



REVISTA



INGENIERÍA QUÍMICA Y DESARROLLO



<https://revistas.ug.edu.ec/index.php/iqd>

Email: inquire@ug.edu.ec



Volumen 6 – Número 2 – Julio – Diciembre 2024

INQUIDE – Ingeniería Química y Desarrollo

INQUIDE – Ingeniería Química y Desarrollo * Volumen 7 * Número 1 * enero / junio 2025. Revista de Ciencia y Tecnología, editada por la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad de Guayaquil del Ecuador. Publicación dedicada a estudios multidisciplinarios en la ingeniería

Comité Ejecutivo:

Francisco Morán Peña, PhD, Universidad de Guayaquil, Ecuador. Rector de la Universidad de Guayaquil. <https://orcid.org/0000-0003-3655-6003>

Sofía Lovato Torres, PhD, Universidad de Guayaquil, Ecuador. Vicerrector Académico de la Universidad de Guayaquil. <https://orcid.org/0000-0001-5831-8554>

Luz Elvira Vásquez Luna, PhD, Universidad de Guayaquil, Ecuador. Decano de Investigación, Posgrado e Internacionalización, Universidad de Guayaquil. <https://orcid.org/0000-0001-8709-2072>

Amalin Ladayse Mayorga Albán, PhD, Universidad de Guayaquil, Ecuador. Coordinador de Investigación y Gestión del Conocimiento de la Universidad de Guayaquil <https://orcid.org/0000-0002-3667-0888>

Sandra Ronquillo Castro, PhD, Universidad de Guayaquil, Ecuador. Decano de la Facultad de Ingeniería Química, Universidad de Guayaquil, Ecuador. <https://orcid.org/0000-0002-9048-8454>

Hugo Pérez Benítez, MSc. Universidad de Guayaquil, Ecuador. Vicedecano de la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad de Guayaquil, Ecuador. <https://orcid.org/0000-0001-7460-4032>

Francisco Javier Duque-Aldaz, MSc. Universidad de Guayaquil, Ecuador. Editor General de la Revista de Ingeniería y Desarrollo Químico de la Universidad de Guayaquil. <https://orcid.org/0000-0001-9533-1635>

Miembro del Comité Científico Internacional

José Carmona Tapia, PhD, Universidad de Almería; España. <https://orcid.org/0000-0001-9319-4382>

Raúl Alfredo Sánchez Ancajima, PhD, Universidad Nacional de Tumbes; Perú. <https://orcid.org/0000-0003-3341-7382>

Raúl Guinovart Díaz, PhD, Universidad de La Habana, Cuba. <https://orcid.org/0000-0001-7702-6063>

Ricardo Sánchez Casanova, PhD, Universidad de La Habana, Cuba. <https://orcid.org/0000-0001-5354-6873>

Félix Genaro Cabezas García; MSc. Mohawk College Hamilton, Ontario; Canadá. <https://orcid.org/0000-0003-3595-3584>

Fernando Raúl Rodríguez Flores, MSc Universidad de La Habana, Cuba. <https://orcid.org/0009-0002-8275-7631>

Miembro del Consejo Editorial

Armando Fabrizzio López Vargas, PhD, Universidad Politécnica Salesiana; Ecuador. <https://orcid.org/0000-0001-6520-8011>

Patricio Javier Cáceres Costales, PhD. Escuela Superior Politécnica del Litoral; Ecuador. <https://orcid.org/0000-0002-4651-4387>

Aristides Reyes Bacardí; Maestría en Ciencias de la Universidad Estatal de Milagro; Ecuador. <https://orcid.org/0000-0002-3154-2000>

Leonor Alejandrina Zapata Aspiazu; MSc. Universidad Técnica de Babahoyo; Ecuador. <https://orcid.org/0009-0003-1497-2273>

Genaro Eliceo Díaz Solís; MSc. Universidad Politécnica Salesiana; Ecuador. <https://orcid.org/0009-0003-3963-9039>

Ana Fabiola Terán Alvarado; MSc. Universidad Politécnica Salesiana; Ecuador. <https://orcid.org/0000-0002-4092-8001>

Luis Ángel Bucheli Carpio; MSc. Universidad Estatal de Milagro; Ecuador. <https://orcid.org/0000-0003-2277-603X>

Edwin Ronny Haymacaña Moreno; MSc. Instituto Superior Tecnológico Argos; Ecuador. <https://orcid.org/0000-0002-8708-3894>

William Efrén Villamagua Castillo; MSc. Universidad de Guayaquil; Ecuador. <https://orcid.org/0000-0002-1163-9606>

Editor General

Francisco Javier Duque-Aldaz, MSc.

Editorial

Facultad de Ingeniería Química de la Universidad de Guayaquil (Guayaquil – Ecuador)

Copyright. INQUIDE – Ingeniería Química y Desarrollo / 2025, Universidad de Guayaquil. Se permite la reproducción total o parcial de esta revista citando la fuente.



INQUIDE

*Ingeniería Química
y Desarrollo*

INQUIDE

Ingeniería Química y Desarrollo

Volumen 7 – Numero 1

enero – junio 2025

ISSN impreso: 1390 –9428 / ISSN electrónico: 3028-8533

La administración de INQUIDE – Ingeniería Química y Desarrollo se realiza a través de
los siguientes parámetros:

La revista utiliza el sistema antiplagio académico: 

Los artículos cuentan con código de identificación (Digital Object Identifier)



El proceso editorial se gestiona a través del Open Journal System



Es una publicación de acceso abierto (Open Access) con licencia Creative Commons



Los artículos de la presente edición pueden consultarse en

<https://revistas.ug.edu.ec/index.php/iqd/index>

Facultad de Ingeniería Química

Universidad de Guayaquil

La Revista INQUIDE – Ingeniería Química y Desarrollo está indexada en las siguientes

Bases de Datos y sistemas de información:





Carta del Editor

Estimados lectores.

Es un gran placer presentarles el número 6, volumen 2 de nuestra revista científica Ingeniería Química y Desarrollo INQUIDE. En este número, hemos seleccionado seis artículos de alta calidad que abordan diferentes temas relevantes en el campo de la ingeniería química y el desarrollo.

El primer artículo, titulado "Análisis comparativo post pandemia entre la crisis sanitaria y las políticas públicas del Cantón Playas-Ecuador", realizado por Germán Narváez Vásquez, Teresa Meza Clark, Jorge Meza Clark y Atzimba González Garcilazo, analiza la situación post-pandemia en el Cantón Playas, uno de los principales destinos turísticos de la Provincia del Guayas en Ecuador. El estudio comparó la crisis sanitaria con las políticas públicas implementadas y los resultados obtenidos sugieren que la mala situación del sector turístico ecuatoriano podría deberse a la política pública.

El segundo artículo, "La presencia de cianotoxinas en aguas y alimentos frescos: implicaciones para la salud humana", escrito por Nelfa Elizabeth España Francis y Liliana María Gómez Luna, presenta una revisión sistemática-crítica sobre la presencia e implicaciones de las cianotoxinas en aguas y alimentos frescos. Los resultados demuestran el impacto negativo de las cianotoxinas en la salud humana, incluyendo síntomas gastrointestinales, afecciones hepáticas y daños al sistema nervioso. Los autores hacen énfasis en la necesidad de obtener datos precisos sobre la carga toxicológica de las cianotoxinas en agua, biomasa y alimentos frescos para establecer restricciones y garantizar la salud.

El tercer artículo, "Predicción del contenido de humedad en el proceso de secado del cacao mediante regresión lineal simple", realizado por Francisco Javier Duque-Aldaz, Edwin Ronny Haymacaña Moreno, Leonor Alejandrina Zapata Aspiazu y Freddy Carrasco Choque, describe un modelo predictivo para el control de humedad en el proceso de secado de cacao. El modelo tuvo una alta capacidad predictiva de 90.16%, lo que permitirá a las empresas mejorar el control de este parámetro crítico mediante medidas informadas.

El cuarto artículo, "Evaluación de riesgos y medidas de control en maquinaria en una empresa de producción de alimentos", realizado por Jayling Selena Fu-López, Juan Daniel Calva Valarezo, Hugo Alfredo Pérez Benítez, Franklin Vicente López Rocafuerte y Jaime Patricio Fierro Aguilar, analiza los riesgos en maquinaria de una planta alimenticia mediante la matriz HRN. El estudio identifica los riesgos críticos y formula planes de acción para su mitigación, incluyendo requerimientos de guardas y capacitación.

El quinto artículo, "Optimización de despacho de combustible fuel oil a través de regresión multivariada utilizando indicadores locales de almacenamiento", realizado por Geovanny Javier Morocho Choca, Luis Ángel Bucheli Carpio y Francisco Javier Duque-Aldaz, presenta un modelo de regresión multivariada para optimizar el despacho de combustible fuel oil. El modelo tiene un excelente ajuste a los

datos reales históricos, lo que permitirá optimizar significativamente los procesos logísticos de despacho de combustible, mejorando la planificación, minimizando costos e inconsistencias operativas.

El sexto y último artículo, "Estudio comparativo de extracción y caracterización del aceite de aguacate, mediante procesos de termobatido, enzimático, prensado hidráulico y expeller", realizado por Miroslav Gonzalo Alulema Cuesta, Joselin Patricia Estrada Gaybor y Kenia Doménica Morocho Salazar, presenta un estudio comparativo para la obtención de aceite de aguacate por cuatro métodos distintos. El estudio identificó diferencias significativas en términos de rendimiento y calidad, y determinó el mejor método para la extracción de aceite de aguacate.

Invitamos a todos los lectores a leer esta edición de la revista Ingeniería Química y Desarrollo INQUIDE y a compartir sus comentarios y opiniones.

Además, queremos invitar a todos los investigadores a enviar sus trabajos para su publicación en nuestra revista. Estamos comprometidos con la difusión del conocimiento científico de alta calidad, y nos enorgullece ser una plataforma para la publicación de investigaciones innovadoras y relevantes en el campo de la ingeniería química y la producción.

Sin más, les deseamos una feliz lectura y les agradecemos su apoyo a nuestra revista.

Atentamente,

Francisco Javier Duque-Aldaz.
Director - Editor
Ingeniería Química y Desarrollo



Letter from the Editor

Dear readers,

It is a great pleasure to present Volume 2, Issue 6 of our scientific journal, Ingeniería Química y Desarrollo INQUIDE. In this issue, we have selected six high-quality articles that address various relevant topics in the field of chemical engineering and development.

The first article, titled "Comparative post-pandemic analysis between the health crisis and public policies in Playas Canton-Ecuador", by Germán Narváez Vásquez, Teresa Meza Clark, Jorge Meza Clark, and Atzimba González Garcilazo, analyzes the post-pandemic situation in Playas Canton, one of the main tourist destinations in the Province of Guayas in Ecuador. The study compared the health crisis with the public policies implemented, and the results obtained suggest that the poor situation of the Ecuadorian tourism sector could be due to public policy.

The second article, "The presence of cyanotoxins in water and fresh foods: implications for human health", written by Nelfa Elizabeth España Francis and Liliana María Gómez Luna, presents a systematic-critical review of the presence and implications of cyanotoxins in water and fresh foods. The results demonstrate the negative impact of cyanotoxins on human health, including gastrointestinal symptoms, liver conditions, and damage to the nervous system. The authors emphasize the need to obtain precise data on the toxic load of cyanotoxins in water, biomass, and fresh foods to establish restrictions and ensure health.

The third article, "Prediction of moisture content in the cocoa drying process using simple linear regression", carried out by Francisco Javier Duque-Aldaz, Edwin Ronny Haymacaña Moreno, Leonor Alejandrina Zapata Aspiazu, and Freddy Carrasco Choque, describes a predictive model for moisture control in the cocoa drying process. The model had a high predictive capacity of 90.16%, which will allow companies to improve the control of this critical parameter through informed measures.

The fourth article, "Risk assessment and control measures in machinery in a food production company", carried out by Jayling Selena Fu-López, Juan Daniel Calva Valarezo, Hugo Alfredo Pérez Benítez, Franklin Vicente López Rocafuerte, and Jaime Patricio Fierro Aguilar, analyzes the risks in machinery in a food production plant using the HRN matrix. The study identifies critical risks and formulates action plans for their mitigation, including guard and training requirements.

The fifth article, "Optimization of fuel oil dispatch through multivariate regression using local storage indicators", carried out by Geovanny Javier Morocho Choca, Luis Ángel Bucheli Carpio, and Francisco Javier Duque-Aldaz, presents a multivariate regression model to optimize the dispatch of fuel oil. The model has an excellent fit to historical real data, which will allow for significant optimization of fuel oil dispatch

logistics processes, improving planning, minimizing costs, and reducing operational inconsistencies.

The sixth and final article, "Comparative study of a avocado oil extraction and characterization by: thermo-beating, enzymatic, hydraulic pressing, and expeller processes", carried out by Miroslav Gonzalo Alulema Cuesta, Joselin Patricia Estrada Gaybor, and Kenia Doménicka Morocho Salazar, presents a comparative study for the obtention of avocado oil by four different methods. The study identified significant differences in terms of yield and quality and determined the best method for avocado oil extraction.

We invite all readers to read this edition of the Ingeniería Química y Desarrollo INQUIDE journal and share their comments and opinions.

Furthermore, we would like to invite all researchers to submit their work for publication in our journal. We are committed to the dissemination of high-quality scientific knowledge and are proud to be a platform for the publication of innovative and relevant research in the field of chemical engineering and production.

Thank you for your support of our journal, and we wish you a happy reading.

Sincerely,

Francisco Javier Duque-Aldaz.
Director - Editor
Chemical Engineering and Development

ÍNDICE

Artículos Científicos.

Análisis comparativo post pandemia entre la crisis sanitaria y las políticas públicas del Cantón Playas-Ecuador.....	3
Post-pandemic comparative analysis between the health crisis and the public policies of the Playas Canton-Ecuador	
Germán Narváez Vásquez; Teresa Meza Clark; Jorge Meza Clark; Atzimba González Garcilazo	
La presencia de cianotoxinas en aguas y alimentos frescos: implicaciones para la salud humana	11
The cyanotoxins occurrence in water and fresh foods: human health implications	
Nelfa Elizabeth España Francis; Liliana María Gomez Luna	
Predicción del contenido de humedad en el proceso de secado del cacao mediante regresión lineal simple.....	20
Prediction of moisture content in the cocoa drying process by simple linear regression.	
Francisco Javier Duque-Aldaz; Edwin Ronny Haymacaña Moreno; Leonor Alejandrina Zapata Aspiazú; Freddy Carrasco Choque	
Evaluación de riesgos y medidas de control en maquinaria en una empresa de producción de alimentos.....	31
Risk assessment and control measures for machinery in a food production company.	
Jayling Selena Fu-López; Juan Daniel Calva Valarezo; Hugo Alfredo Pérez Benítez; Franklin Vicente López Rocafuerte; Jaime Patricio Fierro Aguilar	
Optimización de despacho de combustible fuel oil a través de regresión multivariada utilizando indicadores locales de almacenamiento.....	41
Fuel oil fuel dispatch optimization through multivariate regression using local storage indicators.	
Geovanny Javier Morocho Choca; Luis Ángel Bucheli Carpio; Francisco Javier Duque-Aldaz	
Estudio comparativo de extracción y caracterización del aceite de aguacate, mediante procesos de: termobatido, enzimático, prensado hidráulico y expeller.....	49
Comparative study of extraction and characterization of avocado oil, through processes of: thermobeating, enzymatic, hydraulic pressing and expeller.	
Miroslav Gonzalo Alulema Cuesta; Joselin Patricia Estrada Gaybor; Kenia Doménicka Morocho Salazar	



Análisis comparativo post pandemia entre la crisis sanitaria y las políticas públicas del Cantón Playas-Ecuador

Post-pandemic comparative analysis between the health crisis and the public policies of the Playas Canton-Ecuador

Germán Narváez Vásquez¹ * ; Teresa Meza Clark² ; Jorge Meza Clark³ & Atzimba González Garcilazo⁴

Recibido: 04/03/2024 – Aceptado: 06/06/2024 – Publicado: 01/07/2024

*Autor para la correspondencia.

Resumen.

Frente a la crisis desencadenada por la pandemia del SARS-CoV-2, la economía global enfrentó un colapso sin precedentes, afectando tanto aspectos económicos como sociales. En América Latina y el Caribe, sectores fundamentales como el turismo sufrieron una paralización significativa. Según datos de la Organización Mundial del Turismo (OMT), la afluencia de turistas internacionales a nivel mundial disminuyó drásticamente, lo que sugiere una reactivación gradual del sector. Ecuador, entre los países más afectados, experimentó un aumento alarmante de casos de contagio, ubicándose en el segundo lugar en términos de mortalidad después de Brasil. La presente investigación tiene como objetivo analizar la situación post-pandemia, comparando la crisis sanitaria con las políticas públicas implementadas en el Cantón Playas, uno de los destinos turísticos principales de la Provincia del Guayas, para lo cual se aplicó el siguiente método: i) Análisis de los indicadores socio-económicos aplicados al sector turístico nacional e internacional, ii) Análisis del caso de estudio y aplicación de encuestas a centros turísticos del Cantón Playas en dos momentos, y, iv) Inferencias sobre indicadores afectados. Los resultados obtenidos conllevan a reflexionar si la mala situación que atraviesa el sector turístico ecuatoriano es el resultado de la pandemia o de política pública.

Palabras clave.

post pandemia, sector turístico, crisis sanitaria, política pública.

Abstract.

Faced with the crisis triggered by the SARS-CoV-2 pandemic, the global economy faced an unprecedented collapse, affecting both economic and social aspects. In Latin America and the Caribbean, fundamental sectors such as tourism suffered a significant paralysis. According to data from the World Tourism Organization (UNWTO), the influx of international tourists worldwide decreased drastically, suggesting a gradual reactivation of the sector. Ecuador, among the most affected countries, experienced an alarming increase in cases of contagion, ranking second in terms of mortality after Brazil. The objective of this research is to analyze the post-pandemic situation, comparing the health crisis with the public policies implemented in the Playas Canton, one of the main tourist destinations in the Province of Guayas, for which the following method was applied: i) Analysis of the socio-economic indicators applied to the national and international tourism sector, ii) Analysis of the case study and application of surveys to tourist centers in the Playas Canton in two moments, and iv) Inferences about affected indicators. The results obtained lead us to reflect on whether the bad situation that the Ecuadorian tourism sector is going through is the result of the pandemic or public policy.

Keywords.

post pandemic, tourism sector, health crisis, public policy.

1. Introducción.

Finalizando el año 2019, el municipio de Wuhan en la Provincia de Hubei, China, dio a conocer varios casos de neumonía con etimología desconocida, para el 9 de enero de 2020, el Centro Chino para el Control y la Prevención de Enfermedades identificó un nuevo coronavirus como el causante de este brote. El 30 de enero de 2020, con más de 7,700 casos confirmados en China y 82 casos confirmados entre 18 países, el Director General de la Organización Mundial de la Salud (OMS) manifestó al brote como una emergencia de salud pública de importancia internacional, tomando las recomendaciones del Comité de Emergencia del Reglamento Sanitario Internacional. En marzo de 2020

la OMS determinó al virus SARS-CoV-2 (Covid-19) una pandemia a nivel mundial. [1]

El SARS-CoV-2, paralizó diversos sectores clave de la economía de América Latina y el Caribe, como el turismo. De acuerdo con la Comisión Económica para América Latina (CEPAL) la concurrencia de turistas internacionales a nivel mundial disminuirá entre 58% y 78% en 2020 [2]. En este contexto, el Círculo de Estudios Latinoamericanos (CESLA) señala que Ecuador en el mes de mayo, evidenciaba 579,783 trabajadores suspendidos y al 3 de julio incrementaron a 705,424, es decir más de 100,000 personas inactivas. El 37.58% en Pichincha y 30.62% en Guayas [3].

¹ Universidad de Guayaquil; german.narvaezv@ug.edu.ec; <https://orcid.org/0000-0003-1397-2610>; Guayaquil; Ecuador.

² Universidad de Guayaquil; teresa.mezacl@ug.edu.ec ; <https://orcid.org/0000-0002-5955-6893> ; Guayaquil; Ecuador.

³ Universidad de Guayaquil; jorge.mezacl@ug.edu.ec ; <https://orcid.org/0000-0003-0512-8671> ; Guayaquil; Ecuador

⁴ Universidad Vasco de Quiroga; agonzalezg@uvaq.edu.mx ; <https://orcid.org/0000-0002-2739-2417> ; Morelia; México



El Cantón Playas es el único balneario de la Provincia del Guayas, posee un clima excepcional y acoge a turistas nacionales e internacionales todo el año, su economía se basa en el turismo y pesca, de la actividad turística dependen alrededor de 2,500 familias. Playas tiene 57,817 habitantes, en mediados del mes de marzo se registraron 6 muertes por día a causa del virus, registrando 174 muertes en el pico de la pandemia, anteriormente la media era de cuatro muertes por mes [4].

Mediante el reporte del Centro de Operaciones de Emergencia (COE) cantonal y después de los resultados obtenidos mediante la realización de las pruebas rápidas en la población del Cantón Playas a finales del mes de mayo, el 86% de la población no estaba contagiada del virus (49,020 personas), mientras el 14% restante equivalente a 7,980 personas eran portadoras del virus; de estas, el 31% (2,474 personas) eran pacientes asintomáticos [5].

La presente investigación tiene como objetivo, realizar un análisis comparado post pandemia entre la crisis sanitaria y las políticas públicas del Cantón Playas-Ecuador, para conseguir el objetivo planteado se combinaron enfoques cualitativo y cuantitativo, con un diseño de investigación no experimental, transversal, el tipo de investigación es descriptivo, que ayudará a analizar los efectos sociales y económicos en el Cantón Playas, para ello se utilizaron instrumentos de recolección de datos como la encuesta, entrevistas semiestructuradas, fichas de observación y registro fotográfico de la zona.

Los resultados obtenidos conllevan a inferir que, en el año 2022, los factores que más impactaron en el aspecto económico fueron los relacionados con el ingreso y el desempleo, apenas diferente con un dígito al año de pandemia, lo que podemos deducir con este rubro es que antes de la pandemia y después de la pandemia, la situación económica no ha mejorado. En el aspecto social fueron la salud y la educación, lo que se puede destacar que si bien es cierto la apertura al contacto social se abrió, el tema de salud no mejoró, pero la situación de la educación tuvo mejor proyección.

1.1 Revisión de la literatura.

Para realizar el análisis comparado post pandemia entre la crisis sanitaria y las políticas públicas, es necesario abordar el tema del “Desarrollo local” que, entre otros elementos, es el conjunto de relaciones y eslabonamientos productivos, comerciales y de empleo relevantes para explicar la eficiencia productiva y competitividad de la base económica de un determinado territorio, no tiene por qué coincidir con las fronteras administrativas de un municipio o provincia. El desarrollo local tiene perspectiva territorial y es de tendencia ascendente de “abajo-arriba”, requiere la participación de las autoridades públicas (municipales,

provinciales y país) que simplifiquen el éxito de los objetivos y estrategias de desarrollo territorial [6].

El desarrollo local no se limita exclusivamente al desarrollo económico local, se trata de un enfoque integrado en el cual deben considerarse igualmente los aspectos ambientales, culturales, socio institucionales laborales y de desarrollo humano del ámbito territorial respectivo, [6, 5].

Por otro lado, los factores del desarrollo socioeconómico son aquellos que miden el progreso de una población, su nivel de igualdad y la cohesión que existe entre sus habitantes. Estos factores son indicadores que permiten realizar propuestas para la toma de decisiones principalmente en aspectos económicos y sociales, lo que permite favorecer el desarrollo integral de la población. En la siguiente Figura 1, se detalla las dimensiones consideradas para la investigación, las mismas que fueron obtenidas a partir de las bases de datos del Instituto Nacional de Estadística y Censos [7]. Ministerio de Inclusión Económica y Social [8].

