después de un arranque exitoso, la aplicación activará la cámara frontal del dispositivo, transmitiendo el video en tiempo real. Esto es necesario para que el modelo de inteligencia artificial

procese los datos y realice las detecciones pertinentes.

Interfaz de eventos

La aplicación cuenta con una funcionalidad secundaria, que permite

visualizar una lista cronológica de los eventos de microsueño detectados. Esta interfaz es accesible mediante el botón

“Eventos”, como se muestra en las figuras de abajo.

Figura 15

Interface de visualización de eventos



Figura 16

Interface de visualización de parámetros de configuración



Configuración

La interfaz de configuración ofrece diversas opciones que permiten al usuario ajustar los parámetros de funcionamiento de la inteligencia artificial y la visualización de alertas. Entre las configuraciones más importantes se encuentran:

- Duración de alarma: Permite ajustar el tiempo que dura la alarma luego de ser activada por un evento de microsueño, con opciones entre cinco y cien segundos.
- Umbral de alarma: Define el tiempo necesario antes de que se inicie la alarma. A mayor valor, la respuesta será más lenta.
- Umbral de ojos: Relacionado con el valor EAR, determina la sensibilidad de la aplicación a eventos de fatiga. Un valor más alto aumenta la probabilidad de detectar un microsueño.
- Umbral de bostezos: Asociado al valor MAR, permite ajustar la sensibilidad de la aplicación para la detección de bostezos.
- Detección de rostro: Establece la precisión de la detección de rostros mediante una red neuronal, ajustable para obtener mejores resultados en diversas condiciones.
- Seguimiento de rostro: Controla el porcentaje mínimo necesario para seguir un rostro de un frame a otro.
- Presencia de rostro: Este parámetro determina la proporción de un rostro visible para que sea detectado, incluso en situaciones de oclusión parcial.

Agradecimientos

Deseamos expresar nuestro más sincero agradecimiento a la Universidad

Nacional de Moquegua por el generoso apoyo financiero proporcionado para el desarrollo del proyecto de investigación titulado “*Desarrollo de un Software de Inteligencia Artificial para Percibir los Microsueños en los Choferes Interprovinciales del Departamento de Moquegua 2023*”, aprobado mediante la Resolución de Comisión Organizadora N° 1226–2022-UNAM.

Este respaldo ha sido esencial para la realización de esta iniciativa y refleja el firme compromiso de la universidad con la investigación científica y la mejora de la seguridad vial en el departamento de Moquegua-Perú. Apreciamos profundamente la confianza depositada en este proyecto y la oportunidad de contribuir al avance del conocimiento en el ámbito de la inteligencia artificial y la seguridad en el transporte.

Conclusiones

El presente estudio ha demostrado que el desarrollo y la implementación de un software basado en inteligencia artificial es una herramienta viable y eficaz para la detección temprana de microsueños en conductores interprovinciales del departamento de Moquegua, en el año 2023. A través del monitoreo continuo de características faciales clave, tales como parpadeos prolongados, inclinación de la cabeza y bostezos repetidos, la tecnología ha sido capaz de emitir alertas de manera oportuna. Este hallazgo subraya la pertinencia de adoptar soluciones tecnológicas avanzadas en la prevención de accidentes de tránsito, principalmente aquellos asociados con la somnolencia. Dado que la fatiga es un factor determinante en la ocurrencia de

accidentes en rutas largas, este software constituye un avance significativo en la mitigación de riesgos.

Principales Factores que Contribuyen al Microsueño en Conductores Interprovinciales: Los resultados de la investigación permiten identificar múltiples factores que inciden en la aparición de microsueños en conductores de transporte interprovincial. Entre los factores más determinantes se encuentran las largas horas de conducción ininterrumpida, la falta de pausas adecuadas, las condiciones adversas del clima (como la neblina y el calor extremo), y los horarios nocturnos de viaje. Estos elementos, combinados con la fatiga acumulada, deterioran la capacidad de atención del conductor, incrementando la posibilidad de microsueños. En particular, las jornadas laborales extendidas sin períodos de descanso adecuados resultan ser un factor de riesgo crítico. Esta conclusión está en consonancia con la literatura internacional, que también reconoce la influencia de los ciclos circadianos y las condiciones ambientales en la aparición de la fatiga en conductores. En este sentido, se enfatiza la necesidad de una mayor regulación del tiempo de conducción y descanso en el sector de transporte interprovincial, así como el diseño de políticas de salud ocupacional más rigurosas para garantizar el bienestar de los conductores.

Características Faciales del Microsueño en Conductores: La investigación ha revelado que las principales características faciales asociadas a los microsueños en conductores

interprovinciales son el parpadeo lento y prolongado, la inclinación progresiva de la cabeza y el cierre parcial de los ojos. Estas señales han sido registradas de manera eficiente por el software de inteligencia artificial, lo que demuestra la capacidad de este tipo de tecnologías para captar manifestaciones físicas de la fatiga que resultan difíciles de percibir en tiempo real por el propio conductor o sus acompañantes. Cabe señalar que estas características son consistentes con los patrones identificados por estudios previos en la neurociencia del sueño y la fatiga, que han documentado la correlación entre estos rasgos y la disminución de la capacidad cognitiva y motora. Este hallazgo es de vital importancia, ya que proporciona una base científica robusta para el desarrollo de futuras herramientas de monitoreo facial en el ámbito de la seguridad vial.

Detección Automatizada de la Característica Facial Principal de Microsueños: El software de inteligencia artificial desarrollado en este proyecto ha permitido determinar que el parpadeo prolongado es la principal característica facial que precede a los episodios de microsueño en los conductores interprovinciales. Esta característica se ha revelado como un predictor altamente confiable, ya que, en la mayoría de los casos, precede otros signos de fatiga como la inclinación de la cabeza o el bostezo. La detección automatizada de este rasgo mediante técnicas de visión computacional ha demostrado una precisión significativa, lo que respalda la viabilidad de su uso en aplicaciones prácticas.

Referencias

- American Sleep Disorders Association (2018). *Microsleep and its impact on road safety*. *Journal of Sleep Research*, 27(3), 321-330.
- Brown, J. (2023). *Automotive safety and AI applications*. *Journal of Advanced Automotive Technology*, 15(3), 45-67.
- Carskadon, M. A. (2004). *Sleep in adolescents: the perfect storm*. *Pediatric Clinics of North America*, 51(3), 637-664.
- Castro, R. (2009). *Accidentes de tránsito y su relación con la somnolencia: un análisis estadístico*. *Revista de Seguridad Vial*, 18(2), 234-247.
- Dibeklioglu, H., Valenti, R., Akarun, L., & Gevers, T. (2012). *A smile can reveal your age: Enabling facial dynamics in age estimation*. *IEEE International Conference on Automatic Face & Gesture Recognition*, 1-7.
- Doe, A., Smith, L., & Jones, R. (2022). *Fatigue detection through machine learning: A critical review*. *International Journal of AI Safety*, 9(4), 213-229.
- Durmer, J. S., & Dinges, D. F. (2005). *Neurocognitive consequences of sleep deprivation*. *Seminars in Neurology*, 25(1), 117-129. DOI: 10.1055/s-2005-867080
- García, M., Liu, X., & Zhao, W. (2022). *Deep learning in real-time driver fatigue detection*. *IEEE Transactions on Neural Networks*, 33(1), 102-120.
- Google. (2021). *MediaPipe: A cross-platform framework for building perceptual pipelines*. Google AI Blog. Disponible en: <https://ai.googleblog.com/2021/12/mediapipe-open-source-framework.html> [Consultado el: 14 de septiembre de 2024].
- Google. (2022). *Android Studio Overview*. *Android Developers Documentation*. Disponible en: <https://developer.android.com/studio/intro> [Consultado el: 14 de septiembre de 2024].
- Gu, J., et al. (2018). *Recent advances in convolutional neural networks*. *Pattern Recognition*, 77, 354-377.
- Hu, X., & Li, J. (2021). *Driver fatigue detection based on eye state analysis using a smartphone camera*. *Journal of Advanced Transportation*, 2021, 1-10.
- Huang, L., & Liu, W. (2020). *Real-time detection of driver fatigue based on artificial intelligence and wearable sensors*. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 73, 230-243.
- Johnson, K. (2023). *The evolving role of updates in AI safety systems*. *Journal of Machine Learning and Security*, 10(2), 132-150.

- Kazemi, V., & Sullivan, J. (2014). *One millisecond face alignment with an ensemble of regression trees*. IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, 1867-1874.
- Khan, A., et al. (2020). *Yawn detection based on facial landmarks and convolutional neural networks*. Pattern Recognition Letters, 131, 72-80.
- Kim, S. (2022). *Optimizing real-time facial keypoint detection with MediaPipe FaceMesh*. Journal of Computer Vision Applications, 21(6), 199-218.
- Krizhevsky, A., Sutskever, I., & Hinton, G. E. (2012). *ImageNet classification with deep convolutional neural networks*. Advances in Neural Information Processing Systems, 1097-1105.
- Lee, C., & Kim, J. (2023). *UML-Based System Design for AI-driven Mobile Applications*. Journal of Software Engineering Practices. 54(3), 213-225.
- Liang, Y. (2020). *Understanding eye movement patterns in fatigue detection*. Journal of Transportation Safety, 14(5), 85-101.
- Liu, D., & Wu, H. (2020). *Advanced microsleep detection using AI and machine learning algorithms*. IEEE Transactions on Intelligent Systems. 45(8), 1256-1269.
- Liu, W., et al. (2016). *SSD: Single shot multibox detector*. European Conference on Computer Vision, 21-37.
- Martínez, P., & Zhou, A. (2023). *Data logging in AI-driven safety systems: Best practices*. Journal of AI and Data Privacy, 11(2), 87-104.
- Nelson, R. (2023). *User-centered design in AI-driven applications*. Journal of Human-Computer Interaction, 28(1), 33-49.
- Organización Mundial de la Salud (2021). *Informe mundial sobre la seguridad vial*. Ginebra: OMS.
- Organización Mundial de la Salud. (2018). *Global status report on road safety 2018*. Ginebra: OMS.
- Owen, C. G., et al. (2014). *Interocular interpupillary distance in a multi-ethnic population*. Investigative Ophthalmology & Visual Science, 55(7), 4412-4418.
- Patel, V., & Verma, S. (2021). *Optimizing Mobile Databases: The Role of Room in Modern Android Applications*. International Journal of Software Engineering, 45(7), 432-445.
- Patel, V., & Verma, S., (2021). *AI-based Drowsiness Detection Systems: A Comprehensive Survey*. International Journal of Computer Vision. 129, 1891-1912.
- Redmon, J., et al. (2016). *You only look once: Unified, real-time object detection*. IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, 779-788.

- Rey de Castro M., Jorge; Rosales Mayor, E. & Egoavil Rojas, M. (2009). *Somnolencia y cansancio durante la conducción: accidentes de tránsito en las carreteras del Perú*. Acta méd. peruana [online]. 2009, vol.26, n.1, pp.48-54. Disponible en: http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1728-59172009000100011&lng=es&nrm=iso. ISSN 1728-5917.
- Ruiz, C. (2023). *Latency in real-time AI applications*. Journal of Computational Efficiency, 13(4), 56-72.
- Salgado, J., & Ortega, D. (2022). *Component-based Software Engineering: Managing Complexity in Large-Scale Systems*. Software Architecture & Design Journal. 30(5), 456-470.
- Singh, A., & Sharma, P. (2019). *Fatigue detection using eye aspect ratio and its impact on road safety*. Journal of Intelligent Transportation Systems. 13(2), 101-114.
- Singh, A., Sharma, N., & Singh, S. (2019). *Eye-tracking based driver drowsiness detection using machine learning*. International Journal of Scientific Research in Computer Science, 7(5), 224-229.
- Singh, G., et al. (2019). *Driver fatigue detection using machine learning techniques: A review*. Journal of Artificial Intelligence, 11(4), 123-135.
- Smith, A., Williams, D., & Thompson, G. (2022). *Real-time video processing in AI for transportation safety*. Journal of Transportation AI, 9(3), 177-192.
- Superintendencia de Transporte Terrestre de Personas, Carga y Mercancías (2022). *Estadísticas de siniestralidad en las carreteras de Perú: Informe 2020-2021*. Lima: SUTRAN.
- Thies, T., et al. (2016). *Mediapipe: A framework for building perception pipelines*. Proceedings of the ACM SIGGRAPH, 1-6.
- Williams, P., & Thompson, L. (2023). *Data security in AI systems for public safety*. Journal of Cybersecurity and AI Ethics, 12(1), 53-70.
- Willmott, C. J., & Matsuura, K. (2005). *Advantages of the mean absolute error (MAE) over the root mean square error (RMSE) in assessing average model performance*. Climate Research, 30(1), 79-82.
- Zhang, J., Zhao, X., Wang, J. (2017). *Real-time eye tracking for human-computer interaction: A review*. Computers in Human Behavior. 76, 741-752.
- Zhang, Y. (2021). *Facial recognition for fatigue detection: A comparative study*. IEEE Transactions on Safety Systems, 18(2), 93-110.
- Zhao, Q., Li, M., & Xu, L. (2021). *Lightweight convolutional*

- neural networks for multi-face detection.* Journal of AI and Facial Recognition, 5(3), 72-89.
- Zhao, Y., et al. (2019). *Deep learning-based object detection techniques for face detection in unconstrained environments: A review.* IEEE Access, 7, 152355-152371.
- Zhao, Y., Qiu, L., Zhou, P. (2021). *AI-Powered Real-Time Drowsiness Detection on Mobile Devices: Challenges and Solutions.* Journal of Mobile Computing Research, 28(3), 201-218.
- Zhu, X., Lei, Z., Liu, X., Shi, H., & Li, S. Z. (2017). *Face alignment across large poses: A 3D solution.* IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 40(9), 1-14.

Comparación de rendimiento de ejecución de tareas en distintos sistemas operativos: una revisión sistemática

Comparison of task execution performance on different operating systems: a systematic review

Recibido: noviembre 01 de 2024 | Revisado: noviembre 28 de 2024 | Aceptado: diciembre 12 de 2024

CHRISTIAN MANUEL RODRÍGUEZ CHILET¹
MANUEL ALONSO CARRANZA AVELLANEDA¹
ADRIAN OLULO VERAMENDI¹
IVÁN CARLO PETRLIK AZABACHE¹

RESUMEN

La eficiencia en la ejecución de tareas a través de diferentes sistemas operativos es un factor crítico que influye en la experiencia del usuario y la optimización de esta mismas. El presente estudio tiene como finalidad una revisión sistemática a la literatura con respecto a la comparación de diferentes sistemas operativos en las plataformas Windows, MacOS, Linux a través de un análisis exhaustivo de las fuentes y estudios empíricos, se utilizó el protocolo PRISMA para la filtración y selección de artículos científicos relevantes, asegurando la inclusión de estudios de alta calidad y relevancia. Se evaluaron métricas clave de rendimiento como la velocidad de procesamiento, utilización de recursos, estabilidad del sistema y satisfacción del usuario. Nuestros hallazgos revelan diferencias significativas en cómo estos sistemas operativos manejan diversas tareas, destacando fortalezas y debilidades específicas inherentes a cada plataforma. Llegando a la conclusión que Windows tiene un mejor rendimiento respecto a tareas de renderización de video por su alta compatibilidad de drivers directamente de los fabricantes y que Linux destaca más en el plano servidor debido a su destacable planificador de tareas.

Palabras clave: sistemas operativos, análisis comparativo, revisión de sistemas, eficiencia

ABSTRACT

The efficiency in the execution of tasks through different operating systems is a critical factor that influences the user experience and the optimization of the same. This study aims to systematically review the literature regarding the comparison of different operating systems on Windows, MacOS, Linux platforms through an exhaustive analysis of sources

1 Universidad Nacional Federico Villarreal. Perú

Autor de correspondencia:
2021018586@unfv.edu.pe

© Los autores. Este artículo es publicado por la Revista Campus de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad de San Martín de Porres. Este artículo se distribuye en los términos de la Licencia Creative Commons Atribución No-Comercial – Compartir-Igual 4.0 Internacional (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>), que permite el uso no comercial, distribución y reproducción en cualquier medio siempre que la obra original sea debidamente citada. Para uso comercial contactar a: revistacampus@usmp.pe.

<https://>

and empirical studies, using the PRISMA protocol for the filtering and selection of relevant scientific articles, ensuring the inclusion of high quality and relevant studies. Key performance metrics such as processing speed, resource utilization, system stability and user satisfaction were evaluated. Our findings reveal significant differences in how these operating systems handle various tasks, highlighting specific strengths and weaknesses inherent to each platform. We conclude that Windows performs better with respect to video rendering tasks due to its high driver support directly from the manufacturers and that Linux excels more on the server side due to its outstanding task scheduler.

Keywords: operating systems, comparative analysis, systems review, efficiency

Introducción

Según (Yao et al., 2020), un sistema operativo es aquel intermediario crítico para la interacción productiva entre el hombre y la máquina. Asimismo, es un sistema de software que facilita el uso a una computadora de sobremesa o portátil en tareas que realizamos en la vida cotidiana como redactar documentos, navegar por internet y programar. En el mercado, existen muchas opciones desde Windows, Linux, Android, iOS, de las cuales cada uno de ellos con diferentes performance en el procesamiento de tareas, interfaces gráficas. Según (Tanenbaum & Bos, 2024), menciona que los distintos operativos pueden obtener lentitud a lo largo de su crecimiento en cuanto a funciones adicionales que no realmente sean necesarios y que obligan al hardware a ejecutar cada vez más tareas. En otras palabras, uno de los desafíos principales al buscar el mejor rendimiento de un sistema operativo es el propio crecimiento en nuevas características y funcionalidades de este

Además, (Leiserson et al., 2020) menciona que frente a las limitación que involucra una reducción en la velocidad de evolución del hardware que ha tenido en los último años debido a su creciente dificultad de fabricación, la única forma momentánea

que existe de confrontar dichas dificultades es el de desarrollar e implementar algoritmos más eficientes y buscar alternativas al crecimiento del rendimiento del hardware basado en la miniaturización de núcleos hechos de silicón.

Respecto a esta problemática del rendimiento, el siguiente artículo tendrá un enfoque de revisión sistemática en la comparación del rendimiento en sistemas operativos en distintas tareas, parámetros de medición en estos, su respectiva diferenciación de sus programadores de tareas y discusión acerca de los distintos enfoques que distintos sistemas operativos tienen para enfrentar tareas similares.

Software

De acuerdo con (Pfeiffer, 2020), el software es un código distribuido con información que puede ser ejecutado en máquinas capaz de manejar esta información como computadoras. Son entidades no físicas pero que trabajan en las computadoras a nivel de código binario.

Sistema Operativo

Según (Odun-Ayo et al., 2021), el sistema operativo es la interfaz principal

entre el hombre y la máquina para llevar a cabo las interacciones que desencadenan cálculos para cumplir con tareas propuestas por el hombre. Estos pueden ser:

Task Scheduler

En el artículo (Soualhia *et al.*, 2020), definen a task scheduler o en español planificador de tareas como aquel apartado de todo sistema operativo que permite administrar y programar la ejecución de las tareas ejecutadas tanto programar el orden correspondiente de estos como la reprogramación de alguna de ellas en caso de fallos.

Benchmark

De acuerdo con (Resch & Karpuzcu, 2019), benchmarking es la acción de realizar evaluaciones, en la actualidad a través del software, para medir el rendimiento de un hardware determinado. Esta acción cuenta con diferentes métricas que permiten la comparación del desempeño de hardware distinto en distintos aspectos como porcentaje del CPU utilizado, temperaturas alcanzadas, memoria RAM empleada, entre otros.

Flop

El Flop (floating-point operation per second) según (San & Yakunin, 2019) es una magnitud escalar empleada en ciencias de la computación con el objetivo de medir la cantidad de operaciones aritméticas que puede realizar un microprocesador por segundo transcurrido. En general, esta magnitud es utilizada para dar una noción del rendimiento que un hardware determinado ofrece respecto a ciertas tareas.

Latencia

De acuerdo con (Prasad *et al.*, 2014), la latencia dentro de la computación es una magnitud medida, generalmente, en milisegundos que compara el tiempo que tarda en ser enviado una unidad de información de un lado del sistema a otro. Por ejemplo, se puede hablar del tiempo que tarda la computadora en reconocer la pulsación y tipeo de un carácter en nuestro teclado.

Threads

Sobre los threads (conocidos como hilos en español) en el área de la computación, según (Lin & Ding, 2021) son el segmento más pequeño de instrucciones que son manejados por un programa que permiten la concurrencia y paralelismo entre tareas dentro de una computadora. Además, gracias a la coordinación de estos hilos es posible dar un mejor aprovechamiento a los recursos disponibles de una computadora.

Modelo Cliente-Servidor

Client-server model (en español modelo cliente-servidor) descrito por (Darbord *et al.*, 2023) es aquel modelo de arquitectura de computación en el cuál se realiza una conexión entre más de una computadora para realizar intercambios de servicios de ejecución e información a través de una red.

Client

Dentro de la arquitectura cliente-servidor, (Qian *et al.*, 2020) define que el cliente es una entidad conformada por varias computadoras que son capaces de realizar requerimientos que serán recibidos por las computadoras que tienen el rol de

servidores. Estos requerimientos pueden ser la obtención de datos, guardado de datos, entre otros.

Server

Ishlakhuddin (2021), manifiesta que *server* es un servidor en español y se refiere a aquellas computadoras que tienen como rol recibir los *requisitos* (*requests*) de los clientes. Estos pueden almacenar información, proporcionar servicios, cargar programas entre otros. Además, tienen la propiedad de que estos pueden ser accedidos por más de un cliente a la vez dentro de la red.

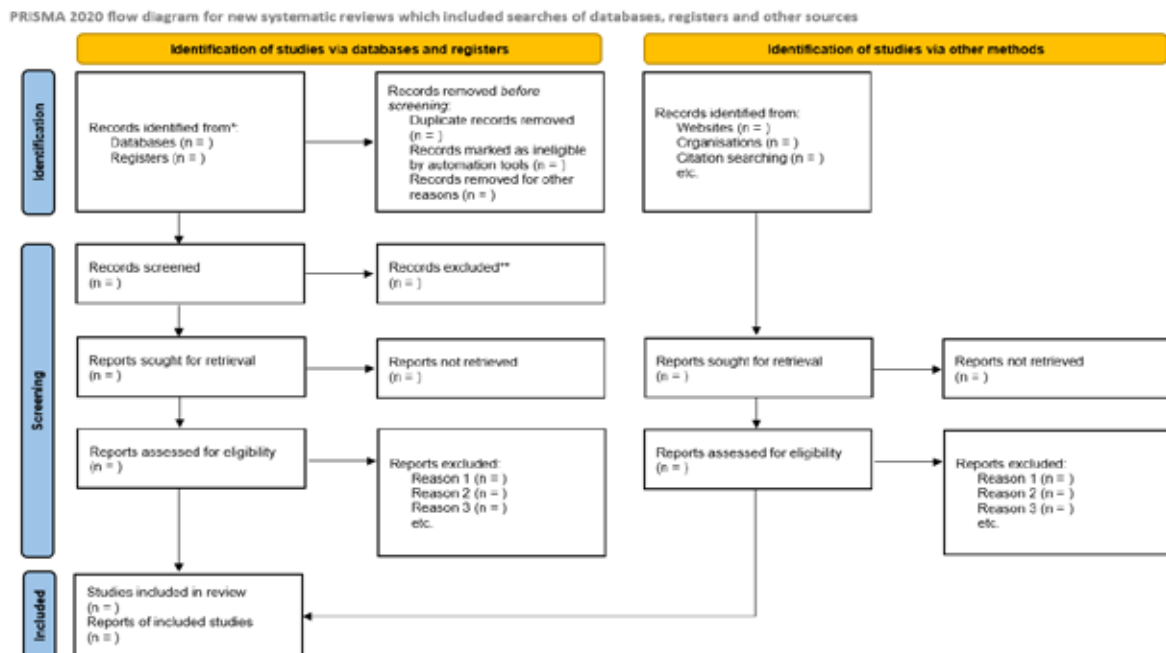
Método

Este artículo es una revisión sistemática que se guía bajo la metodología o protocolo PRISMA. Según Page *et al.* (2021), documento oficial de Elsevier, PRISMA es el conjunto de lineamientos universales

que facilitan la redacción y ejecución de una revisión sistemática. Es decir, son las pautas y pasos que nos permiten filtrar un gran grupo de artículos empleando criterios de exclusión con el fin de obtener artículos relevantes al tema de investigación propuesto.

Respecto a estos criterios de exclusión se proponen preguntas de investigación relevantes al tema de investigación para realizar un análisis de las posturas de los autores respecto a los temas que dichas preguntas proponen para así llevar dichas posturas a una discusión y obtener conclusiones que sean útiles para futuras investigaciones en el campo de la computación e informática. PRISMA propone un total de 27 lineamientos que tienen el objetivo de justificar, sintetizar y fortalecer el proceso de investigación mediante la ilustración de proceso de clasificación de artículos tal y como se puede apreciar en la Figura 1.

Figura 1
Fases de la revisión sistemática recomendado por Elsevier



*Consider, if feasible to do so, reporting the number of records identified from each database or register searched (rather than the total number across all databases/registers).

**If automation tools were used, indicate how many records were excluded by a human and how many were excluded by automation tools.

From: Page MJ, McKenzie JE, Bossuyt PM, Boutron I, Hoffmann TC, Mulrow GD, et al. The PRISMA 2020 statement: an updated guideline for reporting systematic reviews. *BMJ* 2021;372:n71. doi: 10.1136/bmj.n71. For more information, visit: <http://www.prisma-statement.org>

Preguntas de investigación

El objetivo principal de este artículo es el de comparar la evidencia experimental de otros papers empleando la revisión sistemática respecto al rol que tienen los sistemas operativos en el rendimiento que ofrecen en distintas tareas. Las preguntas de investigación identificadas para este estudio se muestran a continuación:

RQ1: ¿Cómo el planificador de tareas afecta el rendimiento en cada sistema operativo?

RQ2: ¿Qué tipo de pruebas de rendimiento utilizan los estudios recolectados?

RQ3: ¿Qué sistemas operativos son los más eficientes para la renderización de videos?

RQ4: ¿Qué sistema operativo tiene mejor rendimiento para sistemas de servidores en red?

A su vez, se da conocimiento de los objetivos de cada una de las preguntas de investigación en la Tabla 1.

Tabla 1

Objetivos de investigación

| ID | Objetivo |
|------|--|
| RQ1: | Identificar los distintos planificadores de tareas entre los distintos sistemas operativos y reconocer su impacto en la ejecución de tareas. |
| RQ2: | Reconocer a través de comparaciones estadísticas hechos a través de benchmarks, las fortalezas de cada sistema en cálculos básicos. |
| RQ3: | Discernir el sistema operativo con mayor rendimiento de renderización de videos. |
| RQ4: | Reconocer los sistemas operativos con mejor desempeño en cuanto a trabajo como servidores en red. |

Fuentes y estrategias de búsqueda

Las bases de datos empleados en esta investigación fueron escogidas mayormente por su afinidad a las ciencias de la computación y afines para obtener

artículos científicos relevantes con el tema central a tratar de los sistemas operativos. El listado de las base de datos que fueron empleados para la presente revisión puede ser observado en la Tabla 2.

Tabla 2

Principales bases de datos

| N° | Fuente |
|----|------------------|
| 1 | IEEE |
| 2 | Arxiv |
| 3 | Dialnet |
| 4 | Scielo |
| 5 | Scopus |
| 6 | Google Académico |

En cuanto a la estrategia de búsqueda aplicada en este trabajo de investigación, se consideraron los operadores booleanos para dar más precisión en las búsquedas de artículos

relevantes a los objetivos propuestos anteriormente. Se emplearon tanto los operadores AND (y) e OR (o) para combinar los términos de búsquedas listados en la Tabla 3.

Tabla 3

Términos utilizados para búsqueda de artículos

| Índice | Término |
|--------|-------------------------|
| T1 | Evaluación OR Benchmark |
| T2 | Rendimiento |
| T3 | Sistema Operativo |
| T4 | Performance |
| T5 | Eficiencia |

Los resultados que logramos obtener son los siguientes denotados en la Tabla 4.

Tabla 4

Resultados iniciales sin procesar

| Índice | Término |
|----------------|---------|
| IEEE | 4,389 |
| Arxiv | 1,051 |
| Dialnet | 1,411 |
| SciELO | 923 |
| Scopus | 24,366 |
| Google Scholar | 266,000 |
| Total | 298,140 |

Criterios de selección

Se definieron criterios de exclusión para evaluar con precisión la calidad de los estudios disponibles. Los estudios fueron revisados y discutidos por los autores para su exclusión. Los criterios de exclusión dados para la revisión de los estudios fueron los siguientes.

CE1: Los artículos encontrados no son artículos científicos o similares.

CE2: Los artículos tienen menos de seis años de su publicación.

CE3: Los artículos están escritos en un idioma distinto al inglés o al español.

CE4: Los títulos y las palabras clave de los artículos son inadecuados.

CE5: Los resúmenes de los artículos son irrelevantes.

CE6: Acceso incompleto al artículo

CE7: Los artículos están duplicados.

Selección de estudios

Los criterios de selección se aplicaron para la búsqueda de los artículos científicos que fueron empleados para

esta revisión sistemática. La cantidad de artículos excluidos por el proceso de revisión sistemática puede ser observada

en la tabla ubicada a continuación en la Tabla 5.

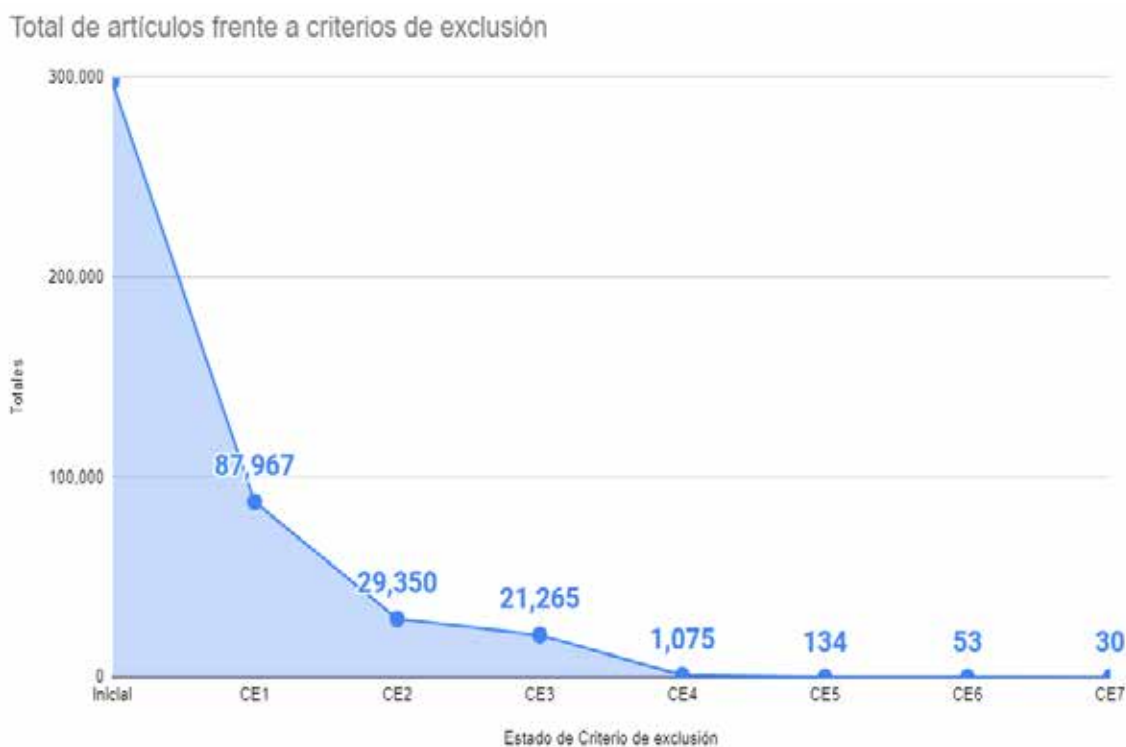
Tabla 5
Ejecución de criterios de exclusión

| Fuente | Cant. Inicial | CE1 | CE2 | CE3 | CE4 | CE5 | CE6 | CE7 |
|------------------|---------------|--------|--------|--------|-------|-----|-----|-----|
| IEEE | 4,389 | 4,367 | 2155 | 1287 | 110 | 12 | 6 | 6 |
| Arxiv | 1,051 | 1,051 | 887 | 768 | 675 | 3 | 3 | 2 |
| Dialnet | 1,411 | 389 | 300 | 300 | 129 | 49 | 5 | 2 |
| Google Académico | 266 | 71.400 | 15,6 | 15,4 | 15 | 13 | 11 | 11 |
| Scielo | 923 | 711 | 301 | 243 | 116 | 43 | 23 | 5 |
| Scopus | 24,366 | 10,049 | 10,107 | 3,267 | 30 | 17 | 5 | 4 |
| TOTAL | 298,140 | 85,945 | 28,496 | 21,265 | 1,075 | 134 | 53 | 30 |

Adicionalmente, adjuntamos un gráfico que indica la evolución del filtro de criterios de exclusión que se encuentra en la Figura 2. Observamos que en

comparación a la cantidad inicial tan solo el 9.97% de los papers en total que se obtuvo con la búsqueda inicial empleando los términos clave pasaron los filtros.

Figura 2
Gráfico evolutivo del filtro de papers



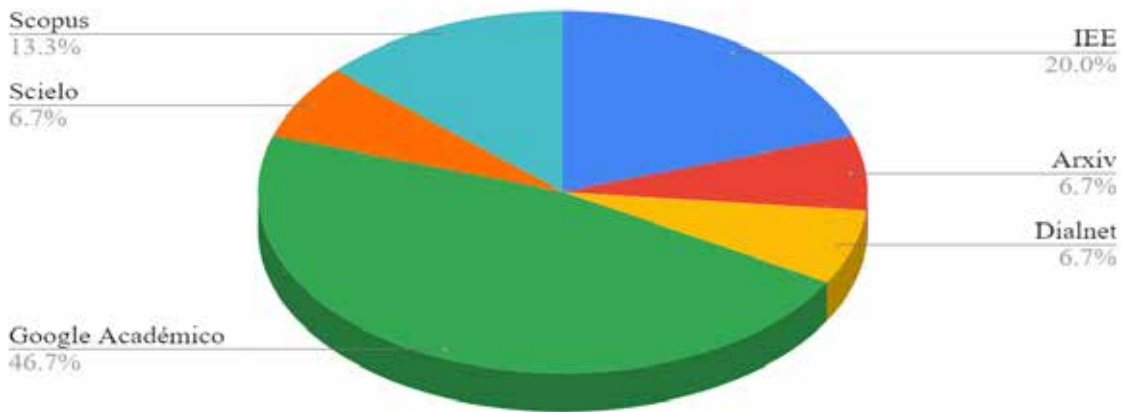
Además, luego de aplicar los criterios de exclusión, quedaron un total de 31 artículos los cuales se emplearon durante la presente revisión sistemática. Estos están clasificados en subgrupos

que conforman las fuentes de los cuales se obtuvieron en un principio como IEE, SciELO, Scopus, entre otros. Evidenciamos la conformación de dichos artículos en la siguiente Figura 3.