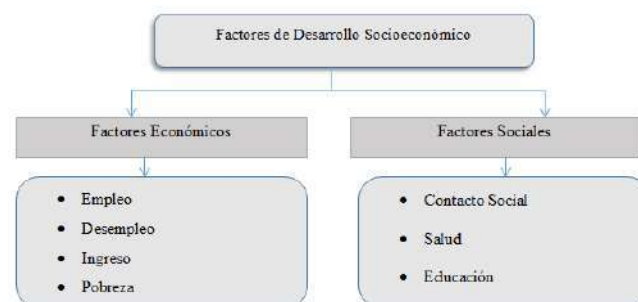


Figura 1. Factores que miden el Desarrollo Socioeconómico

El desarrollo económico es un factor preponderante en los niveles de satisfacción de un país o región ya que este está íntimamente ligado a mejorar los índices de estabilidad y de desarrollo humano. Los economistas han descubierto que los factores determinantes del desarrollo económico se basan en cuatro ejes: recursos humanos, recursos naturales, capital y tecnología [9].

El capital humano actualmente denominado recursos humanos comprende un eje angular en el desarrollo económico y necesita de una atención prioritaria para mantener un nivel de eficiencia óptimo. Las inversiones en capital humano son fuente de crecimiento y bienestar, por lo que contribuyen sustancialmente al crecimiento económico y a la productividad de la economía como complemento a los aportes provenientes de la inversión en capital fijo [10]. De esta manera podemos entender la importancia que tienen los recursos humanos dentro del desarrollo económico de un país.

Por otro lado, se considera que el capital humano es un condicionante para el desarrollo y éxito de una economía, en otras palabras, una economía que tiene pensado progresar debe atender al capital humano de manera



adecuada brindándole salud, seguridad, educación de calidad [11]. Los recursos naturales son materiales existentes en el entorno natural escasos y económicamente útiles en la producción o el consumo, ya sea en estado bruto o tras haber sido sometidos a un mínimo proceso de elaboración [9]. A continuación, los factores que fueron considerados para analizar la situación económica del sector:

En primer lugar, tenemos al “empleo”, que de acuerdo con la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos, la generación de empleos productivos es clave para fomentar el crecimiento económico, reducir la pobreza e incrementar la cohesión social. El empleo es la herramienta principal de lucha contra la pobreza y dignificación del ser humano ya que al brindarle una fuente de ingreso digna. La persona podrá fomentar el crecimiento económico del país y aumentar su calidad de vida personal, pudiendo acceder a mejores oportunidades de vida como educación, salud, vivienda y de esta manera incrementar su nivel de satisfacción y superación personal. lo cual se verá reflejado en los índices de desarrollo humano [12].

La Organización Internacional del Trabajo (OIT), señala que mejorar el acceso a empleos de calidad puede redundar en un aumento de ingresos y contribuir a lograr sociedades más cohesionadas y equitativas. La creación de empleos de mejor calidad es primordial para lograr el mundo que anhelamos. La cohesión de las sociedades es una de las tareas fundamentales de los gobiernos la cual se logra a través de una correcta legislación y políticas públicas que ayuden a la población a conseguir empleo digno lo cual dignifica al ser humano incrementando su nivel de satisfacción y por ende su producción para de esta manera crear un motor económico más potente en el cual se beneficia tanto el estado como la población. [13].

Por otro lado, el “desempleo” es una condición limitante en el desarrollo de un país ya que con altas tasas de desempleo no se puede otorgar a la población condiciones de vida digna y elevar el bienestar social. Este es uno de los fenómenos económicos más preocupantes ya que ocasiona un lento crecimiento, disminución de la tasa de empleo y recesión económica, afectando a los sectores económicos más vulnerables de la economía [14].

Mantener los índices de desempleo bajo para un gobierno es importante ya que esto le permite brindarle más estabilidad a la población, lo que representa una carga fiscal menor para el gobierno ya que no habrá una alta demanda de servicios sociales por parte de la población. En las condiciones en la que nos encontramos, luchar contra el desempleo representa una verdadera batalla por parte de los gobiernos alrededor del mundo especialmente para los latinoamericanos ya que la crisis sanitaria actual ocasionada por el COVID-19, más las restricciones sociales impuestas

para contener el virus merma las condiciones de un empleo seguro y estable.

En los últimos 10 meses los mercados laborales de América latina y el Caribe han retrocedido al menos 10 años, y la crisis está lejos de terminar. Llegamos a 2021 con el empleo en terapia intensiva, y con la difícil pero ineludible misión de sentar las bases para una nueva y mejor normalidad [13]. En Ecuador el Desempleo afecta significativamente ya que al no existir plazas de trabajo las personas optan por emplearse ellos realizando actividades informales que no representan las condiciones dignas ni los beneficios sociales adecuados [14].

El Instituto Nacional de Estadísticas y Censos, (INEC), ubica al empleo adecuado en 30.8%; subempleo 22.7%; empleo no remunerado en 12.2%; otro empleo no pleno en 28.4%; el desempleo en 5%. Estas estadísticas dan a conocer que el desempleo en el Ecuador ha ido aumentando desde el año 2019 y la tasa de subempleo de igual manera dando a conocer que el Ecuador actualmente no brinda las condiciones adecuadas para un empleo digno permitiendo que se establezcan condiciones inadecuadas de vida sobre el país [7].

En este mismo sentido, el “ingreso” es un medio que permite alcanzar logros valiosos para el desarrollo humano; considerando las variaciones interpersonales del individuo, determinadas por su capacidad, para convertir dichos medios en resultados aceptablemente esperados [15]. La desigualdad por ingreso crea brechas entre las poblaciones es deber de los gobiernos y de sus Gobiernos Autónomos Descentralizados (GADS) crear políticas para que estas brechas no sean tan prominentes, esto se podría acortar brindándole a la población más vulnerable las herramientas necesarias para poder tener la capacidad de luchar por similares ingresos sin importar su condición económica.

Elevados niveles de desigualdad son indeseables por los efectos que tienen en la sociedad: restricciones al desarrollo y crecimiento económico, problemas de criminalidad y violencia, mayor polarización y menor cohesión social [16]. Mientras mayor sea la desigualdad por ingreso en un país van a ser más visibles las brechas sociales que se manifiesten en esa sociedad, por tal motivo los gobiernos o municipios deben emitir leyes, normas que garanticen brindarle a los más necesitados las herramientas necesarias para que ellos con educación, salud, trabajo puedan acortar esas brechas y de tal manera aportar al crecimiento del país.

Otro factor para considerar es la "pobreza". En el contexto del desarrollo, esta implica la necesidad de eliminar las privaciones de libertad, incluyendo la propia pobreza. La pobreza no se relaciona únicamente con los ingresos bajos, sino también con la falta de oportunidades. No solo indica que una persona carece de suficiente poder adquisitivo, sino que actúa como un ancla que mantiene a los países en el



subdesarrollo e impide que logren un desarrollo pleno. Un país con altos niveles de pobreza no puede ser considerado desarrollado [17].

Los efectos de la pobreza por quienes la padecen y sobre las sociedades que la soportan, afectan a la vida y a la salud de las personas, a su bienestar y a su seguridad. Los pobres a menudo ven afectados sus derechos más básicos y no suelen tener una voz audible en la arena política. De ahí que sus intereses no suelen ser tenidos en cuenta incluso en un contexto democrático. La lucha contra la pobreza es también una lucha contra la inclusión social a favor del significado de democracia que es escuchar al pueblo sus necesidades y darle las herramientas que necesita para salir adelante porque mientras esto no pase la pobreza seguirá devorando las sociedades sumergiéndolas en la miseria y el declive social [18].

Por otro lado, el desarrollo social busca la participación de los ciudadanos dentro de una sociedad en el cual estos puedan desarrollarse, adquirir habilidades y poder fluir en sinergia con sus semejantes. El desarrollo social promueve la inclusión de los pobres y vulnerables empoderando a las personas, creando sociedades cohesivas y resilientes, y mejorando la accesibilidad y la rendición de cuentas de las instituciones a los ciudadanos, así podemos entender que el desarrollo social busca la inclusión y el bienestar de la sociedad [19].

Al referirnos de desarrollo social también nos referimos al hecho de buscar incrementar el nivel de satisfacción personal de un conjunto de personas con relación al entorno en el cual habitan. Esto es deber fundamental del Estado o Municipio que los rige, el cual debe brindar las condiciones necesarias para que esto se cumplan a través de leyes, campañas, programas sociales e incluso de la provisión de servicios fundamentales como lo son los servicios básicos de calidad que puedan garantizar el adecuado vivir de la población.

Uno de los factores que se ha considerado para medir el desarrollo social, es el “contacto social”, que consiste en alejarse de lugares concurridos y restringidos la interacción entre las personas tomando cierta distancia física o evitando el contacto directo entre ellas [20].

El Centro para el Control y la Prevención de Enfermedades (CDC), recomienda que el distanciamiento social es una de las medidas de prevención cotidianas que se deben tomar en conjunto para reducir la propagación del COVID-19, que incluyen usar mascarillas [21]. Los organismos de salud mundial, regional, nacionales han encontrado en el distanciamiento social su medida más efectiva para luchar contra este padecimiento. La reducción del contacto social ayuda a mejorar los índices de contagio manteniendo más controlada la curva epidemiológica.

Otro de los indicadores considerados en la investigación es la “salud”, considerado como un estado de completo bienestar físico, mental y social, y no solamente la ausencia de afecciones o enfermedades” [22] en la salud no solo se busca el bienestar físico del individuo sino también su bienestar mental y social para de esa manera afirmar que esa persona posee un estado de salud pleno. La Salud Pública se define como una actividad gubernamental y social muy importante, de naturaleza multidisciplinaria e interdisciplinaria, que se extiende a casi todos los aspectos de la sociedad [23].

La salud pública es una de las actividades gubernamentales más importantes del estado ya que al garantizar un completo bienestar físico, mental, social de la población aumentan los niveles de estabilidad social y producción económica, de acuerdo con Cardona [24], la salud pública es la ciencia y el arte de prevenir las dolencias y las discapacidades, prolongar la vida y fomentar la salud y la eficiencia física y mental mediante esfuerzos organizados de la comunidad para sanear el medio ambiente, controlar las enfermedades infecciosas y no infecciosas.

La Organización de las Naciones Unidas para la Cultura, las Ciencias y la Educación, (UNESCO), expresa que la “educación”, es uno de los principales derechos de los que debe gozar la población ya que esta les permitirá su desarrollo personal, tanto emocional como moral, en el cual ellos podrán acceder a mejores oportunidades de vida a través del desarrollo de sus capacidades intelectuales. En este mismo sentido se afirma que la “La educación es un derecho humano para todos, a lo largo de toda la vida, y que el acceso a la instrucción debe ir acompañado de la calidad” [25]. Reforzando esta idea la Organización de las Naciones Unidas (ONU), señala que la educación tendrá por objeto el pleno desarrollo de la personalidad humana y el fortalecimiento del respeto a los derechos humanos y a las libertades fundamentales [26].

2. Materiales y métodos.

La pandemia genera importantes efectos en el crecimiento económico y el desarrollo social de los países, ocasionando mayor desigualdad y vulnerabilidad que se observan en las tendencias crecientes de la pobreza y pobreza extrema. La investigación se caracteriza por ser, exploratoria descriptiva, ya que describe las causas de la problemática y analiza sus posibles efectos sin arribar a inferencias causales o de asociación de variables.

La exploración de la literatura se realizó en las diferentes bases de datos, destacando la información de la Organización Mundial del Turismo, (OMT) [27], la CEPAL [2], y aplicando las variables socio-económicas del INEC [7], y los indicadores estadísticos generales del Ministerio de Inclusión Económica y Social (MIES) [8], así como la extensa literatura de fuentes confiables como artículos científicos y publicaciones que nos permitieron realizar una



línea de tiempo respecto de las variables que intervienen poniendo especial énfasis en el impacto social y económico del sector de análisis.

En la búsqueda de conseguir el objetivo planteado se aplicó el siguiente método: i) Análisis de los indicadores socioeconómicos aplicados al sector turístico nacional e internacional, ii) Análisis del caso de estudio y aplicación de encuestas a centros turísticos del Cantón Playas en dos períodos, y, iv) Inferencias sobre indicadores afectados.

Para el análisis de los indicadores turísticos se recurrió a la base de datos de la OMT, donde se comparó la situación del turismo de los años 2020, 2021 y 2022 a nivel mundial (ver Tabla 1), y América y el Caribe (ver Tabla 2); así como, a nivel nacional (ver Tabla 3). El análisis socio económico del Cantón Playas, se realizó en dos periodos; el primero en el año 2020, a través de una muestra no probabilística seleccionada a conveniencia del investigador, eligiendo cinco establecimientos (dos hoteles y tres restaurantes) y aplicando encuestas a 85 dueños de pequeños negocios turísticos.

En un segundo periodo, en el año 2022, se volvieron a aplicar los cuestionarios (entrevistas semiestructuradas) a los cinco establecimientos turísticos, encuestados en el año 2020; y se aplicaron encuestas a 70 dueños de pequeños negocios turísticos a conveniencia del investigador.

Entre las técnicas de investigación utilizadas tenemos la ficha de observación, la misma que se relacionaba con la descripción de la situación social y económica de los pequeños negocios turísticos. Posteriormente se aplicó un cuestionario, el mismo que fue previamente validado en la investigación del año 2020 y sometido a análisis de expertos docentes de la Universidad de Guayaquil. Para el análisis de resultados se utilizó la herramienta estadística SPSS, la cual permitió realizar inferencias de la información recabada.

3. Análisis e Interpretación de Resultados.

América Latina y el Caribe afrontan la pandemia desde una posición más difícil en comparación al resto del mundo, previo a la pandemia. La CEPAL predecía que la región crecería un máximo del 1.3% en 2020. No obstante, los efectos de la pandemia han causado el cambio de esta previsión y en el tiempo de pandemia se pronostica una caída en el PIB de alrededor 1.8%. El impacto económico final sería el resultado de las medidas tomadas a nivel nacional, regional y mundial [2].

Los sectores con mayor afectación a causa de las medidas de distanciamiento social y cuarentenas son los de servicios, que dependen del contacto interpersonal. Entre los sectores que sufrieron mayor contracción están: comercio, transporte, servicios empresariales y servicios sociales que proveen el 64% del empleo formal. Del mismo modo, el

53% del empleo en la región se presenta en actividades informales, que se vieron significativamente afectadas [2].

Del mismo modo la economía mundial vive una crisis económica y social sin precedentes. Se paralizaron muchos sectores clave en América Latina y el Caribe, como por ejemplo el sector turístico. La OMT considera que la concurrencia de turistas internacionales a nivel mundial disminuyó entre 58% y 78% en 2020 [2], lo que hacía presumir que la reactivación del sector será progresiva desde el año 2021. No obstante, como podemos observar en la Tabla 1, la recuperación del sector ha sido muy lenta y en algunos casos como en el Asia y el Pacífico casi nula.

Tabla 1. Resultado del turismo mundial

	África	Américas	Asia y el Pacífico	Europa	Medio Oriente
2020	-75%	-67%	-80%	-66%	-73%
2021	-74%	-62%	-94%	-59%	-71%
2022	-40%	-35%	-86%	-26%	-24%

Fuente: Elaboración propia con base en la [27]

Las regiones que han tenido una significativa recuperación desde el año 2020, así tenemos que las Américas pasan de un -67% en el 2020 a un -35% en el 2022, del mismo modo, Europa con un -66% en el 2020 a un -26% en el 2022, lo que confirma la hipótesis de que todo dependería de las decisiones de política sanitaria principalmente para este sector.

La situación en América y el Caribe se presenta de forma irregular, ya que en ciertas regiones se evidencia una recuperación significativa como Centro América que de un -72% en el 2020 se recupera a un -20% de llegada de turistas. Caso contrario para Suramérica que de un -66% del 2020, se recupera a tan solo un -54% en el 2022, inclusive en el 2021 como se puede observar en la Tabla 2, en el año 2021 hay un fuerte descenso en las llegadas de un -85%, relacionado posiblemente a un repunte en el contagio del COVID-19.

Tabla 2. Resultado del turismo en América y el Caribe

	Norte América	El Caribe	Centro América	Sur América	Total regional
2020	-68%	-60%	-72%	-66%	-67%
2021	-61%	-35%	-55%	-85%	-62%
2022	-35%	-18%	-20%	-54%	-35%

Fuente: Elaboración propia con base en la [27]

Uno de los países que padeció el aumento descontrolado y progresivo de contagios del SARS-CoV-2 fue Ecuador. El Diario El Universo, reporta que la cifra de fallecidos superó los diez casos por día, pico más alto llegó el 30 de marzo con 96 defunciones (33 confirmados y 63 probables) [28]. Las parroquias afectadas fueron Tarqui 47%, Febres cordero 20.99% y Ximena 14.36%. El 29 de junio Ecuador llegó a los 55,255 casos positivos de SARS-CoV-2, en un



informe del Ministerio de Salud Pública tomando datos desde 22 de febrero al 28 de junio del 2020, Guayaquil tuvo el 18.06% de estos (9.981) [28, 29].

Bajo este panorama el Ecuador en general y el sector turístico en particular se vieron afectados significativamente. Como lo demuestra la Tabla 3, en el año 2020 este sector descendió en un -76% de llegadas de turista, representando un -66% de gastos y un ingreso del -69%. En los siguientes años 2021 y 2022 se presenta una recuperación no muy significativa llegando a un -52% de llegadas de turistas y un -42% de ingresos. Es de resaltar que en el año 2021 se adopta una política de impulso al sector turístico, que casi no tuvo ningún efecto debido al repunte de la pandemia.

Tabla 3. Resultado del turismo en Ecuador

	Llegadas	Gastos	Ingresos
2020	-76%	-66%	-69%
2021	-68%	2%	-54%
2022	-52%	-20%	-42%

Fuente: Elaboración propia con base en la [27]

Para medir el impacto post pandemia en el sector turístico ecuatoriano, se aplicó un cuestionario en dos períodos, el año 2020 y en el año 2022 a uno de los sectores con más proyección y crecimiento turístico como lo es el Cantón Playas en la Provincia del Guayas-Ecuador.

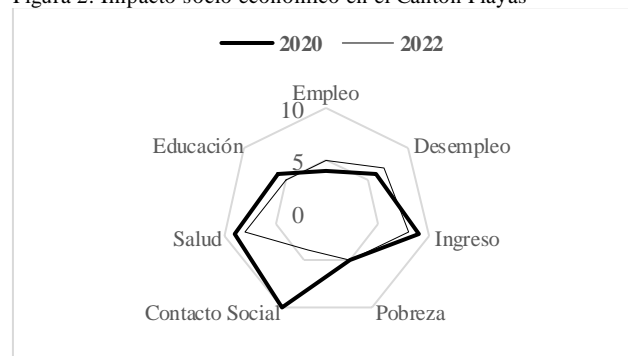
4. Discusión.

Para llevar a cabo esta investigación, en el año 2020 se administró un cuestionario estructurado, diseñado para recoger datos sobre variables sociales y económicas, a una muestra de 85 empleados del sector turístico. Además, se realizaron entrevistas semiestructuradas con los propietarios de cinco establecimientos turísticos, incluyendo restaurantes y hoteles, con el fin de obtener una perspectiva más profunda y cualitativa. Este enfoque metodológico mixto, combinando técnicas cuantitativas y cualitativas, permitió una evaluación exhaustiva de las dinámicas laborales y económicas en el ámbito del turismo.

La información fue analizada mediante la herramienta estadística (SPSS), donde se pudo apreciar en términos generales lo siguiente: i) Más del 50% de los encuestados son de género masculino que oscilan entre 41-50 años, teniendo el nivel de educación secundaria y habitan de la Cabecera Cantonal, ii) Su hogar está conformado entre de 2 y 4 personas, sobresaliendo que en la mayor parte de los casos no hay hijos pequeños, iii) La mayoría de los encuestados no ha tenido contacto cercano con una persona infectada de SARS- CoV-2. iv) En los hogares que, si existen hijos pequeños, su cuidado está a cargo de un familiar con una edad entre 21 y 30 años que no habitan en el mismo hogar, v) Se enfatiza que los encuestados han tenido que salir de sus hogares a trabajar, vi) Es interesante conocer que 92.2% son empleados independientes que se

dedican en su mayoría a actividades de servicios turísticos entre ellos alojamiento y servicios de comidas; bares, entretenimiento y recreación además de comedores, seguido de actividades en la playa como el alquiler de carpas, parasoles, hamacas y la venta de artesanías, vii) Estos empleados independientes pertenecen a asociaciones de servidores turísticos que han pasado los meses de pandemia con sus ahorros, disminuyeron sus ingresos y no tuvieron ingresos mensuales en los últimos seis meses, antes de la pandemia el ingreso mensual era de 1–500 dólares, viii) El impacto en función trabajo/ negocio fue muy significativo, consideran que hasta la fecha no se han recuperado completamente. Como se lo indica en la Figura 2, para el segundo período (año 2022), los resultados fueron los siguientes:

Figura 2. Impacto socio económico en el Cantón Playas



Podemos observar que, las variables para determinar el impacto social y económico post pandemia en el sector turístico fueron: para el análisis económico: el empleo, desempleo, ingreso y pobreza; y, para el social: fueron el contacto social, la salud y la educación. Los años de referencia son el 2020 y el 2022. Se utilizó para la representación del gráfico una escala del 1 al 10, donde el 1 es el menor impacto.

En el año 2020, los factores que más impactaron en el aspecto económico fueron el nivel de ingreso (9) y el desempleo (6), en lo que se refiere al aspecto social fueron el contacto social (10) y la salud (9). Como se puede apreciar, en tiempos de pandemia el factor que más influyó en el sector turístico es el contacto social, seguido con aspectos relacionados con la salud.

En el año 2022, los factores que más impactan en el aspecto económico son los relacionados con el ingreso (8) y el desempleo, apenas diferente con un dígito al año de pandemia, lo que podemos inferir con este rubro que antes de la pandemia y después de la pandemia, la situación económica no ha mejorado. En el aspecto social fueron la salud (8) y la educación (5), lo que se puede inferir que si bien es cierto la apertura al contacto social se abrió, el tema de salud no mejoró, pero la situación de la educación tuvo mejor proyección. Los resultados obtenidos conllevan a reflexionar si la situación que atraviesa el sector turístico



ecuatoriano es el resultado de la pandemia o de la deficiente o mala aplicación de la política pública.

5. Conclusiones.

La crisis generada por la pandemia del Covid-19 representa un acontecimiento sin precedentes a nivel mundial; además del desplome del comercio mundial, se incrementó exponencialmente la desigualdad económica y social; manifestados en los altos índices del desempleo, la disminución considerable del ingreso, los altos niveles de pobreza, el bajo rendimiento educativo y problemas en los sistemas de salud pública. Ecuador no estuvo exento de estos problemas ya que la pandemia, sin duda, aumentó estas variables y por lo tanto la brecha entre las clases sociales. En este sentido la presente investigación tuvo por objetivo analizar el impacto social y económico que ha enfrentado el Cantón Playas, uno de los principales lugares turísticos de la Provincia del Guayas.

El sector turístico se vio afectado significativamente, así se demuestra en la investigación realizada en la base de datos de la [27] donde en el año 2020 este sector descendió en un -76% de llegadas de turistas, representando un -66% de gastos y un ingreso del -69%. En los siguientes años 2021 y 2022 se presentó una recuperación no muy significativa llegando a un -52% de llegadas de turistas y un -42% de ingresos. Es de resaltar que en el año 2021 se adoptó una política de impulso al sector turístico, que casi no tuvo ningún efecto debido al repunte de la pandemia.