Figura 3

Conformación de artículos restantes luego de CE7

Porcentaje de artículos restantes después de CE7



Evaluación de calidad

Luego de aplicar los criterios de exclusión (CE), obtuvimos un total de 31 artículos restantes. Luego de ello, cada uno de los participantes del presente artículo los evaluó con respecto a los siguientes criterios de aseguramiento de calidad, o inglés *Quality Assurance*:

- QA1: ¿El paper presenta sus objetivos de investigación de forma clara?
- QA2: ¿Las condiciones para la evaluación de rendimiento fueron realizadas de forma justa y aceptable?
- QA3: ¿El paper emplea parámetros matemáticos para una fácil comparación?
- QA4: ¿El paper está bien organizado?
- QA5: ¿Los métodos empleados al analizar sus resultados fueron clara y correctamente ejecutados?

- QA6: ¿El campo de estudio está bien identificado?
- QA7: ¿Los resultados de su experimentación fueron presentados de forma clara?

Extracción de información

Para esta etapa, cada uno de los 27 estudios incluidos en esta revisión sistemática proporcionó los datos para esta investigación utilizando el formulario de extracción en la herramienta de aplicación Excel.

Las propiedades que se extrajeron se especificaron como título, URL, fuente, año, país, número de páginas, e idiomas, tipo de publicación, nombre de la publicación, metodología de investigación, autores, afiliación, número de citas, resumen y palabras clave, Detalle

1 y Detalle 2, si es necesario; Detalle 3 y tamaño de la muestra.

Además, se seleccionaron las páginas que contenían información relevante para responder a las preguntas de investigación planteadas en este estudio sobre la comparación del rendimiento de tareas en diferentes sistemas operativos.

Síntesis de la información

Después de extraer la información de cada estudio, se realizó un análisis exhaustivo de los datos para responder a cada pregunta de investigación. Para QA1, se evaluó si el paper presenta los objetivos de investigación de forma clara. Para QA2, se verificó si las condiciones para la evaluación del rendimiento fueron realizadas de forma justa y aceptable. Para QA3, se analizó si el paper emplea parámetros matemáticos para facilitar la comparación. Para QA4, se examinó si el paper estaba bien organizado. Para QA5, se determinó si los métodos empleados al analizar los resultados fueron clara y correctamente ejecutados. Para QA6, se identificó si el campo de estudio está bien definido. Finalmente, para QA7, se evaluó si los resultados de la experimentación fueron presentados de forma clara.

La información extraída para estas preguntas de evaluación se ha tabulado y presentado como datos cuantitativos, que se utilizaron para desarrollar una comparación estadística entre los distintos resultados de cada pregunta. Las estadísticas desarrolladas ayudaron a descubrir ciertos patrones de investigación, así como las direcciones de investigación llevadas a cabo en el intervalo de 2018 a 2024.

Respuestas a preguntas de investigación

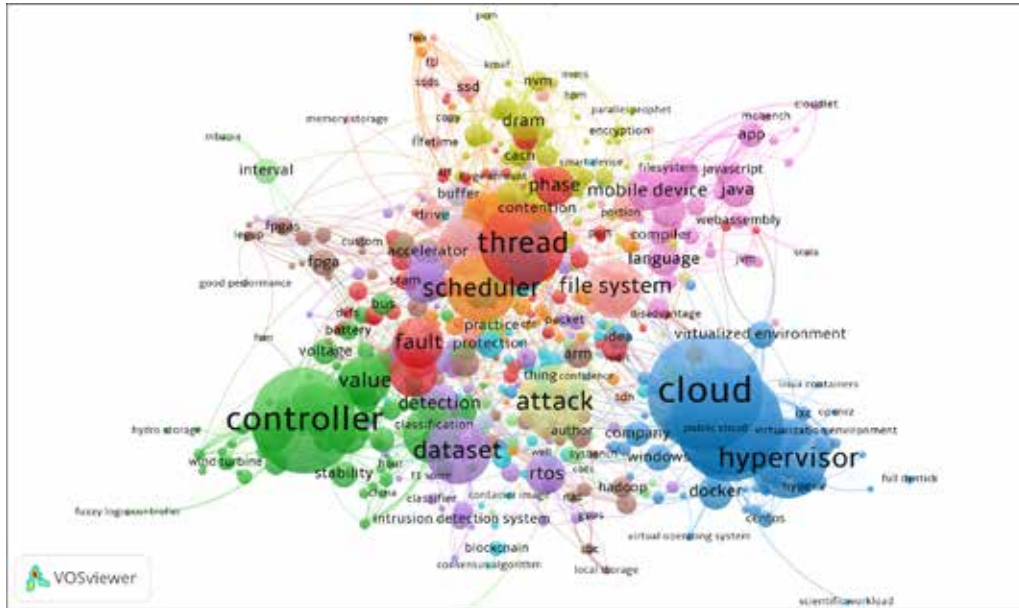
En la presente sección del artículo, se dará respuesta a las preguntas de investigación que fueron presentadas anteriormente 3.1. A través del análisis de los datos recopilados y la revisión de la literatura relevante, se abordarán los interrogantes planteados con el objetivo de proporcionar una comprensión profunda y detallada sobre el tema de estudio. Estas respuestas permitirán contextualizar los hallazgos obtenidos y evaluar las implicaciones de los resultados en los distintos campos.

Visualización de búsqueda

Los mapas de redes son generalmente empleados para facilitar la visualización de algún dato presente en los resultados de la búsqueda de una determinada base de datos que nos permite comprender cómo estos trabajos de investigación se encuentran conectados entre sí. Es posible realizar múltiples visualizaciones ya sea en función a los autores, coautores, términos mencionados, citas entre artículos y otros.

Respecto a la presente investigación sobre rendimiento de los sistemas operativos, se empleó el software VOSviewer para realizar el mapa de redes que determina los términos claves más utilizados dentro de los papers de investigación de los temas relevantes. Primero, en la Figura 4 se observan los resultados observados de la búsqueda dentro de la plataforma de IEE empleando términos clave de esta investigación. Siendo los términos más destacados *thread* (hilo en español), *schedules* (planificador u organizador) y *virtualización* (virtualización).

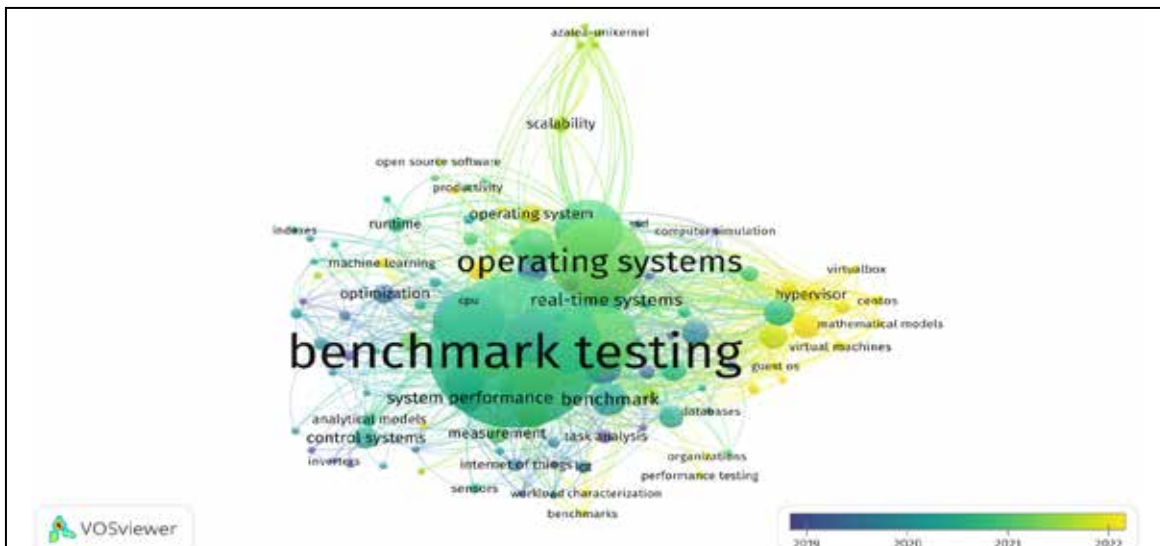
Figura 4
Mapa de calor en IEE



Además, se realizó un mapa para evaluar los términos más empleados a partir del año 2019 para evaluar la evolución de los estudios respecto a la evaluación de rendimiento en sistemas operativos. Observamos que el término más repetido en la investigación es *benchmark testing*, el cuál hace referencia a las pruebas de rendimiento de distinto tipo que se pueden realizar en los distintos sistemas operativos.

La mayoría de los términos más frecuentes e importantes tienden a estar cercanos a investigaciones del año 2021, tal como puede observarse en la Figura 5. Adicionalmente otros términos como *machine learning* o *hypervisor*, ambos que son términos muchos más recientes, tienden a estar más cercanos en frecuencia de mención al año 2022.

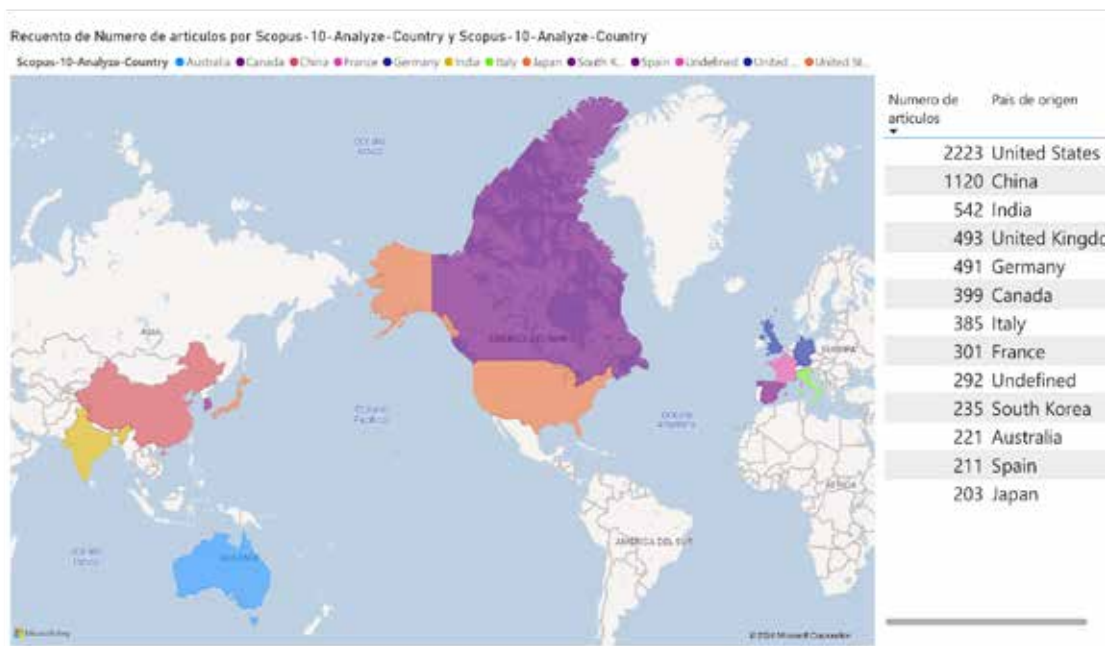
Figura 5
Visualización de términos respecto al tiempo



Adicionalmente, a través de la base de datos Scopus, se analizó el CSV proveniente de su motor de búsqueda sobre los artículos relevantes al tema de investigación de la presente revisión sistemática y su respectivo país de origen. Se empleó Power BI para realizar la

visualización de dicha data. Entre los países más destacados empleando los términos clave, están los Estados Unidos con más de 2000 artículos, China con más de 1000 artículos y la India con 542 artículos. Todo lo mencionado se puede evidenciar en la Figura 6.

Figura 6
Recuento de artículos respecto a su país de origen



RQ1: ¿Cómo el planificador de tareas afecta el rendimiento en cada sistema operativo?

científicos empleados, existe información sobre el planificador de tareas dentro del sistema operativo. Esto se evidencia en la Tabla 6.

De acuerdo a los artículos

Tabla 6
RQ1 Respuestas

| ID | Base de datos | Fuentes | Cantidad (%) |
|----|------------------|---|--------------|
| 1 | IEEE | (Fan et al., 2020) (Singh et al., 2022) (Silva et al., 2019) (Boras et al., 2020) (Alfonso & Almeida, 2020) | 56% |
| 2 | Arxiv | (Durbhakula, 2018) | 11% |
| 3 | Dialnet | (Moreno Rivera, 2020) | 11% |
| 4 | Google Académico | (Ungurean, 2020) | 11% |
| 5 | SciELO | - | 0% |
| 6 | Scopus | (Ramegowda & Lin, 2022) | 11% |

RQ2: ¿Qué tipo de pruebas de rendimiento utilizan los estudios recolectados?

Dentro del mundo de la informática y la computación, existen distintos métodos de medición del rendimiento del software en determinados hardwares. Generalmente, se emplean seis tipos de pruebas de rendimiento dentro de softwares empleados para realizar los denominados benchmarks.

El objetivo de las pruebas de rendimiento es el de medir la cantidad de

operaciones que, en este caso particular, un sistema operativo puede realizar en función a un tipo en concreto de tareas como podría ser procesamiento de información, cálculos, renderización de videos, entre otros. Adicionalmente, cada uno de estos campos son medidos con magnitudes de tiempo (segundos), latencia (milisegundos), fotogramas por segundo (fps), entre otros.

Los tipos de mediciones empleados en cada uno de los estudios recolectados en el presente artículo se ubican en la Tabla 7 a continuación.

Tabla 7
RQ2 Respuestas

| Nº | Base de datos | Fuentes | Artículos relevantes al tema (%) |
|----|--------------------------|---|----------------------------------|
| 1 | Pruebas de carga | (Bastidas García et al., 2023) (Ortiz et al., 2024) (Singh et al., 2022) (Boras et al., 2020) (Alfonso & Almeida, 2020)(Malallah et al., 2021a) (Silva et al., 2019) (Ungurean, 2020) | 64% |
| 2 | Pruebas de resistencia | (Malallah et al., 2021a) | 7% |
| 3 | Pruebas de estrés | (Ungurean, 2020) (Fan et al., 2020) (Giatsintov et al., 2024)(Durbhakula, 2018) (Boras et al., 2020) (Arshad et al., 2021) (Chen & Yu, 2020) | 50% |
| 4 | Pruebas de picos | (Giatsintov et al., 2024) (Reddi et al., 2022) | 14% |
| 5 | Pruebas de volumen | (Reddi et al., 2022) (Alfonso & Almeida, 2020) (Silva et al., 2019) | 21% |
| 6 | Pruebas de escalabilidad | (Durbhakula, 2018) (Silva et al., 2019) | 14% |

RQ3: ¿Qué sistemas operativos son los más eficientes para la renderización de videos?

Esta es un área principal dentro del estudio propuesto en el presente artículo. Generalmente, se utilizan magnitudes

de latencia, tiempo y fotogramas por segundo para calcular cómo un sistema operativo aprovecha cierto hardware dedicado a la renderización de video para lograr la visualización de imágenes bidimensionales y tridimensionales.

Los artículos que midieron las competencias de distintos sistemas operativos para la renderización de video

se encuentran en la Tabla 8 ubicada a continuación.

Tabla 8
RQ3 Respuestas

| SO / Fuente | IEEE | Arxiv | Dialnet | Google Académico | SciELO | Scopus |
|--------------|-----------------------|---|-----------|---|-----------|-----------|
| Windows | (Fan et al., 2020) | | | (Adekotujo et al., 2020) (Malallah et al., 2021b) (Kopel & Bozek, 2023) | | |
| Linux | (Singh et al., 2022) | | | (Bastidas García et al., 2023) (Ortiz et al., 2024) (Ward, 2018) | | |
| iOS | (Chivu, 2020) | | | | | |
| Android | (Arshad et al., 2021) | (Reddi et al., 2022) (Alfonso & Almeida, 2020) | | | | |
| TOTAL | 25% | 17% | 8% | 50% | 0% | 0% |

RQ4: ¿Qué sistema operativo tiene mejor rendimiento para sistemas de servidores en red?

La pregunta va referida a los sistemas que se emplean en los denominados servidores. Estas son computadoras que se encargan de almacenar y distribuir información a distancia a través de una red que puede

ser local o internet y son empleadas en distintos tipos de servicios como aplicaciones web, base de datos, entre otros.

Luego de la revisión de los artículos que fueron incluidos, se pueden observar las opiniones del mejor sistema operativo comúnmente empleado para servidores entre windows server, linux server y otros. Esto se evidencia en la Tabla 9.

Tabla 9
RQ4: Respuestas

| SO / Fuente | IEEE | Arxiv | Dialnet | Google Académico | SciELO | Scopus |
|----------------|------|-------|---------|--|--|--------|
| Windows Server | - | - | - | (Jakić, 2021) | - | - |
| Linux Server | - | - | - | (Goyal et al., 2018) (Ward, 2018) (Ortiz et al., 2024) (Hamdani et al., 2022) | (Calle et al., 2018) (Vdovjak et al., 2020) (Darsh & Rahul, 2021)} | - |
| Otros | - | - | - | (Larrea & Barbalace, 2020) | - | - |

Resultados

Luego de extrapolar los resultados hallados dentro de los artículos seleccionados dentro del presente paper. Podemos extraer resultados de acuerdo a la información brindada por dichos papers en las preguntas de investigación propuestas en secciones anteriores.

Resultados de RQ1

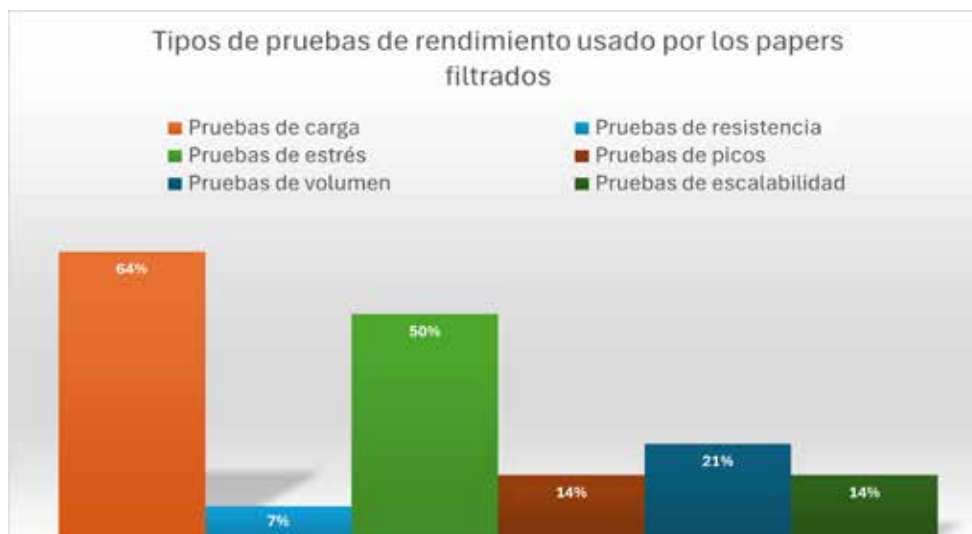
Según los artículos recolectados en la Tabla 6, los sistemas operativos se ven influenciados por el planificador de tareas de los siguientes modos:

- Optimización del tiempo
- Elección de prioridades
- Rapidez de ejecución de tareas
- Designación de hilos

En general, sostienen que el planificador de tareas es fundamental y hasta determinante para el rendimiento de tareas básicas en sistemas operativos de diversos tipos. Por ejemplo, en (Fan *et al.* 2020) habla de diferencias claras en cuanto a la latencia favoreciendo a Windows.

Figura 7

Tipos de pruebas de rendimiento usadas por cada paper filtrado



Sin embargo, en cuanto a otras tareas cómo la gestión de redes para servidores, (Goyal, Ranawat, and Nayak 2018) Linux tiene una amplia ventaja respecto al de Windows con una mejor gestión de recursos de paquetes de red.

Resultados de RQ2

Sobre RQ2 ¿Que tipo de pruebas de rendimiento utilizan los estudios recolectados?, podemos observar que en la distribución de los tipos de pruebas de rendimiento se distribuyen tal y como lo ilustra la Figura 5

RQ2 fue planteado con el objetivo de obtener las características de las pruebas empleadas dentro de los artículos y sus comparativas de sistemas operativos. Siendo las pruebas de carga y de estrés mayoritarias dentro de las pruebas de comparación de rendimiento.

Estos resultados son visibles dentro de la Figura 7. En el cuál se observa que los métodos más usados para las pruebas de rendimiento son las pruebas de carga con un 64% de los artículos y las pruebas de estrés con un 50%.

Resultados de RQ3

Conocemos que la renderización de video es el proceso en que una computadora logra transformar datos en imágenes ya sea bidimensionales o tridimensionales que se proyectan dentro de un monitor.

En la siguiente tabla se enumeran las conclusiones de los artículos que se refieren a este tema y los argumentos que presentan respecto al resultado que los sistemas operativos listados muestran en la Tabla 10.

Tabla 10
RQ3: Resultados

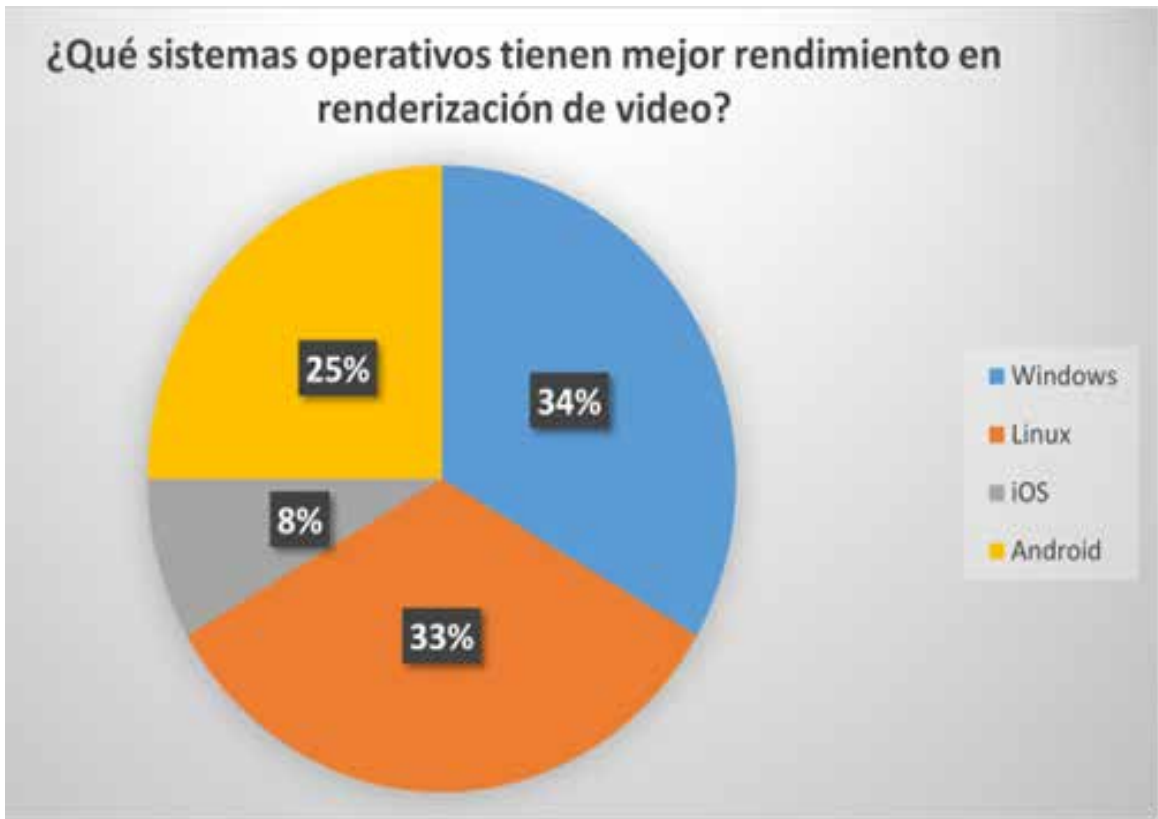
| Sistema operativo | Artículos que lo respaldan | Puntos fuertes | Puntos débiles | Porcentaje |
|-------------------|---|--|--|------------|
| Windows | (Fan <i>et al.</i> , 2020) (Adekotujo <i>et al.</i> , 2020) (Malallah <i>et al.</i> , 2021b) (Kopel & Bozek, 2023) | <ul style="list-style-type: none"> • Mayor compatibilidad con drivers • Robustez en su retrocompatibilidad | <ul style="list-style-type: none"> • Muchos procesos en segundo plano • Poco amigable con el programador | 34% |
| Linux | (Singh <i>et al.</i> , 2022) (Bastidas García <i>et al.</i> , 2023) (Ortiz <i>et al.</i> , 2024) (Ward, 2018) | <ul style="list-style-type: none"> • Menor cantidad de tareas en segundo plano • Código abierto y colaboración | <ul style="list-style-type: none"> • Falta de soporte oficial en drivers • Falta de uniformidad entre distribuciones | 33% |
| iOS | (Chivu, 2020) | <ul style="list-style-type: none"> • Gran nivel de uniformidad del sistema. • Mejor coordinación hardware | <ul style="list-style-type: none"> • Código muy cerrado al programador • Altísima dificultad al realizar pruebas | 8% |
| Android | (Arshad <i>et al.</i> 2021) (Reddi <i>et al.</i> 2022) (Alfonso & Almeida, 2020) | <ul style="list-style-type: none"> • Empleo de arquitectura ARM eficiente en energía. • Facilidad para la realización de pruebas | <ul style="list-style-type: none"> • Muy limitada retrocompatibilidad • Hardware muy distinto entre sí | 25% |

Adicionalmente, el siguiente gráfico estadístico de la Figura 8, expresa en la tabla anterior, de forma más clara, la

cantidad de artículos que cumplen RQ3 señalando la preferencia en los resultados de cada uno de los seleccionados.

Figura 8

Resultado de los artículos que avalan a sistemas operativos.



Resultados de RQ4

El objetivo de RQ4 es el de verificar el rendimiento de sistemas operativos enfocados a las redes. En suma, sistemas operativos que se emplean a nivel de servidor con los cuáles las computadoras domésticas y de oficina se comunican alrededor del mundo a través de la red ya sea para almacenar, solicitar o manejar información en distintas páginas y aplicaciones web.

Se puede observar en la Tabla 11 que existe una mayor predilección sobre Linux para servidores web gracias a un buen planificador de tareas. Debido a ello varios de los artículos presentados en la tabla mencionan el uso masivo de Linux server en una gran cantidad de servidores a nivel mundial. Una profundización de los resultados se puede observar a continuación.

Tabla 11
RQ4: Resultados

| SO | Artículos que lo respaldan | Puntos fuertes | Puntos débiles | Porcentaje |
|----------------|---|--|--|------------|
| Windows Server | (Vdovjak <i>et al.</i> , 2020) | <ul style="list-style-type: none"> • Rapidez en tareas básicas de descarga • Similitudes con Windows de escritorio | <ul style="list-style-type: none"> • Mala gestión de tareas • Alto consumo de recursos | 11% |
| Linux server | (Goyal <i>et al.</i> , 2018) (Ward, 2018) (Calle <i>et al.</i> , 2018) (Ortiz <i>et al.</i> , 2024) (Hamdani <i>et al.</i> , 2022) (Vdovjak <i>et al.</i> , 2020) (Darsh & Rahul, 2021) | <ul style="list-style-type: none"> • Excelente planificador de tareas • Acceso abierto a código | <ul style="list-style-type: none"> • Muy alta variedad de alternativas dentro de Linux | 78% |
| Otros | (Larrea & Barbalace, 2020) | <ul style="list-style-type: none"> • Excelente ahorro energético | <ul style="list-style-type: none"> • Poca documentación y distribución | 11% |

En la Figura 9 se aprecia una mejor visualización del porcentaje de artículos que da mayor respaldo a Linux como mejor sistema operativo en servidores.

Figura 9
Conclusiones de artículos respecto a RQ4



Discusión

Según Fan *et al.* (2020), la razón del mejor rendimiento de Linux en comparación a Windows es el su mejor planificador de tareas para la mayoría de escenarios por lo que el planificador de tareas tiene un innegable rol para determinar el desempeño con los sistemas operativos. Sin embargo, (Boras, Balen, and Vdovjak 2020) menciona que también hay una cierta importancia en la compatibilidad que este sistema operativo tiene con el hardware.

Un punto clave es que Linux demostró ser significativamente mejor en la gestión de redes de servidores en comparación con Windows, lo cual es compatible con conclusiones anteriores. Estos resultados llevarían a la consciencia de las ventajas de usar Linux en las redes (referencias). Sin embargo, Windows fue líder en cuanto a la compatibilidad con drivers y la retrocompatibilidad, la cual es una característica indispensable en los ambientes en el que se usan diferentes aplicaciones y hardware.

En el caso de la renderización de video, (Fan *et al.* 2020) menciona que Windows proporciona una mejor compatibilidad tanto con hardware nuevo y antiguo. Adicionalmente, (Bastidas García, Vargas Moreno, and Osuna Cerecer 2023) respalda lo anteriormente mencionado debido a que se puede observar en su comparativas que en la mayoría de software ejecutado en las computadoras Windows posee una ventaja mayor incluso con una latencia menor por 0.5 milisegundos y un mejor uso de la GPU. Las excepciones a esta tendencia solo se dieron cuando el

software evaluado presenta una versión nativa específica para la versión de Linux empleado dentro de las pruebas de estrés.

Dejando a un lado Windows y Linux en sistemas de escritorio, tanto (Arshad *et al.* 2021), (Reddi *et al.* 2022) como (Afonso and Almeida 2020) sostienen que en cuanto a sistemas basados en la arquitectura de procesadores ARM, sostienen que Android es el mejor en cuanto a renderización de video en esta categoría de dispositivos móviles, aunque con un énfasis en la mayor facilidad de acceder al código de este sistema ya que es más abierto y amigable con el programador comparado con iOS. Sin embargo, (Chivu 2020) sostiene que iOS tendría mejor rendimiento en este campo debido a que, contrario a ser un obstáculo, la poca disposición de iOS a más tipo de smartphones significa por el contrario una ventaja mayor debido a que existe un control total sobre el hardware sobre el que el sistema operativo se manejaría.

Finalmente, (Goyal, Ranawat, and Nayak 2018), (Ward 2018), (Ortiz *et al.* 2024) (Hamdani *et al.* 2022), (Calle *et al.* 2018) (Vdovjak, Balen, and Nenadić 2020), (Darsh and Rahul 2020) dan su veredicto en favor a Linux server debido a que la mayor ventaja que tiene sobre Windows es también la misma ventaja que tiene Linux para escritorio que es su planificador de tareas que, en el caso particular de los requerimientos para un buen servidor, logra administrar mejor los request o requerimientos de múltiples clientes simultáneos aprovechando mejor los hilos en dicha tarea dando como resultado una mayoritaria preferencia a este sistema operativo en este campo.

Conclusiones

Respecto a la presente investigación, la metodología PRISMA empleada para llevar a cabo la revisión sistemática fue útil para obtener los mejores artículos disponibles en la actualidad sobre el rendimiento de sistemas operativos en los puntos tratados anteriormente.

Podemos concluir, inicialmente, el alto grado de magnitud que influye un planificador de tareas respecto a los resultados finales que podemos obtener en sistemas operativos. Sin embargo, necesita de una gran afinidad con el hardware a través de drivers optimizados que permitan obtener el mayor rendimiento posible de esto.

También, respecto al tipo de pruebas usadas para medición de rendimiento, las pruebas de estrés son las más usadas por la mayoría de estudios. Sin embargo, debemos considerar que estas pruebas, generalmente, se remiten a los peores casos de mayor carga de tareas, situaciones que no necesariamente se dan en nuestras computadoras de escritorio o dispositivos móviles. Por lo que las pruebas realizadas por los otros autores fueron tomadas de forma referencial. Además que no debemos perder de vista factores externos que puedan afectar el hardware como tiempo de uso, temperatura externa, subprocesos en ejecución, humedad del ambiente, hardware disponible, entre otros. Todo esto se menciona con el fin de evitar sesgos al momento de revisar estos estudios.

Respecto a dos tareas específicas uno por parte del cliente y otro por parte del servidor dan cuenta que un factor

crucial que afecta el rendimiento de un sistema operativo son el cómo este escala con el tiempo y sus tareas en segundo que deben ser manejados de la mejor forma por el planificador de tareas. No existe como tal un sistema operativo “universal” que abarque a la perfección todo tipo de tareas. Sino que tal y cómo se abordó en la discusión, Windows destaca mucho por el lado de renderización de video mientras que Linux tiene una robusta arquitectura que se alinea con los requerimientos de un servidor. Además tanto Android como iOS tiene su fuerte en su arquitectura ARM siendo este capaz de realizar tareas optimizando mucho más el uso de energía que en sistemas de escritorio además de la portabilidad de los dispositivos en los que estos se encuentran instalados en su mayoría.

Este estudio aportó tanto una vista general de cómo estos estudios de evaluación de rendimiento en sistemas operativos son realizados, como el de sus conclusiones. Se recomienda entonces para los futuros estudios que empleen este mismo estado del arte evitar factores externos que afecten al hardware y como tal de posibles riesgos a sesgos en la realización de *benchmarks*.

En cuanto al uso de sistemas operativos, tanto Windows como Android y iOS tienen fortalezas por parte del cliente mientras que Linux, aunque cada vez más cerca de Windows en tareas comunes de escritorio, tiene su mayor fuerte en la gestión de requerimientos dentro de un servidor que puede ser implementado por la gran mayoría de empresas gracias a que Linux tiene un código abierto que en resumen es más amigable al acceso del programador.

Referencias

- Afonso, S., & Almeida, F. (2020). RANCID: Reliable benchmarking on Android platforms. *IEEE Access*, 8, 143342–143358. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.3014533>
- Arshad, M. R., Hussain, M., Tahir, H., Qadir, S., Memon, F. I. A., & Javed, Y. (2021). Forensic analysis of Tor Browser on Windows 10 and Android 10 operating systems. *IEEE Access*, 9. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3119724>
- Bastidas García, J. M., Vargas Moreno, L. F., & Osuna Cerecer, E. R. (2023). Análisis de rendimiento entre Linux y Windows en la ejecución de videojuegos utilizando diferentes niveles de hardware. *ReDTIS*, 7(1), 9–14. <https://doi.org/10.61530/redtis.vol7.n1.2023.168.9-14>
- Boras, M., Balen, J., & Vdovjak, K. (2020). Performance evaluation of Linux operating systems. En *2020 International Conference on Smart Systems and Technologies (SST)* (pp. 115–120). IEEE. <https://doi.org/10.1109/SST49455.2020.9264055>
- Calle, M. A., Tovar, J. D., Castaño-Pino, Y. J., & Cuéllar, J. C. (2018). Comparación de parámetros para una selección apropiada de herramientas de simulación de redes. *CIT Inform. Tecnol.*, 29(6), 253–266. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642018000600253>
- Chen, K.-S., & Yu, C.-M. (2020). Fuzzy test model for performance evaluation matrix of service operating systems. *Computers & Industrial Engineering*, 140(106240). <https://doi.org/10.1016/j.cie.2019.106240>
- Chivu, D. C. (2020). Evolución y comparación de los sistemas operativos en dispositivos inteligentes. *MoleQla: Revista de Ciencias de la Universidad Pablo de Olavide*, 39, 61–633. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7618124>
- Darbord, G., Verhaeghe, B., Etien, A., Anquetil, N., Shatnawi, A., Seriai, A., Derras, M., Pautasso, C., & Zimmermann, O. (2023). Migrating the communication protocol of client-server applications. *IEEE Software*, 40, 11–18. <https://doi.org/10.1109/MS.2023.3263019>
- Darsh, P., & Rahul, R. (2020). Performance analysis of network anomaly detection systems in consumer networks. En *Advances in Intelligent Systems and Computing*. https://doi.org/10.1007/978-981-15-4218-3_21
- Durbhakula, M. (2018). OS scheduling algorithms for improving the performance of multithreaded

- workloads. En *Advances in Intelligent Systems and Computing* (pp. 194–208). https://doi.org/10.1007/978-3-030-22871-2_15
- Fan, W.-C., Wong, C.-S., Lee, W.-K., & Hwang, S.-O. (2020). Comparison of interactivity performance of Linux CFS and Windows 10 CPU schedulers. En *2020 International Conference on Green and Human Information Technology (ICGHIT)* (pp. 31–34). IEEE. <https://doi.org/10.1109/ICGHIT49602.2020.00014>
- Goyal, K., Ranawat, K. R. S., & Nayak, N. (2018). Operational distinctions between Linux and Windows. *International Journal of Scientific Research in Science and Technology*. <https://doi.org/10.32628/ijrst18401152>
- Giatsintov, A., Mamrosenko, K., & Bazhenov, P. (2023). Architecture of graphics system with 3D acceleration support for embedded operating systems. *Tsinghua Science and Technology*. <https://doi.org/10.26599/TST.2023.9010045>
- Hamdani, S. W. A., Abbas, H., Janjua, A. R., Shahid, W. B., Amjad, M. F., Malik, J., Murtaza, M. H., Atiquzzaman, M., & Khan, A. W. (2022). Cybersecurity standards in the context of operating systems: Practical aspects, analysis, and comparisons. *ACM Computing Surveys*, 54(3), 1–36. <https://dl.acm.org/doi/10.1145/3442480>
- Ishlakhuddin, F., & Sn, A. (2021). Ontology-based chatbot to support monitoring of server performance and security by rule-base. *IJCCS (Indonesian Journal of Computing and Cybernetics Systems)*. <https://doi.org/10.22146/IJCCS.58588>
- Jakić, E. P. (2021). Comparative analysis of the impact of server operating systems on website performance. *Sinteza 2021: International Scientific Conference on Information Technology and Data Related Research*, 180–186. <https://doi.org/10.15308/Sinteza-2021-180-186>
- Kopel, M., & Michal, B. (2023). Is Proton good enough? A performance comparison between gaming on Windows and Linux. *Springer*. <https://doi.org/10.1007/9>
- Larrea, J., & Barbalace, A. (2020). The server kernel operating system. *Proceedings of the Third ACM International Workshop on Edge Systems, Analytics and Networking*, 13–18. <https://doi.org/10.1145/3378679.3394537>
- Leiserson, C., Thompson, N. C., Emer, J., Kuszmaul, B. C., Lamson, B., Sanchez, D. S., & Schardl, T. (2020). There's plenty of room at the top: What will drive computer performance after Moore's law? *Science*, 368. <https://doi.org/10.1126/science.aam9744>
- Lin, Z.-G., & Ding, H. (2021). Research on multithread programming method based on Java programming. *2021*

- 3rd International Conference on Artificial Intelligence and Advanced Manufacture.* <https://doi.org/10.1145/3495018.3501112>
- Malallah, H., Zeebaree, S. R. M., Zebari, R. R., Sadeeq, M. A. M., Ageed, Z. S., Ibrahim, I. M., Yasin, H. M., & Merceedi, K. J. (2021). A comprehensive study of kernel (issues and concepts) in different operating systems. *Asian Journal of Research in Computer Science*, 16–31. <https://doi.org/10.9734/ajrcos/2021/v8i330201>
- Moreno Rivera, E. A. (2020). Percepción del uso y seguridad en los sistemas operativos informáticos. *RevTECHNO*, 8(2), 87–96. <https://doi.org/10.37467/gka-revtechno.v8.2273>
- Odun-Ayo, I., Okokpuije, K., Oputa, K., Ogbu, H., Emmanuel, F., Shofadekan, A., & Okuazun, G. (2021). Comparative study of operating system quality attributes. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 1107. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/1107/1/012061>
- Ortiz, J. R. M., García, J. A., Ochoa Rivera, C. A., Rojas Luna, A. Y., & Cruz Landa, A. J. (2024). Análisis comparativo del rendimiento de servicios de red en plataformas Windows y Linux. *TERC*, 11(1), 27–34. <https://www.terc.mx/index.php/terc/article/view/369>
- Pal, J. S., Yadav, S., Chauhan, V. K., Bhatia, J. K., & Singh, P. K. (2022). Experimental analysis of performance paradigms for real-time operating systems (RTOS). *2022 11th International Conference on System Modeling & Advancement in Research Trends (SMART)*. <https://doi.org/10.1109/SMART55829.2022.10046685>
- Page, M., McKenzie, J., Bossuyt, P., Boutron, I., Hoffmann, T., Mulrow, C., & Shamseer, L. (2021). The PRISMA 2020 statement: An updated guideline for reporting systematic reviews. *Journal of Clinical Epidemiology*. <https://doi.org/10.1016/j.jclinepi.2021.03.001>
- Pfeiffer, R. (2020). What constitutes software? An empirical, descriptive study of artifacts. *2020 IEEE/ACM 17th International Conference on Mining Software Repositories (MSR)*, 481–491. <https://doi.org/10.1145/3379597.3387442>
- Prasad, C., Veena, G. S., Agrawal, C., & Srivastava, R. (2014). Achieving low latency networks through high performance computing. *International Journal of Advanced Research in Computer and Communication Engineering*, 8753–8756. <https://doi.org/10.17148/IJARCCCE.2014.31220>
- Qian, Z., Kavvos, G. A., & Birkedal, L. (2020). Client-server sessions in linear logic. *Proceedings of the ACM on Programming Languages*, 5, 1–31. <https://doi.org/10.1145/3473567>

- Ramegowda, D., & Lin, M. (2022). Energy efficient mixed task handling on real-time embedded systems using FreeRTOS. *Journal of Systems Architecture*, 131(102708), 102708. <https://doi.org/10.1016/j.sysarc.2022.102708>
- Reddi, V. J., Kanter, D., Mattson, P., Duke, J., Nguyen, T., Chukka, R., Shiring, K., *et al.* (2022). MLPerf mobile inference benchmark. *arXiv preprint*. <https://arxiv.org/abs/2012.02328>
- Resch, S., & Karpuzcu, U. R. (2019). Benchmarking quantum computers and the impact of quantum noise. *ACM Computing Surveys (CSUR)*, 54, 1–35. <https://doi.org/10.1145/3464420>
- San, A. M., & Yakunin, A. (2019). Hardware implementation of floating-point operating devices by using IEEE-754 binary arithmetic standard. *2019 IEEE Conference of Russian Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering (EIconRus)*, 1624–1630. <https://doi.org/10.1109/EICONRUS.2019.8656775>
- Silva, M., Cerdeira, D., Pinto, S., & Gomes, T. (2019). Operating systems for internet of things low-end devices: Analysis and benchmarking. *IEEE Internet of Things Journal*, 6(6), 10375–10383. <https://doi.org/10.1109/jiot.2019.2939008>
- Soualhia, M., Khomh, F., & Tahar, S. (2020). A dynamic and failure-aware task scheduling framework for Hadoop. *IEEE Transactions on Cloud Computing*, 8, 553–569. <https://doi.org/10.1109/TCC.2018.2805812>
- Tanenbaum, A. S., & Bos, H. (2024). *Modern operating systems, global edition* (5th ed.). Pearson Education.
- Ungurean, I. (2020). Timing comparison of the real-time operating systems for small microcontrollers. *Symmetry*, 12(4), 592. <https://doi.org/10.3390/sym12040592>
- Vdovjak, K., Balen, J., & Nenadić, K. (2020). Experimental evaluation of desktop operating systems networking performance. *International Journal of Electrical and Computer Engineering*. <https://doi.org/10.32985/IJECES.11.2.2>
- Ward, B. (2018). Why SQL Server on Linux. *Springer Link*, 1–22. https://doi.org/10.1007/978-1-4842-4128-8_1
- Yao, A., Sun, P., Yang, S., & Li, D. (2020). Evolution of function-call network reliability in Android operating system. *IEEE Transactions on Circuits and Systems I: Regular Papers*, 67(4), 1264–1275. <https://doi.org/10.1109/TCSI.2020.2972995>

Ingeniería Agroindustrial desde la capacidad de innovación organizacional y la competitividad empresarial

Agroindustrial engineering from the perspective of organizational innovation capacity and business competitiveness

Recibido: octubre 25 de 2024 | Revisado: noviembre 01 de 2024 | Aceptado: diciembre 08 de 2024

EDWIN GONZALO MONTÁNCHEZ PICARDO¹

RESUMEN

El objetivo del estudio fue evaluar la ingeniería agroindustrial desde la capacidad de la innovación organizacional y la competitividad empresarial, Tacna-Perú. El estudio se realizó entre enero y octubre de 2024, con una muestra de 60 asistentes operativos de empresas agroindustriales. Se evaluó la capacidad de innovación organizacional y la competitividad empresarial, utilizando un cuestionario para la recolección de datos, cuyo coeficiente alfa de Cronbach determinó su confiabilidad. El análisis de los datos se realizó con el software SPSS v26. La normalidad de los datos se verificó mediante la prueba Kolmogorov-Smirnov, y se aplicó un análisis de correlación no paramétrica con el coeficiente Rho de Spearman, considerando significativos los resultados con $p < 0,05$. Los resultados muestran que tanto la capacidad de innovación organizacional como la competitividad empresarial no siguen una distribución normal, con valores de significación de 0,000 en ambas variables. Además, la correlación no paramétrica de Spearman indica una fuerte relación positiva entre ambas variables (coeficiente de 0,916), siendo estadísticamente significativa. Los resultados evidencian una fuerte relación entre la innovación organizacional y la competitividad empresarial, respaldando la hipótesis de que mejorar la innovación impulsa directamente la competitividad, a pesar de la no normalidad de las variables. Se concluye que, El estudio confirma que la innovación organizacional mejora la competitividad empresarial en el sector agroindustrial de Tacna, impulsando el crecimiento, diferenciación y sostenibilidad en mercados globalizados.

Palabras clave: agroindustria, competitividad, innovación, gestión empresarial, tecnología

ABSTRACT

The objective of the study was to evaluate agroindustrial engineering from the perspective of organizational innovation capacity and business competitiveness in Tacna, Peru. The study was conducted between January and October 2024, with a sample of 60 operational

¹ Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann, Tacna, Perú

Correo electrónico de contacto:
edwin.montanchez@unjbg.edu.pe

© Los autores. Este artículo es publicado por la Revista Campus de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad de San Martín de Porres. Este artículo se distribuye en los términos de la Licencia Creative Commons Atribución No-Comercial – Compartir-Igual 4.0 Internacional (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>), que permite el uso no comercial, distribución y reproducción en cualquier medio siempre que la obra original sea debidamente citada. Para uso comercial contactar a: revistacampus@usmp.pe.

<https://>

assistants from agroindustrial companies. Organizational innovation capacity and business competitiveness were evaluated using a questionnaire for data collection, with the Cronbach's alpha coefficient determining its reliability. Data analysis was performed using SPSS v26 software. The normality of the data was verified using the Kolmogorov-Smirnov test, and a non-parametric correlation analysis was applied with Spearman's Rho coefficient, considering results significant with $p < 0.05$. The results show that both organizational innovation capacity and business competitiveness do not follow a normal distribution, with significance values of 0.000 for both variables. Additionally, the non-parametric Spearman correlation indicates a strong positive relationship between the two variables (coefficient of 0.916), which is statistically significant. The results highlight a strong relationship between organizational innovation and business competitiveness, supporting the hypothesis that improving innovation directly drives competitiveness, despite the non-normality of the variables. The study concludes that organizational innovation enhances business competitiveness in the agroindustrial sector of Tacna, driving growth, differentiation, and sustainability in globalized markets.

Keywords: agroindustry, competitiveness, innovation, business management, technology

Introducción

A nivel global, las economías buscan fortalecer su competitividad empresarial mediante la dinamización de sus sectores económicos. Sin embargo, muchas organizaciones enfrentan barreras significativas debido a su baja capacidad de innovación organizacional, lo que limita su competitividad y sostenibilidad (Valero, 2019). En Latinoamérica, los desafíos son aún más pronunciados, ya que muchas empresas carecen de procesos de mejora continua y estrategias organizativas efectivas para fomentar la innovación. Esta falta de cultura de innovación se refleja en los sectores productivos, particularmente en el agroindustrial, donde la escasez de liderazgo innovador y la resistencia al cambio son factores limitantes (Espinosa & Pérez, 2023).

En el contexto peruano, específicamente en el sector agroindustrial, se observa una competitividad limitada,

influenciada por una insuficiente orientación hacia la innovación. Según, Prinz (2017), la falta de una cultura que favorezca la innovación y la debilidad en los liderazgos innovadores contribuyen a esta deficiencia. Esta problemática se intensifica en la región de Tacna, donde predomina el uso de métodos tradicionales y la escasa inversión en el desarrollo de habilidades innovadoras (Espinosa & Pérez, 2023). Esta situación resalta la necesidad urgente de implementar estrategias que impulsen la innovación para superar las limitaciones del sector agroindustrial.

En el ámbito de la ingeniería agroindustrial, se reconoce la innovación como un motor esencial para el progreso empresarial y la sostenibilidad organizacional. Diversos estudios coinciden en que la innovación impacta positivamente en la rentabilidad empresarial, aunque la región enfrenta una baja inversión en este campo (Fuenmayor, 2024). Además, los

modelos integrativos de innovación, que se adaptan a distintos contextos organizacionales, se presentan como una solución viable para optimizar la competitividad Delgado (2024). La capacidad de aprendizaje y adaptación de las organizaciones también se vincula estrechamente con el incremento de las probabilidades de éxito en la innovación de procesos (Álvarez *et al.*, 2024).

Por otro lado, la innovación en el sector agroindustrial está directamente relacionada con la competitividad. Duchi-Yungan *et al.* (2023), destacan esta conexión, mientras que Chavarría (2024), señala barreras clave como los recursos limitados y la rigidez organizacional, proponiendo estrategias para superarlas y asegurar una competitividad sostenible. A nivel organizacional, la adopción de normas de gestión de la innovación, como la NC ISO 56002:2019, es considerada fundamental para una gestión eficiente de la innovación (Serrano *et al.*, 2023).

A pesar de la existencia de estudios que abordan la relación entre innovación y competitividad en distintos sectores, aún persiste un vacío en cuanto a las aplicaciones específicas de estas estrategias en contextos como

el agroindustrial de regiones como Tacna, donde los métodos tradicionales y la falta de inversión en innovación organizacional son más prevalentes. Además, la influencia de los modelos de innovación adaptados al contexto local y las formas en que las capacidades de aprendizaje organizacional pueden ser potenciadas siguen siendo áreas poco exploradas. Esto resalta la necesidad de investigaciones que profundicen en cómo superar las barreras específicas que enfrentan las empresas en regiones con bajos niveles de innovación, y cómo implementar de manera efectiva estrategias innovadoras que fomenten una mayor competitividad.

El objetivo del estudio fue evaluar la ingeniería agroindustrial desde la capacidad de la innovación organizacional y la competitividad empresarial, Tacna-Perú.

Método

El estudio se realizó entre enero y octubre de 2024 en la ciudad de Tacna, Perú. La muestra estuvo compuesta por 60 asistentes operativos pertenecientes a diversas empresas del sector agroindustrial (Tabla 1).

Tabla 1*Número de empresas agroindustriales, según PROMPERÚ*

| Nombres de las empresas | Cantidad |
|---|-----------------|
| Agroexportaciones San Pablo S.A.C. | 2 |
| Agrofus Company S.A.C. | 2 |
| Agroindustria ADL S.R.L | 2 |
| Agroindustrial R & M S.A.C | 2 |
| Aromático Inversiones S.A.C. | 2 |
| Asociación de Productores de Orégano Muralla | 2 |
| Comver Alimentos S.A.C. | 2 |
| Compañía Agrosur S.A.C. | 2 |
| Especiera Tacna E.I.R.L. | 2 |
| Estela Foods S.A.C. | 2 |
| Exportación Alimenticia y Especies S.A.C. | 2 |
| Falvy de Matos Cinthya Lourdes | 2 |
| Foods Group S.A.C. | 2 |
| Grupo Edepa E.I.R.L. | 2 |
| Grupo Estela S.A.C. | 2 |
| Humar Especies y Condimentos S.A.C | 2 |
| Inversiones y Exportaciones Ordoñez S.A.C. | 2 |
| La Pascala E.I.R.L | 2 |
| Nodiex del Perú S.A.C. | 2 |
| Oliamerica S.A.C. | 2 |
| Origan II E.I.R.L. | 2 |
| Origan II E.I.R.L. | 2 |
| Productos Vegetales de Exportación E.I.R.L. | 2 |
| Suma Yapu S.A.C. | 2 |
| Unidad de Especies y Condimentos Perú LP E.I.R.L. | 2 |
| Agroindustria Valle Vida S.A.C. | 2 |
| Agroindustrias González SAC | 2 |
| Agroexportadora Mendoza EIRL | 2 |
| Agroindustrial R & M S.A.C. | 2 |
| Agroindustrias Ecovalle SAC | 2 |
| TOTAL | 60 |

Nota. <https://exportemos.pe/serviciosdigitales/directorio>

Se consideraron el análisis de la capacidad de innovación organizacional y la competitividad empresarial. Se conceptualizó la capacidad de innovación organizacional como la habilidad de

una empresa para generar, implementar y gestionar ideas creativas que mejoren sus procesos, productos y servicios, adaptándose a los cambios del entorno, mientras que, la competitividad

empresarial, se conceptualiza como la capacidad de una empresa para destacarse y prosperar en su sector frente a la competencia.

Para el análisis de la información, se consideró la aplicación de encuestas dirigidas a los asistentes operativos de empresas del sector agroindustrial, siendo el cuestionario el instrumento de medición, donde su confiabilidad se realizó, a través del coeficiente alfa de Cronbach.

El procesamiento de los datos se realizó con el programa estadístico SPSS v26. La normalidad de los datos fue mediante la prueba Kolmogorov-Smirnov. Se realizó un análisis de correlación no paramétrica mediante el coeficiente Rho de Spearman. Los resultados se consideraron significativos cuando $p < 0,05$.

Tabla 2

Prueba de normalidad para la capacidad de innovación organizacional y la competitividad empresarial

| Variable | Estadístico | gl. | Significación |
|--|-------------|-----|---------------|
| Capacidad de innovación organizacional | ,309 | 60 | ,000 |
| Competitividad empresarial | ,300 | 60 | ,000 |

La Tabla 3 de correlación no paramétrica Rho de Spearman revela una fuerte correlación positiva entre la capacidad de innovación organizacional y la competitividad empresarial. El coeficiente de correlación de 0,916 indica que a medida que mejora la capacidad de innovación organizacional, también tiende a mejorar la competitividad

Resultados

La prueba de normalidad para las variables capacidad de innovación organizacional y competitividad empresarial muestra que ambas no siguen una distribución normal. Para la capacidad de innovación organizacional, el estadístico de la prueba es 0,309 con 60 grados de libertad (gl), y la significación obtenida es 0,000, lo que indica que la variable no sigue una distribución normal, ya que el valor de significación es menor al umbral de 0,05. De manera similar, la competitividad empresarial presenta un estadístico de 0,300 con 60 grados de libertad (gl) y una significación de 0,000, lo que también indica que esta variable no se distribuye normalmente. Estos resultados sugieren que ambas variables requieren un tratamiento estadístico adecuado, dado que no cumplen con el supuesto de normalidad.

empresarial. Ambos coeficientes de correlación presentan una significación bilateral de 0,000, lo que significa que la relación observada es estadísticamente significativa. Estos resultados sugieren que la capacidad de innovación organizacional tiene un impacto importante y positivo en la competitividad de las empresas dentro de la muestra estudiada.

Tabla 3
Correlación no paramétrica Rho Spearman

| | | Capacidad innovación organizacional | Competitividad empresarial |
|-------------------------------------|-----------------------------|-------------------------------------|----------------------------|
| Capacidad innovación organizacional | Coefficiente de correlación | 1,000 | 0,916 |
| | Sig. (bilateral) | | |
| | N | 60 | 0,000 |
| Competitividad empresarial | Coefficiente de correlación | 0,916 | 1,000 |
| | Sig. (bilateral) | | |
| | N | 60 | 0,000 |

Discusión

Los resultados proporcionan una base sólida para afirmar que la capacidad de innovación organizacional tiene un impacto considerable y positivo en la competitividad empresarial, lo que podría sugerir que la adopción de prácticas innovadoras dentro de las organizaciones contribuye de manera directa a su capacidad para competir eficazmente en el mercado. En términos teóricos, estos resultados respaldan la idea de que la innovación no solo es un motor de crecimiento dentro de las empresas, sino también un factor determinante para mejorar su posicionamiento y sostenibilidad competitiva.

Los resultados obtenidos en este estudio, que se orientan a evaluar la ingeniería agroindustrial desde la innovación organizacional para la competitividad empresarial en Tacna, Perú, están en concordancia con diversos estudios previos que destacan la relación directa entre la capacidad de innovación organizacional y la competitividad. Pérez (2022), resalta que un modelo de innovación empresarial no solo mejora la competitividad a nivel organizacional,

sino que también incrementa la competitividad en mercados más amplios. En nuestro caso, encontramos que la mejora en la capacidad de innovación impulsa la competitividad en el sector agroindustrial de Tacna, lo que respalda la importancia de la innovación desde un enfoque microeconómico.

En relación con la diferenciación en mercados competitivos, Stojanović & Stanković (2021), afirman que la innovación es crucial para evitar el estancamiento y posicionar a las empresas como líderes en su sector. Los resultados apoyan esta afirmación, ya que las empresas agroindustriales de Tacna, al aplicar innovaciones, lograron diferenciarse de la competencia, destacándose en un mercado competitivo. Esta capacidad de adaptarse y destacar refleja el papel fundamental de la innovación en la competitividad, tal como se muestra en nuestra muestra.

Figueroa León & Saavedra (2021), sostienen que la asociatividad y la competitividad son esenciales para el desarrollo empresarial, lo que se alinea con nuestros hallazgos. En nuestra investigación, confirmamos que el fortalecimiento de la capacidad de

innovación organizacional no solo impulsa la competitividad, sino que también contribuye a un entorno empresarial más dinámico y estable. Esta relación entre innovación y competitividad refleja un proceso continuo de adaptación y desarrollo en las empresas agroindustriales de Tacna.

Por último, en cuanto a la mejora continua de procesos, Quispe (2021), propone que las organizaciones deben optimizar la calidad de sus servicios mediante estrategias innovadoras. Nuestros hallazgos coinciden con esta perspectiva, pues encontramos que las empresas agroindustriales en Tacna deben intensificar sus esfuerzos de innovación para mejorar la competitividad. A su vez, Cutipa *et al.* (2022), argumentan que la creatividad y la motivación del personal son decisivas para fomentar la innovación. En nuestra investigación, observamos que una mayor inversión en la capacitación

y motivación de los empleados también contribuye a una mayor capacidad de innovación, lo cual impacta positivamente en la competitividad del sector agroindustrial en Tacna.

Se concluye que, este estudio confirma que la capacidad de innovación organizacional es clave para mejorar la competitividad empresarial en el sector agroindustrial de Tacna, Perú. La fuerte correlación entre ambas variables resalta cómo la innovación impulsa el crecimiento y la diferenciación en mercados competitivos. Los hallazgos indican que adoptar estrategias innovadoras y fortalecer la capacitación del personal contribuye directamente a la sostenibilidad y el posicionamiento empresarial. Así, la innovación no solo optimiza procesos, sino que también fomenta un entorno empresarial dinámico y estable, esencial para mantener la competitividad a largo plazo en un mercado globalizado.

Referencias

- Álvarez, M., Beltrán, A., & Torres, M. (2024). Determinantes de la innovación en procesos. Un análisis desde las capacidades de aprendizaje y adaptación. *Innovar*, 34(91), e100632. <https://doi.org/10.15446/innovar.v34n91.100632>
- Chavarría, R. (2024). Barreras para la innovación en las organizaciones. *Revista científica en ciencias sociales*, 6, e601202. <https://doi.org/10.53732/rccsociales/e601202>
- Cutipa, L.A.M (2021). Modelo de análisis de innovación para la competitividad en micro y pequeñas empresas exportadoras de artesanía textil en el sur de Perú. [Tesis para optar por el grado de Doctor en Administración, Escuela de Posgrado, Universidad Nacional del Altiplano], Repositorio institucional: http://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/16814/Alberto_Magno_Cutipa_Limache.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Delgado, M. (2024). Modelos de gestión de la innovación: Conceptos, enfoques, normas y tendencias. *Ingeniería Industrial*, 45(1), 1-10. <https://rii.cujae.edu.cu/>

- index.php/revistaind/article/view/1258/1160
- Duchi, M., Mora, N., & Iozzeli, M. (2023). Estudio de la gestión de la innovación en empresas del sector agrícola de la provincia de El Oro. *Digital Publisher CEIT*, 9(1), 71-87. <https://doi.org/10.33386/593dp.2024.1.2131>
- Espinosa, L., & Pérez, M. (2023). Aprendizaje e innovación organizacional desde las nuevas formas de organización del trabajo. *Revista de ingeniería industrial*, 44(3), 1-13. <http://scielo.sld.cu/pdf/rii/v44n3/1815-5936-rii-44-03-3.pdf>
- Figueroa, I.L., & Saavedra, L.A. (2021). La asociatividad y competitividad de las organizaciones de pequeños productores del sector agrario peruano: Caso de estudio: Cooperativa Túpac Amaru. [Tesis para optar el título profesional de Licenciada en Gestión, Facultad de Gestión y Alta Dirección, Pontificia Universidad Católica del Perú], Repositorio institucional: <http://hdl.handle.net/20.500.12404/18844>
- Fuenmayor, M. (2024). Innovación: Herramienta de supervivencia para las organizaciones. *CICAG: Revista Electrónica Arbitrada del Centro de Ciencias Administrativas y Gerenciales*, 21(2), 205-225. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=9378965>
- Pérez, P. (2022). Análisis del modelo que estudia las variables influyentes en la capacidad de innovación de las empresas, y cómo afecta al desempeño en los resultados del sector hotelero. [Tesis doctoral, Universitat Politècnica de Valencia], Repositorio institucional: <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/191534/Perez%20-%20Analisis%20del%20modelo%20que%20estudia%20las%20variables%20influyentes%20en%20la%20capacidad%20de%20innovacion%20d....pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Prinz, E. (2017). La innovación administrativa y el desarrollo de competencias en la satisfacción laboral del personal administrativo de la Municipalidad Distrital de Los Olivos, 2016. [Tesis para optar al grado académico de Magíster en Gestión Pública y Gobernabilidad, Universidad César Vallejo]. Repositorio institucional: https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/22191/Prinz_DES.pdf?sequence=6&isAllowed=y
- Quispe, E. (2021). Gestión del conocimiento e innovación organizacional en los docentes de la Universidad Nacional Federico Villarreal. [Tesis para optar al grado académico de Magíster en Gestión Pública, Universidad del Pacífico]. Repositorio institucional. https://repositorio.up.edu.pe/bitstream/handle/11354/3095/QuispeEdwin_Tesis_maestria_2021.pdf?sequence=1&isAllowed=y

- Serrano, M., Moreno, M., Fonet, E., Mestre, A., Ramírez, D., & Salazar, J. (2023). Diagnóstico de la gestión de la innovación con un enfoque normalizado. *Ingeniería Industrial*, 44(1), 4404. <https://doi.org/10.33262/rii.v44i1.4404>
- Stojanović, S., & Stanković, M. (2021). The impact of innovation on business performance. *Knowledge-International Journal*, 45(1), 185-191. <https://ikm.mk/ojs/index.php/kij/article/view/5011>
- Valero, G. (2019). Influencia de la competitividad y el capital tecnológico en la internacionalización de las empresas exportadoras de Bucaramanga y su área metropolitana, Colombia. [Tesis para optar por el grado de Doctorado en Administración y Dirección de Empresas, Universidad Politécnica de Valencia]. Repositorio institucional: <https://riunet.upv.es/handle/10251/140312>

Creación de contenido en TikTok para la preservación del medioambiente

Creation of content on TikTok for the preservation of the environment

Recibido: setiembre 04 de 2024 | Revisado: octubre 02 de 2024 | Aceptado: noviembre 12 de 2024

VIOLETA LEONOR ROMERO CARRIÓN¹
JULIÁN CCASANI ALLENDE¹
CÉSAR AUGUSTO RIVADENEYRA RIVAS¹
EVELYN ZAVALA ZAVALA¹

RESUMEN

La presente investigación se propuso establecer si la difusión de contenidos en TikTok contribuye al cuidado del medioambiente, en estudiantes de ingeniería. El método de enfoque cuantitativo, diseño cuasiexperimental y de nivel explicativo con una intervención consistió en la elaboración y publicación en TikTok de contenidos sobre la preservación del medio ambiente. La muestra estuvo conformada por estudiantes de Ingeniería Agroindustrial y Transportes, a quienes se les suministró un pre test y luego de la intervención un pos test, mediante un cuestionario de 20 preguntas. El estadístico de prueba de hipótesis no paramétrico Wilcoxon, confirmó los efectos esperados con una significancia ($p=0,000$) permitiendo concluir, que los contenidos elaborados y publicados en TikTok fortalecen el cuidado medioambiental de los estudiantes de ingeniería. Además, la preparación del TikTok mostró alta motivación, creatividad, trabajo colaborativo y actitud ética al citar las fuentes.

Palabras clave: TikTok, elaboración de contenidos, cuidado ambiental, competencias

ABSTRACT

The present research aimed to establish whether the dissemination of content on TikTok contributes to environmental care in engineering students. Regarding the method, it was quantitative in approach, quasi-experimental design and explanatory level with an intervention, which was the development and publication on TikTok of environmental care content. The sample consisted of industrial and agro-industrial engineering students, who were given a pre-test and after the intervention a post-test, using a 20-question questionnaire. The non-parametric Wilcoxon hypothesis test statistic confirmed the expected effects with a significance ($p=0.000$) allowing to conclude that the content developed and published on TikTok strengthens the environmental care of engineering students. In addition, the preparation of TikTok showed high motivation, creativity, collaborative work and ethical attitude when citing sources.

Keywords: TikTok, content development, environmental care, competencies

¹ Universidad Nacional Federico Villarreal, Lima, Lima -Perú

Autor de correspondencia:
vromero@unfv.edu.pe

© Los autores. Este artículo es publicado por la Revista Campus de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad de San Martín de Porres. Este artículo se distribuye en los términos de la Licencia Creative Commons Atribución No-Comercial – Compartir-Igual 4.0 Internacional (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>), que permite el uso no comercial, distribución y reproducción en cualquier medio siempre que la obra original sea debidamente citada. Para uso comercial contactar a: revistacampus@usmp.pe.

<https://>

Introducción

La revolución digital, entendida como el crecimiento de la oferta de tecnología digital y la sustitución de las ya existentes tecnologías mecánicas y electrónicas, por las digitales y las diversas aplicaciones y herramientas digitales son una visible manifestación de dicha revolución (Agar, 2019).

Últimamente, las redes sociales han experimentado diversos contenidos y formatos con el objetivo de llegar cada día a mayor número de usuarios, haciendo más efectiva la transferencia de información y una atractiva presentación del contenido como es el caso de la plataforma virtual TikTok (Tejedor *et al.*, 2022).

Los estudiantes universitarios de hoy, son los jóvenes de la generación Z, nacidos entre 1995 y 2005. Tienen una relación especial con la tecnología y con internet, y demandan una necesidad de comunicación inmediata (Ortega y Durand-Vinuesa, 2022). Estas características, posibilitan una oportunidad para comunicar sobre diversos contenidos temáticos y llegar al público general, por la gran cantidad de tiempo que estos permanecen conectados a la plataforma virtual.

Con respecto al aspecto medioambiental, se observa el aumento de la temperatura global de la tierra y océanos, generando efectos colaterales en

el desarrollo socioeconómico, la salud, la migración, la seguridad alimentaria y los impactos en los ecosistemas terrestres y marinos (OMM, 2020). Durante años, la comunidad científica ha procurado visibilizar el problema del cambio climático y concienciar a la población y a los gobiernos sobre sus consecuencias (Amico *et al.*, 2020).