Teniendo en cuenta las variables antes mencionadas, en el año 2020 la investigación evidenció que los factores que más impactaron en el aspecto económico fueron el nivel de ingreso y el desempleo, mientras que en el aspecto social fueron el contacto social y la salud. En particular, el factor que más influyó en el sector turístico fue el contacto social, seguido por aspectos relacionados con la salud.

En el año 2022, los factores económicos predominantes siguieron siendo el ingreso y el desempleo, mostrando solo una ligera variación respecto al año de la pandemia, lo que sugiere que la situación económica no ha mejorado significativamente antes y después de la pandemia. En cuanto al aspecto social, los factores más importantes fueron la salud y la educación. Esto indica que, aunque el contacto social se ha incrementado, la situación de salud no ha mejorado, mientras que la educación ha mostrado una mejor proyección.

Esta investigación nos lleva a considerar si la situación actual del sector turístico en Ecuador se debe a la pandemia o a la deficiente implementación de políticas públicas. Es crucial continuar realizando estudios que demuestren que esta variable es la más importante para evaluar cualquier evento no controlable que impacte al país.

6. Referencias.

- [1] OMS, «La OMS declara que el nuevo brote de coronavirus es una emergencia de salud pública de importancia internacional,» 2020.
- [2] CEPAL (Comisión Económica para América Latina y el Caribe), «El turismo será uno de los sectores económicos más afectados en América Latina y el Caribe a causa del COVID-19,» 2020.
- [3] CESLA (Círculo de Estudios Latinoamericanos), «Teletrabajo y suspensión laboral en crecimiento a pesar de la reactivación parcial de empresas en Ecuador,».
- [4] A. García, «El Cantón General Villamil cambiará a semáforo amarillo el 8 de junio y todavía 'con pinzas' la reapertura de sus playas,» *El Comercio*, 2020.
- [5] N. Mendoza, «Playas sale de la alerta roja y da paso al cambio de semáforo amarillo,» *Expreso*, 7 junio 2020.
- [6] F. Albuquerque, «Desarrollo local en América Latina: Oportunidades y desafíos para el trabajo decente,» Ginebra, 2005.
- [7] INEC (Instituto Nacional de Estadística y Censos), «Cifras de Empleo de diciembre 2020,» 2020.
- [8] MIES (Ministerio de Inclusión Económica y Social), «Indicadores, Estadísticas Generales,» 2020.
- [9] P. J. Zaldúa San Martín, «Análisis de los factores que inciden en el desarrollo socioeconómico de Ecuador. Periodo 1989-2018 (Tesis),» Repositorio.ucs.g.edu.ec, Guayaquil, 2019.
- [10] S. Odriozola Guitart, «Análisis crítico de la teoría del capital humano: apuntes para una concepción alternativa para la construcción del socialismo,» *Economía y Desarrollo*, vol. 143, n° 1, pp. 238-240, 2018.
- [11] F. Ávila Carreón, E. Galeana Figueroa y I. C. Espitia Moreno, «Capital Humano vs Rentabilidad,» *Red Internacional de investigadores en competitividad*, vol. 5, n° 1, pp. 1833-1846, 2018.
- [12] OCDE (Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos), «Job Creation and Local Economic Development,» Washington, 2014.
- [13] OIT (Organización Internacional del Trabajo), «No Cualquiera Trabajo,» 2021.
- [14] E. Castañeda y K. García, «Análisis del incremento del Desempleo en el Ecuador periodo 2014-2018,» *Observatorio de la Economía Latinoamericana*, 2019.
- [15] M. Rosales, «El desarrollo Humano: Una Propuesta para su Medición,» *Aldea Mundo*, pp. 65-75, 2017.
- [16] R. M. Sánchez-Torres, «Desigualdad del ingreso en Colombia: un estudio por departamentos,» *Cuadernos de Economía*, vol. 36, n° 72, pp. 139-178, 2017.
- [17] A. Sen, *Desarrollo y Libertad*, Buenos Aires: Planeta, 2000.
- [18] J. Malm Sena, *Pobreza, corrupción, (in)seguridad*, Marcial Pons, 2017.
- [19] Banco Mundial, «Desarrollo social,» 2019.
- [20] M. Cetron y J. Landwirth, «Public Health and Ethical Considerations in Planning for quarantine,» *Yale Journal of Biology and Medicine*, vol. 78, n° 5, pp. 325-330, 2005.
- [21] CDC (Centro para el Control y la Prevención de Enfermedades), «Distanciamiento social,» 2020.
- [22] OMS (Organización Mundial de la Salud), «Conferencia Sanitaria Internacional,» 1946.
- [23] G. Toledo Curbelo, *Fundamentos de Salud Pública*, La Habana: Ciencias Médicas, 2015.
- [24] J. Cardona, «La Salud Pública en Periodo de Crisis,» *Revista Cubana de Medicina General Integral*, pp. 286-294, 1998.
- [25] UNESCO (Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura), «La educación transforma vidas,» 2014.



Universidad de
Guayaquil

Facultad de
Ingeniería Química

INQUIDE

Ingeniería Química y Desarrollo

<https://revistas.ug.edu.ec/index.php/iqd>

ISSN – p: 1390 –9428 / ISSN – e: 3028-8533 / INQUIDE / Vol. 06 / N° 02

- [26] ONU (Organización de las Naciones Unidas), «Declaración Universal de los Derechos Humanos,» Washington, 1948.
- [27] OMT (Organización Mundial del Turismo), «Dashboard de datos turísticos de ONU Turismo,» 2022.
- [28] El Universo, «Coronavirus en Ecuador: Hasta 62 muertos por día hubo en Guayaquil a finales de marzo,» *El Universo*, 24 Abril 2020.



La presencia de cianotoxinas en aguas y alimentos frescos: implicaciones para la salud humana

The cyanotoxins occurrence in water and fresh foods: human health implications

Nelfa Elizabeth España Francis¹* ; Liliana María Gomez Luna²

Recibido: 18/04/2024 – Aceptado: 21/06/2024 – Publicado: 01/07/2024

* Autor para la correspondencia.

Resumen

La presencia de cianotoxinas en las aguas y su incorporación a la cadena trófica, han causado numerosos reportes de daños a la salud. Este estudio presenta una revisión sistemático-crítica sobre la presencia e implicaciones de las cianotoxinas en aguas y alimentos frescos, considerando su impacto potencial para la salud humana. La metodología aplicada corresponde a un análisis crítico-narrativo de investigaciones publicadas en repositorios institucionales y bases de datos de alto impacto (PubMed, Crossref, Google Académico, Scopus) considerando los últimos 10 años de vigencia documental. Los resultados demuestran un reconocimiento del impacto de las actividades humanas y el cambio climático en la incidencia cada vez mayor de las cianotoxinas en el bienestar humano, con implicaciones negativas, relacionadas con síntomas gastrointestinales, afecciones hepáticas y daños al sistema nervioso, siendo relevante el impacto de las microcistinas y cilindrospermopsinas. Se hace énfasis en la necesidad de obtener datos precisos de la carga toxicológica tanto en agua, biomasa, como en alimentos frescos, para establecer las restricciones pertinentes en función de dar garantías de salud. Los gobiernos deberán tomar medidas para prevenir el riesgo asociado a la presencia de cianotoxinas, siendo necesarias en aquellos contextos vulnerables, la capacitación, y la formación de capacidades para la investigación y la gestión. La mitigación de los impactos de las cianotoxinas debe ser tratada desde el punto de vista comunicacional e instructivo. Es importante desarrollar campañas de sensibilización para mejorar la percepción sobre este riesgo emergente, que en muchas ocasiones compromete la vida de los seres humanos.

Palabras clave

agua, alimentos, cianotoxinas, daños a la salud, toxicidad.

Abstract

The cyanotoxins occurrence in water, and their incorporation into the food chain have caused numerous reports of health damage. This study presents a systematic-critical review on the presence and implications of cyanotoxins in water and fresh foods, considering their potential impact on human health. The applied methodology corresponds to a critical-narrative analysis of research published in institutional repositories and high-impact databases (PubMed, Crossref, Google Scholar, Scopus) considering the last 10 years of documentary validity. The results demonstrate a recognition of the impact of human activities and climate change on the increasing incidence of cyanotoxins on human well-being, with negative implications, related to gastrointestinal symptoms, liver conditions and damage to the nervous system, the impact being relevant. of microcystins and cylindrospermopsins. Emphasis is placed on the need to obtain precise data on the toxicological charge in both water, biomass, and fresh foods, to establish the pertinent restrictions in order to provide health guarantees. Governments must take measures to prevent the risk associated with the presence of cyanotoxins, with training and capacity building for research and management being necessary in vulnerable contexts. Mitigation of the impacts of cyanotoxins must be treated from a communication and instructional point of view. It is important to develop awareness campaigns to improve perception of this emerging risk, which often compromises the lives of human beings.

Keywords

cyanotoxins, foods, health damages, toxicity, water

1. Introducción

Desde su origen, las cianobacterias han tenido impacto sobre la vida, ya sea por su trascendencia en la generación de la atmósfera oxigénica de la Tierra, porque constituyeron la base de la dieta de varios pueblos, y por su capacidad de generar toxinas que afectan la ecología de los cuerpos de agua donde se desarrollan masivamente con implicaciones socioeconómicas [1].

Las afecciones en la salud a causa de los efectos de las cianotoxinas son el resultado de cambios en el entorno de las cianobacterias, que indican alteraciones en su

composición orgánica, estimulando la producción de moléculas altamente dañinas capaces de afectar organismos vivos, con serias implicaciones en el medio ambiente, y repercusión económica para las sociedades [2]. Hasta la fecha se describen más de 50 géneros de cianobacterias con potencial tóxico, por lo que resulta relevante comprender su dinámica en los ecosistemas, los factores desencadenantes; su presencia en aguas y alimentos. y las consecuencias derivadas de exponerse a diferentes concentraciones de estas cianotoxinas, ya que todo ello está asociado a riesgos para la vida del hombre [3]. En este sentido el enfoque una salud considera su impacto en la trama trófica humana, y

¹ Universidad Estatal de Guayaquil / Facultad de Ingeniería Química, Carrera Ingeniería de Alimentos; nelfa.espanaf@ug.edu.ec ; <https://orcid.org/0009-0002-2696-0766> , Guayaquil; Ecuador.

² Centro Nacional de Electromagnetismo Aplicado: Universidad de Oriente; lilianag@uo.edu.cu ; <https://orcid.org/0000-0002-1282-3392> , Santiago de Cuba; Cuba.



sus vías de entrada, siendo necesario tratar el consumo de agua potable y la manipulación de alimentos frescos con altas cargas toxicológicas de manera responsable [4]. La producción y el consumo responsables de los alimentos son esenciales para garantizar la salud de los seres humanos y de los animales, así como la del medioambiente a largo plazo. Si no se aplican buenas prácticas a lo largo de la cadena de valor de los alimentos, estos pueden convertirse en un importante vehículo de transmisión de peligros microbiológicos y químicos [5].

Las enfermedades transmitidas por los alimentos son causadas por el consumo de alimentos contaminados y comprenden un amplio grupo de enfermedades causadas por agentes patógenos entéricos, parásitos, contaminantes químicos y toxinas biológicas. Estas enfermedades reducen la productividad de la sociedad, imponen una presión sustancial al sistema de atención de salud y reducen la producción económica debido a la disminución de la confianza de los consumidores, las pérdidas de alimentos y la alteración del acceso a los mercados nacionales y de exportación, lo que afecta al comercio y al turismo, además de amenazar la seguridad alimentaria [6].

Especialmente las poblaciones que no poseen un manejo conveniente de los riesgos causados por la interacción constante de cianotoxinas; no poseen o no aplican regulaciones, ni controlan límites máximos permisibles establecidos, o ni siquiera prestan atención a esta problemática, tendrán en estos eventos tóxicos una causa latente de daño natural a la salud [1]. El presente estudio se centra en hacer una sistematización de la literatura científica sobre los impactos en la salud de las cianobacterias a causa de presencia de cianotoxinas, específicamente en cuerpos de agua dulce y en los alimentos frescos contaminados, todo por ser recursos de acceso público indispensables para dar sostenibilidad a la vida, al desarrollo e interacción social. Sin embargo, es importante considerar que la ubicuidad de estos microorganismos hace a cualquier ecosistema y alimento vulnerable.

Además, el trabajo permite recapitular sobre aspectos claves relacionados con la presencia de cianotoxinas, incluyendo las iniciativas de gestión durante los eventos de riesgo, para salvaguardar la integridad de los seres vivos, con énfasis en la salud humana; enfocándose en documentar los factores desencadenantes, las toxinas presentes, las especies de cianobacterias asociadas, y los principales impactos sobre la salud de los seres humanos después de una exposición a elementos toxicológicos, como una experiencia conflictiva por la exposición crónica, y la presencia y/o acumulación a través de la cadena alimentaria.

2. Materiales y métodos

La gestión metodológica implementada para el desarrollo de este estudio se fundamenta en una revisión narrativa de investigaciones publicadas en repositorios institucionales

de alto impacto, como también publicaciones académicas relevantes sobre el tema. Para la obtención de los documentos se generó una búsqueda técnica general con el uso de bases de datos de interés científico: Crossref y Google Scholar, con descriptores específicos; además de búsquedas dirigidas en PubMed, Scielo, y Scopus, considerando autores previamente identificados por su contribución a la temática. Los límites de las publicaciones consideran los últimos 10 años de vigencia documental, lo que fue acotado con la intención de obtener una fuente de información completamente actualizada sobre las implicaciones de la presencia de cianotoxinas en agua y alimentos frescos. Los descriptores o palabras clave que se consideraron fueron: cianotoxinas, cianobacterias tóxicas, incluyendo los riesgos para la salud como frase complementaria.

Se incluyeron publicaciones en idioma español, inglés y portugués, correspondientes a artículos indexados, tesis de grado, libros e informes científicos. Una vez recapitulada la información se procede a un análisis semiestructurado de los aportes de las investigaciones, respecto al impacto de las cianotoxinas para la salud humana, y al manejo de agua potable y los alimentos con cargas toxicológicas, considerando el enfoque una sola salud.

3. Las cianotoxinas y sus relaciones de conflicto en las sociedades

La proliferación de cianobacterias en el agua y en alimentos, corresponde a causas muy relacionadas con efectos antropogénicos como la eutrofización e incluso la presencia de contaminantes industriales, agrícolas y problemas relacionados con el saneamiento doméstico [7], sin minimizar los efectos del cambio climático. La expansión urbana y sociodemográfica, promueve un impacto considerable en el ambiente con repercusión directa del clima, tras saturar el saneamiento estructural de las grandes ciudades [8]. La deposición de agua residuales que no han encontrado nuevas fracciones territoriales para su correcto tratamiento, sobre todo en la masificación productiva de alimentos, conferidos directamente en la necesidad de atender demandas de consumo, que simplemente consiguen incrementar la elevación discriminada de elementos dañinos para la salud con alta carga de sustancias químicas como el nitrógeno y el fósforo [9]. Ello conlleva a eventos secundarios como el desarrollo de las floraciones de fitoplancton, lo que se extiende a los reservorios que abastecen agua, posteriormente utilizados para el desarrollo operativo de varias actividades, entre las que destaca la agroindustria [4]. Convirtiéndose la situación en un ciclo vicioso producido por la falta de buenas prácticas y el fallo de los mecanismos de control y modelos de gestión.

El impacto de las floraciones de cianobacterias y la presencia de cianotoxinas ha sido demostrado [10], relacionándose en la mayoría de los casos con una alta concurrencia de problemas puntuales de salubridad,



impulsados por organismos conflictivos que en ciertas proporciones logran generar en los seres humanos alteraciones gastrointestinales, dermatológicas, y hasta afecciones dentro del sistema neurológico como una de sus principales consecuencias [11].

Según Almeida [12] ciertas especies de cianobacterias en el reino animal pueden producir cianotoxinas, aunque no son causales suficientes para afectar la salud de los seres vivos, si se interactúa con una carga tolerable de toxinas; sin embargo, una vez que están presentes constituyen un peligro inminente. Aun así, las actividades industriales frente todos estos condicionantes naturales de los ecosistemas intensifican la producción de cianotoxinas, generando daños hepáticos, citotoxicidad e inclusive neurotoxicidad en parte de la población [13] y en muchos casos, la atención primaria de salud no está culturalmente preparada para enfrentar la situación, relacionándola con otros agentes tóxicos; aspecto que es más notorio en sitios donde la percepción del riesgo es nula o baja.

En el caso de la exposición, no solo incluye el consumo de animales intoxicados a través de la cadena trófica o agua contaminada, sino que también se refieren casos donde el desarrollo de actividades recreativas en afluentes hídricos son un factor de contacto influyente para recibir el impacto de las cianotoxinas en la salud [2], [14].

Evidentemente, aquellos estados que no recorren ni atienden adecuadamente los afluentes líquidos de los cuerpos de agua, contribuyen al aumento de cargas toxicológicas [15] a través de la eutrofización y, por consiguiente, la concurrencia de floraciones de cianobacterias [8]. En el caso de Latinoamérica, por ejemplo, las floraciones de fitoplancton en los embalses son un problema recurrente que influye en el manejo efectivo del agua potable, alterando incluso sus propiedades al no emplear tecnología efectiva para eliminar cianobacterias y cianotoxinas, situación que se agudiza después de su abastecimiento [13].

4. Cianotoxinas: tipos y efectos sobre la salud humana

Las toxinas de cianobacterias son componentes nocivos para los organismos vivos; estas integran un grupo heterogéneo de compuestos químicos con alta carga toxicológica y con múltiples representaciones metabólicas [8]. De acuerdo con los descubrimientos de Menescal [15] estas sustancias consiguen desarrollarse en todas las fases del crecimiento celular, porque logran liberarse cuando las células de cianobacteria se rompen (lisis), manteniéndose en el agua durante muchas semanas, dependiendo también de las condiciones del medio ambiente. Aunque las ocurrencias productivas de estas sustancias tóxicas no han sido aclaradas por la ciencia, se posiciona una hipótesis acertada con respecto a la protección herbívora, donde no todas las floraciones de cianobacterias son tóxicas [16]; sin embargo, pueden ser nocivas.

En relación con la clasificación toxicológica, las cianotoxinas pueden ser: 1) hepatotoxinas, capaces de generar lesiones en el hígado en razón de alteraciones morfológicas y de orden funcional en los hepatocitos, promoviendo la autofagia, la proliferación de las células dependiendo de la cantidad y tiempo de exposición; 2) neurotoxinas, las que generan intoxicación letal de tipo aguda e interfieren en los enlaces del impulso nervioso, consiguiendo generar parálisis muscular y posteriormente afecciones respiratorias; y 3) dermatotoxinas, generalmente no son letales, pero se manifiestan con una alta irritación y alteraciones de procesos inflamatorios del organismo [12].

Por ende, comprender la acción aplicada de las hepatotoxinas y las neurotoxinas, gira en virtud de una intoxicación, donde la ciencia se esfuerza en tratar con efectividad dichos compuestos para evitar consecuencias en la salud [17]. Las dermatotoxinas son también importantes, ya que son responsables de generar dermatitis, reportándose casos de intoxicaciones en bañistas en aguas costeras, destacando las debromoapliasiatoxinas y lyngbiatoxina-a [10]. Además, existe un segmento denominado lipopolisacárido (LPS), generado sobre una acción relevante en términos de toxicología [11]. El lipopolisacárido (LPS) o endotoxina es el mayor componente de la membrana externa de las bacterias Gram negativas, desempeña una importante función en la activación del sistema inmune al constituir el antígeno superficial más importante de este tipo de bacterias. El LPS está compuesto por una región lipídica y una glicosídica con funciones separadas y/o sinérgicas lo que hace de esta molécula uno de los factores de virulencia más complejos de comprender. [18]

Destacan, además, los experimentos en animales para validar el comportamiento sobre un mecanismo de acción de las cianotoxinas; en ese sentido, hay múltiples desviaciones que manifiestan los riesgos directos en humanos al ser cuestiones completamente diferentes [14]. Además, se manifiesta un riesgo latente a la salud que trascienden en alteraciones atribuibles a las floraciones algales, ya sea de fuentes de agua potable, consumo de alimentos contaminados, interacción directa en costas o ríos que son usados usualmente para la recreación, así como otros factores característicos como la edad o antecedentes patológicos [19].

Las cianotoxinas han sido estudiadas por su impacto en aguas de consumo y recreacionales. Paineilú [8] en su informe demuestra que una exposición recreacional está vinculada a síntomas suaves y autolimitados que no requieren de una consulta médica; frente ello, Miglione et al. [20] aclara que la sintomatología inespecífica de estas situaciones pueden direccionar un diagnóstico erróneo que en los casos reportados de su estudio son un condiciones que frecuentemente pueden dirigirse a incidencias



gastrointestinales, factores irritativos en la vista o vías respiratorias, como síntomas dermatológicos y pulmonares donde la evidencia científica demuestra que los más graves son los de tipo hepáticos.

Recapitulando los efectos a la salud, en su evolución histórica, se puede referenciar que el primero caso de intoxicación por cianotoxinas fue por interactuar con aguas contaminadas del río Ohio en Estados Unidos en 1931. Posteriormente, para el año 1959, en Canadá se presenta una exposición recreacional, específicamente en Saskatchewan, distinguida por ser una de las 10 provincias que componen las 13 entidades federales de este país que demuestran su incidencia desde el siglo pasado [14].

En el caso de Latinoamérica la primera intoxicación aguda por microcistinas con hepatotoxicidad demostrada en individuos realizados a causa de una contaminación del agua, donde se afectaron 116 personas, asociadas a una exposición recreacional de dentro del embalse del río Uruguay para el año 2007 y posteriormente en las playas del río de la Plata de Montevideo en el 2015 [14]. Otros eventos intermedios han sido registrados.

Así pues, la exposición directa se presenta en zonas con mayor concurrencia poblacional, que en la mayoría de los casos manifiesta alteraciones en la salubridad, la que pueden ser aguda o crónica [9], y siempre en razón de una ingesta accidental de recursos como agua y alimentos contaminados, por contacto cutáneo e inclusive por inhalación indirecta de cianotoxinas que pueden quedar suspendidas en las diminutas gotículas de aerosol [21]. Por ende, determinar la incidencia de estos componentes sobre personas que tienen mayor contacto prolongado es un precedente para prevenir alteraciones de la salud [22].

En ese sentido, se han documentado múltiples casos de enfermedades en el ser humano y animales centinela por contacto con agua contaminada, y alimentos frescos contaminados, con incidencias en el cáncer de hígado, tal como en algunas regiones de China, e incluso muerte por contacto directo con microcistinas [23]. La intoxicación más peligrosa fue documentada en 1996 específicamente en Brasil donde 100 de 131 individuos en diálisis manifestaron insuficiencia hepática aguda generada por la presencia de cianotoxinas en el agua; 52 de estas personas fallecieron [23]. En concreto, todas las investigaciones demuestran que comprender los efectos de las cianotoxinas constituye un tema de gran interés para el sostenimiento y equilibrio de la salud pública, y de no considerarlos pueden generar grandes consecuencias en masa, porque históricamente afecta a un segmento amplio de la población conforme el contexto situacional donde ocurren estos hechos de intoxicación.

5. Vulnerabilidad al impacto de las cianotoxinas

Las gestiones urbanizadoras de acuerdo con el propio incremento de la actividad industrial, agrícola y ganadero

generan un impacto relevante en la contaminación del medio ambiente. Los recursos hídricos inciden en afecciones directas a la salud del ser humano [24]. En virtud de ello, la exposición a ciertos componentes contaminantes ambientales puede incidir incluso en enfermedades de tipo neurodegenerativas [9].