Redes Sociales y la Plataforma TikTok

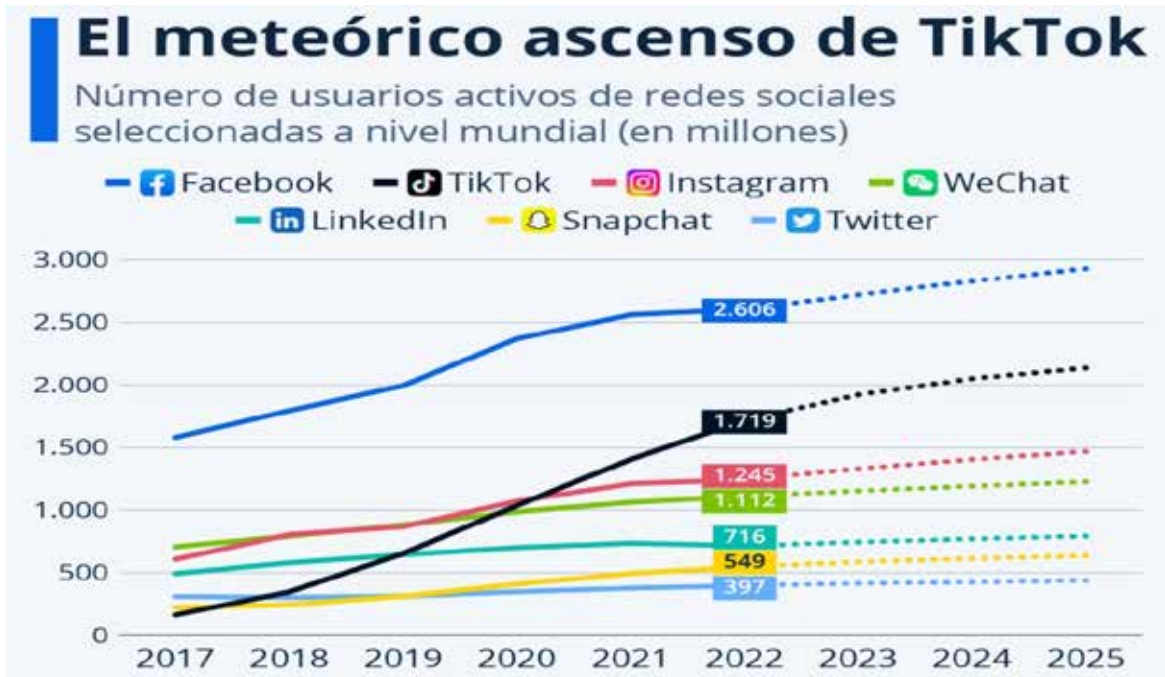
En un mundo donde impera la interconexión, el uso de las redes sociales ha transformado la manera tradicional de la comunicación, las redes sociales funcionan como plataformas para intercambiar información u opinión. Las redes sociales crean comunidades virtuales, de usuarios con intereses similares sobre determinadas temáticas y se difunden en todo el planeta y puede ser en tiempo real. (Concepto, febrero 2023).

Cada tipo de red tiene sus singularidades, varían en las funcionalidades y la comunicación que se crea entre los usuarios. En ellas, los consumidores pueden compartir imágenes, sonidos, videos, documentos, opiniones e información, etc.

La evolución de las redes sociales ha sido creciente desde el último quinquenio del siglo pasado; sin embargo, se intensificó desde 2017 en adelante, Figura 1.

Figura 1

Evolución de los usuarios de las redes sociales en el mundo (en millones) junio 2022



Nota. Tomado de Mena (2022).

La plataforma TikTok fue creada en 2016 en China con la denominación Douyin. A partir del año 2018, TikTok, comenzó a ganar notoriedad entre el público norteamericano y europeo, constituyéndose en la actualidad como una de las plataformas preferidas a nivel mundial.

Una de las claves de su éxito es la sencillez de su interfaz que posibilita a los usuarios crear sus propios vídeos con el editor y, la consecuente creación de contenidos de diversos tipos desde lo cotidiano como temas de entretenimiento, lo académico, político, información y sensibilización sobre aspectos de salud, medioambiente, desastres naturales y otros. Además, esta plataforma cuenta con un algoritmo que personaliza los vídeos que aparecen en el feed personal según los intereses de cada usuario. Los vídeos suelen ir acompañados de hashtags, lo que

permite aumentar la visibilidad y obtener un mayor alcance, llegando incluso a hacerse virales (Nieto-Sandoval y Ferré-Pavia, 2023).

Cuenta también, con un sistema de inteligencia artificial, gracias al cual es factible utilizar infinidad de filtros, efectos especiales y música de fondo, lo que permite a cualquier aficionado crear contenido de calidad en muy poco tiempo. En definitiva, cumple con todas las expectativas que un nativo digital de la era de la inmediatez puede consumir o desarrollar en una red social. (Hernández, 2021).

La red social Tik Tok es tendencia a escala global. En ella impera la comunicación efímera, muy estimulante y visual. Las informaciones se viralizan en segundos contribuyendo así al desarrollo de la información si proviene de fuentes

fidedignas o por el contrario se propaga la desinformación o las noticias falsas (Sidorenko-Bautista *et al.*, 2021).

En dicho contexto, la responsabilidad ambiental nos atañe a todos, pero en especial a los futuros profesionales universitarios, quienes deben fortalecer sus prácticas y la de los demás, para posibilitar el equilibrio del planeta y el desarrollo sostenible. Para este efecto, nos preguntamos ¿la plataforma TikTok ofrece la oportunidad de crear contenidos sobre el cambio climático, con información fiable, de manera creativa y atractiva para que los consumidores de esta plataforma interioricen la importancia del uso racional de los recursos naturales, el uso sostenible de las materias primas y la responsabilidad con las futuras generaciones?

Escamilla-Fajardo *et al.* (2021) en su artículo, *Incorporando TikTok en la educación superior*, mencionan que las redes sociales han revolucionado la forma en que las personas se comunican y socializan. En este artículo, se presenta una innovación tecnológica que muestra los múltiples usos que se pueden realizar con esta atractiva herramienta y en la cual participaron 65 personas utilizando un método más ágil y amigable de comunicación entre los usuarios.

Ding *et al.* (2022) realizaron una investigación sobre *Videos instructivos cortos para la generación TikTok*, cuyo objetivo fue examinar los efectos de videos instructivos breves frente a las conferencias virtuales.

El estudio fue de diseño cuasi-experimental. Se trabajó con dos grupos:

uno experimental de 119 participantes que vieron el Tik Tok a su propio ritmo y otro grupo de control con 112 personas que solo atendieron al expositor.

Los resultados evidenciaron que el primer grupo superó, significativamente, al segundo en el logro de los objetivos establecidos.

Responsabilidad Ambiental

La emergencia climática puede definirse como un estado de alerta medioambiental, que demanda acciones conducentes a la reducción de la contaminación atmosférica causada por las actividades antropogénicas, que ponen en riesgo a la humanidad, por los desastres climáticos que se están presentando y pudieran acrecentarse (Romero *et al.*, 2022).

Todo esfuerzo que podamos realizar para mitigar la contaminación atmosférica, el uso racional de los recursos naturales y optar por las energías limpias, entre otros, resulta de gran importancia y los medios para su logro, lo constituyen los diversos modos de difusión de la problemática ambiental, las alternativas de remediación y prevención.

En la actualidad, una de las plataformas virtuales de gran aceptación es el TikTok que brinda información ágil y atractiva mediante videos muy cortos, cuyos consumidores son personas de todas las edades y especialmente los jóvenes.

En tal sentido, se propuso que los participantes produzcan los Tik Tok con la temática de la responsabilidad ambiental, basados en fuentes confiables y respetando la propiedad intelectual de los autores;

además, permitió ejercitar su creatividad y capacidad de síntesis, lo que posibilita en primer lugar el fortalecimiento de su responsabilidad ambiental; en segundo lugar, el TikTok elaborado y difundido tendrá efectos sobre la audiencia y los seguidores, quienes se espera sean sensibilizados sobre la problemática ambiental y aporten en su mitigación.

En el contexto de los Objetivos de Desarrollo Sostenible 2030 de las Naciones Unidas, se contempla la reducción de las emisiones de contaminantes atmosféricos y el cumplimiento del compromiso asumido en el Acuerdo de París sobre mejorar la resiliencia al cambio climático y propender a la emisión cero de carbono (United Nations Climate Change, 2023).

Consecuentemente, este modo de desarrollo plantea el objetivo de garantizar el equilibrio entre el crecimiento económico, la preservación del medio ambiente y el bienestar social (Climate Consulting, 2023).

En el año 1972, se acuñó uno de los principios rectores transversales de las políticas ambientales “quien contamina paga”, dando inicio a la visibilización de la problemática ambiental a nivel mundial y generando reuniones periódicas de la Organización de las Naciones Unidas, como: Cumbres Ambientales del planeta, como la de Río de Janeiro. Conferencia de las partes (COP), como COP21 o Acuerdo de París de 2015.

La responsabilidad ambiental establece una obligación a los agentes económicos que causan impactos ecológicos negativos.

Para revertir tales hechos, emergen actividades de conservacionismo, fomento de la cultura “verde” o ahorro energético, entre otros. Lo que se plasma en la legislación de los diversos países, como en el caso de Perú, Ley General del Ambiente N° 28611 del año 2005, en cuyo Título Preliminar, artículo IX: Del principio de responsabilidad ambiental, prescribe *el causante de la degradación del ambiente ... está obligado a adoptar inexcusablemente las medidas para su restauración, rehabilitación o reparación ... compensar en términos ambientales los daños generados...*

Conciencia ambiental y competencias

La conciencia ambiental es definida como la acción educativa permanente por la cual la comunidad procura la toma de conciencia de su realidad global y las relaciones que los hombres establecen entre sí y con la naturaleza (Macedo y Salgado, 2007).

Por otro lado, Heras (2023) manifiesta que la conciencia ambiental (CA) ha sido concebida desde su inicio como una herramienta estratégica frente a la crisis ambiental. En este sentido, uno de los objetivos explícitos de numerosas iniciativas de CA ha sido la promoción de los comportamientos ambientalmente responsables.

En el desarrollo de las competencias, creatividad, motivación, comunicación, responsabilidad, entre otras, se requiere la vinculación de los procesos afectivos y cognitivos. La propuesta de actividades innovadoras, estimulan y posibilitan un clima creativo, motivador y de responsabilidad (Mendoza y Leyva, 2020).

La conciencia ambiental, actualmente, es vista como el medio más efectivo para que el ambiente sea preservado; su propósito es alcanzar a nivel social una real cultura ambiental. En este contexto, se plantea como objetivo, establecer si la difusión de contenidos en TikTok contribuye al cuidado del medioambiente en los futuros ingenieros.

Método

La investigación es de enfoque cuantitativo y nivel explicativo en la que la variable independiente es la elaboración y difusión del TikTok y la variable dependiente es el fortalecimiento de la motivación y creatividad, la responsabilidad ambiental en sus dimensiones, uso racional de los recursos naturales, energías renovables y la responsabilidad con las futuras generaciones.

La investigación fue de tipo longitudinal dado que los datos se obtuvieron en dos momentos, antes de la intervención consistente en la elaboración y difusión del TikTok y después de ella. El diseño correspondiente fue el cuasi-experimental con la aplicación del pretest y postest en torno a la intervención.

- a. Ámbito espacial, UNFV
- b. Universo: Estudiantes de la FIIS matriculados en el año académico 2023
- c. Muestra: Intencional, de las Escuelas Profesionales de Ingeniería Industrial y Agroindustrial. En total 165 estudiantes.
- d. Unidad de análisis: estudiantes vinculados en la investigación.

- e. Técnicas de recolección de datos: Entrevista mediante cuestionario, pretest y postest. Este instrumento consta de 20 ítems con escala Likert.
- f. Procedimiento
 - Se organizó a los estudiantes en grupos para la elaboración del TikTok y brindaron las pautas generales para el proceso.
 - Se elaboró el cuestionario tomando en cuenta las dimensiones de las variables y procedió a determinar su validez y confiabilidad.
 - El cuestionario se aplicó a la muestra de manera virtual, mediante Forms-Google.
 - En base a los datos obtenidos, se aplicó el estadístico de prueba de hipótesis

Pautas para la elaboración de contenidos en TikTok y su difusión que permita el fortalecimiento del cuidado del medioambiente.

- a. Organización de grupos de dos o tres estudiantes.
- b. Elección del tema para crear contenidos sobre: cambio climático, uso racional de recursos naturales, contaminación del aire, agua, suelo u otro similar.
- c. Investigar en bases a datos fiables e identificar un problema ambiental puntual.
- d. Proponer una posible solución o mitigación de dicho problema.
- e. Creativamente elaborar un guion, para tratar el problema y su posible solución.
- f. Pueden presentar el TikTok con figura, foto, video, sonido, texto, etc.

- g. Duración de 20 a 60 segundos máximo.
- h. Cuidar la redacción, locución, ortografía.
- i. Antes de difundirlo, lo presentan en el aula para las sugerencias de mejora.
- j. Publicación del Tiktok en Internet, pueden subirlo a Facebook u otra red.
- k. El TikTok que logre mayor número de *likes*, tendrá un reconocimiento.

Construcción del instrumento: validez y confiabilidad

El instrumento cuenta con 20 ítems con escala Likert y consta de las dimensiones, competencias para la elaboración del TikTok y los efectos en la audiencia del contenido medioambiental desarrollado. A un grupo piloto de 20 participantes, se le aplicó el cuestionario, para determinar la confiabilidad del instrumento, obteniendo Alpha de Cronbach = 0,778 lo cual muestra que la consistencia interna es buena. En cuanto a la validez, se optó por el Juicio de Experto de cuatro docentes del área, quienes realizaron algunas sugerencias de mejora del instrumento.

Selección del estadístico de prueba de hipótesis

Se aplicó el estadístico de normalidad de datos, en este caso Kolgomorov-Smirnov, ya que se contaba con más de 50 datos. Resultó ($p=0,000$) para la diferencia de los datos antes-

después, con lo cual se concluye que los datos no cumplen con la normalidad. Consecuentemente, se aplicó un estadístico de prueba de hipótesis no paramétrico, como es Wilcoxon.

Resultados

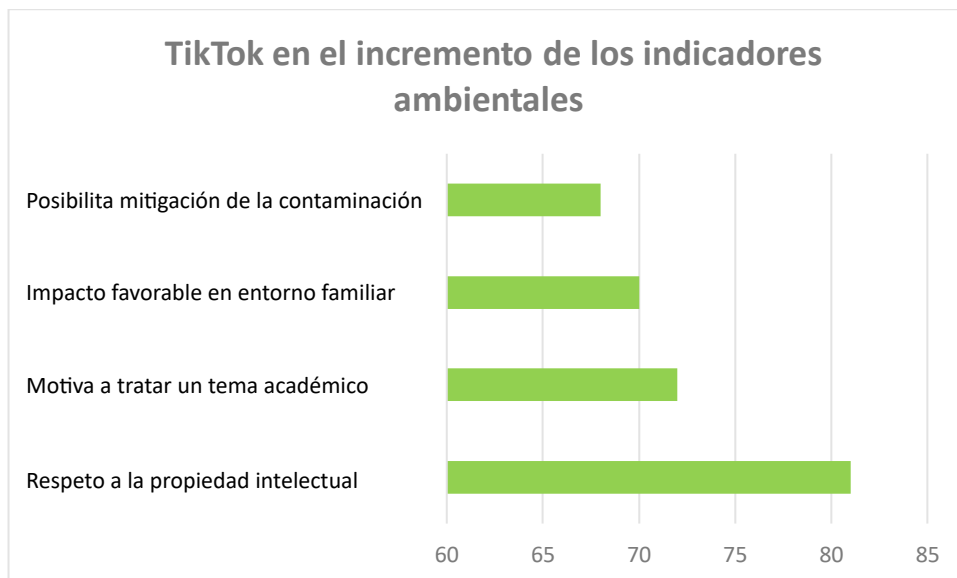
Los participantes se involucraron con la actividad de elaboración del TikTok con contenido ambiental. Trabajaron colaborativamente en equipos de tres. Los temas que eligieron fueron con respecto a tomar conciencia sobre la contaminación del aire, el suelo y el agua, principalmente, desde una perspectiva ingenieril, considerando que se trabajó con estudiantes de Ingeniería Agroindustrial y de Transportes.

En la elaboración del guion, revisaron artículos científicos, mostrando respeto a la propiedad intelectual de los autores, administraron el tiempo de duración de un minuto, para lo cual ejercitaron su capacidad de síntesis y comunicación. Se mostraron motivados y creativos, presentaron imágenes, audios y videos con mensajes sobre el uso racional de los recursos naturales, energías renovables y la responsabilidad con las futuras generaciones.

La Figura 2 muestra los cuatro ítems de un total de 20, con mayor incremento, entre antes y después de la elaboración y difusión del TikTok con contenido ambiental. Se destaca el respeto a la propiedad intelectual con más del 80 % de incremento.

Figura 2

Indicadores con mayor incremento al elaborar el TikTok con contenido ambiental



Pruebas de hipótesis:

Se procedió a aplicar el estadístico de prueba Wilcoxon, considerando $p < 0,05$ para rechazar la hipótesis nula.

Hipótesis

H_0 : La elaboración de contenido

en TikTok no fortalece la responsabilidad ambiental de los estudiantes de educación superior.

H_1 : La elaboración de contenido en TikTok fortalece la responsabilidad ambiental de los estudiantes de educación superior.

Tabla 1

Prueba de rangos con signo de Wilcoxon después-antes del TikTok

| | N | Rango promedio | Suma de rangos |
|------------------|-----------------------------|-----------------|----------------|
| Rangos negativos | 21 ^a | 42,12 | 884,50 |
| Rangos positivos | 116 ^b | 73,87 | 8568,50 |
| Después - Antes | Empates | 28 ^c | |
| | Total | 165 | |
| | Z | | -8,257 |
| | Sig. asintótica (bilateral) | | ,000 |

a. Después < Antes b. Después > Antes c. Después = Antes

En la Tabla 1 se observa que $p = 0,000$ lo que permite rechazar la hipótesis nula y consecuentemente, se determinó que *la elaboración de contenido*

en TikTok fortalece la responsabilidad ambiental de los estudiantes de educación superior.

Hipótesis Específica 1

H_0 : Los desarrolladores de contenido ambiental en TikTok no mejoran sus competencias de motivación, creatividad y respeto a la

propiedad intelectual.

H_1 : Los desarrolladores de contenido ambiental en TikTok mejoran sus competencias de motivación, creatividad y respeto a la propiedad intelectual.

Tabla 2

Prueba de Wilcoxon después-antes de la mejora de competencias

| | | N | Rango promedio | Suma de rangos |
|--|------------------|-----------------------------|----------------|----------------|
| Después – Antes Mejora de competencias | Rangos negativos | 18 ^a | 40,83 | 735,00 |
| | Rangos positivos | 105 ^b | 65,63 | 6891,00 |
| | Empates | 42 ^c | | |
| | Total | 165 | | |
| | | Z | | -7,783 |
| | | Sig. asintótica (bilateral) | | ,000 |

a. Después < Antes b. Después > Antes c. Después = Antes

En la Tabla 2 se observa que $p = 0,000$ lo que permite rechazar la hipótesis nula y consecuentemente, se determinó que, los desarrolladores de contenido ambiental en TikTok mejoran sus competencias de motivación, creatividad y respeto a la propiedad intelectual

estudiantes universitarios desarrolladores de contenido no fortalece su responsabilidad ambiental y la de la audiencia.

H_1 : El TikTok difundido por los estudiantes universitarios desarrolladores de contenido fortalece su responsabilidad ambiental y la de la audiencia.

Hipótesis Específica 2

H_0 : El TikTok difundido por los

Tabla 3

Prueba de Wilcoxon después-antes de efectos en estudiantes y la audiencia

| | | N | Rango promedio | Suma de rangos |
|---|------------------|-----------------------------|----------------|----------------|
| Después – Antes Efectos en estudiantes y la audiencia | Rangos negativos | 31 ^a | 35,89 | 1112,50 |
| | Rangos positivos | 99 ^b | 74,77 | 7402,50 |
| | Empates | 35 ^c | | |
| | Total | 165 | | |
| | | Z | | -7,323 |
| | | Sig. asintótica (bilateral) | | ,000 |

a. Después < Antes b. Después > Antes c. Después = Antes

En la Tabla 3 se observa que $p = 0,000$ lo que permite rechazar la hipótesis nula y consecuentemente, se determinó que, el TikTok difundido por los estudiantes universitarios desarrolladores de contenido fortalece su responsabilidad ambiental y la de la audiencia.

Discusión

En esta investigación, los estudiantes desarrollaron contenidos mediante el TikTok, con el propósito de fortalecer el cuidado del medioambiente, y en ese proceso se determinó que los desarrolladores de contenido ambiental en TikTok mejoraron sus competencias de comunicación, capacidad de síntesis, creatividad, motivación, respeto a la propiedad intelectual, entre otros; lo que concuerda con Escamilla-Fajardo *et al.* (2021) que en su investigación *Incorporando TikTok en la educación superior* mencionan que este, promueve la motivación y fomenta la creatividad. Además, en ese mismo sentido, Rendón *et al.* (2022) en su artículo *TikTok como herramienta didáctica*, manifiestan que, los estudiantes que han utilizado TikTok como herramienta de aprendizaje muestran estar más motivados.

Con respecto a la propiedad intelectual de los autores y citar las fuentes, al desarrollar los contenidos del TikTok, se encontró que este indicador fue el que mostró un mayor incremento (Figura 2) en su puntuación antes – después de la intervención (elaboración del TikTok); lo cual difiere notablemente con Nieto-Sandoval y Ferré-Pavia (2023) quienes en su investigación *TikTok y cambio climático: comunicar sin fuentes ni soluciones*, refieren un hallazgo alarmante, en cuanto a que

la mayoría de los vídeos no citan ningún tipo de fuente de información. Una posible explicación sobre la diferencia que favorece a esta investigación es que en las pautas para la elaboración del TikTok que se les brindó a los estudiantes, se indicó realizar la búsqueda de información en base a fuentes fiables.

Los resultados de la contrastación de la hipótesis muestran que, *la elaboración de contenido en TikTok fortalece significativamente la responsabilidad ambiental de los estudiantes de educación superior*. Al respecto Rendón *et al.* (2022), encontraron que los estudiantes que han utilizado TikTok muestran una mayor dedicación a los contenidos que los estudiantes que no lo hicieron. En ese mismo sentido, Ding *et al.* (2022) en base a su investigación *Videos instructivos cortos para la generación TikTok*, señalan que los resultados mostraron que los estudiantes que vieron videos cortos, superaron significativamente a los que siguieron la instrucción tradicional.

Cabe señalar, en cuanto a que el TikTok difundido por los estudiantes universitarios desarrolladores de contenido fortalece notablemente su responsabilidad ambiental y la de la audiencia, luego de la difusión de este, no se han encontrado investigaciones de otros autores que muestren hallazgos al respecto, pero la prueba de hipótesis aplicada confirma lo mencionado.

Conclusiones

1. Se determinó que, la elaboración de contenido en TikTok fortaleció significativamente el cuidado medioambiental de los estudiantes de ingeniería.

2. Se encontró que, los estudiantes desarrolladores de contenido ambiental en TikTok, mejoraron significativamente sus competencias de motivación, creatividad y respeto a la propiedad intelectual
3. Se estableció que el TikTok

que difundieron los estudiantes universitarios, desarrolladores de contenido, fortaleció, significativamente, su responsabilidad ambiental y la de sus seguidores. De este modo, dicha contribución favorece al cuidado del medioambiente.

Referencias

- Agar N. (2019). *How to Be Human in the Digital Economy*. [Como ser humano en la economía digital] Cambridge, MA: MIT Press, 2018.
- Amico, B., Oliveira, A. y Zeler, I. (2020). La comunicación de la emergencia climática en las redes sociales de los activistas ambientales: el caso de Greta Thunberg, Leonardo DiCaprio y Arturo Islas Allende. *Pensar la publicidad*, 14(2), 281-290. <http://dx.doi.org/10.5209/pepu.72129>
- Ciberclick (13 de marzo de 2020). *TikTok: qué es y cómo funciona esta red social*. <https://www.cyberclick.es/que-es/tik-tok-red-social>
- Climate consulting (8 de enero de 2023). *El desarrollo sostenible y el medio ambiente*. <https://climate.selectra.com/es/que-es/desarrollo-sostenible#:~:text=El%20desarrollo%20sostenible%20representa%20la,ambiente%20y%20el%20bienestar%20social>
- Conceptos (febrero, 2023). *Redes Sociales*. <https://concepto.de/redes-sociales/#ixzz7syMJikdT>
- Ding, N., Xu, X., y Lewis, E. (2022). Videos instructivos cortos para la generación TikTok. *Revista de Educación para los Negocios*. Published - 28 sep. 2022, 1-11 <https://doi.org/10.1080/08832323.2022.2103489>
- Escamilla-Fajardo, P., Alguacil, M., López-Carril, S. (2021). Incorporando TikTok en la educación superior: Perspectivas pedagógicas desde un curso de ciencias del deporte de la expresión corporal. *Revista de educación en hotelería, ocio, deporte y turismo*. <https://doi.org/10.1016/j.jhlste.2021.100302>
- Heras, F. (2023). La educación ambiental y los estilos de vida sostenibles: *Ecosistemas*, 32(especial), 2470. <https://doi.org/10.7818/ECOS.2470>
- Hernández, A. (2021). Píldoras históricas en tiktok. Explorando una nueva forma de enseñanza en la era de las redes sociales. *UNES*. 10, 92-99. <https://doi.org/10.30827/unes.i10.17808>

- Macedo, B. y Salgado, C. (2007). Educación ambiental y educación para el desarrollo sostenible en América Latina. *Forum de Sostenibilidad*. N°1/2007, 29-37. <https://www.ehu.es/cdsea/web/wp-content/uploads/2016/12/Revista1.pdf#page=31>
- Mena, M. (13 de octubre 2022). *Meteorico ascenso de TikTok*. Statista Advertising & Media Outlook. <https://es.statista.com/grafico/28454/numero-de-usuarios-activos-de-redes-sociales-seleccionadas-a-nivel-mundial/#:~:text=Durante%20el%20periodo%202018%2D2022,%20n%C3%BAmero%20de%20usuarios%20en%202021.>
- Mendoza, L. y Leyva, P. (2020). Creatividad y motivación: un reto actual en la formación de los profesionales para el desarrollo de la competencia. *Opuntia Brava*. 12 (2) 284-294. <https://opuntiabrava.ult.edu.cu/index.php/opuntiabrava/article/view/1032>
- Muñoz-Pico, H. P., León, B. & García, A. N. (2021). Representación del cambio climático en YouTube: un análisis cuantitativo de los vídeos más populares. *Palabra Clave*, 24(1). <https://doi.org/10.5294/pacla.2021.24.1.5>
- Nieto-Sandoval, A. G. & Ferré-Pavia, C. (2023). TikTok y cambio climático: comunicar sin fuentes ni soluciones. *Revista De Comunicación*, 22(1). <https://doi.org/10.26441/RC22.1-2023-2994>
- OMM (Organización Meteorológica Mundial), (2020). El efecto de enfriamiento de La Niña no bastó para contrarrestar el calor a nivel mundial. <https://public.wmo.int/es/media/comunicados-de-prensa/el-2020-es-uno-de-los-tres-a%C3%B1os-m%C3%A1s-c%C3%A1lidos-registrados>
- Ortega, L. y Durand-Vinuesa, L. (2022). NuclearSi: el último proyecto de divulgación sobre energía nuclear en TikTok. *47ª Reunión Anual de la Sociedad Nuclear Española 26 – 30 Rde septiembre de 2022 Cartagena, Región de Murcia*. https://www.researchgate.net/profile/Laura-Ortega-20/publication/364309585_NuclearSi_el_ultimo_proyecto_de_divulgacion_sobre_energia_nuclear_en_TikTok/links/634568f72752e45ef6ad4789/NuclearSi-el-ultimo-proyecto-de-divulgacion-sobre-energia-nuclear-en-TikTok.pdf
- Rendón, P., Jordania, N., Arias, D. y Nuñez, G. (2022). “Tik tok como herramienta de enseñanza: La motivación de los estudiantes universitarios en Ecuador”, 2022 IEEE 2nd International Conference on Advanced Learning Technologies on Education & Research (ICALTER), Lima, Perú, 2022, págs. 1-4, doi: 10.1109/ICALTER57193.2022.9964670.

- Romero, V., Campos, R., Solís, J., Altamirano, J. y Flores, E. (2022). Energy efficiency labelling in carbon dioxide mitigation. *Australian Journal of Electrical and Electronics Engineering*. 19 (4) 363-370. <https://doi.org/10.1080/1448837X.2022.2069637>
- Sidorenko-Bautista, P., Alonso-López, N. & Giacomelli, F. (2021). Espacios de verificación en TikTok. Comunicación y formas narrativas para combatir la desinformación. *Revista Latina de Comunicación Social*, 79,87-113. <https://www.doi.org/10.4185/RLCS-2021-1522>
- Tejedor, S., Cervi, L., Robledo-Dioses, k., Pulido, C. (2022). Desafíos del uso de TikTok como plataforma educativa: Una red multitemática donde el humor supera al debate. *Aula Abierta*. 51, (2), 121-128. <https://doi.org/10.17811/rife.52.2.2022.121-128>
- TikTok, (22 de abril 2022). *TikTok muestra el valor educativo de la plataforma de la mano de expertos y creadores de contenido*. <https://newsroom.tiktok.com/es-es/tiktok-como-herramienta-educativa>
- United Nations Climate Change, (01 de febrero 2023). *Acuerdo de París*. <https://unfccc.int/es/acerca-de-las-ndc/el-acuerdo-de-paris>
- Vilanova, N., & Ortega, I. (2017). *Generación Z: Todo lo que necesitas saber sobre los jóvenes que han dejado viejos a los millennials*. Plataforma.

Predicción del rendimiento productivo de cuyes mediante el uso de fitobióticos

Prediction of the productive performance of guinea pieces through the use of phytobiotics

Recibido: setiembre 30 de 2024 | Revisado: octubre 28 de 2024 | Aceptado: noviembre 21 de 2024

MANUEL AUGUSTO TIMANA SANDOVAL¹
GLADYS GALLEGOS CAMACHO¹
JUAN CARLOS SOSA VELARDE¹
SLY ALEX SOBRADO CLAUDIO¹
MARILYN AURORA BUENDÍA MOLINA¹
ENRIQUE RAÚL ADAMA ROJAS²

RESUMEN

La presente investigación busca evaluar el uso de un fitobiótico en la fase de engorde de cuyes (*Cavia porcellus*) mediante la predicción de su impacto en la ganancia de peso, consumo de alimento y conversión alimenticia. Se desarrolló un modelo predictivo basado en la regresión lineal para estimar los beneficios del fitobiótico. Los cuyes que recibieron el suplemento mostraron un incremento de peso significativo (1040.30 g frente a 967 g en el grupo control), así como una mejora en la conversión alimenticia. Este estudio sugiere que el uso de fitobióticos es una alternativa viable a los antibióticos, mejorando tanto la eficiencia productiva como la sostenibilidad en la cría de cuyes.

Palabras clave: fitobióticos, predicción de rendimiento, conversión alimenticia, sostenibilidad, *Cavia porcellus*

ABSTRACT

The present research seeks to evaluate the use of a phytobiotic in the fattening phase of guinea pigs (*Cavia porcellus*) by predicting its impact on weight gain, feed consumption and feed conversion. A predictive model based on linear regression was developed to estimate the benefits of the phytobiotic. The guinea pigs that received the supplement showed a significant weight increase (1040.30 g compared to 967 g in the control group), as well as an improvement in feed conversion. This study suggests that the use of phytobiotics is a viable alternative to antibiotics, improving both productive efficiency and sustainability in guinea pig farming.

Keywords: phytobiotics, yield prediction, feed conversion, sustainability, *Cavia porcellus*

- 1 Instituto Superior Público Huando, Huaral, Perú
- 2 Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, Perú

Autor de correspondencia:
jmtimana@isthuando.edu.pe

© Los autores. Este artículo es publicado por la Revista Campus de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad de San Martín de Porres. Este artículo se distribuye en los términos de la Licencia Creative Commons Atribución No-Comercial – Compartir-Igual 4.0 Internacional (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>), que permite el uso no comercial, distribución y reproducción en cualquier medio siempre que la obra original sea debidamente citada. Para uso comercial contactar a: revistacampus@usmp.pe.

<https://>

Introducción

La producción agropecuaria enfrenta desafíos técnicos importantes, especialmente en optimización de los costos de alimentación y el control sanitario (Guevara *et al.*, 2021). La cría de cuyes (*Cavia porcellus*) es una actividad económica de gran importancia en varias regiones de Perú, incluyendo Huaral, donde se requiere una mejora continua en la eficiencia productiva y la sostenibilidad. Tradicionalmente, se han utilizado antibióticos como promotores de crecimiento para mejorar el rendimiento, pero uso indiscriminado ha generado problemas como el desarrollo de resistencia antimicrobiana, afectando tanto la salud pública como la eficiencia del sistema productivo (Mohammadi & Kim, 2017).

Ante esta problemática, las normas internacionales, como la prohibición de la Unión Europea en 2006 del uso de antibióticos no terapéuticos en la alimentación animal (OMS, 2017), han impulsado el desarrollo de soluciones alternativas. Siendo, los fitobióticos, compuestos derivados de plantas con propiedades antimicrobianas y promotoras del crecimiento, siendo una tecnología emergente con de optimización tanto para la productividad animal como para la sostenibilidad del sistema agropecuario (Pajuelo *et al.*, 2024; Honorio-Javes *et al.*, 2021; Caicedo *et al.*, 2022). Estos aditivos naturales no solo mejoran la salud y el rendimiento de los animales, sino que también contribuyen a la sostenibilidad ambiental y económica de las prácticas agropecuarias (Gara *et al.*, 2018; Kikusato, 2021; Pashtetsky *et al.*, 2020).

Desde una perspectiva de ingeniería aplicada, el uso de fitobióticos puede ser analizado mediante modelos predictivos que permitan evaluar su impacto en la eficiencia alimentaria y la rentabilidad de la producción. Estas sustancias, al mejorar la conversión alimenticia y la absorción de nutrientes, pueden integrarse en un enfoque de optimización que incluya el análisis estadístico y la modelización matemática de los parámetros productivos, tales como ganancia de peso y consumo de alimento (Bastos *et al.*, 2021; Rose & Gudipati, 2023; Buenaño & Sánchez, 2022).

El objetivo de esta investigación es evaluar el impacto del uso de fitobióticos como promotores naturales de producción en cuyes durante su fase de engorde, abordando su eficiencia a través de métodos cuantitativos y modelos predictivos. Este enfoque tiene el potencial de mejorar la sostenibilidad de la producción y proporcionar una alternativa viable a los antibióticos en la industria agropecuaria, alineándose con las demandas actuales de una mayor eficiencia y responsabilidad ambiental.

Método

Ubicación del estudio

El estudio se llevó a cabo en el módulo de cuyes del Instituto Superior Público Huando en Huaral, Perú.

Materia biológica

Cuyes machos destetados de tres semanas de edad.

Fitobiótico

Promotor de Producción Natural. Compuesto por: Aminoácidos Esenciales (Ácido Aspártico, Ácido Glutámico, Serina, Histidina, Glicina, Treonina, Arginina, Alanina, Tirosina, Cistina, Valina, Metionina, Fenilalanina, Isoleucina, Leucina, Lisina, Prolina), Extractos de Plantas (Racacha, Maca, Tarwi, Alfalfa, Alcachofa, Sábila, Camú Camú) y Minerales Orgánicos y Ácidos Orgánicos (Enriquecen la fórmula, potenciando la actividad).

Insumos

Los cuyes fueron alimentados con una dieta estándar complementada con agua. La dieta para los cuyes se compuso de los siguientes insumos (Tabla 1):

Tabla 1

Ración de cuyes de engorde

| Insumos | Porcentaje |
|-----------------------|------------|
| Sub producto de trigo | 49,675 |
| Torta de soya | 24,000 |
| Maíz polvillo | 25,000 |
| Sal | 0,500 |
| Sulfato de cobre | 0,125 |
| Vitaminas | 0,500 |
| Metionina | 0,100 |
| Lisina | 0,100 |
| Total | 100,000 |

Diseño experimental

Se utilizó un diseño de prueba de Wilcoxon para datos no paramétricos y relacionados, evaluando dos tratamientos:

Tratamiento T0: Sin fitobiótico

Tratamiento T1: Con fitobiótico a razón de 6 mL por litro de agua de bebida.

Variables evaluadas

Variables dependientes: Consumo de alimento, incremento de peso y conversión alimenticia.

Variable independiente: Uso del producto Promotor de Producción Natural.

Población y muestra

La población considerada para la investigación incluyó cuyes de la localidad de Huaral. La muestra estuvo compuesta por 20 cuyes machos destetados, divididos en dos grupos de 10 cuyes cada uno (T0 y T1).

Técnicas de recolección y análisis de datos

Se midieron y registraron las variables mencionadas a lo largo de un período de 60 días. Los datos se analizaron utilizando el programa SPSS Statistics de IBM.

Mérito económico

Se evaluó el mérito económico para determinar la eficiencia en términos de costos y beneficios. Los costos directos incluyeron el precio del forraje y el alimento, mientras que los costos indirectos consideraron movilidad, medicinas, desinfectantes y gastos de personal. Se calculó el beneficio neto y el mérito económico porcentual para cada tratamiento.

Vinculación con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS)

La investigación se alineó con varios ODS, incluyendo:

ODS 2: Hambre Cero, al mejorar la eficiencia de la alimentación de cuyes.

ODS 3: Salud y Bienestar, al buscar alternativas sostenibles en la alimentación animal.

ODS 12: Producción y Consumo Responsables, promoviendo prácticas alimentarias más eficientes y sostenibles.

ODS 15: Vida de Ecosistemas Terrestres, al respaldar prácticas agrícolas amigables con el medio ambiente

Resultados y Discusión

Incremento de peso

El estudio evaluó los efectos del fitobiótico en el incremento de peso de los cuyes durante la fase de engorde. Los cuyes que recibieron el fitobiótico (T1) mostraron un incremento promedio de peso 1040,30 g al final del período de 60 días, mientras que el grupo control (T0) tuvo un incremento promedio de 967 g (Tabla 2). La diferencia observada fue estadísticamente significativa ($p = 0.068$), indicando una tendencia positiva hacia un mayor incremento de peso con el uso del fitobiótico. Esto sugiere que los compuestos bioactivos presentes en el fitobiótico mejoran la digestibilidad y absorción de nutrientes. Esto influye en las características de la canal, mejora de la calidad de la carne y los parámetros de producción (Voroshilin *et al.*, 2020).

Diversas investigaciones han reportado que los fitobióticos, al ser utilizados continuamente, mejoran el rendimiento productivo y la calidad de los productos, garantizando su inocuidad (Liebl *et al.*, 2022; Yu *et al.*,

2022), debido a que disminuyen la carga patógena negativa, aumentan la secreción de mucosa y tienen efectos positivos sobre las características morfométricas del sistema gastrointestinal. Además, mejoran la digestibilidad de los alimentos y actúan como antioxidantes (Rafeeq *et al.*, 2022).

Los fitobióticos han demostrado incrementar significativamente la ganancia de peso en diferentes especies animales. En pollos de engorde, se ha observado un mayor aumento de peso (Jahja *et al.*, 2023; Samantaray & Nayak, 2022), mientras que en cuyes se ha reportado un incremento en el contenido de proteínas y minerales de la carne (Voroshilin *et al.*, 2020). En ovinos, el uso de Castanea sativa ha resultado en una mayor ganancia de peso (Gao *et al.*, 2024).

Consumo de alimento

El consumo de alimento mostró diferencias entre los dos grupos. El grupo control consumió un total de 4870,50 g de alimento, mientras que el grupo con fitobiótico consumió ligeramente menos, con un total de 4780,00 g. Esta reducción en el consumo de alimento con el uso del fitobiótico fue estadísticamente significativa ($p = 0,068$). El menor consumo de alimento sugiere una posible mejora en la eficiencia alimenticia.

En estudios realizados en aves y cerdos, se han reportado que la ingesta de alimentos y las secreciones digestivas aumentan cuando se suplementan alimentos con fitobióticos (Windisch y Kroismayr, 2006). Los efectos beneficiosos de los aceites esenciales incluyen la estimulación del apetito, mejora de la secreción de enzimas relacionadas con la digestión y la activación de la respuesta

inmune (Gopal & Asmita, 2014). Estos aditivos se administran a los animales en forma de aceites esenciales, polvos y extractos con el objetivo de mejorar el consumo de alimento (Caicedo & Caicedo 2021).

Conversión alimenticia

En cuanto a la conversión alimenticia, los cuyes del grupo control mostraron una eficiencia de 8.62, mientras que los cuyes que recibieron el fitobiótico presentaron una conversión alimenticia mejorada con un promedio de 7.36. Esta mejora fue significativa ($p = 0.068$), sugiriendo una mayor eficiencia alimentaria con el uso del fitobiótico. La mejora en la eficiencia de conversión alimenticia indica que estos aditivos pueden ayudar a los productores a lograr una producción más sostenible al reducir la cantidad de alimento necesario para obtener el mismo o mayor rendimiento en peso.

La utilización de fitobióticos a base de *Origanum vulgare* ha demostrado disminuir la conversión alimenticia, según estudios previos (Ayala *et al.*, 2011), lo que respalda la eficacia de estos aditivos naturales en la optimización de la producción animal. Además, se ha observado que estos fitobióticos mejoran la digestibilidad de los nutrientes (Yan *et al.*, 2010) y la conversión alimenticia (Caicedo *et al.*, 2022).

Los fitobióticos mejoran el sabor del alimento, la secreción de enzimas digestivas, la motilidad gástrica e

intestinal, la estimulan tanto la respuesta endocrina como la inmune. También, tiene actividad antiinflamatoria y antioxidante, lo que resulta en mejoras en el consumo de alimento, la digestibilidad, la conversión alimentaria y el peso de los animales (Madrid *et al.* 2018; Herrera & Trigueros, 2019). Además, presentan un gran potencial bactericida contra *Enterococcus faecalis*, *Clostridium* spp, *Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli* y *Salmonella* spp (Ahmed *et al.*, 2013; Cárdenas, 2014).

El aumento de la palatabilidad de las dietas se asocia con las características sensoriales proporcionadas por los aditivos vegetales al alimento (Liptosa, 2020). Existen productos que actúan como antioxidantes en el tracto gastrointestinal, capaces de retardar o evitar la oxidación de la célula (Saldivar, 2019). La acción microbiana se debe a la presión ejercida sobre la membrana celular, provocando desequilibrios que comprometen el equilibrio osmótico y terminan con la lisis de las bacterias (Vásquez, 2015; Suryanarayana & Durga, 2018).

La salud e integridad del tracto gastrointestinal son claves en la productividad de los animales; un tracto digestivo saludable mantiene su funcionalidad estructural y bioquímica, y posee una población microbiana equilibrada (Saldivar, 2019). Además, debido a que la mayoría de los anticuerpos se producen en los intestinos, por ello un manejo adecuado de la alimentación permite mantener al animal saludable (FAO, 2016).

Tabla 2

Parámetros productivos

| Quincena | Incremento de peso | | Consumo de alimento | | Conversión alimenticia | |
|------------|--------------------|-----------------|---------------------|-----------------|------------------------|-----------------|
| | Sin fitobiótico | Con fitobiótico | Sin fitobiótico | Con fitobiótico | Sin fitobiótico | Con fitobiótico |
| Quincena 1 | 120.20 | 148.90 | 1,050.40 | 1,032.20 | 8.739 | 6.932 |
| Quincena 2 | 219.50 | 260.50 | 2,251.70 | 2,210.40 | 10.258 | 8.485 |
| Quincena 3 | 458.00 | 480.40 | 3,470.70 | 3,409.70 | 7.578 | 7.098 |
| Quincena 4 | 617.50 | 689.70 | 4,870.50 | 4,780.00 | 7.887 | 6.931 |

Mérito económico

El mérito económico evalúa la eficiencia de un proyecto de investigación o producción en términos de generación

de ganancias económicas. Analizando la inversión inicial y las ganancias esperadas, se pueden tomar decisiones de manera más completa y equilibrada.

Tabla 3

Costos directos

| Costo directo por 10 cuyes Total (S/.) | Precio unitario (S/.) | Consumo de alimento sin fitobiótico kg | Consumo de alimento con fitobiótico kg |
|--|-----------------------|--|--|
| Precio de forraje | 1.00 | 19.72 | 19.72 |
| Precio del alimento | 3.00 | 28.99 | 28.07 |

Tabla 4

Costos indirectos

| Costo indirecto por 10 cuyes Día (S/.) | |
|--|-----|
| Movilidad | 30 |
| Medicinas | 45 |
| Desinfectantes | 25 |
| Gastos personal | 50 |
| Total | 150 |

Tabla 5

Mérito económico

| Indicadores | Sin fitobiótico | Con fitobiótico |
|---------------------------------|-----------------|-----------------|
| Peso de los cuyes a la venta | 9.67 | 10.40 |
| Precio del kilo de cuy | 38.46 | 38.46 |
| Ingreso Bruto día | 371.91 | 400.10 |
| Costo Directo* | 106.68 | 103.93 |
| Costo Indirecto + Eventualidad* | 225.00 | 225.00 |
| Costo Total | 331.68 | 328.93 |
| Beneficio Neto | 40.23 | 71.17 |
| Mérito Económico % | 12.13 | 21.64 |

*: Incluye los costos + eventualidad

El análisis económico en el contexto de 20 animales indica que, después de la implementación del fitobiótico, la eficiencia económica del sistema de producción mejoró, pasando de un 12.13% a un 21.64%. Este aumento sugiere una mayor rentabilidad y eficiencia en la utilización de recursos con la introducción del fitobiótico en la alimentación de cuyes. Cabe destacar que el alimento representa entre 60 y 70 % de los costos totales de producción (Caicedo & Caicedo 2021).

Conclusiones

La incorporación de fitobióticos en la dieta de cuyes ha demostrado ser una alternativa eficiente a los antibióticos, mejorando la ganancia de peso y la conversión alimenticia. Este estudio, permite prever que la implementación de estos suplementos en la producción animal optimizará el rendimiento, promoviendo prácticas más sostenibles.

Referencias

- Ahmed, S.T., Hossain, M.E., Kim, G.M., Hwang, J.A., Ji, H. & Yang, C.J. 2013. "Effects of Resveratrol and Essential Oils on Growth Performance, Immunity, Digestibility and Fecal Microbial Shedding in Challenged Piglets". *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 26(5), 683-690, ISSN: 1976-5517. <https://doi.org/10.5713/ajas.2012.12683>.
- Ayala, Silvana, N., Zocarrato, I., & Sarai. (2011). Uso de orégano vulgar (*Origanum vulgare*) como fitobiótico en el engorde de conejos. *Cuban Journal of Agricultural Science*, 45(2). <https://cjascience.com/index.php/CJAS/article/view/136>
- Bastos, A. J., Valdiviezo, M. J., Silva, C. A., Ana, P., & Rodrigues, L. B. F. (2021). O outro lado dos ácidos orgânicos e fitogênicos. *Pubvet*, 15(06), 1-8. <https://doi.org/10.31533/PUBVET.V15N06A837.1-8>
- Buenaño, H. C. X., & Sánchez, L. R. B. (2022). Uso del jengibre (*Zinger officinale*) y cúrcuma (*Curcuma longa*) como aditivos fitobioticos en lechones posdestete. *Revista Arbitrada Interdisciplinaria Koinonía*, 7(14), 32-43. <https://doi.org/10.35381/r.k.v7i14.1853>
- Caicedo, W., & Caicedo, L. (2021). "Comportamiento productivo de cerdos comerciales en crecimiento alimentados con ensilado de papa (*Solanum tuberosum* L.) de rechazo". *Livestock Research for Rural Development*, 33(4). <http://www.lrrd.org/lrrd33/4/3351orlan.html>.
- Caicedo, W., Margoth Chinque Deisy, & Jimena Grefa Vanessa. (2022). Aditivos fitobióticos y su efecto en el comportamiento productivo de los cerdos. *Revista Cubana de Ciencias Agropecuarias*, 56(2).
- Cárdenas, M. 2014. Utilización de mananoligosacáridos en dietas de cerdos en etapa de crecimiento.

- Veterinarian Thesis. Universidad Politécnica Salesiana, Cuenca, Ecuador, 100 p.
- Honorio-Javes, C. E., Vallenas-Sánchez, Y., Bazán Pérez, J. T., Antenor Orrego Trujillo, P., Av América Sur, P., & Monserrate, urb. (2021). Coctel de bacteriófagos como sustituto de promotores de crecimiento tipo antibiótico en avicultura. *Scientia Agropecuaria*, 12(4), 499-508. <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2021.054>
- FAO. (2016). Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura. Producción y Sanidad Animal. <http://www.fao.org/ag/againfo/themes/es/pigs/home.html>. [
- Gao, C., Qi, M., & Zhou, Y. (2024). Chestnut tannin extract modulates growth performance and fatty acid composition in finishing Tan lambs by regulating blood antioxidant capacity, rumen fermentation, and biohydrogenation. *BMC Veterinary Research*, 20(1). <https://doi.org/10.1186/s12917-023-03870-3>
- Gara, L., Orsin, F., Nicoletti, I., & Corradini, D. (2018). Aspectos Fundamentales y Prácticos de la Cromatografía Líquida y Técnicas de Electromigración Capilar para el Análisis de Compuestos Fenólicos en Plantas y Alimentos Derivados de Plantas, Parte 1: Cromatografía Líquida. *LCGC Europa*, 31(9), 480-490.
- Gopal, K., & Asmita, N. (2014). Use of essential oils in poultry nutrition: A new approach. *J. Adv. Vet. Anim. Res.*, 1(4): 156-162.
- Guevara, J., Carcelén, F., & García, T. (2021). Comportamiento productivo de cuyes (*Cavia porcellus* L.) en crecimiento suplementados con prebióticos y probióticos naturales. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 22(3), e1920. Epub August 31, 2021. https://doi.org/10.21930/rcta.vol22_num3_art:1920
- Herrera, G.A. & Trigueros, J.M. 2019. Efecto del fitobiótico Digestarom® Finish en el desempeño productivo de cerdos de engorde. Engr. Thesis. Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, Honduras, 19 p.
- Jahja, E. J., Yuliana, R., Simanjuntak, W. T., Fitriya, N., Rahmawati, A., & Yulinah, E. (2023). Potency of *Origanum vulgare* and *Andrographis paniculata* extracts on growth performance in poultry. *Veterinary and Animal Science*, 19, 100274. <https://doi.org/10.1016/j.vas.2022.100274>
- Kikusato, M. (2021). Phytobiotics to improve health and production of broiler chickens: functions beyond the antioxidant activity. *Animal Bioscience*, 34(3), 345-353. <https://doi.org/10.5713/ab.20.0842>
- Liebl, M., Gierus, M., Rocchi, E., Potthast, C., & Schedle, K. (2022). Effects of energy reduced diets including alternative protein sources and a phytogenic supplement on performance, carcass traits and

- digestibility in broiler chickens. *Journal of Applied Poultry Research*, 31(3), 100265. <https://doi.org/10.1016/J.JAPR.2022.100265>
- Liptosa. 2020. Nuevas Aplicaciones de Fitobióticos y Nutraceuticos a la salud Intestinal. Available: <https://millingandgrain.co/entrada/nuevas-aplicaciones-de-fitobioticos-y-nutraceuticos-a-la-salud-intestinal-22066>.
- Madrid, T., López, A. & Parra, J. 2018. “Efecto del aceite esencial de orégano (*Lippia origanoides*) sobre metabolitos sanguíneos en pollos de engorde”. *Revista de Medicina Veterinaria*, 1(37): 25-33. <https://doi.org/10.19052/mv.vol1.iss37.3>.
- Mohammadi, M., & Kim, IH (2017). Fitobióticos en la nutrición de aves y cerdos: una revisión. *Revista Italiana de Ciencia Animal*, 17(1), 92–99. <https://doi.org/10.1080/1828051X.2017.1350120>
- Organización Mundial de la Salud (OMS). (2017). Dejemos de administrar antibióticos a animales sanos para prevenir la propagación de la resistencia a los antimicrobianos. <https://www.who.int/es/news/item/07-11-2017-stop-using-antibiotics-in-healthy-animals-to-prevent-the-spread-of-antibiotic-resistance>
- Pajuelo, F., Castro, D., Honorio, C., Hernández, J., & Vega, R. (2024). ¿Cuál es el rol de los fitobióticos en la producción animal?: Beneficios, biodisponibilidad, desafíos actuales y futuros. *Manglar*, 21(1), 115-126. <https://dx.doi.org/10.57188/manglar.2024.012>
- Pashtetsky, P., Ostapchuk, P., Kuevda, T., Zubochenko, D., Yemelianov, Y., & Uppe, V. (2020). Use of phytobiotics in animal husbandry and poultry, *Web de la conferencia E3S*, 215.. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202021502002>
- Rafeeq, M., Bilal, R. M., Alagawany, M., Batool, F., Yameen, K., Farag, M. R., Ali, S., Elnesr, S. S., & El-Shall, N. A. (2022). The use of some herbal plants as effective alternatives to antibiotic growth enhancers in poultry nutrition. *World's Poultry Science Journal*, 78(4), 1067-1085. <https://doi.org/10.1080/00439339.2022.2108362>
- Rose. M., & Gudipati, S. (2023). Aqua phytobiotics the aqua herbals. *International Journal of Engineering Technology and Management Sciences*, 7(2), 798-801. [10.46647/ijetms.2023.v07i02.086](https://doi.org/10.46647/ijetms.2023.v07i02.086)
- Saldívar, D. (2019). Fitobióticos en el Mantenimiento de la Salud Intestinal y Desempeño Productivo en Cerdos. <https://bmeditores.mx/porcicultura/fitobioticos-en-el-mantenimiento-de-la-salud-intestinal-y-desempeno-productivo-en-cerdos-2309/>
- Samantaray, L., & Nayak, Y. (2022). Influence of Phytobiotic Essential

- Oils on Growth Performance and Hematological Parameters of Broiler Chickens. *Advances in Animal and Veterinary Sciences*, 10(6), 1189-1422. <https://doi.org/10.17582/journal.aavs/2022/10.6.1289.1295>
- Suryanarayana, M.A. & Durga, S. 2018. "Role of Phytogenic Feed Additives in Swine Production-A Review". *International Journal of Environment, Agriculture and Biotechnology*, 3(3), 1071-1078. <https://doi.org/10.22161/ijeab/3.3.46>.
- Windisch W, Schedle K, Plitzner C, Kroismayr A. Use of phytogenic products as feed additives for swine and poultry. *J Anim Sci*. 2008 Apr;86(14 Suppl): E140-8. doi: 10.2527/jas.2007-0459.
- Vásquez, E. 2015. Actividades Biológicas de Extractos de Plantas y de sus Combinaciones. PhD Thesis. Universidad Autónoma de Madrid, Madrid, España, 224 p.
- Voroshilin, R. A., Kurbanova, M. G., Rassolov, S. N., & Ulrikh, E. V. (2020). Rabbit dietary supplementation with echinacea purpurea l.: The quality profile of rabbit meat. *Food Processing: Techniques and Technology*, 50(2), 185-193. <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2020-2-185-193>
- Yan, L., Wang, J., Kim, J., Meng, Q., A.O, X., Hong, S. & Kim, H. 2010. "Influence of essential oil supplementation and diets with different nutrient densities on growth performance, nutrient digestibility, blood characteristics, meat quality and fecal noxious gas content in grower-finisher pigs". *Livestock Science*, 128(1-3), 115-122. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2009.11.008>.
- Yu, S. J., Bajagai, Y. S., Petranyi, F., & Stanley, D. (2022). Phytogen Improves Performance during Spotty Liver Disease by Impeding Bacterial Metabolism and Pathogenicity. *Applied and Environmental Microbiology*, 88(18).

Tecnología de naturación vertical y su efecto en el confort térmico en edificaciones comerciales de Lima

Vertical naturation technology and its effect on comfort thermal in commercial buildings in Lima

Recibido: agosto 10 de 2024 | Revisado: octubre 16 de 2024 | Aceptado: noviembre 08 de 2024

FREDY PORFIRIO CONDORI HUAMÁN¹

RESUMEN

La presente investigación tuvo como objetivo analizar los efectos de la naturación vertical en el confort térmico, dentro de la edificación comercial Centro Lima, ubicada en el distrito de Lima, utilizando la mini estación meteorológica Kestrel 5500 y registradores de temperatura y humedad, con la finalidad de proponer la naturación vertical (jardines verticales) en el interior de edificaciones comerciales de Lima Metropolitana. Para ello, se utilizó un diseño experimental piloto y se llegó a las siguientes conclusiones: las condiciones ambientales de confort térmico dentro de la edificación comercial investigada no cumplen con las disposiciones mínimas de seguridad y salud en lugares de trabajo ya que exceden los niveles de temperatura y existe una baja humedad, con escasa velocidad del viento. La naturación vertical instalada incide, favorablemente, en el confort térmico dentro de la edificación comercial, regulando los parámetros básicos y ubicándolos dentro de las disposiciones mínimas de seguridad y salud en lugares de trabajo.

Palabras clave: Naturación vertical, edificación comercial, confort térmico

ABSTRACT

The purpose of this research was to analyze the effects of vertical nature on thermal comfort, within the Centro Lima commercial building, located in the district of Lima, using the Kestrel 5500 mini weather station and temperature and humidity recorders, with the purpose of proposing vertical nature (vertical gardens) inside commercial buildings of Metropolitan Lima. For which a pilot design was used, reaching the following conclusions: the environmental conditions of thermal comfort within the commercial building under investigation do not comply with the minimum safety and health provisions in workplaces, since they exceed the temperature levels and there is low humidity with low wind speed. The installed vertical nature favorably affects thermal comfort within the commercial building, regulating the basic parameters and placing them within the minimum health and safety regulations in workplaces.

Keywords: Vertical nature, commercial building, thermal comfort

¹ Universidad Nacional Federico Villarreal, Lima, Perú

Autor de correspondencia:
ing.fredycondori@gmail.com

© Los autores. Este artículo es publicado por la Revista Campus de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad de San Martín de Porres. Este artículo se distribuye en los términos de la Licencia Creative Commons Atribución No-Comercial – Compartir-Igual 4.0 Internacional (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>), que permite el uso no comercial, distribución y reproducción en cualquier medio siempre que la obra original sea debidamente citada. Para uso comercial contactar a: revistacampus@usmp.pe.

https:

Introducción

En la actualidad, ya no puede negarse la conexión entre el uso de un edificio como lugar de trabajo o vivienda y la aparición de enfermedades, siendo la contaminación de diversos tipos presente en el edificio o mala calidad del aire en interiores, la principal responsable. Los efectos adversos de esta deficiente calidad del aire en espacios cerrados afectan a muchas personas, ya que se ha demostrado que los habitantes de las ciudades pasan entre el 58 y el 78 % de su tiempo en un ambiente interior que se encuentra contaminado en mayor o menor grado (Guardino, 2003).

La calidad del aire que respiramos incide de manera significativa en nuestra calidad de vida, por lo que resulta la causante de muchas enfermedades respiratorias que afectan nuestra salud y confort. En la presentación de la Guía de Calidad del Aire Interior, se describe que, en algunas ocasiones, es dentro de las edificaciones donde la contaminación del aire es superior, llegando a ser hasta cinco veces más contaminado que en el exterior (Comunidad de Madrid, 2016).

Cabrera & Salazar, (2016), plantearon mejorar el confort termo higrométrico en ambientes cerrados, a través de la implementación de dos prototipos de jardines verticales, uno conformado por helechos y otro por una asociación de plantas, para lo cual realizaron el registro de las condiciones ambientales con el equipo Questem p° 34, por cinco días, para un volumen de la cabina de 15,35 m³ y una área de 4 m² de jardín, llegando a las siguientes conclusiones: la especie helechos (*Nephrolepis exaltada*) en el prototipo

de jardín vertical obtuvo una mejor adaptación, días después del trasplante en el prototipo de jardín vertical creciendo y existiendo nueva brotes de ramas en los 10, 25 y 40 días.

Se concluye que es una planta excelente en eliminar ciertas sustancias contaminantes de Formaldehído en interiores determinado por la NASA (National Aeronautic and Space Administration).

Según Rivera, (2018), en su investigación titulada “Efecto de la aplicación de un jardín vertical, en la mejora de las condiciones ambientales en la I.E Francisco Tejada Rojas, Moyobamba – 2017” tuvo como objetivo evaluar el efecto de la aplicación de un jardín vertical en la mejora de las condiciones ambientales de temperatura y humedad relativa en la institución educativa, basada en un diseño experimental postest con grupo de control. El 22° grupo experimental es el que recibe la influencia de las variables de las condiciones ambientales como: Temperatura y humedad relativa, y el grupo control sirve de como referencia para apreciar las variaciones que se produzcan en el grupo anterior, llegando a las siguientes conclusiones, la aplicación de un jardín vertical ha permitido generar la mejora de las condiciones ambientales en la I.E “Francisco Tejada Rojas”, Moyobamba – 2017, puesto que en los resultados obtenidos se observa una diferencia significativa entre el grupo de control y experimental.

La aplicación de un jardín vertical, produce un 29% de la variación en la humedad; esto se establece puesto que la variación de las medias para el grupo control: 70.8±6.53 mientras que el grupo

experimental: 67 ± 5.88 , por lo tanto, se concluye que la aplicación del jardín vertical es favorable para la reducción de la humedad. La aplicación de un jardín vertical, produce un 17% de la variación pues las diferencias de las medias son mostradas: grupo de control: 23.07 ± 1.54 ; experimental: 21.28 ± 1.27 , por lo tanto, la aplicación del jardín vertical es favorable para el mejoramiento de las condiciones ambientales puesto que reduce la temperatura en el grupo control.

Según Shafiee *et al.* (2020), en su investigación titulada “Evaluación del efecto de los sistemas de muros vivos en la mejora del fenómeno de las islas de calor urbanas”, el cual tuvo como objetivo de esta investigación es estudiar el efecto de una pared viva de panel sobre la temperatura del aire ambiente y su efecto en la reducción de las fluctuaciones de temperatura diurnas y nocturnas. Se ha introducido un muro habitable como forma adecuada de reducir lo urbano isla calor fenómeno. Para lograr el propósito, se aplicó una pared viva al cuerpo de una cámara controlable y se utilizaron dos registradores de datos de temperatura y humedad. En el primer experimento se comparan tres tipos de muros, incluido un muro sin plantas, un muro con paneles y un muro vivo, durante tres días consecutivos.

En el segundo experimento, se coloca un dispositivo adyacente a la pared viva y otro en las mismas condiciones frente a una parte de la pared que no tiene plantas. Estos datos se registraron durante 24 h al día durante 10 días y se compararon. Para validar los resultados se utilizó una simulación por computadora con el programa ENVI-met. Los resultados muestran que el sistema de pared viva del

panel puede reducir la temperatura del aire ambiente hasta en $8,7$ °C. Además, la pared viva reduce las fluctuaciones de temperatura al disminuir las temperaturas máximas y aumentar las mínimas del aire ambiente. Durante las horas de radiación solar, la temperatura bajó una media de $2,59$ °C. Se concluye que los muros habitables pueden mejorar efectivamente lo urbano isla calor fenómeno por reducir su entorno’ temperaturas

Susca, *et al.* (2022), en su investigación titulada “Efecto de la instalación de muros verdes en la isla de calor urbana y el uso de energía en los edificios: una revisión sistemática de la literatura basada en el clima”, a través de análisis realizados demostraron que las paredes verdes, pueden reducir la demanda de energía de calefacción y refrigeración de los edificios hasta un 16,5% y 51%, respectivamente, y mitigar el fenómeno de isla de calor urbano (UHI) hasta 5 °C en todas las zonas climáticas investigadas; puede disminuir en mayor medida las necesidades energéticas del edificio cuando se aplica en contextos urbanos de baja densidad donde se pueden instalar en todo el edificio. Además, cuando se aplica a un sencillo fachada, se debe preferir la orientación sur en la mayoría de las zonas climáticas para maximizar ahorro energético en edificios; tiene el mejor potencial de mitigación de UHI—hasta 8 °C— en áreas altamente urbanizadas con calles estrechas rodeadas de edificios de gran altura.

Cardinali *et al.* (2023), en su investigación titulada “Muros verdes y salud: una revisión general”, encontraron pruebas sólidas y consistentes de que los muros verdes pueden mitigar los efectos de la isla de calor urbana (temperatura

de la superficie diurna: $-0,3\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $-31,9^{\circ}$, temperatura del aire diurno: $-0\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $-8,7\text{ }^{\circ}\text{C}$), la contaminación atmosférica (PM_{2,5}: -25% a -99% , PM₁₀: -23% a -60%) y la contaminación acústica (nivel de presión acústica: -1dBA a -5dBA). Se encontraron algunas pruebas de efectos de reducción del riesgo de catástrofes y de restauración.

De acuerdo con Suárez *et al.* (2024), en su investigación titulada “Evaluación de estrategias de enverdecimiento vertical en clima árido: el caso de las fachadas verdes”, el cual tuvo como objetivo evaluar el desempeño térmico de fachadas verdes tradicionales (FVT) sembradas con especies trepadoras perennes, en la estación de verano, en el Área Metropolitana de Mendoza, Argentina, localizada en un clima árido. Para ello, se monitorearon, durante un periodo de 30 días, temperaturas del aire exterior en el microclima mediato e interior en una cámara de aire, y superficiales exteriores e interiores, en un ensayo experimental. Dicho ensayo está compuesto por tres muros de mampostería, dos con FVT y el restante testigo sin cobertura vegetal, orientados al oeste y aislados en sus caras N, S y E; en esta última orientación alberga un recinto de aire. Se hallaron reducciones de temperatura de $3,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ del aire del entorno exterior a 30 cm del muro, de $6,2\text{ }^{\circ}\text{C}$ en la cámara de aire interior, de $17,8\text{ }^{\circ}\text{C}$ en la superficie de la cara exterior, de $7,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ en la superficie de la cara interior y hasta $2,0\text{ }^{\circ}\text{C}$ de variación entre las FVT con distintas especies vegetales. Estos valores demuestran el potencial de la aplicación de la estrategia sobre las temperaturas en su entorno mediato y los espacios interiores.

En nuestra ciudad (Lima), la deficiencia de áreas verdes, ha ocasionado entre otros problemas ambientales y sociales, una significativa reducción en la capacidad del medio natural para limpiar el ambiente de los agentes contaminantes producidos por el medio urbano, sus medios de transporte y su industria. Paralelo a esta situación, al disminuir la cantidad de áreas verdes se ha reducido la cantidad de absorción de rayos solares por la vegetación deviniendo en un incremento en la temperatura debido a la liberación nocturna de la energía calórica absorbida durante el día por las construcciones y superficies impermeables, generando cambios en el clima y microclima de la ciudad (Condori, 2019).

La presente investigación tiene como objetivo analizar los efectos de la tecnología de naturación vertical para el confort térmico en edificaciones comerciales del distrito de Lima.

Método

Esta investigación se basa en la aplicación del método científico. Considera un diseño experimental, de tipo cuantitativo y de nivel aplicativo, el mismo que se realizó utilizando el método no probabilístico a juicio del investigador. Se seleccionó la edificación comercial “Centro Lima”, ubicada en la Av. Bolivia 148 Urb. Cercado de Lima, con un área de $9\ 540\text{ m}^2$ y un aforo para 3250 personas en sus cuatro niveles. Entre las actividades más importantes están: Talleres de gigantografías, imprentas, viniles, fotocopias y ploteos.

La primera fase, consistió en evaluar las condiciones ambientales del confort térmico basado en las

disposiciones mínimas de seguridad y salud en los lugares de trabajo¹, para edificaciones comerciales del distrito de Lima; la segunda fue desarrollar un sistema piloto de jardín vertical (panel naturado), para interiores de edificaciones comerciales, considerando el diseño en AutoCAD, utilizando materiales de PCV y del sistema de riego tecnificado, para su implementación; así mismo, en la tercera fase se analizó la incidencia de la naturación vertical piloto, en el confort térmico de edificaciones comerciales, para lo cual se instaló el panel naturado (jardín vertical) dentro de la edificación (área de estudio seleccionado) y posteriormente se realizaron las mediciones de los parámetros de confort térmico en el área

con panel naturado y el área sin panel naturado, utilizando un registrador de temperatura y humedad y una mini estación meteorológica.

Resultados

Condiciones ambientales del confort térmico en la edificación comercial

La evaluación de las condiciones ambientales del confort térmico se realizó utilizando una miniestación meteorológica (Kestrel 5500) y un sensor de temperatura y humedad relativa (RHT-10 Versión 5.6) en las áreas seleccionadas dentro de la edificación comercial.