Diferentes actividades humanas en zonas urbanas y rurales generan una acumulación de nutrientes; esta carga orgánica promueve la eutrofización, aumentando la contaminación bacteriana que logra alterar las redes tróficas [25] y compromete la calidad del alimento fresco que proviene de ecosistemas acuáticos. La eutrofización conlleva al crecimiento descontrolado de algas y bacterias fotoautótrofas, es decir, las cianobacterias [19]. Las floraciones o blooms traen consigo el incremento en la biomasa de cianobacterias; las masas laxas que se forman pueden también causar problemas en los ecosistemas acuáticos [9].

Según Federici et al. [26] el 80% de las floraciones de cianobacterias dentro de las aguas continentales son tóxicas, lo cual afecta a múltiples especies por solo mencionar el deceso de animales vacunos, perros, caballos, entre otras; incluso puede comprometer la vida de grandes animales como el caso de los 300 elefantes fallecidos en Botsuana en 2020, cuyo motivo fue adjudicado a problemas neurológicos después de haber consumido agua contaminada con cianotoxinas [26].

Frente a estas condiciones, es prudente referenciar los argumentos de Condor y Feliciano [10] debido a que los autores resaltan la existencia de una gran diversidad de toxinas producidas por distintos géneros de cianobacterias, cuya producción también depende de factores ambientales como los nutrientes, y la temperatura, entre otros. Asimismo, los mecanismos de toxicidad descritos y entendidos actualmente también son muy diversos y se extienden desde efectos hepatotóxicos asociados a las cilindropermopsinas, nodularinas y microcistinas; neurotóxicos (saxitoxina, anatoxina-a) y dermatotóxicos (lingbiatoxina-a, aplasiatoxina), y los LPS [27]. Aunque la ciencia se focaliza mucho en las neurotoxinas por la mayor incidencia degenerativa el riesgo ambiental y aspectos sanitarios que representan, y las hepatotoxinas por su mayor distribución e incidencia y concomitancia con otros factores causantes de hepatopatías; de aquí que sean prioridad, de acuerdo con las recomendaciones de la ONU [28].

Esto sugiere la necesaria atención no solo de animales acuáticos, sino de la vida terrestre, a causa de una bioacumulación de las cianotoxinas en la cadena alimentaria [22].

Prácticamente, se demuestran un tema de extremo cuidado; al alterarse la funcionalidad del hígado y los músculos de diversas especies animales que posteriormente son



consumidos por el ser humano, inclusive en concentraciones que superan los índices de tolerancia con alta carga toxicológica difícil de tolerar.

6. Clasificación de las cianotoxinas, estructura química y mecanismos de acción

La característica esencial de las cianobacterias en lo que concierne a los peligros sanitarios depende de la capacidad de sintetizar cianotoxinas. Aproximadamente, existen más de 150 géneros y un aproximado de 2000 especies de cianobacterias [13], y solo unas pocas especies son tóxicas. Las cianotoxinas se producen en el citoplasma de estos microorganismos, y estos consiguen liberar su composición gracias a la lisis celular [17], qué es la derivación del proceso fisiológicos relacionados con la senescencia celular por causas patológicas relacionados con el estrés celular conforme el uso de alguicidas; por ejemplo, el sulfato de cobre y el peróxido de hidrógeno. Igualmente, la disposición productiva y la potencia de las cianotoxinas varían, siendo preciso un rastreo constante de las especies con potencial tóxico para prevenir daños o alteraciones en la salud de los seres humanos y también aquellos ecosistemas en riesgo [17].

Las principales cianotoxinas pueden ser segmentados conforme a los mecanismos de acción en organismos multicelulares, clasificándose en tres grupos: i) hepatotoxinas: microcistinas y nodularinas; ii) neurotoxinas: anatoxina, homoanatoxina-a, guanitoxina y saxitoxina; y iii) citotoxinas: cilindrospermopsina. Igualmente, las dermatotoxinas son elementos circundantes de la lyngbiatoxina-a y la debromoaplysiatoxina; esta última descrita como unidades causantes de la dermatitis.

Las microcistinas son heptapéptidos cuyo órgano diana es el hígado [9]. Por su parte, las anatoxinas son alcaloides estructuralmente similares a la acetilcolina, lo cuales se caracterizan por activar receptores colinérgicos y mantenerlos activados por tiempo indeterminado [17]. Asimismo, dentro del grupo de los alcaloides también se encuentran las saxitoxinas, que actúan sobre canales de sodio bloqueando la transmisión de los impulsos nerviosos. Las anatoxinas y las saxitoxinas se consideran neurotoxinas, ya que afectan el sistema nervioso. Alteran diferentes vías nerviosas generando parálisis y fallas respiratorias que pueden culminar en la muerte [9].

Hepatotoxina

El estudio sobre estas toxinas es una cuestión fundamental para comprender sus efectos y generar estrategias de regulación entre los ecosistemas, especialmente en aquellos que vulnerables a las floraciones de cianobacterias tóxicas productoras de hepatotoxinas. Las hepatotoxinas (microcistinas y nodularinas) son producidas por unos once géneros (Tabla 1):

Tabla 1. Géneros de cianobacterias productoras de hepatotoxinas.

Anabaenopsis	Nodularia	Planktothrix
Dolichospermum	Nostoc	Pseudanabaena
Hapalosiphon	Microcystis	Synechocystis
Lyngbya	Oscillatoria	

Fuente: Tomado de Silva [17].

Estas cianobacterias son las más comunes en cuerpos de agua dulce [17], de aquí la preocupación por estas toxinas. Son péptidos cíclicos formados por siete aminoácidos, cinco de los cuales son D-aminoácidos y dos L-aminoácidos, que determinan una serie de variantes en función de los aminoácidos L-isoméricos presentes en la cadena cíclica. Hasta la fecha se han descrito más de 100 variantes de microcistinas (MCs), originadas por diferentes combinaciones de aminoácidos y otras alteraciones diversas (como la metilación o desmetilación de varios grupos funcionales), donde las variantes más comunes son: microcistina-LR (leucina-arginina), microcistina-RR (arginina-arginina) y microcistina-YR (tirosina-arginina) [17].

Neurotoxinas

Las neurotoxinas afectan al sistema nervioso, son conocidas por su acción rápida, que en el peor de los casos generan la muerte por insuficiencia respiratoria a los pocos minutos de entrar en el organismo [21]. Sus alcaloides neurotóxicos actúan sobre las sinapsis colinérgicas o por los canales iónicos dependientes de voltaje, bloqueando directamente los impulsos nerviosos de los músculos esqueléticos, lo que provoca parálisis muscular y muerte por asfixia. Los géneros de cianobacterias que producen neurotoxinas se presentan en la tabla 2:

Tabla 2. Géneros de cianobacterias productora de neurotoxinas.

Anabaenopsis*	Hapalosiphon*	Pseudanabaena*
Dolichospermum*	Oscillatoria*	Sphaerospermopsis
Chrysosporum	Planktothrix*	Trichodesmium

Leyenda: (*) géneros con especies productoras de hepatotoxinas.

Fuente: Tomado de Silva [17]

Muchos de estos géneros tienen especies que producen hepatotoxinas (Tabla 2). Evidentemente, las neurotoxinas pueden diferenciarse según su estructura química. La anatoxina (o anatoxina-a) es un alcaloide amínico secundario bicíclico y está estructuralmente relacionado con la homoanatoxina-a, diferenciándose únicamente por la presencia de un grupo propionilo, en lugar del acetilo [17]. Por otra parte, la guanitoxina, anteriormente denominada anatoxina-a (S), es un éster de metilfosfato de N-hidroxiguanidina y es el único organofosfato natural conocido. De acuerdo con esta clasificación, la intoxicación por este metabolito bioactivo conduce a signos clínicos progresivos de fasciculaciones musculares, reducción del movimiento, respiración abdominal, cianosis, convulsiones y muerte, que puede ocurrir en cuestión de minutos a unas



pocas horas, dependiendo de la especie animal afectada y de la cantidad de toxina ingerida [17].

Las neurotoxinas actúan como bloqueadores postsinápticos de los receptores nicotínicos y colinérgicos al unirse irreversiblemente con los receptores de la acetilcolina, sobrestimulando las contracciones musculares y provocando el agotamiento muscular [17]. A pesar de los diversos estudios sobre la toxicología de este alcaloide neurotóxico, algunos autores consideran que la base de datos disponible no es adecuada para determinar un nivel de ingesta diaria tolerable, debido al alto nivel de incertidumbre de la exposición a largo plazo.

6.2. Citotoxinas

Entre las citotoxinas producidas por las cianobacterias, la cilindropermopsina es la más conocida [29]. Este alcaloide tóxico fue descrito por primera vez en 1979, cuando 148 personas fueron hospitalizadas con síntomas de hepatoenteritis en Palm Island, asociada a una floración de la cianobacteria *Cylindropermopsis raciborskii* en un reservorio de agua potable. Además, se han identificado otras especies de cianobacterias productoras de cilindropermopsinas, entre las que se pueden mencionar: *Aphanizomenon ovalisporum* (rebautizada *Chrisosporum*), *Aphanizomenon flos-aquae*, *Umezakia natans*, *Raphidiopsis curvata* y *Anabaena bergii*, *Anabaena lapponica* y *Lyngbya wollei* [29].

La amplia distribución de las especies productoras de cilindropermopsina, junto con el carácter invasivo de la principal productora de toxinas (*C. raciborskii*), representa un problema importante para la gestión del agua a escala mundial [30]. Consiste en un alcaloide tríciclico formado por un grupo guanidina combinado con un hidroximetiluracilo. Debido a su naturaleza zwitteriónica (compuesto químico eléctricamente neutro), esta cianotoxina es altamente soluble en agua. Además, se han identificado variantes estructurales naturales, como 7-epi-CYN (7-epicilindropermopsina) y 7-deoxi-CYN (7-deoxicilindropermopsina) [30].

Dichos elementos interfieren en diversas vías metabólicas, desencadenando efectos hepatotóxicos, citotóxicos generales y neurotóxicos, además de tener potencial carcinogénico [17]. La toxicidad está mediada por la inhibición del glutatión, la síntesis de proteínas y el citocromo P450, siendo el uracilo y la porción de hidroxilo en C7 cruciales para la toxicidad. La intoxicación puede causar daños en el hígado, los riñones, el timo, los pulmones, el estómago y el corazón [17]. Tradicionalmente se ha clasificado la cianotoxina conforme la composición química en péptidos, elementos alcaloides y presencia del lipopolisacárido (LPS), o eventualmente conforme sus derivaciones tóxicas: hepatotoxinas neurotoxinas, o dermatotoxinas [30] (Tabla 3).

Tabla 3. Órganos afectados por compuestos metabólicos tóxicos reconocidos según la clasificación existente de cianobacterias.

Cianotoxinas	Principal órgano o proceso afectado	Géneros de cianobacterias asociadas
Microcistinas	Hígado	<i>Anabaena</i> , <i>Nostoc</i> , <i>Oscillatoria</i> , <i>Planktothrix</i> , <i>Anabaenopsis</i> , <i>Microcystis</i>
Nodularinas	Hígado	<i>Nodularia</i>
LPS	Célula, citotoxicidad	Cualquier cianobacteria, ya que es un componente de la membrana de las bacterias Gran negativas
Anatoxinas-a	Conexiones colinérgicas	<i>Oscillatoria</i> , <i>Anabaena</i> , <i>Aphanizomenon</i> , <i>Planktothrix</i>
Aplisiatoxinas	Piel	<i>Lyngbya</i> , <i>Schizothrix</i> , <i>Planktothrix</i> (<i>Oscillatoria</i>)
Cylindropermopsinas	Hígado	<i>Cylindropermopsis</i> , <i>Aphanizomenon</i> , (<i>Umezakia</i>)
Lyngbyatoxinas-a	Piel, espacio gastrointestinal	<i>Lyngbya</i>
Saxitoxinas	Conexiones neuronales, represión transferida del impulso nervioso	<i>Lyngbya</i> , <i>Aphanizomenon</i> , <i>Cylindropermopsis</i> , <i>Anabaena</i>

Fuente: Tomado de Andrinolo y Sedan [30].

Si se revisa la tabla 3 se percibe una concurrencia generalizada de las toxinas diferidas con combinaciones análogas de orden estructural. Andrinolo y Sedan [30] en ese sentido, exponen que estos segmentos análogos se conocen bajo el distintivo plural de una toxina conforme una clasificación STXs que agrupan todas sus delimitaciones, y pasa lo mismo con las MCs, referidas por mantener posibles variantes solo en algunas de ellas. La relevancia toxicológica para el ambiente radica en las variaciones usuales de toxicidad de los estados crudos de las células sobre una incidencia mayor entre los ensayos biológicos en especies roedores y en animales acuáticos como peces o crustáceos, dicha diferenciación consigue ser atribuida a toxinas que son distinguibles por una combinación de afectaciones químicas, bioquímicas e inmunológicas [22].

Por consiguiente, las evaluaciones de una o múltiples toxinas no alcanzan ser suficientes para segmentar el riesgo generado por la combinación de cianotoxinas, en una floración, dado que estos cuestionamientos refieren un conflicto entre los bioensayos porque no consiguen descartar por completo elementos que pueden utilizarse de manera complementaria en el análisis; llevando a un falso diagnóstico negativo al ser aplicadas evaluaciones en los cuerpos de agua o alimentos, al estar interactuando posiblemente con estos elementos [30].



6.3. Consecuencias de la presencia de cianotoxinas

A lo largo de esta exposición se han resaltado múltiples tipos de afecciones a la salud que pueden elevarse en mayor intensidad por factores que trascienden en el crecimiento de cianotoxinas debido a los niveles transcritos de los genes (péptido sintetasa y polipéptido sintasa) [30]. Dicha condición genera el incremento de esta toxina sin que consigan alterarse los ensayos de inhibición [31], de aquí la necesidad de usar en muchos casos costosos ensayos para su detección. A ello se le suman los efectos de componentes como el hierro, que no influye directamente en la producción de cianotoxinas, pero si aumenta la síntesis y repercute en los niveles de toxicidad [31].

Por otra parte, si bien las toxinas tienen órganos o procesos diana, son capaces de repercutir o alterar otros órganos y/o procesos. En ese sentido, las microcistinas interactúa con el hígado, y son consideradas directamente hepatotoxinas, pero son capaces de afectar otros órganos como el riñón, los pulmones y el intestino [27]. La exposición a este tipo de componentes mediante un contacto directo en los ojos, las cavidades mucosas e inclusive del oído, como también la ingesta de agua contaminada y su acceso por vía inhalatoria constituye un riesgo que puede dejar secuelas en el estado de salud del individuo [24].

En general se describen dos tipos de intoxicaciones una aguda con microcistinas en torno a un daño relevante para el organismo de tipo hepático, que compromete el citoesqueleto porque genera necrosis que altera directamente los hepatocitos [24] y la intoxicación crónica con microcistinas cuya variante sintomatológica es más amplia y la intoxicación no puede pasar desapercibida; además este tipo de patología se relacionan con altos índices para promover cáncer de hígado [24]. En cierta instancia, la floración de cianobacterias puede producir toxinas altamente dañinas como las que se han documentado a lo largo de este informe; siendo pertinente reconocer el impacto de las microcistinas en la salud al afectar el buen funcionamiento hepático [31].

Por ende, se hace énfasis en la importancia de la información previa antes de manejar recursos esenciales para la vida, como la calidad del agua como un precursor esencial para favorecer la proliferación de cianobacterias que difiere en dependencia de si se involucra o no, un organismo generador de toxinas dañinas para el ser humano dentro de los cuerpos de agua usados para el consumo [32]. Generalmente, estos organismos interactúan con el agua y con el carbonato de calcio, generándose valores de pH superiores de 8,5 y 9,1, a asociados a concentraciones altas de MC ($\geq 5 \mu\text{g L}^{-1}$). En este contexto es importante considerar que la intensidad de la luz y el pH son factores desencadenantes de la proliferación de cianotoxinas *in vitro* [32]. Sin embargo, destaca además la influencia de la conductividad, la temperatura, la relación TN:TP y el índice trófico [33]; aspectos esenciales a considerar durante los

análisis moleculares de las muestras que se recolectan en los diferentes ecosistemas [23].

7. Discusión

Se puede decir que las regulaciones de los estudios en términos del manejo pertinente del agua y los alimentos frescos requiere la supervisión de los componentes ambientales. Investigaciones como la de Migliore et al. [20] propone implementar biosensores electroquímicos que tienen una proporción aplicable para la detección de toxinas naturales como la de cianotoxinas, esto como un recurso efectivo que ha aumentado en la última década porque genera una representación valiosa de herramientas que pueden implementarse para comprender la dinámica de estas toxinas en los ecosistemas, su impacto en la cadena trófica, y sus consecuencias para la salud.

La presencia de cianotoxinas en agua y alimentos frescos y su paso al tracto gastrointestinal implica que existe una bioaccesibilidad [16]. Aspecto importante al evaluar los riesgos de una exposición que puede ser directa por consumo de alimentos frescos o poco elaborados, y en este caso hay que poner atención a los efectos de los procesos de cocinado [20]. La ingestión de alimentos contaminados con cianotoxinas es la vía más común de exposición crónica a las mismas, tras la ingestión de agua potable contaminada. Sin embargo, el hecho de que las cianotoxinas estén presentes en los alimentos no significa que puedan ser absorbidas, ello depende de varios aspectos, por ejemplo, si las toxinas están presentes en su forma libre o no [16], además de la susceptibilidad de los consumidores y la carga tóxica; si el consumo es directo o a través de vectores; y si ha existido sinergia con otras vías de exposición, u otras toxinas, aumentando así la carga tóxica.

Los alimentos desde poco procesados a muy procesados se someten a procesamiento con salmueras u otras sustancias y/o cocción antes de su ingestión. El calor puede provocar cambios significativos en la matriz alimentaria. En general, el efecto del procesamiento de alimentos depende de diferentes aspectos como: el tipo de procesamiento, el tipo de compuesto considerado, la composición y estructuras de la matriz, y la potencial presencia de otros componentes que puedan afectar a la absorción del citado compuesto [34]. De ahí que estudios recientes mencionan la importancia de la correlación entre los datos *in vivo* e *in vitro* de la digestión de alimentos.

Aunque los modelos estáticos *in vitro* están muy simplificados, y no reproducen todos los aspectos dinámicos del tracto gastrointestinal, solo las condiciones principales: pH, enzimas y concentraciones de sales, estos son cada vez más útiles para predecir la digestión *in vivo* en algunos casos y presentan numerosas ventajas en la evaluación de la dinámica de descomposición de algunas toxinas. Algunos estudios sobre toxinas marinas, por ejemplo, se han llevado a cabo utilizando modelos estáticos



in vitro. La técnica de digestión *in vitro* ideal debe proporcionar resultados precisos en poco tiempo y ayudar como instrumento para el análisis rápido de modelos de alimentos con diferentes estructuras y composiciones. Sin embargo, lo más importante no es conocer, sino utilizar la ciencia en función de la gestión y prevención de riesgos y tomar con estos resultados acciones que ayuden a preservar la salud de las personas que constantemente interactúan con elementos que poseen alta carga toxicológica, porque en el largo plazo las implicaciones a obtener podrían ser irreversibles e inclusive difíciles de controlar.

8. Conclusiones

La exploración de nuevos modelos de desarrollo debe mantener un compromiso con la producción de alimentos y agua potable segura, libre de toxinas que pueden dañar el organismo humano; lo que debe promoverse desde la conservación de los ecosistemas. La sostenibilidad ambiental es clave para todos los esquemas productivos, lo que se logra mediante prácticas de manejo que tengan presente el cuidado y la conservación de los recursos hídricos, con garantías de calidad para la vida.

Los estudios de calidad del agua no siempre tienen en cuenta análisis integrales, sino que se sesgan a las propiedades fisicoquímicas, dejando de un lado bioindicadores celulares y moleculares, así como análisis microbiológicos que resultan clave en las condiciones ambientales actuales. En ese sentido, se debe promover un mayor estudio sobre la presencia cianotoxinas en los cuerpos de agua en Latinoamérica, específicamente en naciones que no han implementado regulaciones y/o controles que garanticen una provisión de agua segura, y, por tanto, la disponibilidad de alimentos no contaminados con cianotoxinas.

Los gobiernos del mundo deben generar monitoreos constantes de larga duración y si es preciso reforzar las acciones de intervención, considerando no solo la presencia de las cianotoxinas en los ecosistemas acuáticos, sino su repercusión en los servicios ambientales y en la trama trófica, comprometiendo no solo la salud de organismos acuáticos que constituyen recursos pesqueros, sino la de organismos terrestres que son la base de alimentación de muchas comunidades.

La eficacia de la gestión de riesgos asociados a la presencia de cianotoxinas radica en la implementación de esquemas de monitoreo sistemáticos, por lo cual se hace necesario promover una evaluación precisa y conveniente donde intervenga la ciencia, para que los análisis sean más precisos y confiables, y que representen la situación real de los ecosistemas en cada contexto, para así tomar medidas que permitan preservar la salud tanto humana como animal y en general ambiental.

La sensibilización de tomadores de decisión, la capacitación y la formación de capacidades para la investigación y la gestión constituyen aspectos relevantes en cualquier iniciativa de gestión, en aras de mejorar la percepción sobre este riesgo emergente que en muchas ocasiones compromete no solo la salud, sino de vida de los seres humanos.

La industria alimentaria debe generar estrategias de control y seguimiento para evitar la contaminación del agua potable y los alimentos frescos o poco procesados, para lo que deben desarrollarse modelos de gestión de este riesgo que permitan ofrecer alimentos seguros en función de dar garantías de salud a los consumidores.

9. Referencias

- [1] R. O. Echenique, «Las cianobacterias: el invento más revolucionario», *Museo*, vol. 34, pp. 7-16, 2022. [En línea]. Disponible: <https://acortar.link/feAS7c>.
- [2] A. Cascajosa y R. Guzmán, Bioaccesibilidad de cianotoxinas en mejillones mediante un modelo de digestión *in vitro*, Tesis, Universidad de Sevilla, Sevilla, Andalucía., 2020. [En línea]. Disponible: <https://idus.us.es/handle/11441/92291>.
- [3] J. M. Loaiza, A. Rubio y G. Peñuela, «Aplicación de ultrasonido para el control de cianobacterias y la degradación de cianotoxinas», *Revista UIS Ingenierías*, vol. 22, n° 4, p. 51–60, 2023. [En línea]. Disponible: <https://doi.org/10.18273/revuin.v22n4-2023005>.
- [4] L. Kreniski, J. Dysarz, A. Batista y N. Dalonso, «Avaliação das florações de cianobactérias nos rios de abastecimento do município de Joinville», *Eng Sanit Ambient*, vol. 27, n° 3, pp. 477-487, 2022. [En línea]. Disponible: <https://doi.org/10.1590/S1413-415220200289>.
- [5] P. Wielinga y J. Schlundt, *One Health and Food Safety*, Springer, 2014. [En línea]. Disponible: <https://acortar.link/Kpb7Bd>.
- [6] OPS, «Una Salud: un enfoque integral para abordar las amenazas para la salud en la interfaz entre los seres humanos, los animales y el medioambiente», 20 07 2021. [En línea]. Available: <https://acortar.link/WFjb8y>. [Último acceso: 15 04 2024].
- [7] J. Mercader, A. Abad y C. Agulló, «Aproximaciones inmunoanalíticas para el control de xenobióticos y biotoxinas en alimentos», *Arbor*, vol. 196, n° 795, p. a542, 2020. [En línea]. Disponible: <https://doi.org/10.3989/arbor.2020.795n1006>.
- [8] J. C. Paineofilú, Toxicidad de cianotoxinas presentes en cuerpos de agua dulce de Norpatagonia en la trucha arcoíris, *Oncorhynchus mykiss*, Tesis, Universidad Nacional del Comahue, Neuquen, Argentina, 2020. [En línea]. Disponible: <https://acortar.link/xqJUHV>.
- [9] T. Soto, Efectos degenerativos inducidos por la cianotoxina β -N-metilamino-L-alanina (BMAA) en células de retina, Tesis, Universidad Nacional del Sur, Bahía Blanca, Argentina, 2023. [En línea]. Disponible: <https://acortar.link/XCuKWR>.
- [10] C. Chagua y C. Yhoshili, Importancia Científica de las Oxifotobacterias del Género *Nostoc* sp.: una revisión sistemática, Tesis, Universidad María Auxiliadora, Lima, Perú, 2022. [En línea]. Disponible: <https://acortar.link/yXrvFK>.
- [11] M. Pompêo y V. Moschini, «Avaliação da degradação da qualidade da água do reservatório Carlos Botelho em Itirapina, São Paulo, Brasil, por meio de imagens do satélite Sentinel 2»,



- Eng Sanit Ambient*, vol. 27, n° 21, pp. 279-290, 2022. [En línea]. Disponible: <https://doi.org/10.1590/S1413-415220210002>.
- [12] T. Almeida, Bioacumulação de cianotoxinas em hortaliças irrigadas com águas eutrofizadas de reservatórios superficiais do semiárido, Tesis, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, Brasil, 2023. [En línea]. Disponible: <https://acortar.link/zsdOnn>.
- [13] M. Recio Remón, Modelos avanzados para el estudio de la toxicidad in vitro y su aplicación a cianotoxinas, Tesis, Universidad de Sevilla, Sevilla, España, 2022. [En línea]. Disponible: <https://acortar.link/gcgKXP>.
- [14] C. Juanena, A. Negrin y A. Laborde, «Cianobacterias en las playas: riesgos toxicológicos y vulnerabilidad infantil,» *Revista Médica del Uruguay*, vol. 36, n° 3, pp. 301-310, 2020. [En línea]. Disponible: <https://doi.org/10.29193/rmu.36.3.7>.
- [15] M. T. Menescal, Cianobactérias e Cianotoxinas em uma floração no reservatório Joanes I, Tesis, Universidade Federal Da Bahia, Salvador de Bahia, Brasil, 2018. [En línea]. Disponible: <https://acortar.link/txCnyi>.
- [16] L. Quijada, R. Guzmán, A. Cascajosa, Á. Jos y A. Cameán, «In vitro assessment of cyanotoxins bioaccessibility in raw and cooked mussels,» *Food Chem Toxicol*, vol. 140, n° 24, pp. 1-1, 2020. [En línea]. Disponible: DOI: 10.1016/j.fct.2020.111391.
- [17] T. Silva, Cianotoxinas: impacto na qualidade e disponibilidade de água, Tesis, Universidade Federal Rural de Pernambuco, Garanhuns-PE, 2023. [En línea]. Disponible: <https://acortar.link/z3jIQs>.
- [18] S. y. I. C. A. Romero Hurtado, «Lipopolisacárido,» *Revista de medicina veterinaria*, vol. 1, n° 19, pp. 37-45, 2010.
- [19] M. Conceição, A. Silva, C. Cavalcante, J. Rodrigues, W. Lopes, V. Duarte y B. Ovruski, «Remoção de cianobactérias e cianotoxinas presentes em águas de reservatórios eutrofizados por processos oxidativos avançados (POAs) / Removal of cyanobacteria and cyanotoxins present in waters from eutrophized reservoir by advanced oxidative process (AOPs),» *razilian Journal of Development*, vol. 6, n° 8, pp. 61234-61248, 2020. [En línea]. Disponible: DOI:10.34117/bjdv6n8-514.
- [20] A. Miglione, M. Napoletano y S. Cinti, «Electrochemical Biosensors for Tracing Cyanotoxins in Food and Environmental Matrices,» *Biosensors*, vol. 11, n° 315, pp. 1-16, 2021. [En línea]. Disponible: <https://doi.org/10.3390/bios11090315>.
- [21] Z. Mohamed, M. Deyab, M. Abouy W. Elraghy, «Occurrence of toxic cyanobacteria and microcystin toxin in domestic water storage reservoirs, Egypt,» *Environ Sci Pollut Res Int*, vol. 22, n° 15, pp. 11716-27, 2015. [En línea]. Disponible: DOI:10.2166/aqua.2016.115.
- [22] Z. Rider, A. Percich, Y. Hiripitiyage, T. Harris, B. Sturm, A. Wilson, E. Pollock, J. Beaver y A. Husic, «Drivers of cyanotoxin and taste-and-odor compound presence within the benthic algae of human-disturbed rivers,» *Water Res*, vol. 1, n° 253, p. 121357, 2024. [En línea]. Disponible: DOI: 10.1016/j.watres.2024.121357.
- [23] M. A. Forero, Determinación de Cyanoprokaryotas planctónicas y su potencial en la producción de cianotoxinas en un embalse de la sabana de Bogotá - Colombia, Tesis, Universidad Nacional, Bogotá, Colombia, 2013. [En línea]. Disponible: <https://acortar.link/Du1bgg>.
- [24] L. Á. Churata y M. T. Alvarez, «Importancia biológica de la microcistina en aguas de riego y alternativas en su detección y degradación,» *Revista CON-CIENCIA*, vol. 11, n° 1, pp. 1-22, 2023. [En línea]. Disponible: <https://doi.org/10.53287/amwe9720hu67i>.
- [25] U. Batool, N. Tromas, D. Simon, S. Sauvé, J. Shapiro y M. Ahmed, «Snapshot of cyanobacterial toxins in Pakistani freshwater bodies,» *Environ Sci Pollut Res Int*, vol. 31, n° 16, pp. 24648-24661, 2024. [En línea]. Disponible: DOI: 10.1007/s11356-024-32744-w.
- [26] M. Federici, M. Vallejos, C. Simón, P. Rovira, V. Ciganda, N. Rigamonti y G. Ferrari, «Impacto de las cianotoxinas en la producción agropecuaria y el ambiente,» *Revista INIA*, n° 68, pp. 79-83, 2022. [En línea]. Disponible: DOI:10.13140/RG.2.2.18992.43523.
- [27] E. Cantoral, A. Asencio y M. Sanjurjo, «Cianotoxinas: efectos ambientales y sanitarios. Medidas de prevención,» *Hidrobiológica*, vol. 27, n° 2, pp. 241-251, 2017. [En línea]. Disponible: <https://acortar.link/7pUJpx>.
- [28] ONU, «Objetivos del desarrollo sostenible: Esfuerzos en América Latina y el Caribe,» Sello editorial Tecnológico de Antioquia, 2021. [En línea]. Disponible: <https://acortar.link/VfJ9iu>.
- [29] D. Drobac y N. Tokodi, «Cyanotoxins in food: Exposure assessment and health impact,» *Epub*, vol. 184, n° 30, p. 114271, 2024. [En línea]. Disponible: DOI: 10.1016/j.foodres.2024.114271.
- [30] D. Andrinolo y D. Sedan, «Cianotoxinas. Farmacología y efectos de las principales toxinas presentes en Argentina,» de *Cianobacterias como determinantes ambientales de la salud*, Buenos Aires, Ministerio de Salud de la Nación, 2017. [En línea]. Disponible: <https://acortar.link/YtjiZE>, pp. 49-66.
- [31] A. Godino, D. Moreno y D. Castilla, Métodos analíticos para la determinación de cianotoxinas en alimentos, Tesis, Universidad de Jaén, Jaén, España, 2023. [En línea]. Disponible: <https://acortar.link/0cHh84>.
- [32] G. Ávila, Detección de secuencias que codifican enzimas productoras de cianotoxinas, su expresión y relación con las características del agua en cenotes del noreste de la península de Yucatán, Tesis, Centro de Investigación Científica de Yucatán, A.C., Yucatán, México, 2023. [En línea]. Disponible: <https://acortar.link/S0H0IL>.
- [33] L. L. N. W. H. I. Tito JCR, «First Report on Microcystin-LR Occurrence in Water Reservoirs of Eastern Cuba, and Environmental Trigger Factors,» *Toxins*, vol. 3, n° 14 <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/35324706/> DOI:10.3390/toxinas14030209, p. 209, 2022.
- [34] İ. Yurdakul, «Evaluation of clinical, radiological, ultrasonographic and microbiological findings of septic arthritis in 50 calves,» *Revista mexicana de ciencias pecuarias*, vol. 10, n° 1, pp. 254-266, 2019. [En línea]. Disponible: <https://doi.org/10.22319/rmcp.v10i1.4727>.



Predicción del contenido de humedad en el proceso de secado del cacao mediante regresión lineal simple.

Prediction of moisture content in the cocoa drying process by simple linear regression.

Francisco Javier Duque-Aldaz ¹ * ; Edwin Ronny Haymacaña Moreno ² ; Leonor Alejandrina Zapata Aspiazu ³ ; & Freddy Carrasco Choque ⁴

Recibido: 29/04/2024 – Aceptado: 12/06/2024 – Publicado: 01/07/2024

* Autor para la correspondencia.

Resumen.

La investigación abordó el desarrollo de un modelo predictivo para el control de humedad en el proceso de producción de cacao. El cacao es un cultivo importante para Ecuador, siendo el cuarto exportador mundial en los últimos diez años. El control de humedad durante el secado es crítico para garantizar la calidad y seguridad del producto final. El objetivo general fue establecer un modelo de pronóstico para el control de humedad en el proceso de secado de cacao utilizando regresión lineal simple. En primera instancia, se identificaron los factores que inciden en el proceso de secado. Luego, se analizó la variabilidad de cada factor mediante datos históricos. Seguidamente, se desarrolló un modelo matemático utilizando regresión lineal simple. Finalmente, se validó el modelo con datos de producción reales. Los resultados mostraron que el modelo tuvo una alta capacidad predictiva de 90.16%, es decir que la variación de la humedad podía ser explicada por la variable independiente. La validación con datos reales confirmó la bondad del ajuste. La humedad inicial fue el factor más influyente, explicando esta variación. Se concluyó que el modelo de regresión lineal simple fue una herramienta eficaz para pronosticar la humedad final en base a la humedad inicial. El modelo permitirá a las empresas mejorar el control de este parámetro crítico mediante medidas informadas. La investigación pudo validar satisfactoriamente la metodología planteada para este problema productivo.

Palabras clave.

Pronóstico, Humedad del cacao, Proceso de producción, Regresión lineal simple, Control de calidad.

Abstract.

The research addressed the development of a predictive model for moisture control in the cocoa production process. Cocoa is an important crop for Ecuador, being the fourth largest exporter in the world in the last ten years. Moisture control during drying is critical to guarantee the quality and safety of the final product. The general objective was to establish a forecasting model for moisture control in the cocoa drying process using simple linear regression. First, the factors that affect the drying process were identified. Then, the variability of each factor was analyzed using historical data. Next, a mathematical model was developed using simple linear regression. Finally, the model was validated with real production data. The results showed that the model had a high predictive capacity of 90.16%, meaning that the variation in moisture could be explained by the independent variable. Validation with real data confirmed the goodness of fit. Initial moisture was the most influential factor, explaining this variation. It was concluded that the simple linear regression model was an effective tool for forecasting final moisture based on initial moisture. The model will allow companies to improve control of this critical parameter through informed measurements. The research was able to successfully validate the methodology proposed for this production problem.

Keywords.

Forecasting, Cocoa moisture, Production process, Simple linear regression, Quality control.

1. Introducción

Ecuador se ha establecido como el cuarto mayor exportador de cacao a nivel mundial en los últimos 10 años. Las provincias que se destacan por su producción de cacao son Guayas, Los Ríos, Esmeraldas, Manabí, El Oro y Santa Elena. El cacao representa un rubro importante dentro de la economía ecuatoriana, generando grandes fuentes de ingresos [1].

En los entornos de control de inocuidad alimentaria, se deben cumplir con los parámetros, características y especificaciones solicitadas por los clientes externos, logrando así la satisfacción del cliente y un impacto positivo en la producción. La determinación de un pronóstico para el control de la humedad del cacao en el proceso productivo es

fundamental, ya que es el punto de partida de dicho proceso. La empresa cuenta con grandes cantidades de materia prima que ingresan a la línea de producción, pero presenta puntos críticos que deben ser evaluados, como los análisis de laboratorio para asegurar la aptitud del grano de cacao [2].

Al llevar a cabo un pronóstico sobre el control de la humedad del cacao, se presenta que en puntos estratégicos de la recepción del grano, los rangos se encuentran fuera de las especificaciones de los parámetros de calidad, lo que genera anomalías durante el proceso de producción.

A través de una lluvia de ideas, se han identificado algunas problemáticas dentro de la empresa de semielaborados. En primer lugar, se han recibido reclamos por parte de los clientes debido a que el producto final se encuentra fuera de

¹ Universidad de Guayaquil; francisco.duquea@ug.edu.ec; <https://orcid.org/0000-0001-9533-1635>; Guayaquil; Ecuador.

² Instituto Superior Tecnológico ARGOS; e_haymacana@tecnologicoargos.edu.ec; <https://orcid.org/0000-0002-8708-3894>; Guayaquil; Ecuador.

³ Universidad Técnica de Babahoyo; lzapata@utb.edu.ec; <https://orcid.org/0009-0003-1497-2273>; Babahoyo; Ecuador.

⁴ Universidad Nacional de Frontera; fcarrasco@unf.edu.pe; <https://orcid.org/0000-0002-4493-5567>; Sullana; Perú.



las especificaciones requeridas en la ficha técnica. Esto puede deberse a diversos factores dentro del proceso. Además, la materia prima suele tener altos rangos de cargas microbiológicas cuando ingresa a la planta, ya que el grano de cacao se expone a diferentes factores desde la cosecha hasta el secado, lo que afecta tanto a la materia prima como al producto final [3].

Por otro lado, durante el proceso de tostado de cacao no se lleva un registro de la humedad del grano, lo cual perjudica el proceso y genera cuellos de botella por los reprocesos que puedan surgir. Tener este subproceso controlado sería de gran importancia [4].

La presente investigación tiene por objetivo establecer un modelo de pronóstico para el control de humedad del cacao en el proceso de producción de tostado, utilizando regresión multivariada.

Para el cumplimiento del objetivo se plantea como primer paso el identificar los factores claves que inciden en el proceso de producción de tostado del cacao, a continuación, se procederá a analizar la variabilidad de cada uno de los factores que inciden en el proceso de producción de tostado del cacao; y finalmente se mostrará un modelo matemático que asegure un correcto pronóstico para el control de la humedad en el proceso de tostado del cacao, utilizando regresión multivariada.

1.1.- Tostado del cacao.

El tostado del cacao es un proceso exotérmico que implica someter los granos a calentamiento. Es una etapa crucial que determina el sabor y aroma final del producto. La temperatura de tostado varía según el tipo de grano, siendo más alta para el "grano forastero" y media a baja para el "grano criollo" o "grano trinitario" [5].

Este proceso persigue varios objetivos fundamentales; en primer lugar, facilita la separación de la cáscara del grano, agrietándola y permitiendo el descascarillado posterior. Además, esteriliza los granos eliminando patógenos como Salmonella o E. Coli, así como otros microorganismos indeseables. Es necesario controlar cuidadosamente la temperatura para evitar un tostado excesivo que pueda afectar negativamente al sabor [6].

Otro objetivo clave del tostado es reducir la humedad del grano de cacao. Inicialmente, los granos pueden tener hasta un 8% de humedad, pero tras el tostado, este porcentaje disminuye hasta aproximadamente un 2%. Esta reducción de humedad es crucial para las etapas posteriores del procesamiento del cacao [7].

1.2.- Seguridad Alimentaria y Salubridad.

En la industria alimentaria, específicamente en la producción de cacao y sus derivados, la inocuidad y la calidad son aspectos fundamentales. Es esencial garantizar

que los productos finales sean seguros y aptos para el consumo humano. Esto implica que la materia prima, es decir, los granos de cacao, debe estar libre de impurezas, contaminantes o cualquier elemento que pueda resultar dañino para la salud del consumidor final [8].

Para lograr este objetivo, es necesario implementar estrictos controles de calidad en todas las etapas de la cadena de suministro, desde la recolección de los granos hasta el envasado del producto terminado. Los equipos de trabajo deben asumir la responsabilidad de cumplir con los requisitos y normativas nacionales e internacionales aplicables, tanto en los procesos de producción como en los productos finales. Esto incluye el seguimiento de buenas prácticas de manufactura, la implementación de sistemas de gestión de calidad y la realización de pruebas analíticas periódicas [9].

Además de la inocuidad, la calidad sensorial también es un factor clave en la industria del cacao. Los productores deben asegurarse de que los productos finales cumplan con los estándares de sabor, aroma y textura esperados por los consumidores. Esto se logra mediante un control riguroso de las condiciones de procesamiento, el uso de materias primas de alta calidad y la capacitación continua del personal involucrado en la producción. Sólo a través de un enfoque integral en la calidad e inocuidad se puede garantizar la satisfacción del consumidor y el éxito a largo plazo de la industria del cacao [10].

1.3.- Contenido de humedad y Criterios de calidad en el grano del cacao

Para los fabricantes de cacao en grano, es crucial controlar el contenido de humedad de la materia prima. Se requiere que los granos de cacao tengan aproximadamente un 7% de humedad. Si este porcentaje supera el 8%, puede provocar varias consecuencias negativas. En primer lugar, implicaría una pérdida de material comestible, ya que el exceso de humedad puede favorecer el crecimiento de mohos y bacterias, representando un riesgo potencial para la seguridad alimentaria. Además, una humedad superior al 8% puede afectar el rendimiento del proceso productivo [11].

Por otro lado, si el contenido de humedad de los granos de cacao es inferior al 6.5%, la cáscara se vuelve demasiado frágil y los granos tienden a desintegrarse durante el procesamiento. Esto daría lugar a una alta proporción de granos rotos, lo que también impactaría negativamente en el rendimiento y la calidad del producto final. Por lo tanto, mantener un nivel óptimo de humedad entre el 6.5% y el 8% es crucial para garantizar la calidad y la eficiencia en la producción de cacao [12].

La excelencia del cacao abarca diversos elementos esenciales, como su sabor, autenticidad y atributos físicos, los cuales influyen directamente en el rendimiento de la



producción. Además, se deben considerar aspectos como el rastreo, los indicios geográficos y la certificación, que reflejan la sostenibilidad de los métodos de elaboración y la trazabilidad del producto. Estos factores son fundamentales para asegurar la calidad y la confianza de los consumidores [13].

Las especificaciones de calidad del cacao incluyen: el sabor, la inocuidad y salubridad de los alimentos, las características físicas (consistencia y rendimiento de material comestible), las características de la manteca de cacao, el potencial de color ("colorabilidad"), y la trazabilidad, indicadores geográficos y certificación. Cada uno de estos aspectos debe ser cuidadosamente evaluado y controlado para garantizar un producto final de excelente calidad, que cumpla con los estándares más altos de la industria del cacao [14].

1.4.- Pronóstico de producción.

Los pronósticos desempeñan un papel crítico en el ámbito empresarial, ya que brindan una visión anticipada del futuro y permiten tomar decisiones informadas y estratégicas. Al basarse en proyecciones y estimaciones de eventos y tendencias futuras, los pronósticos proporcionan una base sólida para la planificación financiera, la gestión de la cadena de suministro, el desarrollo de productos, la expansión del mercado y la gestión de recursos humanos. Gracias a estas predicciones, las empresas pueden anticiparse a posibles cambios, desafíos y oportunidades, minimizando los riesgos y maximizando las ventajas competitivas [15].

Existen diferentes métodos para pronosticar la demanda de producción, y la elección de estos métodos depende de factores como el periodo de tiempo de los datos disponibles, la presencia de patrones o tendencias, la estacionalidad del producto y, principalmente, el comportamiento o tendencia observada en la demanda del producto. Comprender las causas subyacentes que generan dicha demanda es fundamental para seleccionar el método de pronóstico adecuado [16].

Algunos de los métodos más utilizados son las series de tiempo, las regresiones lineales simples y múltiples, y los métodos cualitativos. Las series de tiempo y los métodos de regresión son enfoques estadísticos o cuantitativos que requieren el uso de datos históricos de la demanda para predecir la demanda futura mediante el análisis de patrones y tendencias pasadas. Por otro lado, los métodos cualitativos se basan en la incorporación de juicios de valor por parte de expertos, centrándose en su experiencia y conocimiento subjetivo para evaluar factores no cuantificables [17].

En resumen, los pronósticos son esenciales para la toma de decisiones empresariales, permitiendo anticiparse a cambios y aprovechar oportunidades. La elección del método de pronóstico depende de diversos factores, como

los datos disponibles, las tendencias y patrones observados, y el comportamiento de la demanda. Tanto los enfoques cuantitativos como los cualitativos juegan un papel importante en la elaboración de predicciones precisas y confiables [18].

1.5.- Regresión lineal simple.

La regresión lineal simple es un método estadístico utilizado para modelar la relación entre dos variables: una variable dependiente (Y) y una variable independiente (X). Este modelo supone que existe una relación lineal entre ambas variables, representada por una ecuación de la forma $Y = \beta_0 + \beta_1 X + \varepsilon$, donde β_0 es la ordenada al origen, β_1 es la pendiente de la recta y ε es el término de error aleatorio. El objetivo de la regresión lineal simple es encontrar los valores de β_0 y β_1 que mejor ajusten la línea recta a los datos observados, minimizando la suma de los residuos al cuadrado [19].

Para que la regresión lineal simple sea válida y sus resultados sean confiables, se deben cumplir ciertos supuestos fundamentales. En primer lugar, la relación entre las variables debe ser verdaderamente lineal. Además, los residuos o errores deben distribuirse normalmente con una media de cero y una varianza constante (homocedasticidad). También se asume que los errores son independientes entre sí y que no existe multicolinealidad entre las variables independientes (en el caso de la regresión lineal simple, solo hay una variable independiente) [20].

La regresión lineal simple encuentra aplicación en diversos campos, incluyendo los modelos de pronósticos. En el contexto de los pronósticos, esta técnica puede utilizarse para predecir el valor futuro de una variable dependiente (por ejemplo, la demanda de un producto) en función de una variable independiente conocida (como el precio o la publicidad). Al ajustar una línea recta a los datos históricos, se puede extrapolar la relación lineal para realizar predicciones sobre los valores futuros de la variable dependiente [21].

Sin embargo, es importante tener en cuenta que la regresión lineal simple solo es una técnica de pronóstico adecuada cuando se cumple el supuesto de linealidad y cuando se ha identificado una variable independiente relevante que influye significativamente en la variable dependiente. En caso contrario, puede ser necesario explorar otros métodos de pronóstico, como las series de tiempo o los modelos no lineales, para obtener predicciones más precisas [22].

Además de su uso en pronósticos, la regresión lineal simple también se utiliza en otros ámbitos, como el análisis de datos experimentales, la investigación de relaciones causa-efecto y la evaluación de la fuerza de la asociación entre dos variables. Su simplicidad y facilidad de interpretación la convierten en una herramienta valiosa en diversas áreas de estudio y aplicación [23].



2. Materiales y métodos.

2.1.- Materiales

Los materiales utilizados en esta investigación son los siguientes:

- Cacao en grano: se utilizó cacao en grano proveniente de una plantación ubicada en la provincia de Manabí, Ecuador.
- Equipo de secado: se utilizó un horno de convección para el secado de las muestras de cacao.
- Balanza analítica: se utilizó una balanza analítica para determinar el peso de las muestras de cacao antes y después del secado.
- Software estadístico: se utilizó el software estadístico R (versión 4.0.2) para realizar los análisis estadísticos y desarrollar el modelo predictivo.