Tabla 1

Resultados de las condiciones ambientales 26 /01/2019

| Horas | Temperatura °C | Humedad % | Velocidad m/s |
|-------|----------------|-----------|---------------|
| 12:00 | 29.2 | 55.7 | 0 |
| 13:00 | 28.7 | 58.3 | 0 |
| 14:00 | 28.6 | 56.9 | 0 |
| 15:00 | 28.8 | 60.1 | 0 |
| 16:00 | 28.6 | 62.7 | 0 |
| 17:00 | 28.6 | 62.2 | 0 |
| 18:00 | 28.4 | 58.5 | 0,02 |

1 **Real Decreto 486/1997, Disposiciones mínimas de seguridad y salud en los lugares de trabajo, España.**

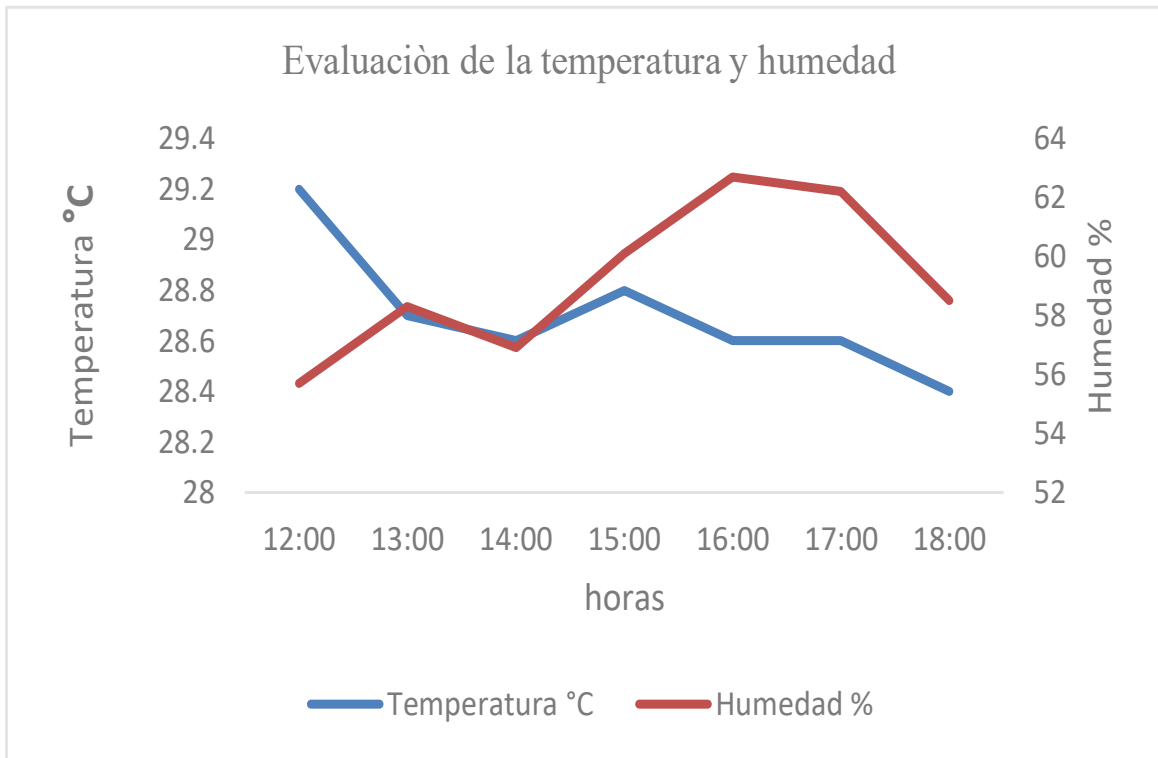
(...)

- La temperatura de los locales donde se realicen trabajos sedentarios propios de oficinas o similares estará comprendida entre 17 y 27 °C. La temperatura de los locales donde se realicen trabajos ligeros estará comprendida entre 14 y 25 °C.
- La humedad relativa estará comprendida entre el 30 y el 70 por 100, excepto en los locales donde existan riesgos por electricidad estática en los que el límite inferior será el 50 por 100.
- Los trabajadores no deberán estar expuestos de forma frecuente o continuada a corrientes de aire cuya velocidad exceda los siguientes límites: 1.º Trabajos en ambientes no calurosos: 0,25 m/s. 2.º Trabajos sedentarios en ambientes calurosos: 0,5 m/s. 3.º Trabajos no sedentarios en ambientes calurosos: 0,75 m/s.

(...)

Figura 1

Evaluación de la temperatura y humedad - día 26 /01/2019



En la Figura 1, la temperatura promedio obtenida (28,7° C), dentro de la edificación comercial, sobrepasa las disposiciones mínimas de seguridad y salud en los lugares de trabajo. Para actividades ligeras, la temperatura máxima admitida es de 25°C. Esto se presenta debido a los diferentes equipos y maquinarias que funcionan dentro de la edificación (impresas, plotters, troqueladoras, selladoras, cortadoras, computadoras, impresoras, fotocopiadoras, televisores, etc.) y los sistemas de iluminación, con los que trabajan los propietarios dentro de las galerías.

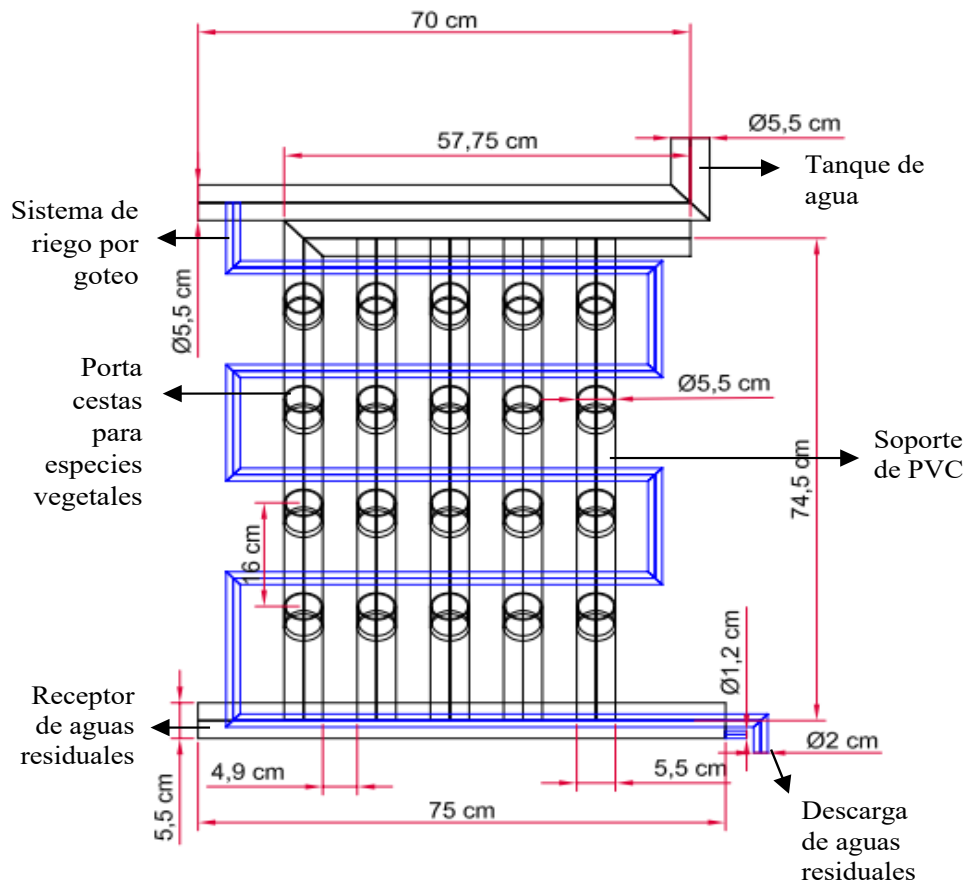
Así mismo, los sistemas de ventilación son deficientes y no están operativos en la mayoría de los casos ya

que la velocidad del viento obtenida es 0 m/s, cuando por normativa internacional (Real Decreto 486/1997), en ambientes calurosos no sedentarios es de 0,75 m/s, lo cual está generando un discomfort térmico en los operadores, usuarios y público visitante de la edificación comercial, alterando las condiciones ambientales internas lo que desencadena diversos problemas en la salud.

Diseño del jardín vertical piloto

El diseño de la estructura para la naturación vertical se realizó en el software AutoCAD, considerando un sistema de riego y los sistemas de drenajes para los residuos de aguas como se muestra en la Figura 2.

Figura 2
Diseño de la estructura para la naturación vertical

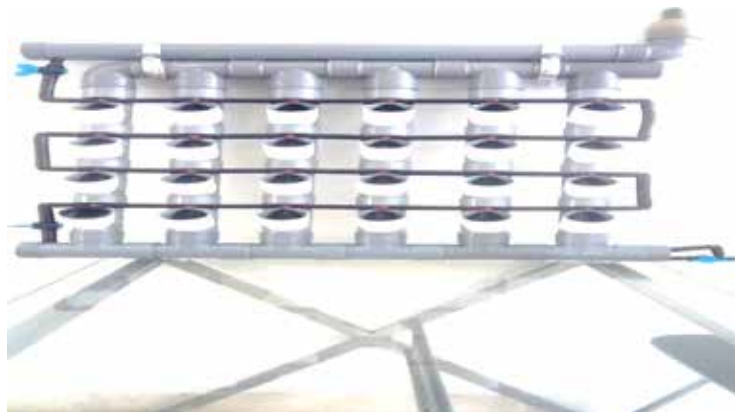


Ensamblado estructural del jardín vertical

Se realizó el ensamblado estructural con tubos de PVC (codos, yes y tes de dos pulgadas), y se ejecutaron cortes en

la parte superior de la porta cestas para la instalación de mangueras de riego de 16 mm con sus respectivas válvulas y goteros autocompensables. Así mismo, se instalaron las especies vegetales (*Aptenia cordifolia*) (Figuras 3 y 4).

Figura 3
Estructura y sistema de riego



Incidencia de la naturación vertical piloto en el confort térmico

Para analizar la incidencia de

la naturación vertical sobre el confort térmico se instaló el jardín vertical piloto dentro de la edificación comercial y realizaron las mediciones.

Figura 4
Panel con Aptenia cordifolia



Figura 5
Naturación vertical piloto proyectada dentro de la edificación comercial



Resultados de las mediciones con y sin naturación vertical

Las mediciones se realizaron con una mini estación meteorológica y registradores de temperatura y humedad

relativa en ambientes con naturación vertical y sin naturación vertical dentro de la edificación comercial, los mismos que fueron tomados, sincronizados en horario laboral, como se muestra en la siguiente figura.

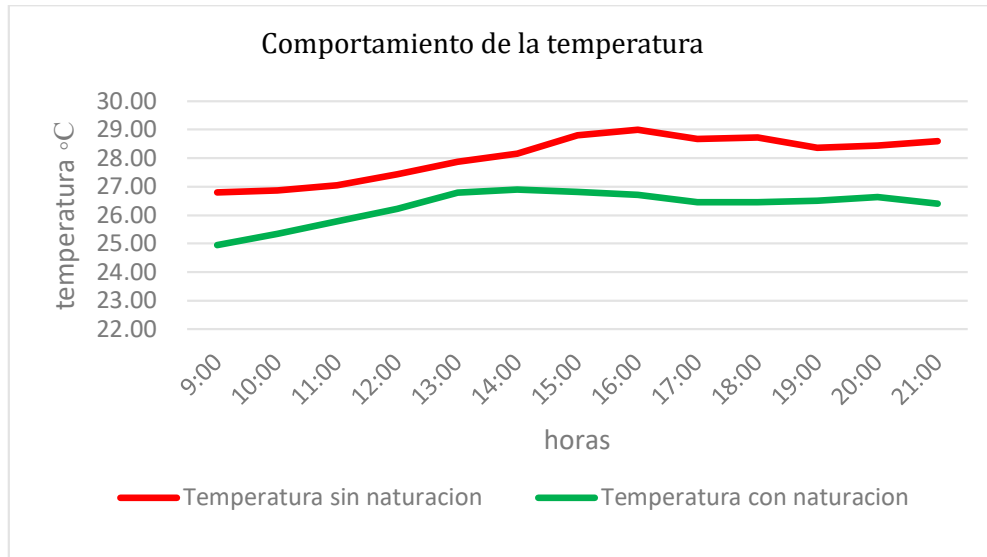
Temperatura

El comportamiento promedio de la Temperatura (T°) corresponde a

ocho días de mediciones, desde las 9:00 a 21:00 horas, horario de actividades de la edificación comercial.

Figura 6

Comportamiento promedio de la temperatura en los ocho días de medición



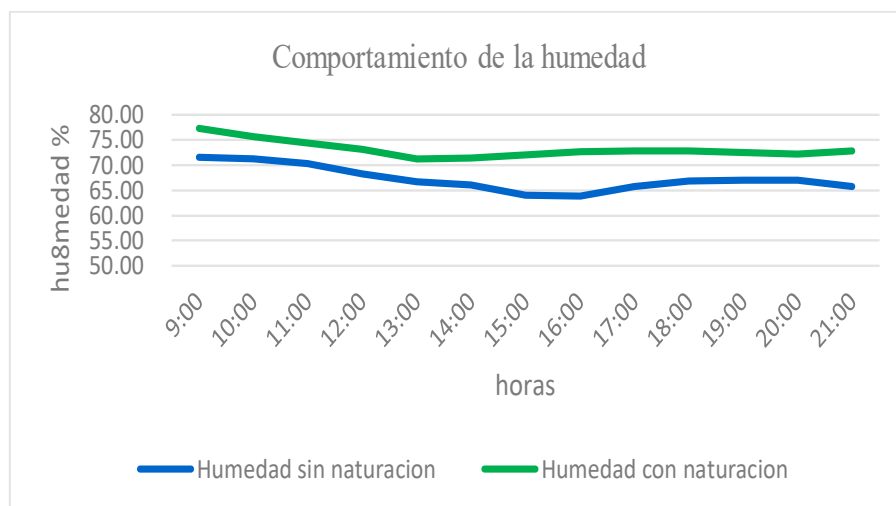
En la Figura 6, se observa que la instalación de la naturación vertical dentro de la edificación comercial, logró reducir en 2.3°C en promedio la temperatura, respecto al área sin naturación vertical (de $28,06^{\circ} \text{C}$ a $23,03^{\circ} \text{C}$ en promedio).

Humedad relativa

El comportamiento promedio de la humedad relativa (HR) corresponde a ocho días de mediciones, desde las 09:00 a 21:00 horas, horario de atención y actividades de la edificación comercial.

Figura 7

Comportamiento promedio de la humedad en los ocho días de medición



En la Figura 7, se observa el comportamiento de la humedad relativa en el área con la instalación de naturación vertical, logró incrementar en 5.91 % en promedio, respecto al área sin naturación vertical (de 67, 26 % a 73, 17 % en promedio).

Discusión

A diferencia de la investigación “Diseño de jardines verticales en el interior de viviendas y la calidad de vida de los habitantes de la parroquia La Merced, Ambato - Ecuador” (Salazar, 2017), que tuvo como objetivo plantear un diseño de jardines verticales en el interior de la vivienda como alternativa para mejorar la calidad de vida de los habitantes, mediante los múltiples beneficios que ofrece un espacio con vegetación, además de incorporar nuevos conceptos de construcción, acoplados con las necesidades actuales de conservación del medio ambiente. El tipo de investigación que se llevó a cabo fue descriptivo-exploratorio pues indaga en las características de un grupo y contexto particular, y estudia un tema poco explorado en nuestro entorno, el método de investigación empleado fue Inductivo-Deductivo por el análisis estadístico.

Los resultados obtenidos convergen en la tendencia de los habitantes de “La Merced”, a poseer plantas en sus hogares en un 65.6%, además de aseverar que existen condiciones de entorno hostiles, para el desarrollo del bienestar integral, siendo el factor dominante el ruido en un 42%, concluyendo, se definió el jardín vertical hidropónico, ya que es un tipo, que funciona en un espacio interior, su instalación debe estar sujeta a criterios

como: ubicación, cercano a una fuente de iluminación, análisis de las corrientes de aire, análisis de riego, análisis de las plantas a emplearse, el mantenimiento, la estructura, y el tamaño del jardín, con la finalidad de obtener todos los beneficios, tanto para los individuos que habitan el espacio, como para el entorno.

En la presente investigación se comparó de manera experimental dos ambientes con similares características dentro de la edificación comercial “Centro Lima”, ubicada en la Av. Bolivia 148 Urb. Cercado de Lima; instalando en una de ellas la naturación vertical (jardín vertical) y evaluando parámetros de confort térmico, considerado las condiciones ambientales señaladas en la normativa internacional “Disposiciones mínimas de seguridad y salud en los lugares de trabajo” del Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales de España (Real Decreto 486/1997), a fin de mejorar las condiciones ambientales dentro de las actividades laborales de los usuarios y trabajadores.

Conclusiones

El jardín vertical desarrollado, para interiores de edificaciones comerciales, se adaptó a los ambientes experimentales por su diseño de hidrosustrato, fácil manejo y mantenimiento con un sistema de riego por goteo, que puede ser replicado para lugares con similares características.

Las condiciones ambientales del confort térmico dentro de la edificación comercial investigada, no cumplen con las disposiciones mínimas de seguridad y salud en los lugares de trabajo, establecidas en la normativa internacional (Real Decreto 486/1997) ya que exceden los límites de temperatura y humedad relativa

y cuentan con escasos flujos del viento, por lo cual es importante contar con normas técnicas nacionales que regulen las disposiciones mínimas señaladas.

La naturación vertical piloto instalada dentro de la edificación

comercial incide, favorablemente, en el confort térmico, logrando reducir entre 2 a 3 °C de temperatura e incrementar entre 5 a 6 % la humedad relativa en promedio.

Referencias

- Cabrera, M. y Salazar, W. (2016). Construcción experimental de jardines verticales y su relación con el confort termo higrométrico en ambientes cerrados. *Industrial Data*, 19(2), 78-90. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=81649428010>
- Cardinali, M., Balderram, A., Arztmann, D. & Pottgiesser, U. (2023). Green walls and health: An umbrella review. *Nature-Based Solutions*, 3. <https://doi.org/10.1016/j.nbsj.2023.100070>
- Comunidad de Madrid. (2016). *Guía de calidad del aire interior*. <https://www.fenercom.com/wp-content/uploads/2016/11/Guia-de-Calidad-del-Aire-Interior-fenercom-2016.pdf>
- Condori, F. (2019). *Tecnología de naturación vertical y su efecto en el confort térmico en edificaciones comerciales de Lima Cercado*. [Tesis de maestría, Universidad Nacional Federico Villarreal]. Repositorio Institucional de la Universidad Nacional Federico Villarreal. <https://hdl.handle.net/20.500.13084/3888>
- Guardino, X. (2003). *Calidad del aire interior. Enciclopedia de Salud y Seguridad en el trabajo*. Ministerio de Trabajo y Asuntos sociales, 44. 1-33.
- Real Decreto 486/1997, de 14 de abril de 1997, por el que se establecen las disposiciones mínimas de seguridad y salud en los lugares de trabajo. *Boletín Oficial del Estado*, 97, de 23 de abril de 1997. <https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-1997-8669>
- Rivera J. (2018). *Efecto de la aplicación de un jardín vertical, en la mejora de las condiciones ambientales en la I.E Francisco Tejada Rojas, Moyobamba – 2017* [Tesis de pregrado, Universidad César Vallejo]. Repositorio digital institucional de la Universidad César Vallejo. <https://hdl.handle.net/20.500.12692/19165>
- Salazar, D. (2017). *Diseño de jardines verticales en el interior de viviendas y la calidad de vida de los habitantes de la parroquia La Merced* [Tesis de pregrado, Universidad Técnica de Ambato]. Repositorio institucional de la Universidad Técnica de

- Ambato. <http://repositorio.uta.edu.ec/handle/123456789/26160>
- Shafiee, E., Faizi, M., Yazdanfar, S. & Khanmohammadi, M. (2020). Assessment of the effect of living wall systems on the improvement of the urban heat island phenomenon. *Building and Environment*, 181. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2020.106923>
- Suárez, P., Cantón, M. y Correa, É. (2024). Evaluación de estrategias de enverdecimiento vertical en clima árido: el caso de las fachadas verdes. *Revista de Arquitectura (Bogotá)*, 26(2), 75-90. <https://doi.org/10.14718/RevArq.2024.26.5014>
- Susca, T., Zanghirella, F., Colasuonno, L. & Del Fatto, V. (2022). Effect of green wall installation on urban heat island and building energy use: A climate-informed systematic literature review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 159. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2022.112100>

Predicción del desempeño del motor diésel usando estrategias de regresión en machine learning

Prediction of diesel engine performance using regression strategies in machine learning

Recibido: setiembre 17 de 2024 | Revisado: octubre 25 de 2024 | Aceptado: noviembre 12 de 2024

CÉSAR ELÍAS MENDOZA-SUÁREZ¹
MARGARITA CHEVARRIA MOSCOSO²

RESUMEN

La inteligencia artificial ha alcanzado gran potencial en el desarrollo tecnológico, especialmente en la optimización de motores de combustión interna. Esta investigación busca pronosticar el desempeño de motores diésel utilizando estrategias de regresión en machine learning. El estudio, de enfoque cuantitativo y tipo aplicado, recopila datos de un motor diésel Komatsu de 30 litros y 1200 Hp mediante pruebas dinámicas. Se miden la potencia al freno, el torque y el consumo de combustible, monitoreando diversos parámetros operativos. Con los datos, se desarrolló un modelo de pronóstico usando regresión lineal múltiple en Python. Los resultados muestran una alta correlación entre los parámetros de entrada y salida, destacando la presión del múltiple de admisión como el más relevante. Las predicciones alcanzan altos valores de R²: torque (0.96), potencia al freno (0.97) y consumo instantáneo (0.98). Se determinan también los coeficientes del modelo de regresión aplicables a los parámetros de entrada. En conclusión, los algoritmos de machine learning, específicamente la regresión lineal múltiple, son efectivos para predecir el comportamiento de motores diésel en pruebas dinámicas.

Palabras clave: Inteligencia artificial, Regresión lineal múltiple, Aprendizaje automático, machine learning, motor diésel, potencia, torque, consumo de combustible

ABSTRACT

Artificial intelligence has achieved great potential in technological development, especially in the optimization of internal combustion engines. This research seeks to forecast the performance of diesel engines using regression strategies in machine learning. The study, with a quantitative and applied approach, collects data from a 30-liter, 1200 HP Komatsu diesel engine through dynamometric tests. Brake power, torque and fuel consumption are measured, monitoring various operating parameters. Using the data, a forecasting model was developed using multiple linear regression in Python. The results show a high correlation between the input and output parameters, highlighting the intake manifold pressure as the most relevant. The predictions reach high R² values: torque (0.96), brake power (0.97) and instantaneous consumption (0.98). The coefficients of the regression model applicable to the input parameters are also determined. In conclusion, machine learning algorithms, specifically multiple linear regression, are effective in predicting the behavior of diesel engines in dynamometric tests.

Keywords: Artificial intelligence, Multiple linear regression, machine learning, diesel engine, power, torque, fuel consumption

- 1 Universidad Nacional de Ingeniería, Lima-Perú
- 2 Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima-Perú

Correo electrónico de contacto:
cmendoza@uni.edu.pe

© Los autores. Este artículo es publicado por la Revista Campus de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad de San Martín de Porres. Este artículo se distribuye en los términos de la Licencia Creative Commons Atribución No-Comercial – Compartir-Igual 4.0 Internacional (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>), que permite el uso no comercial, distribución y reproducción en cualquier medio siempre que la obra original sea debidamente citada. Para uso comercial contactar a: revistacampus@usmp.pe.

<https://>

Introducción

El desarrollo de la inteligencia artificial (IA) ha revolucionado numerosas áreas de la tecnología moderna, y su impacto en la industria automotriz ha sido especialmente significativo. En particular, los motores de combustión interna han experimentado una transformación en cuanto a su optimización y diagnóstico mediante el uso de algoritmos de machine learning. Estos avances han permitido a los ingenieros no solo mejorar el rendimiento de los motores, sino también predecir con mayor precisión su comportamiento, lo que se traduce en una mayor eficiencia operativa y reducción de emisiones contaminantes (Venkatesh & Murugesan, 2020).

El aprendizaje automático facilita el desarrollo de sistemas inteligentes capaces de operar de manera autónoma. Algoritmos como la regresión lineal, la regresión de vectores de soporte, y las redes neuronales han demostrado su capacidad para analizar grandes cantidades de datos históricos y generar modelos predictivos fiables. Estos algoritmos aprenden a partir de datos históricos, que son sometidos a análisis estadístico y reconocimiento de patrones. Una vez entrenado el modelo, puede predecir el comportamiento de motores diésel bajo diferentes condiciones operativas, optimizando su rendimiento y anticipando posibles fallos.

Los motores diésel son evaluados a partir de una serie de parámetros clave, entre los que se encuentran el torque de salida, la potencia al freno y el consumo de combustible. El torque de salida mide la capacidad del motor para generar fuerza rotacional, mientras que la potencia al freno es un indicador de la

eficiencia del motor para convertir energía en movimiento útil. El consumo de combustible, por otro lado, es crítico en la determinación de la eficiencia energética y el costo operativo de las máquinas. Estos parámetros son monitoreados continuamente, pero su predicción a través de modelos de machine learning puede ofrecer ventajas significativas para el mantenimiento predictivo y la mejora del rendimiento.

Diversos estudios han investigado la predicción del comportamiento de motores diésel utilizando algoritmos de machine learning. Shateri *et al.* (2024) emplearon técnicas de IA para predecir el consumo de combustible, utilizando algoritmos como redes neuronales y procesos gaussianos, logrando identificar los factores más influyentes en el consumo de diésel. Sunil *et al.* (2024) investigaron el comportamiento de motores alimentados con aceite de pirólisis, utilizando regresión lineal y demostrando que este modelo podía explicar el 93.6% de la variación del rendimiento del motor. En otros estudios, como el de Deheri y Acharya (2023), se utilizaron algoritmos como regresión de árboles de decisión (DTR) para predecir el rendimiento y las emisiones de motores con mezclas de biocombustibles, obteniendo un valor R² entre 0.9 y 0.99.

A pesar de los avances en el uso de machine learning para la predicción de parámetros de motores diésel, todavía existen desafíos relacionados con la precisión de las predicciones en condiciones operativas extremas o variables. Los modelos actuales, aunque efectivos, pueden beneficiarse de una mayor optimización y de la incorporación de nuevas técnicas de aprendizaje

automático para mejorar su rendimiento. El presente estudio tiene como objetivo desarrollar un modelo predictivo basado en machine learning que permita anticipar el comportamiento de motores diésel bajo diferentes condiciones operativas. El modelo propuesto integrará datos históricos y utilizó algoritmos de aprendizaje supervisado como la regresión lineal y las redes neuronales para generar predicciones precisas sobre parámetros clave como el torque, la potencia y el consumo de combustible, contribuyendo así a mejorar la eficiencia y reducir el impacto ambiental de estos motores.

Método

Esta investigación tuvo como objetivo predecir el comportamiento de un motor diésel a partir del análisis de una base de datos generada mediante

pruebas dinamométricas, utilizando algoritmos de machine learning, específicamente regresión lineal múltiple. Los datos recolectados se dividieron en dos conjuntos: uno para entrenamiento del algoritmo y otro para pruebas, donde se evaluará la calidad predictiva del modelo mediante métricas de regresión como el Error Absoluto Medio (MAE), Error Cuadrático Medio (MSE), Raíz del Error Cuadrático Medio (RMSE) y el coeficiente de determinación (R^2).

Se recopilaron datos de un motor diésel en V de 30 litros, 12 cilindros y sistema de inyección common rail controlado electrónicamente de la marca Komatsu (Tabla 1). Este motor fue sometido a pruebas dinamométricas utilizando un dinamómetro hidráulico, cuyas características se detallan en la Tabla 2.

Tabla 1
Especificaciones del motor ensayado

| Parámetro | Especificaciones |
|----------------------------|-------------------------------------|
| Fabricante del motor | Komatsu |
| Denominación del motor | SAA12V140E-3 |
| Modelo de máquina | HD785-7 |
| Número de cilindros | 12 |
| Diámetro x carrera | 140 mm X 165 mm |
| Desplazamiento total | 30.5 l {30,480 cc} |
| Orden de inyección | R1-L1-R5-L5-R3-L3-R6-l6-R2-L2-R4-l4 |
| Potencia nominal de salida | 895kw {1,200 Hp} @1,900rpm |
| Torque Max | 5,076 Nm {518 kgm} @1,350rpm |
| Velocidad máxima sin carga | 2,250 +/-25 rpm |
| Velocidad mínima sin carga | 650 +/-20 rpm |
| Consumo específico | 207g/kW·h {154} {g/HP h} |

Tabla 2*Características del dinamómetro empleado*

| Parámetro | Especificaciones |
|-----------------|------------------------|
| Fabricante | Powertest |
| Modelo | 35X |
| Tipo | Hidráulico |
| Potencia máxima | 2100 Hp (1566 kW) |
| Torque máximo | 7,500 lb-ft (10168 Nm) |
| Rpm máximo | 4000 rpm |

Para la lectura y registro de parámetros del motor, se utilizó una laptop equipada con el software INSITE y la interfaz electrónica INLINE 6 para la comunicación entre la laptop y el controlador electrónico del motor (ECM) desarrollado por Cummins Inc.

El banco dinamométrico se configuró para monitorear y registrar el comportamiento del motor diésel bajo diferentes niveles de carga: 20%, 50%, 80%, 90% y 100%. Se generaron 1,916 registros que incluyen parámetros de salida como potencia, torque y consumo de combustible. A través del controlador del motor, se capturaron 27 parámetros de entrada, exportables en formato *.csv y convertidos a *.xls para su análisis. Se verificó la integridad de los datos, sin encontrar valores perdidos o repetidos.

Desarrollo de la investigación

Preprocesamiento

Para mejorar la eficacia del modelo de *machine learning*, los datos fueron estandarizados y se realizó un análisis de correlación para seleccionar los parámetros de entrada más relevantes. Se utilizó Python (versión 3.8) y las librerías Pandas, Numpy, Matplotlib y Scikit-Learn. La Figura 1 muestra el mapa de calor de la matriz de correlación. Las Tablas 3, 4 y 5 presentan las correlaciones entre los parámetros de entrada y las variables de salida: Torque, Potencia y Consumo de Combustible Instantáneo, respectivamente. Asimismo, en las Tablas 6 y 7 se presentan las características del dinamómetro empleado de entrada y salida.

Figura 1
Mapa de calor de la matriz de correlación

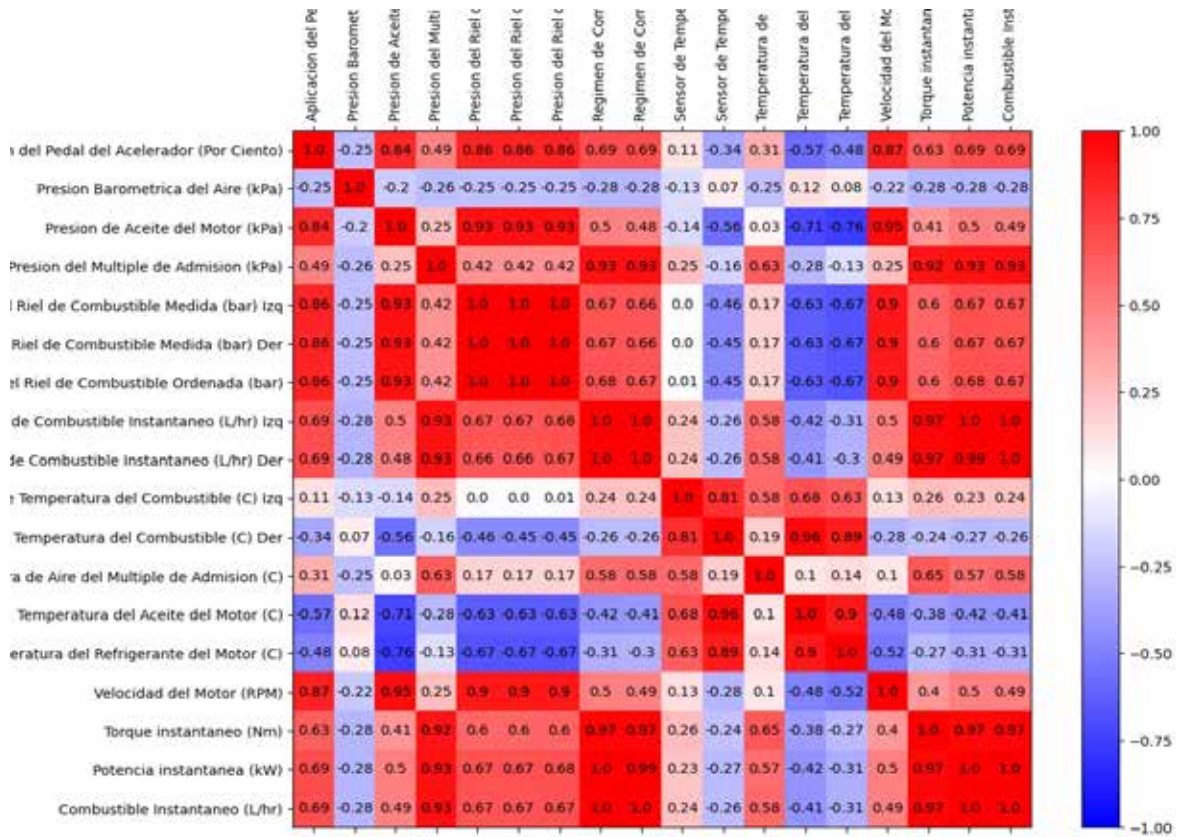


Tabla 3
Correlación para la variable Torque

| Parámetro | Correlación |
|--|-------------|
| Presión del múltiple de admisión (kPa) | 0.86052241 |
| Presión del riel de combustible ordenada (bar) | 0.64978312 |
| Aplicación del pedal del acelerador (%) | 0.60764519 |
| Presión del riel de combustible medida (bar) der | 0.57356629 |
| Presión del riel de combustible medida (bar) izq | 0.57344536 |
| Temperatura de aire del múltiple de admisión (C) | 0.49295114 |
| Sensor de temperatura del combustible (C) izq | 0.24061019 |
| Presión de aceite del motor (kPa) | 0.20552868 |
| Velocidad del motor (RPM) | -0.06675378 |
| Temperatura del refrigerante del motor (C) | -0.26405147 |
| Presión barométrica del aire (kPa) | -0.27041841 |
| Sensor de temperatura del combustible (C) der | -0.27602853 |

Tabla 4*Correlación para la variable potencia*

| Parámetro | Correlación |
|--|--------------------|
| Presión del múltiple de admisión (kPa) | 0.91204206 |
| Presión del riel de combustible ordenada (bar) | 0.6761268 |
| Aplicación del pedal del acelerador (%) | 0.63280018 |
| Presión del riel de combustible medida (bar) der | 0.60078135 |
| Presión del riel de combustible medida (bar) izq | 0.60043003 |
| Temperatura de aire del múltiple de admisión (C) | 0.45569834 |
| Presión de aceite del motor (kPa) | 0.25854461 |
| Sensor de temperatura del combustible (C) izq | 0.20395494 |
| Velocidad del motor (RPM) | -0.02867599 |
| Presión barométrica del aire (kPa) | -0.26408779 |
| Temperatura del refrigerante del motor (C) | -0.28895135 |
| Sensor de temperatura del combustible (C) der | -0.28962989 |

Tabla 5*Correlación para la variable consumo de combustible instantáneo*

| Parámetro | Correlación |
|--|--------------------|
| Presión del múltiple de admisión (kPa) | 0.90764256 |
| Presión del riel de combustible ordenada (bar) | 0.67824214 |
| Aplicación del pedal del acelerador (%) | 0.63510687 |
| Presión del riel de combustible medida (bar) der | 0.60177419 |
| Presión del riel de combustible medida (bar) izq | 0.60134151 |
| Temperatura de aire del múltiple de admisión (C) | 0.46372836 |
| Presión de aceite del motor (kPa) | 0.25616438 |
| Sensor de temperatura del combustible (C) izq | 0.21092699 |
| Velocidad del motor (RPM) | -0.02913477 |
| Presión barométrica del aire (kPa) | -0.26675232 |
| Temperatura del refrigerante del motor (C) | -0.2838341 |
| Sensor de temperatura del combustible (C) der | -0.28578525 |

Tabla 6
Características del dinamómetro empleado

| Parámetro de entrada | Unidad | Instrumento |
|--|--------|-----------------|
| Presión del múltiple de admisión | kPa | Software Insite |
| Presión del riel de combustible ordenada | Bar | Software Insite |
| Aplicación del pedal del acelerador | % | Software Insite |
| Presión del riel de combustible medida der | Bar | Software Insite |
| Presión del riel de combustible medida izq | Bar | Software Insite |
| Temperatura de aire del múltiple de admisión | °C | Software Insite |
| Presión de aceite del motor | kPa | Software Insite |
| Velocidad del motor | RPM | Software Insite |
| Presión barométrica del aire | kPa | Software Insite |
| Temperatura del refrigerante del motor | °C | Software Insite |
| Temperatura del combustible der | °C | Software Insite |
| Temperatura del combustible izq | °C | Software Insite |

Tabla 7
Características del dinamómetro empleado

| Parámetro de salida | Unidad | Instrumento |
|------------------------------------|--------|------------------|
| Torque | Nm | Banco de pruebas |
| Potencia al freno | W | Banco de pruebas |
| Consumo de combustible instantáneo | L/hr | Software Insite |

Modelamiento con Machine Learning

El modelado del comportamiento del motor se llevó a cabo utilizando la regresión lineal múltiple, un método

ampliamente utilizado para ajustar un plano (o hiperplano en dimensiones superiores) a los datos observados. La ecuación general del modelo es la siguiente:

$$y = a_0 + a_1x_1 + a_2x_2 + \dots + a_px_p \tag{1}$$

Donde, x_1 a x_p son las características de entrada, a_0 es el término independiente y a_1 a a_p son los coeficientes de las características. El objetivo del modelo es ajustar estos

coeficientes para minimizar los errores de predicción (Géron, 2019). La naturaleza multidimensional de tales regresiones las hace difícil de visualizar (Müller & Guido, 2017),

Desarrollo del modelo de Machine Learning

El flujo de trabajo para el desarrollo

del modelo se muestra en la Figura 2. Posteriormente, la codificación se realizó en Python, como se ilustra en la Figura 3.