2.2.- Métodos

La metodología utilizada en esta investigación se describe a continuación:

2.2.1. Preparación de las muestras

Las muestras iniciales de cacao en grano se seleccionaron aleatoriamente de los distintos lotes, luego se pesaron en cantidades aproximadas de 10 gramos.

Se seleccionó aleatoriamente muestras de cacao a la salida del proceso de secado, luego se pesaron en cantidades aproximadas de 10 gramos.

2.2.2. Determinación del contenido de humedad

Se procedió al registro del contenido de humedad inicial HI de las muestras de cacao.

Se procedió al registro del contenido de humedad final HF de las muestras de cacao a la salida del proceso de secado.

2.2.3. Desarrollo del modelo predictivo

Para desarrollar el modelo predictivo, se utilizó el método de regresión lineal simple. La variable dependiente fue el contenido de humedad final HF del cacao (en %), y la variable independiente fue el contenido de humedad inicial HI del (en %). Se utilizó el software estadístico R para realizar el análisis de regresión y determinar los coeficientes del modelo.

2.2.4. Pruebas de hipótesis y supuestos de la regresión lineal simple

Para verificar la bondad de ajuste del modelo predictivo, se realizaron pruebas de hipótesis y se evaluaron los supuestos de la regresión lineal simple. Se utilizaron las siguientes pruebas:

- Prueba de Breusch-Pagan, Gráficas de dispersión y de residuos: para verificar la linealidad y la ausencia de patrones en los residuos del modelo.
- Prueba de normalidad de Kolmogorov-Smirnov (KS): para verificar la normalidad de los residuos del modelo.

- Prueba de homocedasticidad de Breusch-Pagan: para verificar la homocedasticidad de los residuos del modelo.

- Prueba de independencia de Durbin-Watson: para verificar la independencia de los residuos del modelo.

Los resultados de estas pruebas se presentan y se discuten en la sección de resultados y discusión del presente documento.

3. Resultados.

3.1.- Visualización de los datos.

Relación entre las variables

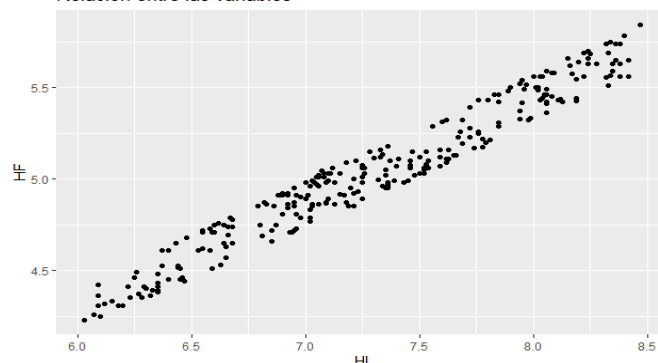


Figura 1.- Relación entre las variables

La figura 1 muestra la relación entre la variable de entrada HI y la variable de salida HF, como se puede observar existe una relación lineal directamente proporcional, por lo tanto visualmente se puede decir que se puede aplicar un modelo de regresión lineal simple.

3.2.- Resumen del modelo:

Tabla 1.- Residuos.

Min	1Q	Median	3Q	Max
-0.13875	-0.07564	-0.01100	0.08972	0.14476

La tabla 1, muestra los estadísticos descriptivos de los residuos del modelo, que son las diferencias entre los valores observados y los valores predichos por el modelo de regresión.

Análisis de cada uno de los estadísticos:

1. Mínimo (Min): -0.13875
 - Este valor indica que el residuo mínimo (o el error de predicción más bajo) es de -0.13875.
 - Un valor negativo implica que el modelo subestimó el valor observado en esa observación.
2. Primer Cuartil (1Q): -0.07564
 - Este valor representa el residuo en el 25% de las observaciones más bajas.
 - Esto sugiere que el 25% de los residuos son menores o iguales a -0.07564.
3. Mediana (Median): -0.01100
 - Este es el valor del residuo en el 50% de las observaciones, es decir, el punto medio de la distribución de residuos.



- Un valor de mediana cerca de cero indica que el modelo está prediciendo de manera adecuada, en promedio.
4. Tercer Cuartil (3Q): 0.08972
- Este valor representa el residuo en el 75% de las observaciones más bajas.
 - Esto significa que el 75% de los residuos son menores o iguales a 0.08972.
5. Máximo (Max): 0.14476
- Este valor indica que el residuo máximo (o el error de predicción más alto) es de 0.14476.
 - Un valor positivo implica que el modelo sobreestimó el valor observado en esa observación.

Tabla 1 de residuos proporciona información sobre la distribución de los errores de predicción del modelo de regresión lineal. Algunos puntos clave a considerar:

- La mediana cercana a cero indica que, en promedio, el modelo está prediciendo de manera adecuada.
- Los valores mínimo y máximo nos indican la magnitud máxima de los errores de predicción, tanto por debajo como por encima de los valores observados.
- Los cuartiles nos dan una idea de la dispersión de los residuos, lo que puede ser útil para evaluar la bondad de ajuste del modelo.

Tabla 2.- Coeficientes:

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)
(Intercept)	0.805147	0.058285	13.81	<2e-16 ***
HI	0.579562	0.007946	72.94	<2e-16 ***

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Interpretación de la tabla 2 coeficientes:

1. Intercepto (Intercept):
 - El valor del intercepto es 0.805147.
 - Este valor representa el valor esperado de la variable dependiente (humedad del cacao) cuando la variable independiente (HI) es igual a cero.
 - El error estándar del intercepto es 0.058285.
 - El valor t del intercepto es 13.81, y el p-value asociado es menor a $2e-16$ ($p < 0.001$), lo que indica que el intercepto es estadísticamente significativo.
2. Coeficiente de HI:
 - El coeficiente de la variable HI es 0.579562.
 - Este valor representa el cambio esperado en la humedad del cacao por cada unidad de cambio en la variable HI.
 - El error estándar del coeficiente de HI es 0.007946.
 - El valor t del coeficiente de HI es 72.94, y el p-value asociado es menor a $2e-16$ ($p < 0.001$), lo que

indica que el coeficiente de HI es estadísticamente significativo.

Los resultados de la tabla 2 Coeficientes indican que:

- El intercepto de 0.805147 es estadísticamente significativo, lo que sugiere que hay un valor de base de la humedad del cacao cuando HI es cero.
- El coeficiente de HI, 0.579562, es estadísticamente significativo, lo que significa que un cambio en HI está asociado con un cambio en la humedad del cacao.
- Dado que ambos términos son estadísticamente significativos, se puede concluir que el modelo de regresión lineal es adecuado para predecir la humedad del cacao a partir de la variable HI.

Tabla 3: Resumen del Modelo de Regresión Lineal

Error estándar residual: 0.08599 en 287 grados de libertad.
R-cuadrado múltiple: 0.9488
R-cuadrado ajustado: 0.9486
Estadística F: 5320 en 1 y 287 DF, p-valor: < 2.2e-16

Análisis e interpretación de la tabla 3:

1. Error estándar residual: 0.08599 en 287 grados de libertad
 - El error estándar residual es una medida de la precisión del modelo de regresión.
 - Un valor de 0.08599 indica que, en promedio, los valores predichos por el modelo se desvían de los valores observados en aproximadamente 0.08599 unidades.
 - Los 287 grados de libertad representan el número de observaciones en el conjunto de datos menos el número de parámetros estimados en el modelo.
2. R-cuadrado múltiple: 0.9488, R-cuadrado ajustado: 0.9486
 - El R-cuadrado múltiple es una medida de la bondad de ajuste del modelo, que indica la proporción de la varianza en la variable dependiente que es explicada por el modelo.
 - Un valor de R-cuadrado múltiple de 0.9488 significa que el modelo explica aproximadamente el 94.88% de la varianza en la variable dependiente.
 - El R-cuadrado ajustado es una versión del R-cuadrado múltiple que se ajusta por el número de predictores en el modelo, y tiene un valor de 0.9486.
3. Estadística F: 5320 en 1 y 287 DF, p-valor: < 2.2e-16
 - La estadística F es una prueba de hipótesis que evalúa si al menos uno de los coeficientes de regresión es diferente de cero.
 - Un valor F de 5320 con 1 y 287 grados de libertad, y un p-valor menor a $2.2e-16$ ($p < 0.001$), indica que el modelo de regresión en su conjunto es estadísticamente significativo.

- Esto significa que al menos una de las variables independientes (en este caso, HI) es útil para predecir la variable dependiente (humedad del cacao).

Los resultados mostrados en esta tabla 3 indican que el modelo de regresión lineal es un buen ajuste a los datos, ya que explica una alta proporción de la varianza en la humedad del cacao (94.88%), y el modelo en su conjunto es estadísticamente significativo. Esto sugiere que la variable HI es un buen predictor de la humedad final del cacao.

3.3.- Visualización de la línea de regresión

Relación entre las variables

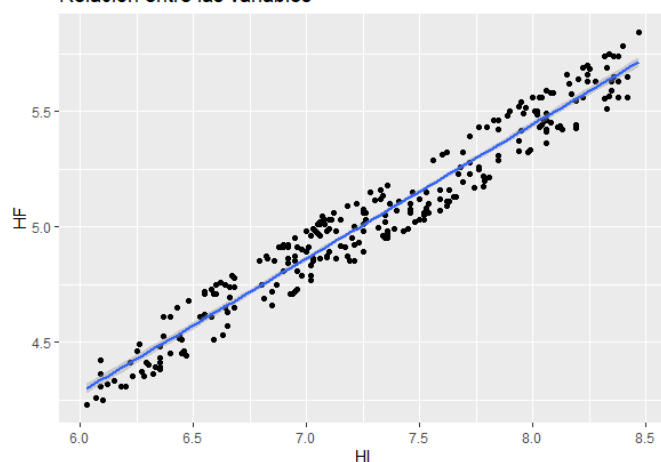


Figura 2.- Línea de regresión

En la figura 2 se puede observar la línea de tendencia entre los valores HI y HF.

La línea azul muestra la línea de tendencia lineal, esta demuestra que los datos aumenten en una línea recta a un ritmo constante.

Supuestos de La Regresión Lineal Simple.

3.4.- Supuesto 1.- Linealidad.

Prueba de Breusch-Pagan

datos: modelo

BP = 1.8583, df = 1, p-value = 0.1728

Coefficiente de correlación de Pearson: 0.9740694

Prueba de Breusch-Pagan:

- El valor-p de la prueba de Breusch-Pagan es 0.1728, que es mayor que el nivel de significancia (0.05).
- Esto indica que no hay evidencia suficiente para rechazar la hipótesis nula de que la relación entre la variable dependiente y la variable independiente es lineal.
- Por lo tanto, los resultados de la prueba de Breusch-Pagan sugieren que se cumple el supuesto de linealidad.

Coefficiente de correlación de Pearson:

- El coeficiente de correlación de Pearson es 0.9740694, lo cual indica una fuerte relación lineal positiva entre la variable dependiente y la variable independiente.

Los resultados de la prueba de Breusch-Pagan y el alto coeficiente de correlación de Pearson proporcionan evidencia de que se cumple el supuesto de linealidad para el modelo de regresión lineal simple propuesto.

Gráfica de residuos vs. valores ajustados

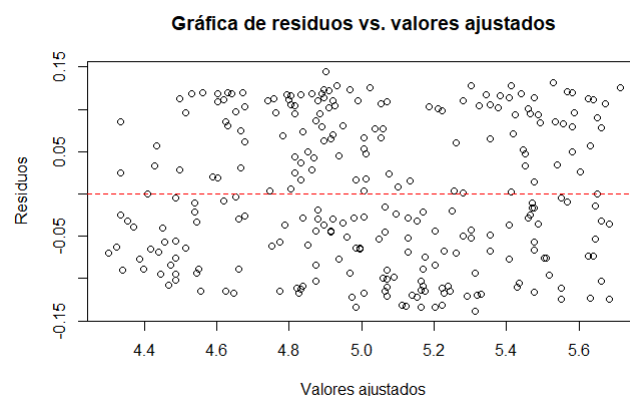


Figura 3.- Gráfica de residuos vs. valores ajustados

La figura 3 muestra visualmente que los residuos se encuentran uniformemente distribuidos a lo largo de los valores de los residuos ajustados.

Estos residuos no muestran un patrón, por lo que el modelo es aceptable en el sentido de que los residuos son independientes de los valores de ajuste.

Gráfica de residuos vs. variable independiente

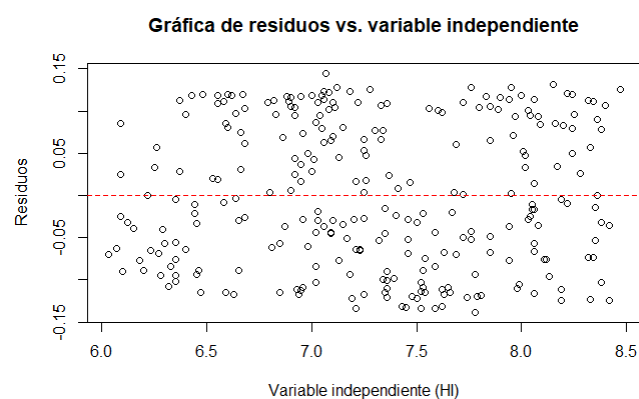


Figura 4.- Gráfica de residuos vs. variable independiente

La figura 4 muestra visualmente que los residuos se encuentran uniformemente distribuidos a lo largo de los valores de la variable independiente HI.



Estos residuos no muestran un patrón, por lo que el modelo es aceptable en el sentido de que los residuos son independientes de la variable independiente HI.

3.5.- Supuesto 2.- Normalidad de los residuos.

Prueba de normalidad de KS

Prueba de Kolmogorov-Smirnov (KS)

Statística de la prueba: 1.4448233

P-valor: 0.0628

Interpretación:

- El valor-p de la prueba de Kolmogorov-Smirnov es 0.0628, el cual es mayor que el nivel de significancia (0.05).
- Esto indica que no hay evidencia suficiente para rechazar la hipótesis nula de que los residuos siguen una distribución normal.
- Por lo tanto, los resultados de la prueba de Kolmogorov-Smirnov sugieren que se cumple el supuesto de normalidad de los residuos.

Implicaciones:

- Al cumplirse el supuesto de normalidad de los residuos, las inferencias estadísticas realizadas, como los intervalos de confianza y las pruebas de hipótesis, serán válidas.

Los resultados de la prueba de Kolmogorov-Smirnov indican que se cumple el supuesto de normalidad de los residuos para el modelo de regresión lineal simple propuesto.

3.6.- Supuesto 3.- Homocedasticidad de los Residuos:

Prueba de Breusch-Pagan

datos: modelo

BP = 1.8583, df = 1, p-value = 0.1728

Prueba de Breusch-Pagan:

- Estadístico BP: 1.8583
- Grados de libertad (df): 1
- Valor-p (p-value): 0.1728

Interpretación:

- El valor-p de la prueba de Breusch-Pagan es 0.1728, que es mayor que el nivel de significancia (0.05).
- Esto indica que no hay evidencia suficiente para rechazar la hipótesis nula de homocedasticidad.
- Por lo tanto, los resultados de la prueba de Breusch-Pagan sugieren que se cumple el supuesto de homocedasticidad de los residuos.

Implicaciones:

- Cuando se cumple el supuesto de homocedasticidad, significa que la varianza de los residuos es constante a lo largo de los valores predichos.

Los resultados de la prueba de Breusch-Pagan indican que el modelo de regresión lineal simple propuesto cumple con el supuesto de homocedasticidad de los residuos.

3.7.- Supuesto 4.- Independencia de los Residuos.

Prueba de Durbin-Watson

datos: modelo

DW = 1.5302.

La independencia de los residuos se lo puede comprobar con el estadístico de Durbin-Watson; este estadístico toma valores entre 0 y 4.

Si el estadístico de Durbin-Watson está entre 1.5 e 2.5, entonces se puede asumir que los residuos son independientes.

Para nuestro caso el estadístico de Durbin-Watson es de 1.5302 por lo que podemos asumir que los residuos son independientes

Los resultados de la prueba de Durbin-Watson indican que el modelo de regresión lineal simple propuesto cumple con el supuesto de independencia de los residuos

3.8.- Modelo de Ecuación de Regresión Lineal propuesto.

En base a los resultados de la tabla 2 Coeficientes, se procede al desarrollo del modelo.

$$HF = 0.805147 + 0.579562 HI$$

4. Discusión

La presente investigación tuvo como objetivo establecer un modelo de pronóstico para el control de humedad del cacao en el proceso de producción de tostado, utilizando regresión multivariada. Los resultados obtenidos muestran que se logró desarrollar un modelo de ecuación de regresión lineal simple que permite pronosticar la humedad final del cacao (HF) en función de la humedad inicial (HI) con una alta precisión.

El modelo propuesto se ajusta adecuadamente a los datos obtenidos, ya que explica una alta proporción de la varianza en la humedad del cacao (94.86%). Además, el modelo en su conjunto es estadísticamente significativo, lo que sugiere que la variable HI es un buen predictor de la humedad final del cacao. Esto es consistente con estudios previos que han demostrado que la humedad inicial del cacao es un factor crítico en el proceso de tostado y que influye significativamente en la calidad del producto final [24].

Por otro lado, se verificaron los supuestos de la regresión lineal simple, incluyendo la linealidad, normalidad, homocedasticidad e independencia de los residuos. Los resultados de la prueba de Breusch-Pagan y el alto coeficiente de correlación de Pearson proporcionan evidencia de que se cumple el supuesto de linealidad. Además, los resultados de la prueba de Kolmogorov-Smirnov indican que se cumple el supuesto de normalidad de los residuos. La prueba de Breusch-Pagan también arrojó



resultados que sugieren que se cumple el supuesto de homocedasticidad de los residuos, y la prueba de Durbin - Watson indicó que los residuos son independientes. Estos resultados son consistentes con los supuestos de la regresión lineal simple y proporcionan evidencia de que el modelo es válido y confiable.

Es importante destacar que el control de la humedad del cacao en el proceso de producción es fundamental para garantizar la calidad y la seguridad alimentaria del producto final. Según estudios previos, un contenido de humedad adecuado del cacao permite obtener un producto final con las características sensoriales deseadas, además de prevenir la proliferación de microorganismos patógenos y la formación de mohos y bacterias [25]. Por lo tanto, el modelo propuesto en esta investigación puede ser una herramienta útil para los productores de cacao y las industrias procesadoras, ya que permite pronosticar con precisión la humedad final del cacao y tomar decisiones informadas en el proceso de producción.

Los resultados de la presente investigación muestran que se logró desarrollar un modelo de ecuación de regresión lineal simple que permite pronosticar la humedad final del cacao en función de la humedad inicial con una alta precisión. Además, se verificaron los supuestos de la regresión lineal simple, y los resultados sugieren que el modelo es válido y confiable. Estos hallazgos son consistentes con estudios previos y tienen implicaciones importantes para el control de la calidad y la seguridad alimentaria del cacao en el proceso de producción. Se recomienda continuar investigando en esta línea para mejorar aún más la precisión del modelo y su aplicabilidad en la industria.

5.- Conclusiones

La presente investigación tuvo como objetivo desarrollar un modelo predictivo para el control de la humedad en el proceso de producción de cacao utilizando regresión lineal simple. Los resultados obtenidos del análisis de 289 observaciones revelan que el modelo propuesto tiene una alta capacidad predictiva, con un valor R-cuadrado de 0,9016. Esto indica que el 90,16% de la variación de la humedad puede ser explicada por la variable independiente, que en este caso es la humedad del material de entrada (HI).

Los resultados de este estudio tienen importantes implicaciones para las empresas exportadoras de cacao, ya que el control de la humedad es un factor crítico para garantizar la calidad y seguridad del producto final. El modelo propuesto puede utilizarse para predecir la humedad final del cacao en función de la humedad del material de entrada, lo que permite aplicar medidas de control de la humedad más eficientes y eficaces. Esto puede suponer un ahorro de costes, una mejora de la calidad del producto y un aumento de la satisfacción del cliente.

Una de las principales aportaciones de este estudio es la aplicación de la regresión lineal simple al problema del control de la humedad en el proceso de producción de cacao. Mientras que estudios anteriores han utilizado modelos estadísticos más complejos, este estudio demuestra que un modelo de regresión lineal simple puede ser muy eficaz para predecir los niveles de humedad. Esto tiene importantes implicaciones prácticas, ya que significa que las empresas pueden aplicar medidas de control de la humedad sin necesidad de recurrir a programas estadísticos caros y complejos.

Otra contribución importante de este estudio es la identificación de los principales factores que influyen en los niveles de humedad en el proceso de producción del cacao. Los resultados indican que la humedad del material de entrada es el factor más importante, ya que representa el 90,16% de la variación de la humedad. Esto sugiere que los esfuerzos para controlar la humedad deberían centrarse en controlar la humedad del material de entrada, en lugar de intentar manipular otros factores que tienen un impacto menor en los niveles de humedad.

Las conclusiones de este estudio también tienen importantes implicaciones para futuras investigaciones. Otros estudios podrían explorar el uso de modelos estadísticos más complejos para mejorar la capacidad predictiva del modelo propuesto. Además, los estudios futuros podrían investigar el impacto de otros factores en los niveles de humedad, como la temperatura, el flujo de aire y el tiempo de procesamiento. Esto podría conducir al desarrollo de medidas de control de la humedad más sofisticadas que tengan en cuenta múltiples factores.

En conclusión, este estudio ha demostrado la eficacia de la regresión lineal simple para predecir los niveles de humedad final en el proceso de producción del cacao. El modelo propuesto tiene importantes implicaciones prácticas para las empresas exportadoras de cacao, ya que puede utilizarse para mejorar las medidas de control de la humedad y garantizar la calidad y seguridad del producto final. Los resultados de este estudio también tienen importantes implicaciones para futuras investigaciones, ya que ponen de relieve la necesidad de seguir investigando los factores que influyen en los niveles de humedad y el desarrollo de medidas de control de la humedad más sofisticadas.

6.- Referencias.

- [1] «Ministerio de Agricultura y Ganadería.» 2023. [En línea]. Available: <https://www.agricultura.gob.ec/ecuador-es-el-primer-exportador-de-cacao-en-grano-de-america/>.
- [2] F. Duque-Aldaz, E. Pazán Gómez, W. Villamagua Castillo y A. López Vargas, «Sistema de gestión de seguridad y salud ocupacional según ISO:45001 en laboratorio cosmético y natural,» *Revista Científica Ciencia Y Tecnología*, vol. 24, n° 41, 2024.
- [3] J. Aldas-Morejón, O.-T. Víctor, K. Revilla-Escobar, M. Carrillo-Pisco y D. Sánchez-Aguilera, «Incidencia del tostado sobre las características fisicoquímicas y alcaloides de la cascarilla de cacao



- (Theobroma cacao) y su efecto en las propiedades organolépticas de una infusión.» *Agroindustrial Science*, vol. 13, n° 1, pp. 15-21, 2023.
- [4] V. E. García Casas, F. J. Duque-Aldaz y M. Cárdenas Calle, «Diseño de un plan de buenas prácticas de manufactura para las cabañas restaurantes en el cantón General Villamil Playas,» *Magazine De Las Ciencias: Revista De Investigación E Innovación*, vol. 8, n° 4, p. 58–76, 2023.
- [5] V. Rejas Heredia, «Cambios fisicoquímicos y organolépticos en el tostado del cacao,» *Revista Ingeniería*, vol. 5, n° 11, p. 39–58, 2021.
- [6] V. E. García Casas y F. J. Duque-Aldaz, «Mejora de capacidades en el manejo de protocolos de manipulación, higiene y bioseguridad para las cabañas-restaurantes del cantón Playas en tiempos de Covid-19,» *Journal of Science and Research*, vol. 8, n° 3, p. 192–209, 2022.
- [7] M. C. J. Ruiz Lau y S. Vegas Chiyón, «Evaluación paramétrica en tostado de cacao piurano con diseño factorial 3k, y determinación del perfil sensorial,» Universidad de Piura, Piura, 2020.
- [8] L. F. Pastorino, «Seguridad alimentaria: un concepto exagerado,» *Przegląd Prawa Rolnego*, vol. 2, n° 27, p. 183–206, 2020.
- [9] J. M. M. Barandiarán Falla, E. S. Cuyo Gonzales, D. Medina Aguilar, M. Medina Simpertigues y R. J. Tuesta Tello, «SEGURIDAD ALIMENTARIA EN EL ESTADO DE SALUD DE LA POBLACIÓN DEL DEPARTAMENTO LAMBAYEQUE-PERÚ,» *REVISTA CURAE*, vol. 4, n° 4, p. 1–11, 2022.
- [10] G. R. Pérez y Q. Y. Silva, «Enfoques y factores asociados a la inseguridad alimentaria,» *Revista Salud Pública y Nutrición*, vol. 18, n° 1, 2019.
- [11] J. N. Saza Coaji y J. A. Jiménez Forero, «DETERMINACIÓN DE CONDICIONES AMBIENTALES PARA LA CONSERVACIÓN DE GRANOS DE CACAO (THEOBROMA CACAO L.) DESHIDRATADO DURANTE EL ALMACENAMIENTO,» *Sistemas de Producción Agroecológicos*, vol. 11, n° 1, pp. 2-32, 2020.
- [12] E. García Gonzalez, A. M. Serna Murillo, D. A. Córdoba Pantoja, J. G. Marín Aricapa, C. Montalvo Rodríguez y G. A. Ordoñez Narváez, «Estudio de la fermentación espontánea de cacao (Theobroma cacao L.) y evaluación de la calidad de los granos en una unidad productiva a pequeña escala,» *AGRICULTURAL BIOTECHNOLOGY*, vol. 6, n° 1, p. 29–40, 2019.
- [13] R. Valverde - Zurita, R. Castillo - Bermeo, N. Jumbo - Benites y P. Fernández - Guarnizo, «El cacao fino de aroma (Theobroma cacao L.) del cantón El Pangui- Ecuador, posible alternativa para elaborar chocolate gourmet,» *Revista Investigación Agraria*, vol. 5, n° 3, p. 14–27, 2023.
- [14] J. Nogales y D. Ruíz, «La calidad del Cacao ¿Dónde comienza y dónde termina?,» *INIA Divulga*, vol. 42, n° 42, pp. 35-43, 2019.
- [15] J. C. Jiménez Novillo, H. Carvajal Romero y H. Vite Cevallos, «Análisis del pronóstico de las exportaciones del camarón en el Ecuador a partir del año 2019,» *REMCA*, vol. 4, n° 1, 2021.
- [16] J. M. Pastorino y M. Cornejo, «Pronóstico de Demanda como herramienta para la producción de vinos,» Universidad de Torcuato Di Tella, Buenos Aires, 2023.
- [17] R. Perdígón Llanes y N. González Benítez, «Una revisión bibliográfica sobre modelos para predecir las producciones de leche,» *Revista Ingeniería Agrícola*, vol. 10, n° 4, 2020.
- [18] D. Bermúdez y M. González, «Producción de petróleo y gas en Venezuela: análisis mediante la función de Cobb-Douglas,» *Revista UIS Ingenierías*, vol. 18, n° 3, pp. 183-191, 2019.
- [19] R. Vilá Baños, M. Torrado-Fonseca y M. Reguante Alvarez, «Análisis de regresión lineal múltiple con SPSS: un ejemplo práctico,» *REIRE Revista de Innovación E Investigación En Educación*, vol. 12, n° 2, pp. 1-10, 2019.
- [20] J. Hernández-Lalinde, J.-F. Espinosa-Castro, D. García Álvarez y V. Bermúdez-Pirela, «Sobre el uso adecuado de la regresión lineal: conceptualización básica mediante un ejemplo aplicado a las ciencias de la salud,» *AVFT – Archivos Venezolanos De Farmacología Y Terapéutica*, vol. 38, n° 5, 2020.
- [21] A. Cárdenas-Pérez y I. Benavides Echeverría, «Explicación del crecimiento económico en la Economía Popular y Solidaria mediante la aplicación del modelo econométrico de Regresión Lineal y Múltiple,» *Revista Publicando*, vol. 8, n° 28, 2021.
- [22] C. M. Bermejo Salmon, «Tratamiento del nivel de competencias laborales desde la regresión lineal simple,» *Retos de la Dirección*, vol. 14, n° 1, 2020.
- [23] A. P. García Barreda y M. E. Velázquez Tejeda, «Propuesta metodológica para el análisis de regresión lineal simple en los estudiantes de la carrera de marketing de un instituto superior privado de Lima,» Universidad San Ignacio de Loyola, Lima, 2022.
- [24] B. S. Rosales-Valdivia, García-Curiel, Laura, J. G. Pérez-Flores, E. Contreras-López, E. Pérez-Escalante y C. García-Mora, «Influencia de la fermentación del cacao y del uso de cultivos iniciadores sobre las características organolépticas del chocolate: un análisis integral,» *Pädi Boletín Científico De Ciencias Básicas E Ingenierías Del ICBi*, vol. 12, n° 23, 2024.
- [25] J. E. Pujota Quimbamba, «Evaluación de los parámetros tiempo y temperatura en el proceso de tostado de dos variedades de cacao sobre la actividad antioxidante y atributos sensoriales en pasta,» Universidad Técnica del Norte, 2023.

7.- Anexos (En caso de que existan)

Código en R utilizado para el desarrollo de la investigación.

```
# 1. Carga de las librerías:
#install.packages("tidyverse")
#install.packages("car")
#install.packages("lmtest")
library(tidyverse) # Librería que contiene varias funciones
útiles para el análisis de datos
library(ggplot2) # Librería para la creación de gráficos
library(openxlsx)
library(readxl)
library(lmtest)
library(stats)

#-----
setwd("D:/Lenovo/Desktop/ELABORACIÓN DE
ARTÍCULO CIENTÍFICO")
getwd()
dir()
# 2 Cargar el archivo Excel
##salaries <- read.xlsx("salario.xlsx")
install.packages("openxlsx")
library(openxlsx)
datos <- read.xlsx("DT4.xlsx")
View(datos)
# Ver el contenido del data frame
head(datos)
```



```
#=====
```

```
# INSTALO PAQUETES
```

```
#=====
```

```
install.packages("dplyr")
install.packages("ggplot2")
install.packages("readxl")
install.packages("cowplot")
install.packages("gmodels")
install.packages("Hmisc")
install.packages("ggthemes")
```

```
#=====
```

```
# ACTIVO PAQUETES
```

```
#=====
```

```
library("dplyr")
library("ggplot2")
library("readxl")
library("gmodels")
library("Hmisc")
library("ggthemes")
library("cowplot")
```

```
# 3. Visualización de los datos:
```

```
ggplot(datos, aes(x = HI, y = HF)) +
  geom_point() +
  labs(title = "Relación entre las variables")
```

```
#-----
```

```
# 4. Estimación del modelo de regresión lineal:
```

```
modelo <- lm(HF ~ HI, data = datos)
```

```
#-----
```

```
# 5. Resumen del modelo:
```

```
summary(modelo)
```

```
# install.packages("knitr")
# library(knitr)
# knitr::kable(summary(modelo)$coefficients)
# knitr::kable(summary(modelo))
```

```
#-----
```

```
# 6. Visualización de la línea de regresión:
```

```
ggplot(datos, aes(x = HI, y = HF)) +
  geom_point() +
  labs(title = "Relación entre las variables")
```

```
ggplot(datos, aes(x = HI, y = HF)) +
  geom_point() +
  labs(title = "Relación entre las variables") +
  geom_smooth(method = "lm")
```

```
# Ecuación de regresión lineal
```

```
ecuacion <- paste("HF ~", format(coef(modelo), digits =
2))
```

```
# Mostrar la ecuación
```

```
ecuacion
```

```
#=====
```

```
# 7. Gráfica de dispersión
```

```
ggplot(datos, aes(x = HI, y = HF)) +
  geom_point() +
  labs(title = "Relación entre las variables")
```

```
#=====
```

```
# Supuestos de La Regresión Lineal Simple.
```

```
#=====
```

```
# 8. Prueba de linealidad
```

```
# Crear la gráfica QQ
```

```
ggplot(modelo, aes(x = ".resid", y = ".fitted")) +
  geom_abline(lty = 2) +
  labs(title = "Gráfica QQ de los residuos") +
  annotate("point", x = ".resid", y = ".fitted", size = 1.5)
```

```
# Realizar la prueba de Breusch-Pagan
```

```
library(lmtest)
bptest(modelo)
```

```
# Calcular el coeficiente de correlación de Pearson
```

```
cor_pearson <- cor(datos$HF, datos$HI)
```

```
# Imprimir el resultado
```

```
print(cor_pearson)
```

```
# Gráfica de residuos vs. valores ajustados:
```

```
# Obtener los residuos y valores ajustados del modelo
residuos <- residuals(modelo)
valores_ajustados <- fitted(modelo)
```

```
# Crear la gráfica de residuos vs. valores ajustados
```

```
plot(valores_ajustados, residuos, xlab = "Valores
ajustados", ylab = "Residuos",
  main = "Gráfica de residuos vs. valores ajustados")
abline(h = 0, lty = 2, col = "red") # Agregar una línea
horizontal en y = 0
```

```
# Gráfica de residuos vs. variable independiente:
```

```
# Obtener los residuos del modelo
```

```
residuos <- residuals(modelo)
```

```
# Crear la gráfica de residuos vs. variable independiente
```

```
plot(datos$HI, residuos, xlab = "Variable independiente
(HI)",
  ylab = "Residuos", main = "Gráfica de residuos vs.
variable independiente")
abline(h = 0, lty = 2, col = "red")
```

```
#=====
```

```
# 9. Prueba de Homocedasticidad:
```

```
library(lmtest)
```



```
# Creamos un modelo de regresión lineal simple
fit <- lm(HF ~ HI, data = datos)

# Aplicamos la prueba de Breusch-Pagan
bptest(fit)

# =====
# 10. Prueba de Normalidad:

# Utilizamos la función ks.test() para realizar la prueba de
normalidad
# Prueba de Kolmogorov-Smirnov (KS)
install.packages("nortest")
library("nortest")
residuos <- unique(residuos)
resultados <- ks.test(residuos, "pnorm")
# Imprimimos los resultados
cat("Estadística de la prueba:", resultados$statistic, "\n")
cat("Valor crítico:", resultados$critical, "\n")
cat("P-valor:", format(resultados$p.value, digits = 10),
"\n")
cat("P-valor:", resultados$p.value, "\n")

# Obtener los residuos del modelo
residuos <- residuals(modelo)

# Gráfico de histograma de los residuos
ggplot(data.frame(residuos = residuos), aes(x = residuos))
+
  geom_histogram(aes(y = ..density..), color = "black", fill
= "white") +
  geom_density(alpha = 0.2, fill = "#FF6666") +
  labs(title = "Histograma de los residuos",
x = "Residuos", y = "Densidad")

# Gráfico de probabilidad normal (Q-Q plot)
ggplot(data.frame(residuos = residuos), aes(sample =
residuos)) +
  stat_qq() +
  stat_qq_line() +
  labs(title = "Gráfico de probabilidad normal (Q-Q plot)",
x = "Valores teóricos", y = "Valores observados")

# =====
# 11. Prueba de Independencia:

# Prueba de Durbin-Watson
# install.packages("lmtest")
library(lmtest)
dwtest(modelo)

# =====
# 12. Prueba de No hay colinealidad:
#En el caso de la regresión lineal simple, este supuesto se
cumple automáticamente, ya que solo hay una variable
independiente.
```



Evaluación de riesgos y medidas de control en maquinaria en una empresa de producción de alimentos.

Risk assessment and control measures for machinery in a food production company.

Jayling Selena Fu-López ^{1 *}; Juan Daniel Calva Valarezo ²; Hugo Alfredo Pérez Benítez ³; Franklin Vicente López Rocafructe ⁴ & Jaime Patricio Fierro Aguilar ⁵

Recibido: 06/04/2024 – Aceptado: 09/06/2024 – Publicado: 01/07/2024

*Autor para la correspondencia.

Resumen.

El estudio analizó los riesgos en maquinaria de una planta alimenticia mediante la matriz HRN, para diseñar un sistema de seguridad basado en criticidad. Se recopiló información y se analizó cada tarea con la matriz HRN para determinar criticidad. Se creó una matriz de evaluación de riesgos y se clasificaron y priorizaron. Se formularon planes de acción para riesgos críticos, como requerimientos de guardas y capacitación. Los resultados evidenciaron criticidad de ciertos equipos como la laminadora. El 10% de las tareas implicaban alto riesgo, resaltando la necesidad de control. Se concluyó que el sistema de seguridad basado en criticidad es factible y mejoraría la seguridad. Se brindó una metodología replicable para que otras plantas analicen riesgos e implementen sistemas similares. El sistema propuesto tiene alto impacto potencial al reducir accidentes y ausentismo. Se recomendó analizar desempeño del sistema, realizar análisis costo-beneficio y extender el modelo a otros sectores críticos.

Palabras clave.

Seguridad industrial; Matriz HRN; Productividad; Criticidad; Riesgos; Protección de máquinas.

Abstract.

The study analyzed the risks in machinery in a food plant using the HRN matrix to design a safety system based on criticality. Information was collected and each task was analyzed with the HRN matrix to determine criticality. A risk assessment matrix was created, and risks were ranked and prioritized. Action plans were formulated for critical risks, such as guarding and training requirements. The results showed the criticality of certain equipment, such as the laminating machine. Ten percent of the tasks involved high risk, highlighting the need for control. It was concluded that the safety system based on criticality is feasible and would improve safety. A replicable methodology was provided for other plants to analyze risks and implement similar systems. The proposed system has a high potential impact by reducing accidents and absenteeism. It was recommended to analyze the performance of the system, perform a cost-benefit analysis, and extend the model to other critical sectors.

Keywords.

Seguridad industrial; Matriz HRN; Productividad; Criticidad; Riesgos; Protección de máquinas.

1. Introducción

La seguridad industrial se ha convertido en una prioridad para garantizar la integridad de los trabajadores y la productividad de las empresas manufactureras. La identificación y control de riesgos asociados a la operación de maquinaria es un elemento clave en esta materia. El presente estudio propone el diseño de un sistema de seguridad de maquinaria específico para una planta de producción alimenticia, a través de la evaluación de criticidad de los equipos [1].

Para lograr cumplir con el objetivo se plantea primero realizar un análisis de riesgos en la maquinaria mediante la metodología de matriz HRN para identificar los equipos críticos; luego establecer medidas de control, requerimientos de guardas y cronograma de capacitación para mitigar los riesgos; y finalmente evaluar la factibilidad

técnica y económica de implementar el sistema de seguridad propuesto en la planta alimenticia [2].

Mediante el uso de metodologías como la matriz HRN, se realiza un análisis detallado de los riesgos y se establecen medidas técnicas, administrativas y de capacitación para mitigar aquellos críticos. El sistema propuesto busca reducir la accidentalidad y ausentismo, mejorando las condiciones de seguridad y productividad en la empresa. Este artículo sienta las bases para implementar este enfoque proactivo de seguridad en otras plantas del sector de alimentos y bebidas.

1.1.- Seguridad industrial

La seguridad industrial es una disciplina que identifica, evalúa y controla los peligros laborales para prevenir daños materiales y accidentes. Es importante para la integridad y competitividad de las empresas, y requiere el compromiso de todos los niveles de la organización [3].

¹ Investigador independiente; fujayling@gmail.com ; <https://orcid.org/0009-0002-0003-1424>, Guayaquil; Ecuador.

² Investigador independiente; juan_calva1999@hotmail.com ; , Guayaquil; Ecuador.

³ Universidad de Guayaquil; hugo.perez@ug.edu.ec ; <https://orcid.org/0000-0001-7460-4032>, Guayaquil; Ecuador.

⁴ Universidad de Guayaquil; franklin.lopez@ug.edu.ec ; <https://orcid.org/0000-0002-0645-1756>, Guayaquil; Ecuador.

⁵ Universidad de Guayaquil; jaime.fierro@ug.edu.ec ; <https://orcid.org/0000-0003-2725-8290>, Guayaquil; Ecuador.



La seguridad industrial debe ser integral, prioritaria y con compromiso de todos. Debe ser considerado por igual por parte de todos los miembros de la empresa, independientemente de su función o nivel jerárquico [4].

1.2.- Máquinas y mecanismos

Una máquina es un dispositivo creado por el ser humano para facilitar el trabajo y reducir el esfuerzo. Las máquinas pueden ser simples, que realizan un trabajo en un solo paso, o compuestas, que realizan un trabajo en varios pasos [5]. Las máquinas simples son conocidas desde la antigüedad y se utilizan para compensar una fuerza resistente o realizar el levantamiento de un peso en condiciones más favorables. Las máquinas compuestas están formadas por una combinación de máquinas simples [6].

Una máquina simple es un dispositivo que realiza un trabajo en un solo paso. Las cuatro máquinas simples más comunes son la rueda, la palanca, el plano inclinado y el tornillo [6]. La rueda es un dispositivo circular que facilita el movimiento de objetos pesados. La palanca es una barra rígida que se apoya en un punto y que se utiliza para multiplicar la fuerza. El plano inclinado es una superficie plana que tiene una pendiente, y se utiliza para levantar objetos pesados. El tornillo es un plano inclinado enrollado en un cilindro, y se utiliza para mover objetos pesados en una dirección vertical [6].

Las máquinas compuestas son combinaciones de máquinas simples. Las máquinas compuestas se utilizan para realizar tareas más complejas que no pueden ser realizadas por una sola máquina simple [6].

1.3.- Seguridad en maquinaria

La seguridad en máquinas es un principio fundamental que busca garantizar la salud de los trabajadores. Para ello, las máquinas deben cumplir con ciertos requisitos mínimos de seguridad desde su diseño. Siendo necesario tomar precauciones durante la utilización, instalación, reparación y mantenimiento de las máquinas [7].

La seguridad de la maquinaria es importante para prevenir lesiones graves o incluso la muerte. Las máquinas pueden causar una variedad de lesiones, incluyendo aplastamiento, golpes, cortes, quemaduras y electrocuciones [8].

Para prevenir accidentes, los trabajadores deben evaluar los riesgos asociados con el uso de máquinas e implementar medidas de seguridad para mitigar esos riesgos. Estas medidas pueden incluir: Instalar máquinas de forma segura; Seleccionar máquinas adecuadas para la tarea; Instalar todas las protecciones de seguridad; Desarrollar un sistema de trabajo seguro para el uso y mantenimiento de la máquina [9]. Los trabajadores deben tomar medidas de seguridad para prevenir accidentes con máquinas. Estas medidas incluyen: Instalar máquinas de forma segura, Seleccionar máquinas adecuadas para la tarea, Instalar todas las

protecciones de seguridad, Desarrollar un sistema de trabajo seguro para el uso y mantenimiento de máquinas. Los trabajadores deben recibir capacitación constante sobre seguridad de máquinas y seguir las instrucciones de seguridad.

Las medidas de seguridad para los trabajadores incluyen: Usar la vestimenta y los EPP requeridos, Comprobar el correcto mantenimiento de la máquina, Usar de forma correcta la máquina [10].

Por lo tanto, los trabajadores no deben: Generar distracciones a los operarios que están usando las máquinas, Llevar ropa suelta, anillos, cadenas, colgantes e incluso pelo largo suelto; Retirar protecciones de la máquina; Usar una aplicación o máquina que tenga señalética o etiqueta de peligro [11].

Las máquinas de producción pueden ser peligrosas, por lo que es importante tomar medidas para garantizar la seguridad de los trabajadores. Estas medidas incluyen:

- Evaluación de riesgos: Antes de utilizar cualquier máquina, se debe realizar una evaluación de riesgos para identificar los posibles peligros asociados.
- Mantenimiento adecuado: Las máquinas deben mantenerse en buen estado de funcionamiento a través de un programa de mantenimiento regular.
- Capacitación y formación: Todos los trabajadores que operan máquinas deben recibir una capacitación adecuada sobre su uso seguro.
- Protecciones y dispositivos de seguridad: Es esencial contar con las protecciones y dispositivos de seguridad adecuados en las máquinas.
- Supervisión y seguimiento: La supervisión constante de los trabajadores que operan máquinas es esencial para garantizar que sigan las medidas de seguridad establecidas [12].

1.4.- Seguridad y salud de los trabajadores

La seguridad y la salud de los trabajadores es un tema importante en Ecuador. Cada año, miles de trabajadores se lesionan o enferman en el trabajo, lo que tiene un impacto significativo en los trabajadores, las empresas y la sociedad en su conjunto [13].

En 2021, se produjo más de 30 000 accidentes laborales en Ecuador, que provocaron más de 1.000 muertes y más de 20.000 días de trabajo perdidos. El costo anual de las lesiones y enfermedades laborales en Ecuador supera los 1.000 millones de dólares.

El Gobierno de Ecuador ha tomado medidas para mejorar la seguridad y la salud de los trabajadores, incluyendo la promulgación de leyes y reglamentos, la creación de organismos de supervisión y la promoción de la participación de los trabajadores y los trabajadores [14].



Sin embargo, aún queda mucho por hacer para reducir las lesiones y enfermedades laborales. Para ello, es importante que los trabajadores y los trabajadores trabajen juntos para promover una cultura de prevención y conciencia en todos los niveles [15].

1.5.- Riesgos laborales

Los riesgos laborales son condiciones o situaciones presentes en el entorno de trabajo que tienen el potencial de causar daños, lesiones o enfermedades a los trabajadores. Estos riesgos pueden clasificarse en cuatro categorías principales: físicos, químicos, biológicos y ergonómicos [16].

Identificación y evaluación de peligros

El primer paso para garantizar la seguridad y la salud de los trabajadores es identificar los peligros existentes en el lugar de trabajo. Se pueden utilizar una variedad de métodos para identificar los peligros, tales como inspecciones en el lugar de trabajo, revisión de registros de seguridad, entrevistas a los trabajadores y herramientas de análisis de riesgos [17].

Control de riesgos

Una vez identificados los peligros, se deben implementar medidas de control para mitigarlos. Estas medidas pueden incluir:

- Medidas de ingeniería: Estas medidas se centran en la eliminación o reducción del peligro en la fuente. Por ejemplo, se puede instalar una barrera para evitar que los trabajadores entren en contacto con un peligro físico, o se puede utilizar un sistema de ventilación para controlar la exposición a sustancias químicas.
- Medidas administrativas: Estas medidas se centran en el cambio de los procedimientos de trabajo o la organización del trabajo. Por ejemplo, se puede establecer un procedimiento de trabajo seguro para realizar una tarea específica, o se puede proporcionar capacitación a los trabajadores sobre cómo trabajar de forma segura.
- Equipos de protección personal (EPP): Los EPP son elementos que se utilizan para proteger a los trabajadores de los peligros. Los EPP deben usarse siempre que no sea posible eliminar o reducir el peligro a través de medidas de ingeniería o administrativas [18].