Figura 2

Diagrama de flujo para el desarrollo del modelo de machine learning

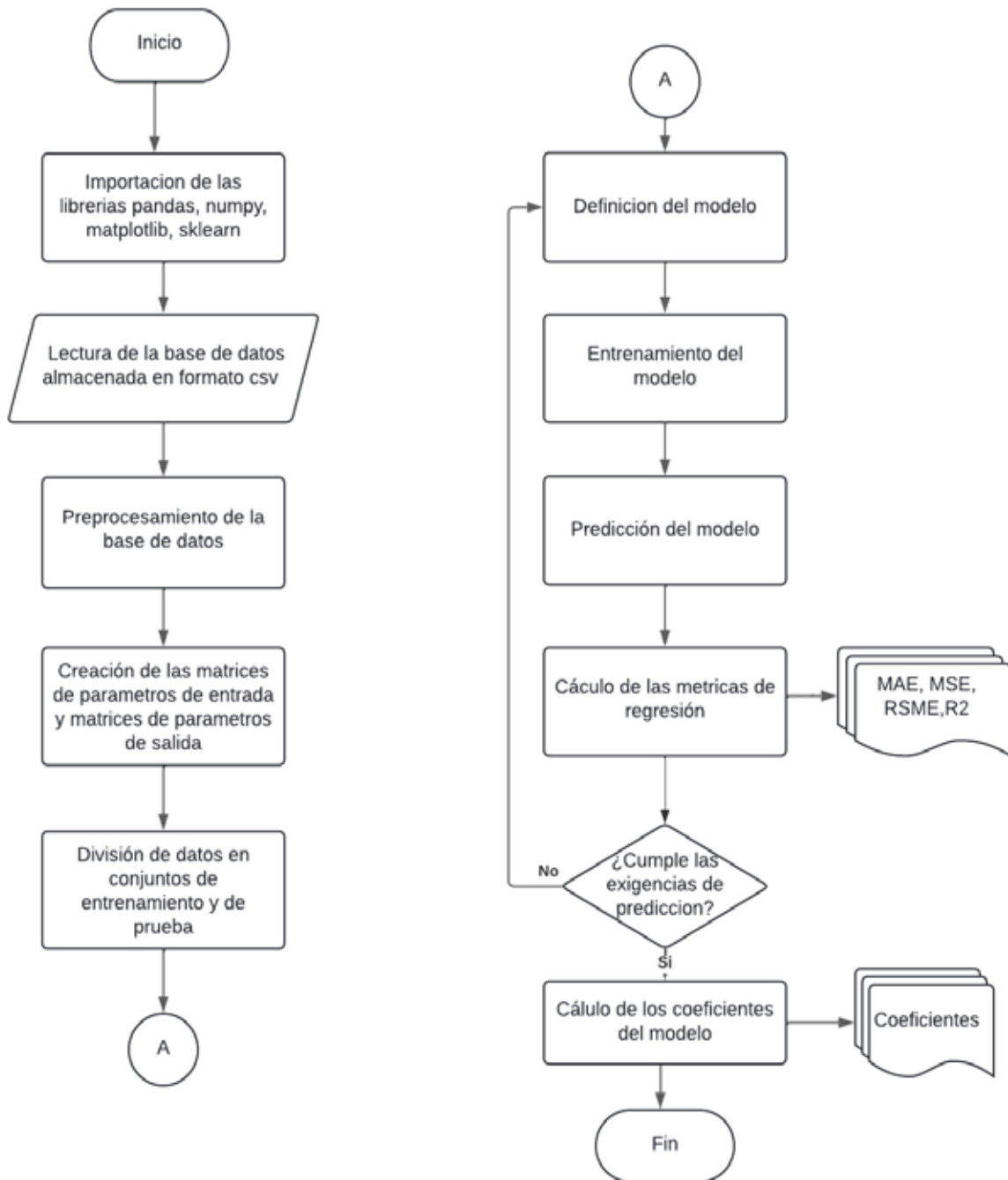


Figura 3

Extracto de la codificación en python

```
#Regresion Lineal Multiple_01

import pandas as pd
import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt

datos=pd.read_csv("Datos_No_estandarizados.csv")|
Acel=datos["Aplicacion del Pedal del Acelerador (Por Ciento)"].values
P_aceite=datos["Presion de Aceite del Motor (kPa)"].values
P_bar=datos["Presion Barometrica del Aire (kPa)"].values
P_adm=datos["Presion del Multiple de Admision (kPa)"].values
P_riel_ordenada=datos["Presion del Riel de Combustible Ordenada (bar)"].values
P_riel_sensada_I=datos["Presion del Riel de Combustible Medida (bar) Izq"].values
P_riel_sensada_D=datos["Presion del Riel de Combustible Medida (bar) Der"].values
Tcomb_I=datos["Temperatura del Combustible (°C) Izq"].values
Tcomb_D=datos["Temperatura del Combustible (°C) Der"].values
T_aceite=datos["Temperatura del Aceite del Motor (°C)"].values
T_adm=datos["Temperatura de Aire del Multiple de Admision (°C)"].values
T_refrig=datos["Temperatura del Refrigerante del Motor (°C)"].values
rpm=datos["Velocidad del Motor (RPM)"].values

Par=datos["Torque instantaneo (Nm)"].values
Pot=datos["Potencia instantanea (kW)"].values
Consumo=datos["Combustible Instantaneo (L/hr)"].values
```

Resultados y Discusión

Para asegurar un desempeño satisfactorio del modelo, se estableció como criterio de validación obtener un coeficiente de determinación (R^2) superior al 95% para los parámetros de salida que describen el comportamiento del motor, definidos en la Tabla 7. El análisis de los datos preprocesados indicó una fuerte correlación entre los parámetros de entrada, como la Presión del Múltiple de Admisión (kPa), la Presión del Riel de Combustible Ordenada (bar), la Aplicación del Pedal del Acelerador (%), y otras variables, con respecto al Torque, la Potencia y el Consumo de Combustible, como se puede observar en las Tablas 3, 4 y 5. Estos resultados permitieron definir los parámetros de entrada (Tabla 6).

En este estudio, se utilizaron 1996 registros obtenidos durante las pruebas dinamométricas del motor. El 80% de estos datos (1,597 registros) se utilizó para el entrenamiento del modelo, y el 20% restante (399 registros) para la validación del mismo.

Una vez ejecutado el entrenamiento del algoritmo de regresión lineal múltiple, se compararon los valores predichos con los medidos, evaluando el rendimiento del modelo a través de métricas como el Error Absoluto Medio (MAE), el Error Cuadrático Medio (MSE), la Raíz del Error Cuadrático Medio (RMSE) y el coeficiente de determinación (R^2), cuyos resultados se presentan en la Tabla 8.

Tabla 8

Métricas para evaluación de modelos de regresión

| Salida | MAE | MSE | RSME | R2 |
|----------|--------|--------|--------|------------|
| Torque | 0.1447 | 0.0447 | 0.2115 | 0.96060498 |
| Potencia | 0.1173 | 0.0313 | 0.1771 | 0.97057275 |
| Consumo | 0.1239 | 0.0373 | 0.1930 | 0.97613513 |

Los resultados obtenidos muestran que el modelo alcanzó un R^2 de 0.96 para el torque, 0.97 para la potencia y 0.98 para el consumo de combustible, lo que indica una excelente precisión en las predicciones.

Las gráficas correspondientes al torque, la potencia y el consumo predichos versus los valores medidos se muestran en las Figuras 4, 5 y 6, respectivamente.

Figura 4

Torque medido vs el torque predicho

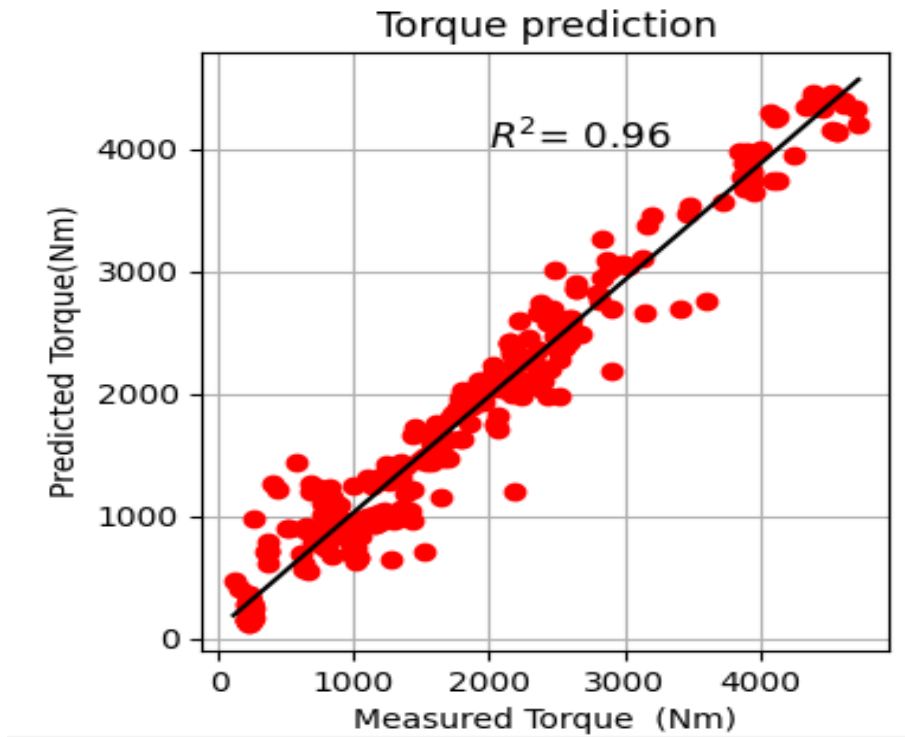


Figura 5
Potencia medida vs potencia predicha

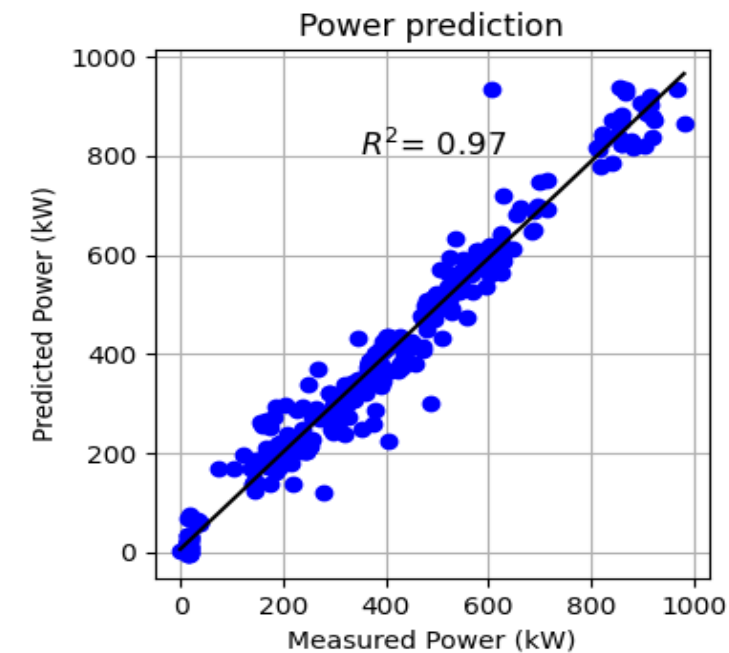
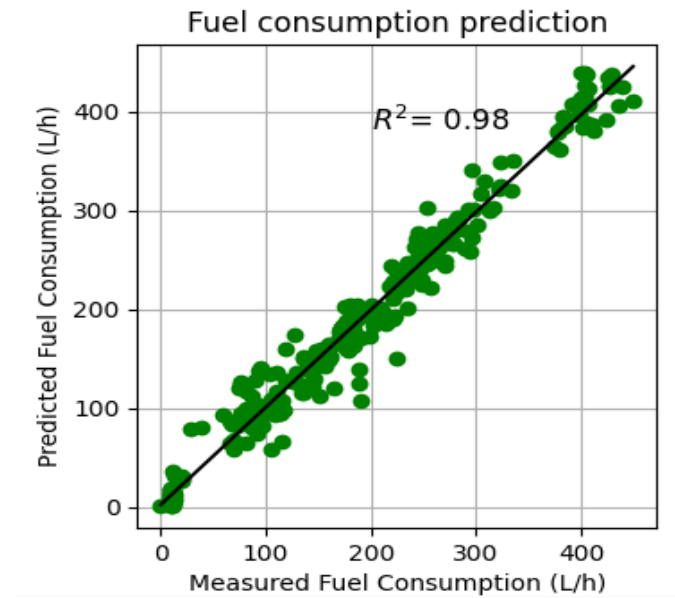


Figura 6
Consumo de combustible medido vs Consumo de combustible predicho



Del comportamiento analizado. Se calcularon los coeficientes asociados a los parámetros de entrada para cada una

de las variables de salida, como se muestra en la Tabla 9.

Tabla 9
Coefficientes de los parámetros de salida

| Parámetros de salida | Var | Torque | Potencia | Consumo |
|--|------------|---------------|-----------------|----------------|
| Presión del múltiple de admisión | X1 | 17.97 | 4.56 | 2.09 |
| Presión del riel de combustible ordenada | X2 | 2.4 | 0.63 | 0.32 |
| Aplicación del pedal del acelerador | X3 | 9.32 | 1.44 | 0.69 |
| Presión del riel de combustible medida der | X4 | -0.48 | -0.21 | -0.09 |
| Presión del riel de combustible medida izq | X5 | 0.37 | -0.01 | -0.03 |
| Temperatura de aire del múltiple de admisión | X6 | -13.18 | -3.68 | -1.55 |
| Presión de aceite del motor | X7 | 6.09 | -0.62 | -0.31 |
| Velocidad del motor | X8 | -2.56 | -0.03 | -0.02 |
| Presión barométrica del aire | X9 | 124.29 | 11.51 | 8.73 |
| Temperatura del refrigerante del motor | X10 | 5.85 | -2.14 | -1 |
| Temperatura del combustible der | X11 | -50.3 | -7.35 | -3.69 |
| Temperatura del combustible izq | X12 | 88.89 | 10.24 | 4.98 |
| Bias | - | -14706.77 | -1009.43 | -808.62 |

De tal forma que para las pruebas dinamométricas ejecutas la ecuación multilínea será:

$$\begin{aligned}
 \text{Torque} = & 17.97x_1 + 2.40x_2 + 9.32x_3 - 0.48x_4 + 0.37x_5 - 13.18x_6 + 6.09x_7 - 2.56x_8 \\
 & + 124.29x_9 + 5.85x_{10} - 50.30x_{11} + 88.89x_{12} \\
 & - 14706.77 \qquad (3)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Power} = & 4.56 + 0.63x_2 + 1.44x_3 - 0.21x_4 + 0.37x_5 - 0.01x_6 - 0.62x_7 - 0.003x_8 \\
 & + 11.51x_9 - 2.14x_{10} - 7.35x_{11} - 10.24x_{12} - 1009.43 \qquad (4)
 \end{aligned}$$

Fuel consumption

$$\begin{aligned}
 = & 2.09x_1 + 0.32x_2 + 0.69x_3 - 0.09x_4 - 0.03x_5 - 1.55x_6 - 0.31x_7 \\
 & - 0.02x_8 + 18.73x_9 - x_{10} - 3.69x_{11} + 4.98x_{12} - 808.62 \qquad (5)
 \end{aligned}$$

Conclusiones

Los algoritmos de machine learning tienen una aplicación efectiva en la predicción del comportamiento de motores de combustión interna, como se ha demostrado tanto en la revisión de la literatura como en los resultados obtenidos en este estudio.

En particular, el algoritmo de regresión lineal múltiple ha mostrado una alta capacidad para predecir el comportamiento del motor diésel, específicamente en términos de potencia al freno, torque y consumo de combustible instantáneo, cuando el motor es sometido a pruebas dinámicas. Estas predicciones se basan en la lectura de parámetros de funcionamiento clave

como la Presión del Múltiple de Admisión (kPa), la Presión del Riel de Combustible Ordenada (bar), la Aplicación del Pedal del Acelerador (%), la Presión del Riel de Combustible Medida (bar) tanto en el lado derecho como izquierdo, y la Temperatura del Aire del Múltiple de Admisión (°C).

El análisis de la correlación entre los parámetros de entrada y las salidas predichas revela que la Presión del Múltiple de Admisión (kPa) tiene el mayor impacto en las predicciones. Este parámetro, además, es fácilmente medible tanto en condiciones de laboratorio como en campo, lo que lo convierte en una variable fundamental para la evaluación del rendimiento del motor, ya sea en un entorno controlado o en su aplicación en vehículos operativos.

Referencias

- Deheri, C., & Acharya, S. K. (2023). Experimental and statistical evaluation of biohythane fuelled thermal barrier coated engine using machine learning algorithms. *International Journal of Global Warming*, 31(1). <https://doi.org/10.1504/IJGW.2023.133208>
- Géron, A. (2019). Hands-on machine learning with Scikit-Learn, Keras and TensorFlow: concepts, tools, and techniques to build intelligent systems. In *O'Reilly Media*.
- Müller, A. C., & Guido, S. (2017). Introduction to Machine Learning with Python: a guide for data scientist. *O'Reilly Media, Inc.*
- Shateri, A., Yang, Z., & Xie, J. (2024). Utilizing Artificial intelligence to identify an Optimal Machine learning model for predicting fuel consumption in Diesel engines. *Energy and AI*, 16. <https://doi.org/10.1016/j.egyai.2024.100360>
- Sunil, K., Surakasi, R., Patro, S. G. K., Govil, N., Ramis, M. K., Razak, A., Sharma, P., Alsubih, M., Islam, S., Khan, T. M. Y., Almakayeel, N., & Chintakindi, S. (2024). Performance, Combustion, and Emission analysis of diesel engine fuelled with pyrolysis oil blends and n-propyl alcohol-RSM optimization and ML modelling. *Journal of Cleaner Production*, 434. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.140354>

Venkatesh, K., & Murugesan, S.
(2020). Prediction of Engine
Emissions using Linear Regression
Algorithm in Machine Learning.
International Journal of Innovative

*Technology and Exploring
Engineering*, 9(7), 962–968.
[https://doi.org/10.35940/ijitee.
G5707.059720](https://doi.org/10.35940/ijitee.G5707.059720)

Desarrollo y aplicación de un software para el análisis energético de una planta de harina y aceite de pescado

Development and application of a software for the energy and exergetic analysis of a fishmeal and fish oil plant

Recibido: noviembre 01 de 2024 | Revisado: noviembre 30 de 2024 | Aceptado: diciembre 06 de 2024

LUIS ENRIQUE ZANABRIA ALAN¹
GIANCARLO VALVERDE PADILLA¹

RESUMEN

La producción de harina y aceite de pescado es fundamental en la industria alimentaria, pero conlleva un alto consumo energético y pérdidas térmicas significativas. Este trabajo presenta el desarrollo de un software en Python para el análisis energético y exergetico de una planta de harina y aceite de pescado. A través de simulaciones computacionales, se evalúa el rendimiento térmico de equipos clave como calderas, cocinas, secadores y tanques. Los resultados indican que el modelo es preciso en la mayoría de los equipos, con diferencias menores al 2% en calor requerido y consumo de vapor, aunque se identificaron discrepancias del 12.03% en los secadores rotadiscos, lo que requiere ajustes. El análisis exergetico destaca áreas críticas para mejorar la eficiencia energética. El software proporciona una herramienta integral para la optimización de procesos industriales, y se planea expandir con simulaciones de carga variable y análisis termoeconómico para mejorar aún más la eficiencia y reducir los costos operativos.

Palabras Análisis energético, análisis exergetico, software en Python, planta de harina y aceite de pescado, eficiencia energética

ABSTRACT

The production of fishmeal and fish oil is essential in the food industry, but it involves high energy consumption and significant thermal losses. This paper presents the development of Python software for the energy and exergy analysis of a fishmeal and fish oil plant. Through computational simulations, the thermal performance of key equipment such as boilers, stoves, dryers and tanks is evaluated. The results indicate that the model is accurate in most of the equipment, with differences of less than 2% in required heat and steam consumption, although discrepancies of 12.03% were identified in the rotadisk dryers, which require adjustments. The energy analysis highlights critical areas for improving energy efficiency. The software provides a comprehensive tool for industrial process optimization and is planned to be expanded with variable load simulations and thermoeconomic analysis to further improve efficiency and reduce operating costs.

Keywords: Energy analysis, exergy analysis, Python software, fishmeal and fish oil plant, energy efficiency

¹ Universidad Nacional de Ingeniería,
Lima-Perú

Correo electrónico de contacto:
lzanabriaa@uni.edu.pe

© Los autores. Este artículo es publicado por la Revista Campus de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad de San Martín de Porres. Este artículo se distribuye en los términos de la Licencia Creative Commons Atribución No-Comercial – Compartir-Igual 4.0 Internacional (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>), que permite el uso no comercial, distribución y reproducción en cualquier medio siempre que la obra original sea debidamente citada. Para uso comercial contactar a: revistacampus@usmp.pe.

<https://>

Introducción

La harina y el aceite de pescado son productos clave en la industria alimentaria, particularmente, en la producción de alimentos para animales y en la elaboración de productos para consumo humano. Entre 2014 y 2023, Perú exportó 10,827,949 toneladas métricas de productos derivados de anchoveta, con un valor superior a los 18,173 millones de dólares. De este total, 9,119, 302 toneladas correspondieron a harina de pescado que generó ingresos de 13,910 millones de dólares, lo que representa el 84.2% de las exportaciones. Por su parte, el aceite de pescado alcanzó las 1,494,786 toneladas, con una valorización de 3,781 millones de dólares, lo que equivale al 13.8% de las exportaciones de derivados de anchoveta (Estrada, 2024).

No obstante, la producción de estos productos está asociada a un alto consumo energético y pérdidas térmicas significativas. Las plantas de procesamiento, como la de Pesquera Exalmar S.A.A. (Figura 1), que representa el 13% de las exportaciones de harina y aceite de pescado del país (Estrada, 2024), operan con una infraestructura energética compleja y carecen de herramientas integradas para evaluar eficientemente su rendimiento.

El análisis energético y exergético emerge como una herramienta esencial para mejorar el desempeño térmico y la eficiencia global de la planta. Mientras que el análisis energético cuantifica el consumo total de energía sin considerar la calidad de la misma (Cengel & Boles, 2013), el análisis exergético evalúa la calidad de la

energía y cuantifica las irreversibilidades en los procesos, facilitando la identificación de pérdidas de trabajo útil y ofreciendo oportunidades para mejorar la eficiencia energética Kotas (1985), Rosen *et al.* (2008). La combinación de ambos enfoques es clave para identificar puntos críticos en el sistema y guiar el diseño de mejoras operativas.

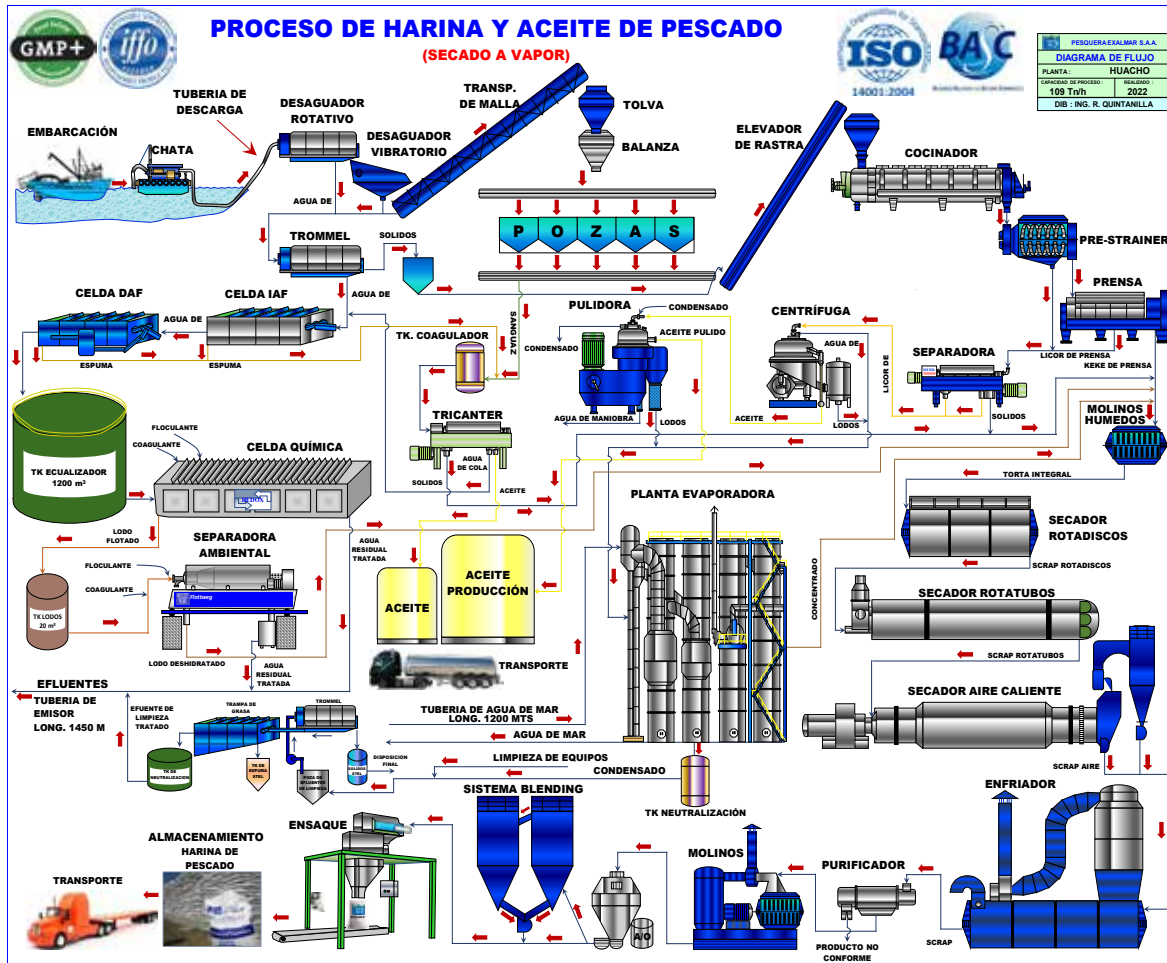
El objetivo de este trabajo es desarrollar un software para realizar el análisis energético y exergético de la planta de harina y aceite de pescado de Pesquera Exalmar S.A.A. (Planta CALLAO, con una capacidad de procesamiento de 115 toneladas por hora). Este software proporciona una herramienta integral para evaluar la eficiencia de los equipos y procesos dentro de la planta, sirviendo como base para estudios de carga variable en el futuro.

Para ello, se simula la operación de la planta, partiendo de un diseño existente. El modelo termodinámico se valida mediante el análisis de la transferencia de calor desde las calderas de vapor hacia los artefactos térmicos. Se programan funciones para calcular las propiedades termodinámicas de los fluidos en el ciclo térmico de vapor, y se desarrollan rutinas para calcular la transferencia de calor en las áreas de intercambio térmico. Además, se integran formularios de usuario y objetos para realizar los cálculos térmicos de los calderos y el análisis del ciclo térmico de vapor. El software, desarrollado en Python, incluye capacidades para realizar cálculos iterativos y constituye una herramienta útil para almacenar y analizar los resultados obtenidos en esta investigación.

Figura

1

Diagrama de flujo del proceso de harina y aceite de pescado de la planta HUACHO de la Pesquera Exalmar S.A.A.



Nota. Pesquera Exalmar S.A.A, Diagrama de flujo realizado por Ing. R. Quintanilla, 2022.

Método

Metodología del desarrollo del software

El software fue desarrollado en Python, utilizando Tkinter para la creación de interfaces gráficas (Python Software Foundation, 2024) y la biblioteca CoolProp para el cálculo de propiedades termodinámicas (CoolProp Developers, n.d.). El programa integra múltiples módulos funcionales que permiten modelar el desempeño energético y exergético de una planta de harina y aceite de pescado.

Cálculo térmico

El programa simula los balances energéticos de los principales equipos térmicos: cocinas, secadores rotadiscos y rotatubos, tanques de calentamiento de espumas y sanguaza, e intercambiador de calor.

Para cada equipo se emplearon ecuaciones específicas que permiten calcular el calor requerido y el consumo de vapor, adaptándose a las características operativas de cada uno, como se muestra en el Anexo A (Cengel & Boles, 2013;

Tester & Modell, 1997). En el caso de las cocinas, se evalúa el calor necesario para el proceso de cocción, mientras que en los secadores rotadiscos y rotatubos se analiza el calor requerido para la eliminación de humedad residual en la materia prima. De manera similar, para los tanques de sanguaza y espuma, así como para el intercambiador de calor, se determinan los requerimientos energéticos asociados al calentamiento y la recuperación de calor en el sistema.

Cálculo de Brake Horsepower (BHP)

El Brake Horsepower (BHP) se calcula para cada equipo basado en el consumo de vapor. La fórmula empleada es (Kern, 1986; Wark & Richards, 2001):

$$BHP = \frac{\text{Kilogramos de vapor por hora}}{15.65} \quad (1)$$

Donde 15.65 es un factor estándar utilizado para convertir kilogramos de

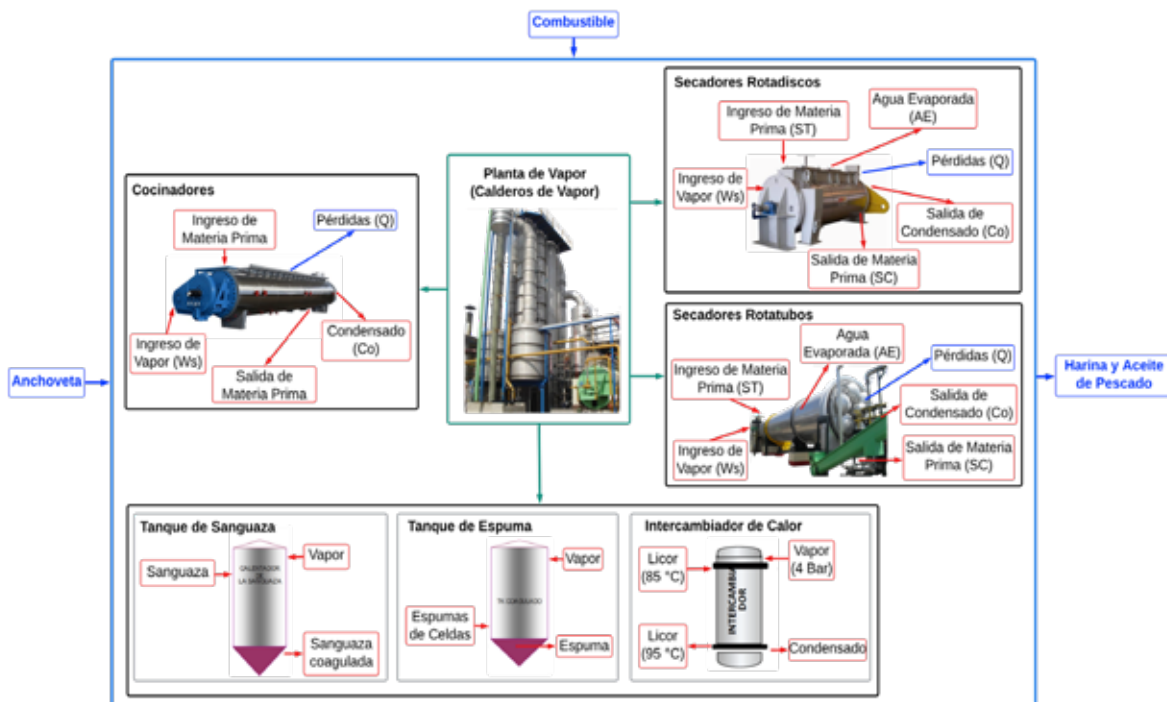
vapor por hora a BHP, basado en el poder calorífico del vapor.

Análisis exergético

El análisis exergético del sistema se desarrolla considerando el balance de cada componente térmico involucrado en el proceso, incluyendo las cocinas, los secadores rotadiscos y los secadores rotatubos.

El análisis exergético del sistema se desarrolla considerando el balance de cada componente térmico involucrado en el proceso, incluyendo las cocinas, los secadores rotadiscos y los secadores rotatubos. En la Figura 2 se detallan los ingresos y salidas de la planta de harina y aceite de pescado, lo que permite visualizar el balance energético del sistema y sus flujos clave.

Figura 2
Ingresos y salidas de la planta de harina y aceite de pescado



Este análisis tiene como objetivo no solo cuantificar el consumo energético, sino también evaluar con mayor precisión y profundidad la eficiencia en el uso del vapor. A diferencia de un análisis energético convencional, el análisis exergético permite determinar la cantidad real de vapor consumido por cada uno de estos equipos térmicos y por el sistema en su conjunto.

La finalidad de este enfoque es

$$Q + W = MP_0 h_i + C_0 \cdot h_j - w_s \cdot h_i - MP \cdot h_k \quad (2)$$

Donde Q y W son las entradas y salidas de energía en forma de calor y trabajo, respectivamente, $h_{i,j,k}$ son las entalpías específicas de los diferentes componentes del sistema en los puntos i, j y k y MP_0, C_0 y w_s , y corresponden a las masas o flujos de entrada y salida, mientras que MP es la masa de materia prima procesada.

Para calcular las pérdidas de calor (Q), se utiliza la siguiente fórmula:

$$Q = MP \cdot (h_2 - h_5) - w_s \cdot \lambda \quad (3)$$

Donde, λ es calor latente del vapor.

La cantidad masa de vapor (w_s) requerida para alcanzar el cambio de temperatura deseado en la materia prima,

optimizar tanto la generación como la distribución del vapor dentro del sistema, lo que conlleva una reducción en el consumo de combustible en las calderas.

El balance exergético se basa en la aplicación de la Primera Ley de la Termodinámica, que describe las entradas y salidas de energía dentro del sistema. Las pérdidas de calor específicas se calculan mediante la siguiente ecuación (Kern, 1986; Wark & Richards, 2001):

considerando las pérdidas de calor, se calcula con la siguiente fórmula:

$$w_s = \frac{MP \cdot C_p \cdot (T_2 - T_0) - Q}{\lambda} \quad (4)$$

Donde, C_p es el calor específico de la materia prima, y T_0 y T_2 son las temperaturas inicial y final.

Interfaz del software

El software presenta una interfaz gráfica que permite el ingreso de datos específicos para cada equipo de la planta, incluyendo las cocinas (Figura 3), los secadores rotadiscos (Figura 4) y rotatubos (Figura 5), los tanques de sanguaza y espuma, así como el intercambiador de calor (Figura 6). Además, permite el ingreso de las variables generales y de la planta (Figura 7).

Figura 3

Ingreso de datos de las cocinas de la planta de harina de Pesquera Exalmar S.A.A. en el software de simulación

Valores predeterminados **Guardar** **Procesar**

COCINAS

SECADORES ROTADISCOS RTD

SECADORES ROTATUBOS RTB

CALOR EN SANGUAZA ESPUMAS E INTERCAMBIADOR DE CALOR

VARIABLES GENERALES Y DE PLANTA

Cocina 1
 Diámetro de la cocina: 1.4 m
 Longitud de la cocina: 11.2 m
 Masa de la cocina: 20000.0 Kg

Cocina 2
 Diámetro de la cocina: 1.1 m
 Longitud de la cocina: 11.0 m
 Masa de la cocina: 15000.0 Kg

Cocina 3
 Diámetro de la cocina: 1.3 m
 Longitud de la cocina: 12.0 m
 Masa de la cocina: 25000.0 Kg

Calor para cocción de la cocina

Análisis de composición

Porcentaje de Agua: 76.25 %
 Porcentaje de Grasa: 4.08 %
 Porcentaje de Sólidos: 19.67 %

Calor Requerido para Calentamiento

Temperatura Inicial: 18.0 °C
 Temperatura Final: 100.0 °C
 Número de ciclos de calentamiento: 100.0

Cálculo de exergia

Temperatura del alimento de ingreso: 165.0 °C
 Temperatura del vapor salida: 120.0 °C
 Temperatura del alimento de salida: 100.0 °C

Figura 4

Ingreso de datos de los secadores rotadiscos de la planta de harina de Pesquera Exalmar S.A.A. en el software de simulación

Valores predeterminados **Guardar** **Procesar**

COCINAS

SECADORES ROTADISCOS RTD

SECADORES ROTATUBOS RTB

CALOR EN SANGUAZA ESPUMAS E INTERCAMBIADOR DE CALOR

VARIABLES GENERALES Y DE PLANTA

Sec. Rotadisc 1
 Diámetro: 2.0 m
 Longitud: 9.0 m
 Masa: 30000.0 Kg

Sec. Rotadisc 2
 Diámetro: 2.0 m
 Longitud: 9.0 m
 Masa: 30000.0 Kg

Sec. Rotadisc 3
 Diámetro: 3.0 m
 Longitud: 10.0 m
 Masa: 50000.0 Kg

Variables de maquina

% Sólidos en materia prima húmeda: 40.1 %
 % Grasas en materia prima húmeda: 3.9 %
 % Sólidos en materia prima seca: 50.36 %
 % Grasas en materia prima seca: 4.64 %
 Presión trabajo secador: 6.0 Bar
 Presión trabajo equipos: 4.0 Bar

Calor para el 1er secado

T alimentación: 65.0 °C
 T final del scrap 2do secado: 85.0 °C
 T salida de los vahos: 98.0 °C
 Masa de sólidos secos: 24794.0 Kg/hr
 Masa de líquido de ingreso: 31556.0 Kg/hr
 Masa de líquido de salida: 20286.0 Kg/hr

Cálculo de exergia

T ingreso de vapor: 165.0 °C
 T ingreso del alimento: 65.0 °C
 T salida de vapor: 120.0 °C
 T salida del alimento: 85.0 °C
 T salida (VAHOS): 98.0 °C
 Masa de alimento de ingreso: 56350.0 Kg
 Masa de SCRAP: 45080.0 Kg
 Masa de VAHOS: 11270.0 Kg

Q calentamiento de secador

Temperatura inicial: 18.0 °C
 Temperatura final: 100.0 °C
 Horas trabajadas por año: 1500.0 hr

Figura 5

Ingreso de datos de los secadores rotatubos de la planta de harina de Pesquera Exalmar S.A.A. en el software de simulación

Valores predeterminados
Guardar
Procesar

COCINAS

SECADORES ROTADISCOS RTD

SECADORES ROTATUBOS RTB

CALOR EN SANGUAZA ESPUMAS E INTERCAMBIADOR DE CALOR

VARIABLES GENERALES Y DE PLANTA

Sec. Rotatubo 1

Diametro: m

Longitud: m

Masa: Kg

Sec. Rotatubo 2

Diametro: m

Longitud: m

Masa: Kg

Variables de maquina

% Solidos en materia prima húmeda: %

% Grasas en materia prima húmeda: %

% Solidos en materia prima seca: %

% Grasas en materia prima seca: %

Presion trabajo secador: Bar

Presion trabajo equipos: Bar

Calor para el 2do secado

T alimentacion: °C

T final del scrap 2do secado: °C

T salida de los vahos: °C

Masa de solidos secos: Kg/hr

Masa de liquido de ingreso: Kg/hr

Masa de liquido de salida: Kg/hr

Cálculo de exergia

T ingreso de vapor: °C

T ingreso del alimento: °C

T salida de vapor: °C

T salida del alimento: °C

T salida (VAHOS): °C

Masa de alimento de ingreso: Kg

Masa de SCRAP: Kg

Masa de VAHOS: Kg

Calor de calentamiento de secador

Temperatura inicial: °C

Temperatura final: °C

Horas trabajadas por año: hr

Figura 6

Ingreso de datos de los tanques de sanguaza y espuma, así como del intercambiador de calor, al software de simulación para la planta de harina de Pesquera Exalmar S.A.A

Valores predeterminados
Guardar
Procesar

COCINAS

SECADORES ROTADISCOS RTD

SECADORES ROTATUBOS RTB

CALOR EN SANGUAZA ESPUMAS E INTERCAMBIADOR DE CALOR

VARIABLES GENERALES Y DE PLANTA

Calor en SANGUAZA

Temperatura de ingreso de la sanguaza: °C

Temperatura de salida de licor: °C

Flujo masico: Tn/hr

Presion: Bar

% Solidos: %

% Grasa: %

% Agua: %

Calor de calentamiento del tanque: kcal/hr

Calor de calentamiento del tanque(perdidas): kcal/hr

Demanda de Vapor para calentar las espumas

Temperatura de ingreso de la sanguaza: °C

Temperatura de salida de licor: °C

Flujo masico: Tn/hr

Presion: Bar

% Solidos: %

% Grasa: %

% Agua: %

Calor de calentamiento del tanque: kcal/hr

Calor de calentamiento del tanque(perdidas): kcal/hr

Intercambiador de Calor

Temperatura de ingreso de la sanguaza: °C

Temperatura de salida de licor: °C

Flujo masico: Tn/hr

Presion: Bar

% Solidos: %

% Grasa: %

% Agua: %

Calor de calentamiento del tanque: kcal/hr

Calor de calentamiento del tanque(perdidas): kcal/hr

Figura 7
Ingreso de los datos de las variables generales y de la planta de harina de Pesquera Exalmar S.A.A. en el software de simulación

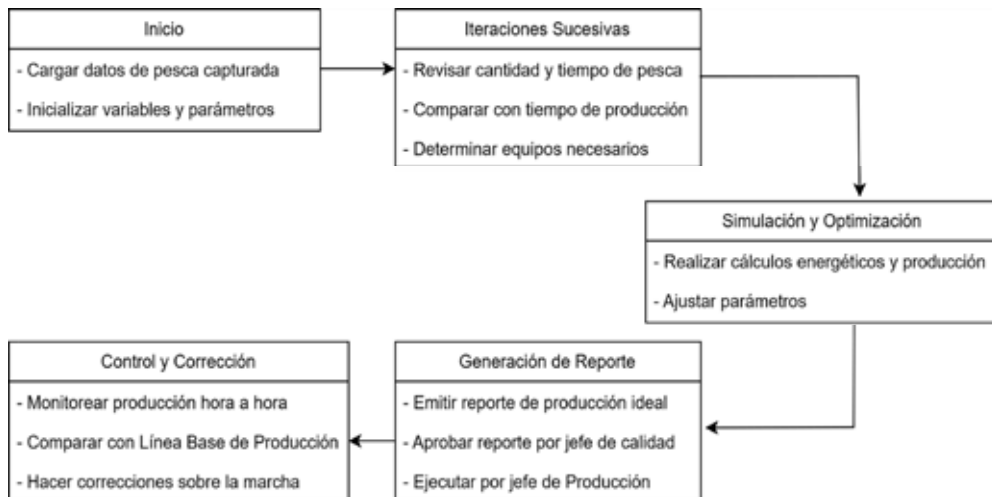
| Variables generales | | Variables de planta | |
|---|----------------------|-------------------------------------|-----------------|
| Cp de solido | 0.32 | Coc 1 | 40.0 Tn/hr |
| Cp de aceite | 0.5 | Coc 2 | 25.0 Tn/hr |
| Cp de agua | 1.0 | Coc 3 | 50.0 Tn/hr |
| Presion trabajo | 4.0 Bar | Capacidad | 115.0 |
| Cp de fierro | 0.115 | Producción de harina de la planta | 28.43 |
| Temperatura del ambiente | 18.0 °C | BHP Equivalente | 0.28 Gtu/hr |
| Temperatura de la superficie exterior a la cocina | 40.0 °C | Tipo de cambio USD | 3.75 |
| Temperatura del ambiente (exerga) | 20.0 °C | Relacion SCRAP | 0.0 |
| Masa de pescado | 115000.0 Kg | %Humedad ingreso | 20.0 % |
| BHP | 15.65 kg de vapor/hr | %Humedad salida | 7.5 % |
| kcal/Kg | 4.1868 | Rendimiento energético del secador | 0.5 % |
| Gl de Petróleo R-500 | 4.2 Gl/Ton Harina | Poder calorífico del petróleo R-500 | 37850.0 Kcal/GL |
| Costo del petróleo Residual R-500 | 11.39 \$/ | | |

Simulación de carga variable

La simulación de carga variable, en desarrollo, utiliza iteraciones sucesivas para optimizar la producción, considerando regímenes de carga del 10% al 100%. El programa calcula la producción ideal,

ajusta equipos y genera reportes para ser aprobados por los responsables, como se observa en la Figura 8. Aunque busca ajustarse a la planificación, el factor humano puede generar pérdidas, por lo que se trabaja en automatizar el proceso para mejorar la eficiencia.

Figura 8
Etapas de la simulación de carga variable



Resultados y Discusión

El software desarrollado generó informes detallados en formatos PDF y HTML, proporcionando datos sobre el desempeño energético de los equipos de la planta de harina Pesquera Exalmar S.A.A. Los parámetros analizados incluyeron el calor requerido, el consumo de vapor, la

potencia producida (BHP) y la exergía asociada a cada equipo.

Estos resultados permitieron realizar un análisis integral del balance energético y exergético de la planta. En la Tabla 1 se resumen los resultados obtenidos de la simulación.

Tabla 1

Resultados de la simulación

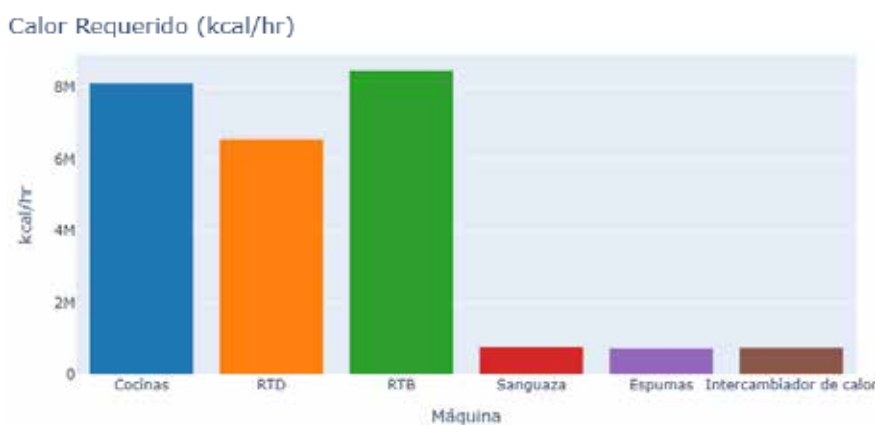
| Máquina | Cantidad | Calor requerido | Consumo de vapor | BHP producidos | Exergía |
|-------------------------|----------|-----------------|------------------|----------------|-------------|
| Cocinas | 3.00 | 8,106,354.22 | 16,100.01 | 1,143.06 | 7211884.33 |
| RTD | 3.00 | 6,565,711.58 | 13,176.30 | 935.48 | 8629281.99 |
| RTB | 2.00 | 8,476,807.72 | 16,924.56 | 1,201.60 | 11557635.64 |
| Sanguaza | 1.00 | 783,150.00 | 1,540.07 | 109.34 | 0.0 |
| Espumas | 1.00 | 733,050.00 | 1,468.33 | 104.25 | 0.0 |
| Intercambiador de calor | 1.00 | 756,256.00 | 1,487.29 | 105.59 | 0.0 |
| Total | | 25,421,329.52 | 50,696.55 | 3,599.33 | 27398801.96 |

Para este análisis, se consideró una pérdida del 10% de energía debido a la caída de presión del vapor durante el transporte en las tuberías, lo que eleva la necesidad de generación de vapor a (3,959.26 BHP).

El software también genera gráficos interactivos que permiten visualizar el consumo de energía de cada equipo, facilitando la interpretación de los resultados.

Figura 9

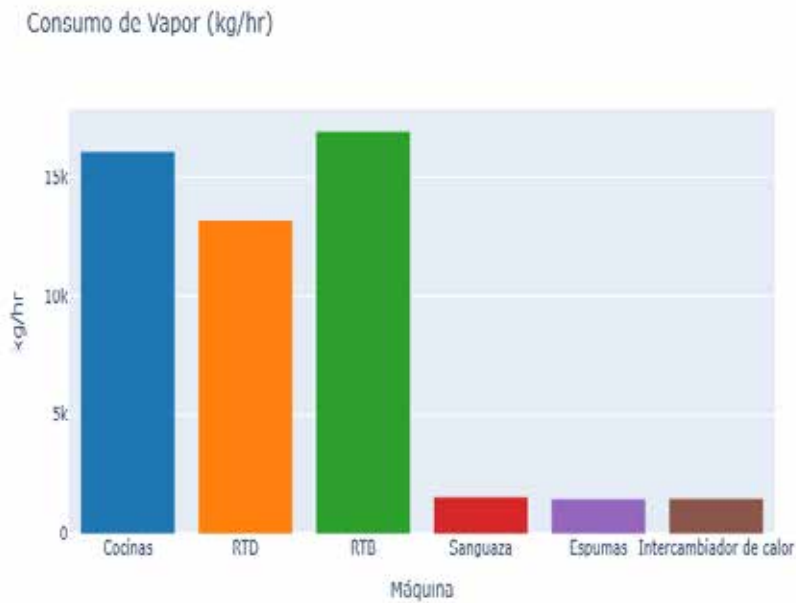
Gráfico de barras generado por el software de simulación que muestra el calor requerido (en kcal/hr) por cada máquina de la planta de harina Pesquera Exalmar S.A.A.



Nota. Se observa que las cocinas y los secadores rotatubos (RTB) son los equipos con mayor demanda de calor, alcanzando valores superiores a 7 millones de kcal/hr. En cambio, los equipos como los tanques de sanguaza, espumas y el intercambiador de calor presentan una demanda de calor mucho menor, con valores cercanos a las 750,000 kcal/hr.

Figura 10

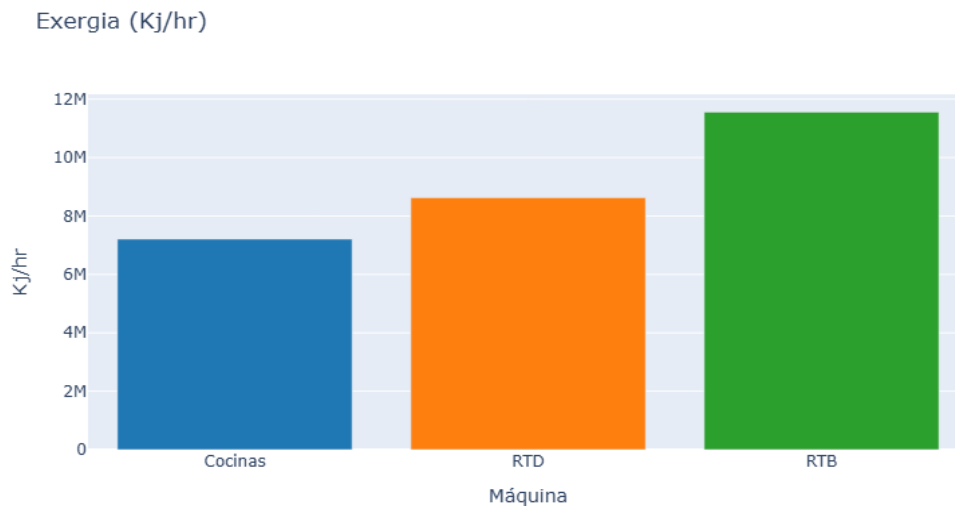
Gráfico de barras generado por el software de simulación, que muestra el consumo de vapor (en kg/hr) por cada máquina de la planta de harina Pesquera Exalmar S.A.A.



Nota. Se observa que las cocinas y los secadores rotatubos (RTB) tienen los consumos de vapor más elevados, con valores superiores a 15,000 kg/hr. En contraste, los tanques de sanguaza, espumas y el intercambiador de calor presentan un consumo de vapor significativamente más bajo, con valores cercanos a los 1,500 kg/hr.

Figura 11

Gráfico de barras generado por el software de simulación, que muestra la exergía (kJ/hr) de las máquinas principales de la planta de harina de Pesquera Exalmar S.A.A.



Nota. Se observa que los secadores rotatubos (RTB) tienen la mayor exergía, alcanzando aproximadamente 11.6 millones de kJ/hr, seguidos de los secadores rotadiscos (RTD) con 8.6 millones de kJ/hr y las Cocinas con 7.2 millones de kJ/hr. Este análisis subraya el elevado impacto energético de los RTB, que superan significativamente a los demás equipos en este indicador.

Comparación con los datos operativos de la planta

Se realizaron comparaciones entre los resultados obtenidos en la simulación y los datos operativos reales de la planta de harina y aceite de pescado de Pesquera Exalmar S.A.A. (Planta Callao, con una

capacidad de procesamiento de 115 toneladas por hora (Figura 12) para validar el modelo matemático del software. Los valores registrados durante la operación real se presentan en la Tabla 2, donde se detallan los valores de calor requerido y el consumo de vapor de cada equipo en la planta.

Figura 12
Balance de masa de una planta de harina y aceite de pescado

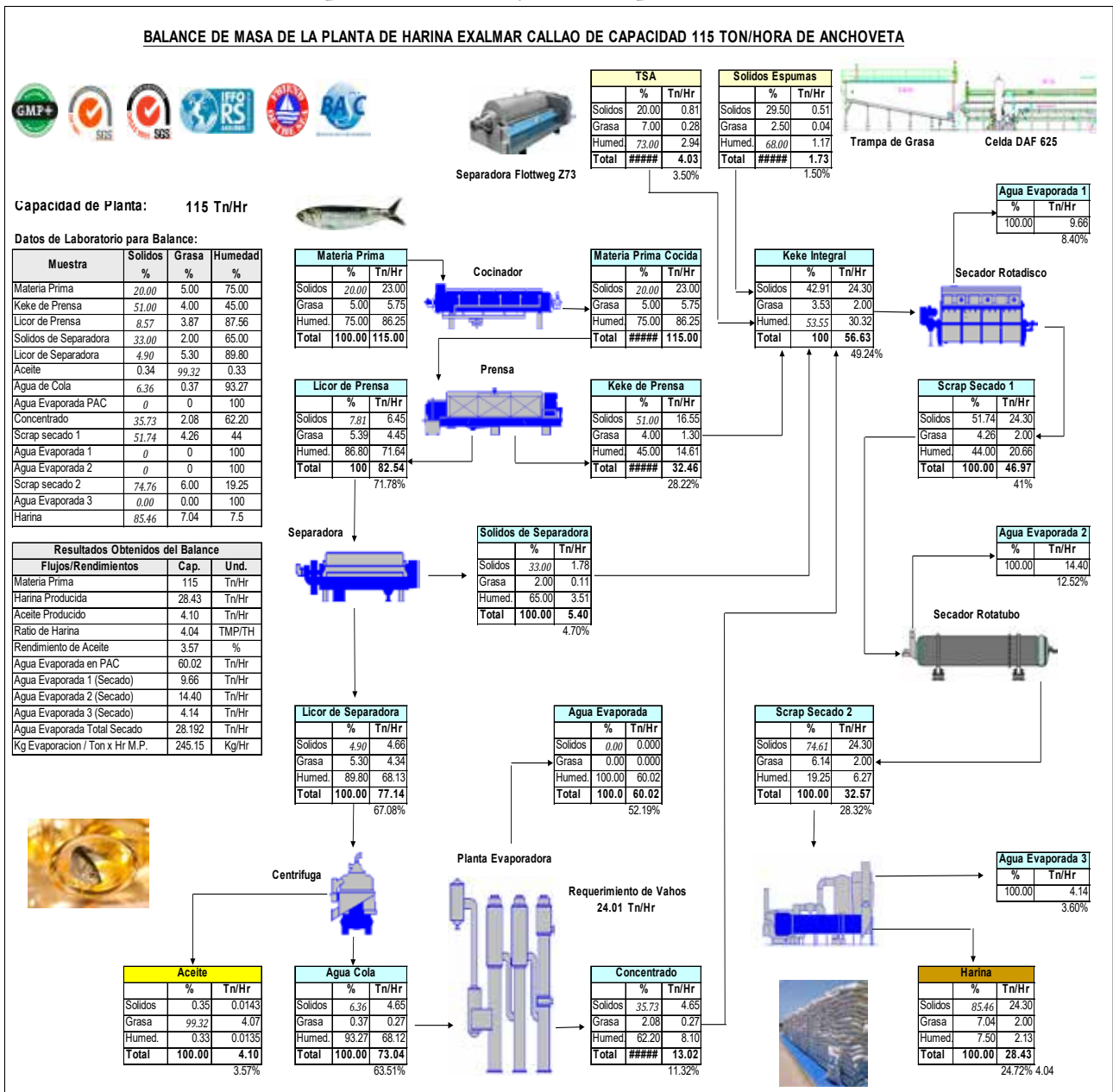


Tabla 2*Valores operativos de la planta de harina de Pesquera Exalmar S.A.A de la Figura 11*

| Máquina | Cantidad | Calor Requerido | Consumo de Vapor |
|-------------------------|-----------------|------------------------|-------------------------|
| Cocinas | 3.00 | 7,976,309 | 15,841 |
| RTD | 3.00 | 7,463,742 | 15,125 |
| RTB | 2.00 | 8,302,372 | 16,746 |
| Sanguaza | 1.00 | 783,150.00 | 1,558.21 |
| Espumas | 1.00 | 733,050.00 | 1,457.53 |
| Intercambiador de calor | 1.00 | 756,256.00 | 1,504.79 |
| Total | | 26,014,879.00 | 52,232.53 |

Para las cocinas, la simulación estimó un requerimiento de calor de 8,106,354.22 kcal/hr, mientras que los datos reales mostraron un valor de 7,976,309 kcal/hr, lo que representa una diferencia de solo el 1.63%. Asimismo, el consumo de vapor estimado fue de 16,100.01 kg/hr, frente a los 15,841 kg/hr en la operación real, resultando en una diferencia del 1.63%. Las pequeñas variaciones en los resultados se deben a las pérdidas de energía por convección inherentes al diseño de las cocinas. Estas pérdidas podrían mitigarse con un mejor aislamiento térmico, optimizando el uso del vapor y reduciendo el consumo energético.

Para los secadores rotadiscos (RTD), el modelo subestimó el calor requerido, con un valor de 6,565,711.58 kcal/hr frente a los 7,463,742 kcal/hr reales, lo que implica una diferencia significativa del 12.03%. En cuanto al consumo de vapor, se estimaron 13,176.30 kg/hr en la simulación, mientras que los datos reales indicaron un consumo de 15,125 kg/hr, lo que representa una diferencia del 12.88%. Las discrepancias se deben a las pérdidas por convección, inherentes al diseño de los secadores, que podrían reducirse con un mejor aislamiento térmico (ADD), optimizando

su eficiencia energética. En los secadores rotatubos (RTB), la simulación estimó un calor requerido de 8,476,807.72 kcal/hr, muy cercano a los 8,302,372 kcal/hr reales, con una diferencia mínima del 2.10%. El consumo de vapor en este caso presentó una diferencia aún menor, de solo un 1.06%. Estas diferencias evidencian la efectividad del modelo en los secadores rotatubos. Sin embargo, las pérdidas de calor por convección, inherentes al diseño del sistema, fueron elevadas. Estas pérdidas podrían reducirse mediante la mejora del aislamiento térmico en los secadores rotatubos (ADT), optimizando así su eficiencia energética.

Para los tanques de sanguaza y espumas, los resultados de la simulación coincidieron casi perfectamente con los valores reales, con un calor requerido de 783,150 kcal/hr para el tanque de sanguaza y 733,050 kcal/hr para el tanque de espumas. Las diferencias en el consumo de vapor fueron menores al 1%, lo que demuestra una alta precisión en el modelo para estos equipos.

Por último, en el intercambiador de calor, el calor requerido estimado por el modelo fue exactamente igual al valor real de 756,256 kcal/hr, mientras que el consumo de vapor mostró una diferencia

pequeña de 1.16%. Esto sugiere que el intercambiador de calor opera de manera eficiente en términos de la simulación, con una pequeña variación en el consumo de vapor, que puede atribuirse a factores operativos no modelados.

Conclusiones

El modelo térmico desarrollado en esta investigación ha demostrado ser eficaz para predecir el comportamiento de la planta de harina y aceite de pescado de Pesquera Exalmar S.A.A. (Planta Callao, con una capacidad de procesamiento de 115 toneladas por hora), con una diferencia del 1.63% en el calor requerido y el consumo de vapor en las cocinas, lo que valida la metodología utilizada. Sin embargo, en los secadores rotadiscos, se observó una diferencia del 12.03% en el calor requerido, lo que indica la necesidad de ajustes en el modelo. A pesar de esta

discrepancia, el desempeño en general fue positivo, especialmente en los secadores rotatubos, donde la diferencia fue solo del 2.10%.

El análisis exergético permitió identificar áreas críticas en términos de consumo energético y pérdidas térmicas, ofreciendo oportunidades para la optimización operativa de la planta. Esto es clave para mejorar la eficiencia energética y reducir las pérdidas térmicas.

El software está en proceso de mejora, con la implementación de la simulación de carga variable y la inclusión del análisis termoeconómico. Estos avances permitirán optimizar tanto el rendimiento térmico como los costos operativos, brindando una solución más integral para la optimización de procesos industriales.

Referencias

- Cengel, Y. A., & Boles, M. A. (2013). *Termodinámica: Un enfoque de ingeniería mecánica* (7a ed.). McGraw-Hill.
- CoolProp. (n.d.). CoolProp: A comprehensive thermophysical property library. <http://www.coolprop.org/index.html>
- Estrada, M. (2024, March 24). La voraz demanda de la acuicultura pone en jaque a la anchoveta. OjoPublico. <https://ojo-publico.com/5022/la-voraz-demanda-la-acuicultura-pone-jaque-la-anchoveta>
- Kern, D. Q. (1986). *Procesos de transferencia de calor*. McGraw-Hill.
- Kotas, T. J. (1985). *The exergy method of thermal plant analysis*. Butterworths.
- Pesquera Exalmar S.A.A. (2022). Diagrama de flujo realizado por Ing. R. Quintanilla. Pesquera Exalmar S.A.A. <https://www.exalmar.com.pe/>
- Python Software Foundation. (2024). Tkinter: Interfaz gráfica de

- usuario. Documentación oficial de Python. <https://docs.python.org/es/3/library/tkinter.html>
- Rosen, M. A., Dincer, I., & Kanoglu, M. (2008). Role of exergy in increasing efficiency and sustainability and reducing environmental impact. *Energy Policy*, 36 (1), 128-137.
- Tester, J. W., & Modell, M. (1997). *Thermodynamics and Its Applications* (3ra ed.). Prentice Hall.
- Wark, K., Jr., & Richards, D. E. (2001). *Termodinámica*. McGraw- Hill.

CAMPUS

Indexaciones



Repositorios Institucionales



Plataforma



Redes Sociales



Mejora de la calidad de agua para consumo humano mediante la implementación de filtros bioarena y filtros lentos de arena intermitentes 227

JULIO ALEXANDER LÓPEZ GARCÍA
LIA RAMOS FERNÁNDEZ
JOSELITO JERSIN ROBLES SILVESTRE
ANDRE JUAREZ CASTRO
HENRY JUAREZ SOTO

Exégesis crítica en la aplicación blockchain en la seguridad de la información en diversos sectores..... 253

DOMINICK REVILLA
DIEGO RODRÍGUEZ
ALBERTO MENDOZA DE LOS SANTOS

Efectos tóxicos agudos y crónicos de hidrocarburos en mamíferos 269

GENESIS SALAZAR
MAYRA PISCONTE
EMELY CONDORI
MILAGROS HUAMANÍ
JIMENA MORALES
MARÍA FERNANDA BARDALES
KIMBERLY ÑAHUIN
LUCERO HUAMANÍ
JOSÉ IANNAZONE

Técnicas de protección contra malware impulsadas por IA en entorno móviles.. 297

GIOVANI SALCEDO QUISPE
LEONARDO SACRAMENTO BENITES
ALBERTO MENDOZA DE LOS SANTOS

Software de inteligencia artificial para detectar microsueños en conductores.... 311

RUSO ALEXANDER MORALES GONZALES
JOSÉ ANTONIO GUZMÁN VALDIVIA
JOSÉ ALFREDO HERRERA QUISPE

Comparación de rendimiento de ejecución de tareas en distintos sistemas operativos: una revisión sistemática 337

CHRISTIAN MANUEL RODRÍGUEZ CHILET
MANUEL ALONSO CARRANZA AVELLANEDA
ADRIAN OLULO VERAMENDI
IVÁN CARLO PETRLIK AZABACHE

Ingeniería Agroindustrial desde la capacidad de innovación organizacional y la competitividad empresarial 361

EDWIN GONZALO MONTÁNCHEZ PICARDO

Creación de contenido en TikTok para la preservación del medioambiente 371

VIOLETA LEONOR ROMERO CARRIÓN
JULIÁN CCASANI ALLENDE
CÉSAR AUGUSTO RIVADENEYRA RIVAS
EVELYN ZAVALA ZAVALA

Predicción del rendimiento productivo de cuyes mediante el uso de fitobióticos 385

MANUEL AUGUSTO TIMANA SANDOVAL
GLADYS GALLEGOS CAMACHO
JUAN CARLOS SOSA VELARDE
SLY ALEX SOBRADO CLAUDIO
ENRIQUE RAÚL ADAMA ROJAS
MARILYN AURORA BUENDÍA MOLINA

Tecnología de naturación vertical y su efecto en el confort térmico en edificaciones comerciales de Lima..... 395

FREDDY PORFIRIO CONDORI HUAMÁN

Predicción del desempeño del motor diésel usando estrategias de regresión en machine learning 407

CÉSAR ELÍAS MENDOZA-SUÁREZ
MARGARITA CHEVARRIA MOSCOSO

Desarrollo y aplicación de un software para el análisis energético de una planta de harina y aceite de pescado 421

LUIS ENRIQUE ZANABRIA ALAN
GIANCARLO VALVERDE PADILLA



USMP
UNIVERSIDAD DE
SAN MARTÍN DE PORRES

Facultad de
Ingeniería y
Arquitectura