Estrategias de mitigación de riesgos

Los peligros laborales pueden mitigarse mediante una variedad de estrategias, que pueden clasificarse en tres categorías principales:

- Controles de ingeniería: Estos controles implican la modificación del lugar de trabajo o de los equipos para reducir o eliminar los peligros.
- Controles administrativos: Estos controles implican cambiar la forma de trabajo para reducir el riesgo de lesiones y enfermedades.

- Equipos de protección individual (EPI): Los EPI se utilizan para proteger a los trabajadores de los peligros que no pueden eliminarse o reducirse mediante controles técnicos o administrativos [19].

Formación sobre seguridad

La formación sobre seguridad es fundamental para que los trabajadores puedan identificar y evitar los peligros, y para que utilicen correctamente los EPI. La formación debe impartirse a todos los trabajadores, independientemente de su cargo o responsabilidades [20].

1.6.- Sistemas de seguridad de maquinaria en fábricas

La maquinaria industrial puede ser peligrosa para los trabajadores si no se mantiene ni maneja de manera adecuada. Por ello, es fundamental implementar sistemas de seguridad en las máquinas para prevenir accidentes y lesiones [21].

Los sistemas de seguridad más comunes en maquinaria industrial son:

- Resguardos: Barreras físicas que impiden que los trabajadores accedan a zonas peligrosas de la máquina.
- Enclavamientos: Dispositivos que aseguran que la máquina no pueda ponerse en marcha si no se ha colocado el resguardo correspondiente [22].
- Botones de parada de emergencia: Botones que permiten detener rápidamente la máquina en situaciones de emergencia.
- Señales de advertencia: Señales que alertan a los trabajadores sobre posibles peligros asociados a la maquinaria.
- Equipos de protección individual (EPI): Equipos que protegen a los trabajadores de los peligros inherentes a la maquinaria y los procesos de trabajo [23].

La implementación y el mantenimiento adecuado de estos sistemas de seguridad es esencial para garantizar un entorno laboral seguro en las fábricas y proteger la salud y el bienestar de los trabajadores [24].

1.7.- Evaluación de riesgos

La evaluación de riesgos es un proceso para identificar, analizar y evaluar los peligros en un lugar de trabajo, determinar la probabilidad de que ocurran eventos adversos y evaluar las posibles consecuencias. Su objetivo es implementar medidas preventivas para controlar y reducir los riesgos, garantizando un entorno seguro [25]. Sus principales ventajas son la prevención de accidentes, mejora de la cultura de seguridad, reducción de responsabilidades legales y aumento de la eficacia.

Las etapas de la evaluación son: identificación de peligros mediante inspecciones, evaluación de riesgos considerando probabilidad y consecuencias, determinación de controles y medidas de seguridad, aplicación de controles, y supervisión y revisión periódica [26].



Existen evaluaciones cualitativas, que clasifican los riesgos en altos, medios o bajos, y cuantitativas, que asignan valores numéricos. Algunas herramientas útiles son listas de verificación de peligros, matrices de evaluación de riesgos y programas informáticos especializados [27].

1.8.- Matriz HRN

El método HRN (Hazard Rating Number) es la principal herramienta utilizada para cuantificar y calificar el nivel de riesgo en maquinaria. También conocido como Número de Clasificación de Riesgos, este método permite clasificar un riesgo para determinar si es aceptable o no [28].

La efectividad del método HRN radica en que, a partir de un riesgo identificado relacionado con un peligro considerado, se obtiene una función que relaciona la severidad del daño con la probabilidad de ocurrencia de ese daño para un número determinado de trabajadores expuestos.

De esta manera, el método HRN posibilita una evaluación cuantitativa del nivel de riesgo. Esto permite priorizar los riesgos y enfocar los esfuerzos de control en aquellos que revisten mayor criticidad. Por este motivo, el método HRN es ampliamente utilizado como una valiosa herramienta en la gestión de riesgos de maquinaria [29].

Cuantificando los niveles de peligro en máquinas con el método HRN

Para cuantificar los niveles de peligro en una máquina utilizando el método HRN, primero se deben identificar todos los riesgos y peligros presentes (por ejemplo, falta de puesta a tierra eléctrica, riesgo de aplastamiento de dedos, riesgo de accionamiento involuntario, etc).

Luego, se aplica la siguiente fórmula para cada peligro encontrado:

$$HRN = LO \times FE \times DPH \times NP$$

Donde:

- HRN = Nivel de riesgo cuantificado
- LO = Probabilidad de ocurrencia
- FE = Frecuencia de exposición al riesgo
- DPH = Gravedad del daño potencial
- NP = Número de personas expuestas al riesgo

Los parámetros y variables representados en cada elemento de la fórmula están listados y cuantificados en las tablas siguientes.

Para la probabilidad de ocurrencia (LO) de un accidente, se utilizan niveles que varían de 0,033 a 15, según la tabla a continuación:

Tabla 1.- Probabilidad de ocurrencia (LO)

0.033	Cuasi imposible	Puede ocurrir en circunstancias extremas
1	Altamente improbable	Pero puede ocurrir
1.5	Improbable	Aunque concebible
2	Posible	Pero no habitual
5	Alguna posibilidad	Podría ocurrir
8	Probable	No sorprendente
10	Muy probable	Esperado
15	Seguro	Sin duda

Para la frecuencia de exposición se utiliza

Tabla 2.- Frecuencia de exposición (FE)

0.5	Anualmente
1	Mensualmente
1.5	Semanalmente
2.5	Diariamente
4	En términos de horas
5	Constante

Para el grado de la posible lesión (DPH):

Tabla 3.- Grado de la posible lesión (DPH)

0.1	Rasguño / escoriación
0.5	Dilaceración / corte / enfermedad leve
1	Fractura leve de huesos - dedos de la mano / dedos del pie
2	Fractura grave de hueso - mano / brazo / pierna
4	Pérdida de 1 o 2 dedos de las manos / dedos de los pies
8	Amputación de pierna / mano, pérdida parcial de la audición o visión
10	Amputación de 2 piernas o manos, pérdida parcial de la audición o visión en ambos oídos u ojos
12	Enfermedad permanente o crítica
15	Fatalidad

El número de personas viene dado por:

Tabla 4.- Número de personas bajo el riesgo (NP)

1	1 – 2 personas
2	3 – 7 personas
4	8 – 15 personas
8	16 – 50 personas
12	Más de 50 personas

La tabla abajo muestra los niveles de riesgo que pueden obtenerse a través de la aplicación de la fórmula del HRN.

Tabla 5.- HRN (Hazard Rating Number)

Resultado	Riesgo	Evaluación.
0 – 1	Aceptable	Considerar posibles acciones. Mantener las medidas de protección.
1 – 5	Muy bajo	
5 – 10	Bajo	Garantizar que las medidas actuales de protección son efectivas. Mejorar con acciones complementarias.
10 – 50	Significativo	
50 – 100	Alto	Deben realizarse acciones para reducir o eliminar el riesgo. Garantizar la implementación de protecciones o dispositivos de seguridad.
100 – 500	Muy alto	
500 – 1000	Extremo	Acción inmediata para reducir o eliminar el riesgo.
Mayor que 1000	Inaceptable	Interrumpir actividad hasta eliminación o reducción del riesgo.



La graduación de color varía desde el verde, para resultados de HRN aceptables, hasta el rojo, para niveles que sean inaceptables y que necesiten intervención inmediata. Cabe recalcar que esta variación de colores fue definida por el autor del presente estudio. Se eligieron estos colores por poseer semejanza a los semáforos de tránsito, haciendo, de esta forma, mucho más nítidas las gravedades encontradas en la evaluación.

Plazos para adecuar la maquinaria a las normas de seguridad laboral.

El cuadro anterior debe utilizarse para priorizar la toma de acciones. Es bastante saludable definir el tiempo para tomar acción de reducir cada franja de resultado. Por saber esto, se propone lo siguiente:

- Para el rango que va de 0 a 5, buscar la mejora sin un plazo definido.
- Para el resultado que va de 5 a 50, actuar en la reducción de riesgos dentro de los próximos 4 meses.
- Para el rango que va de 50 a 1000, en un máximo de una semana.
- Para el rango mayor a 1000 se debe interrumpir las actividades inmediatamente.

Siguiendo lo presentado, tenemos aquello que es necesario para un mejor control sobre los accidentes laborales en máquinas, evitando así perjuicios a la vida de los colaboradores y a las arcas de las empresas en las que actuamos.

Modos seguros de operación y mantenimiento

Los modos seguros de operación y mantenimiento son esenciales para la seguridad de trabajadores y equipos, y ayudan a prevenir accidentes y daños. Algunos modos comunes son bloqueo/etiquetado para evitar activación durante mantenimiento, aislamiento para prevenir liberación de materiales peligrosos, equipo de protección personal como gafas y guantes, y prácticas laborales seguras [30].

Principios generales para garantizar seguridad son planificación para identificar peligros, comunicación de riesgos y prácticas seguras, capacitación de trabajadores, inspección de equipos, y documentación de actividades. Seguir estas medidas ayuda a proteger a trabajadores y equipos. También es clave utilizar herramientas adecuadas, seguir instrucciones del fabricante, mantener el orden y la limpieza, estar atento a peligros, tomar descansos y reportar situaciones inseguras [31].

Principio de acceso cero

El principio de acceso cero es un planteamiento de seguridad cuyo objetivo es evitar cualquier contacto físico entre las personas y las partes peligrosas de las máquinas. [32] Para ello se utilizan diversos métodos de protección, como barreras físicas, enclavamientos y sensores de

proximidad. El objetivo del acceso cero es crear un sistema "a prueba de fallos" en el que sea físicamente imposible que alguien entre en contacto con una pieza peligrosa de una máquina, aunque cometa un error.

Modos de intervención

Los modos de intervención abarcan un rango que va desde el trabajo completamente fuera de las protecciones de las máquinas, hasta intervenciones que requieren el desmontaje de componentes o incluso la presencia de energías peligrosas. Cada uno de estos modos implica desafíos y consideraciones específicas en términos de seguridad laboral [33].

Modo 0: Cero acceso, trabajando fuera de las protecciones

- Imposibilidad de acceso físico accidental o deliberado a partes peligrosas cargadas de energía.
- Se requiere herramienta, clave o contraseña para deshabilitar o quitar protecciones
- Seguridad del personal y protección ante objetos que puedan ser expulsados o caer.

Modo 1 y 2: Intervenciones a través o dentro de las protecciones.

- Requieren sistemas de seguridad basados en evaluación de riesgos inicial.
- Antes de intervenir, detener equipos con control normal de parada, no de bloqueo o emergencia.
- En modo 1, el cuerpo evita cierre de guardas y reinicio de equipo.
- En modo 2, uno de los sistemas de control de seguridad debe bloquearse.
- Cada participante debe usar su propio candado y tener la única llave.

Modo 3: Intervenciones que requieren desmontaje (realizar LOTO).

- Todas las fuentes de energía peligrosa deben bloquearse y etiquetarse (LOTO).
- Liberar cualquier energía peligrosa almacenada.
- Todo el personal debe seguir procedimiento LOTO.
- Cada empleado coloca su propio bloqueo y etiqueta, usar bloqueos grupales si es necesario.

Modo 4: Intervenciones que requieren energía peligrosa.

- Reconocer actividades con energía peligrosa y tratar de mitigarlas.
- Sólo se permiten si no hay alternativa más segura.
- Personal autorizado y capacitado siguiendo un procedimiento seguro.
- Restringir acceso a la zona de trabajo.
- Minimizar número de personas y duración de intervención.
- Controles de tipo "mantenido y opera" a distancia segura.

2. Materiales y métodos.

Metodología

La metodología empleada en este estudio consistió en las siguientes etapas:

1. Revisión de literatura. -

Inicialmente se realizó una revisión de fuentes secundarias para obtener información relevante que sirva como marco teórico y estado del arte sobre el tema de estudio.

2. Recolección de datos. -

Se recopiló información detallada sobre la maquinaria de producción de la fábrica alimentaria a través de:

- Registros de la empresa
- Observación directa de las máquinas en operación
- Datos pre-almacenados en sistemas internos

3. Análisis de riesgos. -

Cada actividad realizada en las máquinas fue analizada mediante la matriz HRN (Hazard Risk Number) para identificar peligros, evaluar riesgos, seleccionar métodos de protección y determinar la criticidad de la maquinaria. Los pasos fueron:

- Identificación de peligros potenciales
- Evaluación de probabilidad y gravedad de cada riesgo
- Selección de métodos adecuados de protección
- Creación de matriz HRN con toda la información
- Definición de criticidad de máquinas según nivel de riesgo

4. Nueva matriz de evaluación. -

Se desarrolló una nueva matriz para identificar peligros, probabilidad y gravedad de cada pieza de maquinaria.

5. Clasificación y priorización de riesgos. -

Los riesgos fueron clasificados y priorizados con base en la probabilidad y gravedad determinadas previamente.

6. Planes de acción. -

Finalmente, se formularon planes de acción específicos, factibles y medibles para mitigar los riesgos críticos identificados.

7. Capacitación. -

Se ejecutó un programa de capacitación al personal sobre los temas del estudio para reforzar sus conocimientos en seguridad.

Materiales.

- Para la revisión de literatura:
 - Bases de datos académicas como Scopus, Web of Science, etc.
 - Libros, artículos científicos y otras fuentes secundarias sobre seguridad industrial y análisis de riesgos.
- Para la recolección de datos:
 - Registros físicos y digitales de la empresa sobre las máquinas.
 - Equipos de observación y medición para el análisis en sitio (cámaras, luxómetros, sonómetros, etc).
 - Software especializado de la empresa con datos pre-almacenados.
- Para el análisis de riesgos:
 - Metodología HRN y sus formatos.
 - Software de análisis de riesgos.

- Matriz digital para documentar los resultados.
- Para la nueva matriz de evaluación:
 - Formato de matriz de probabilidad y gravedad de riesgos.
 - Software para análisis cuantitativo de riesgos.
- Para la priorización de riesgos:
 - Matriz de criticidad de riesgos.
 - Criterios de aceptabilidad de riesgo.
- Para los planes de acción:
 - Metodologías de formulación de planes (5W2H).
 - Software de gestión de proyectos (MS Project).
- Para la capacitación:
 - Material audiovisual sobre seguridad industrial.
 - Equipos informáticos y audiovisuales para las sesiones.
 - Manuales y guías para los participantes.

3. Resultados.

Análisis de resultados

Actualmente la empresa cuenta con 3 líneas de producción de galletas tradicionales, de estas 3 líneas se ha considerado como línea piloto la línea “6” al ser la más actualizada, esta consta de 7 equipos principales que hacen posible el desarrollo del proceso. En la figura 1 se muestra un layout del área de galletas.

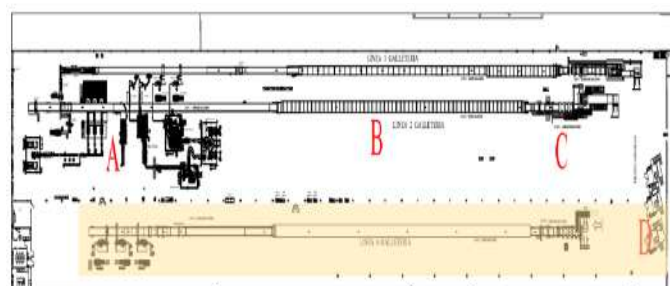


Fig. 1 Layout del área

- A: Empaque Galletería
- B: Hornos Galletería
- C: Laminación Galletería
- D: Amasadoras Galletería

Para el desarrollo de planes de acción y métodos de control necesarios se ha reunido un equipo multidisciplinario con roles definidos previamente:

- Coordinador de SHE: Encargado del análisis de la metodología.
- Técnico mecánico: Revisar la factibilidad de la implementación de los controles de ingeniería.
- Técnico eléctrico: Revisar la factibilidad de la implementación de los controles de ingeniería.
- Jefe de línea: Revisar y aprobar la información recopilada.



- Operador: Como dueño del proceso es necesaria su participación para determinar la validez de cualquier propuesta.
- Autores de tesis: Recolección de información y elaboración de la propuesta.

Con la información desarrollada se ha levantado una matriz de información donde se detalla la actividad, los peligros, riesgos del área y el análisis de riesgo por medio de la matriz cero acceso y matriz HRN.

Seguimiento de tareas.

Se ha desarrollado un formato que permita el registro de las actividades en el proceso de fabricación de galletas considerando el área, equipo, tarea que se realiza, descripción, frecuencia con la que se realiza, modo de intervención, controles y planes de acción.

Por medio de recolección de información junto al operario se ha logrado registrar la frecuencia, personas expuestas y procedimientos de cada puesto de trabajo. Así mismo, se evalúa la posibilidad de mitigar el riesgo existente. Teniendo un total de 208 tareas identificadas.

Tabla 6.- Cantidad de tareas registradas por equipo

N.	Equipos	Tareas
1	Amasadora	15
2	Laminadora	55
3	Horno	20
4	Bañadora de aceite	25
5	Bandas	18
6	Cavannas	57
7	Selladora	17
Total		207

Según la Tabla 6, se muestra la cantidad total de tareas registradas por cada equipo en la fábrica alimentaria. Algunas observaciones:

- La laminadora y las cavannas tienen la mayor cantidad de tareas registradas (55 y 57 respectivamente). Esto indica que son equipos complejos con numerosos procesos y puntos de intervención.
- El horno, la bañadora de aceite y la amasadora también tienen una cantidad relativamente alta de tareas (20-25), lo que sugiere que son equipos importantes en el proceso.
- Las bandas y la selladora tienen la menor cantidad de tareas (17-18), indicando que son equipos más simples o con menos puntos críticos de intervención.
- En total se registran 207 tareas en los 7 equipos. Esto da una idea del alcance del sistema de producción.
- El análisis de la cantidad de tareas por equipo es útil para tener una primera noción de la criticidad y complejidad de cada máquina. Esta información debe complementarse con otros datos para el diseño del sistema de seguridad.

Modos de intervención

La identificación de las tareas en cada equipo permite categorizar las tareas según el nivel de exposición a partes

expuestas para determinar la probabilidad de que el operario pueda sufrir accidentes durante la ejecución de sus labores diarias. La tabla # 7 muestra la cantidad de tareas que se realizan en los diferentes modos de intervención.

Tabla 7.- Modos de intervención por equipo

Equipos	Tareas	Modo 0	Modo 1	Modo 2	Modo 3	Modo 4
Amasadora	15	2	4	3	3	3
Laminadora	55	6	8	5	13	23
Horno	20	1	0	0	15	4
Bañadora de aceite	25	14	0	0	5	6
Bandas	18	0	0	0	9	9
Cavannas	57	12	17	0	27	1
Selladora	17	16	0	0	0	1

Según la Tabla 7, se muestran los diferentes modos de intervención por equipo en una fábrica alimentaria. Algunas observaciones:

- La laminadora tiene el mayor número de tareas (55) y la mayor cantidad de intervenciones en los modos más críticos (Modo 4 con 23 y Modo 3 con 13). Esto indica que la laminadora es un equipo muy importante y crítico para el proceso.
- El horno tiene pocas intervenciones en los modos más críticos (Modo 4 con 15 y ninguna en Modo 3). Sin embargo, tiene 20 tareas, lo que still indica relevancia.
- Las bandas y la selladora tienen la menor cantidad de tareas (17-18) y pocas o ninguna intervención en los modos críticos. Son equipos importantes, pero no tan críticos.
- El análisis de criticidad considerando las tareas totales y los modos de intervención es clave para priorizar los equipos en el diseño del sistema de seguridad. La laminadora y las cavannas parecen ser los más críticos según esta tabla.

Evaluación de riesgos

Para evaluar los riesgos se desarrolló una matriz que categorice el peligro, modo de intervención, frecuencia de exposición, facilidad de acceso, probabilidad de ocurrencia, y gravedad de la lesión. Así como también se realizó un análisis con el tipo de actividad, descripción, peligro, riesgo, nivel de riesgo inicial según HRN (probabilidad, exposición, severidad, personas expuestas), controles que deberían aplicarse, y la escala de tiempo en que deben ser solventados para poder establecer un cronograma de trabajo.

La primera actividad dentro de la matriz corresponde a la elevación de la artesa la cual está asociada a los riesgos mecánicos por la manipulación mecánica de cargas. Esta actividad se la realiza varias veces por turno, dependiendo la demanda de producción por lo tanto la frecuencia de exposición es alta (4), el operario puede acceder a esta área fácilmente (3) obteniendo que es “muy probable” que ocurra un daño y finalmente se considera que la gravedad de la lesión puede ser un “recordable” que implica



tratamiento médico (2), esto da una puntuación de “riesgo alto”.

En la Matriz de evaluación HRN se ha considerado que la probabilidad de ocurrencia de golpes al momento de levantar la artesa es posible pero inusual (2), al ser una actividad rutinaria los operarios se encuentran expuestos de manera constante (5), la severidad de la lesión puede ocasionar la pérdida de un miembro (4) y la cantidad de personas expuestas son 2. Como resultado se tiene 80 que corresponde a un riesgo alto que debe ser solventado en un plazo menor a una semana.

Tabla 8.- Niveles de riesgo identificados

Equipos	Riesgo Alto	Riesgo Medio	Riesgo Bajo	Total
Amasadora	1	0	14	15
Laminadora	9	12	34	55
Horno	3	1	16	20
Bañadora de Aceite	4	0	21	25
Bandas	3	5	10	18
Cavannas	-	1	56	57
Selladora	-	0	17	17
Total	20	19	168	207
% Riesgo	10%	9%	81%	100%

Según la Tabla 8, se muestran los niveles de riesgo identificados en las tareas de cada equipo:

- El 81% de las tareas registradas tienen un riesgo bajo, el 9% riesgo medio y el 10% riesgo alto. Esto indica que la mayoría de las tareas son de bajo riesgo.
- La laminadora tiene la mayor cantidad de tareas de alto riesgo (9), seguida por la bañadora de aceite (4). Estos parecen ser los equipos más críticos en cuanto a seguridad.
- El horno también tiene una cantidad considerable de tareas de alto riesgo (3). Es otro equipo importante que considerar.
- Las cavannas y la selladora no tienen tareas detectadas de alto riesgo. Son aparentemente los equipos de menor criticidad.
- En general, la laminadora, el horno y la bañadora de aceite deberían ser priorizados en el diseño del sistema de seguridad dado sus mayores niveles de riesgo.
- El análisis de riesgo a nivel de tareas es fundamental para determinar los puntos críticos a gestionar en cada máquina.

Requerimientos de guardas

Una vez analizados los riesgos se determinó las necesidades de colocar guardas que eviten el acceso a partes expuestas, para esto es necesario contar con una empresa contratista dedicada al diseño, prueba e instalación de estas.

El operario al realizar su trabajo diario se acerca al equipo y realiza actividades que lo exponen a riesgos de atrapamiento y quemaduras, por lo tanto, se considera necesario colocar en los equipos como la laminadora

guardas fijas que puedan ser removidas únicamente por los técnicos para realizar mantenimientos.

Cronograma de capacitación

Para la elaboración de este apartado se tuvo en consideración las especificaciones del Segundo Suplemento No. 309 [34]

El cronograma muestra los temas que deben ser abarcados y las fechas propuestas para capacitación de personal con el fin de reforzar los conocimientos en seguridad de maquinaria, así como socializar los cambios en los mapas de seguridad.

La planificación del personal se la realiza anticipadamente, se tienen 3 turnos que van rotando semana a semana, el cronograma está organizado de manera que todos los turnos puedan recibir la misma capacitación con duración máxima de 40 minutos sin interrumpir sus actividades.

En la tabla #10 se detalla el tema, encargado y semana en la que se realizará a partir de la aprobación del proyecto.

Tabla 9.- Cronograma de capacitación

Tema	Facilitador	Semana											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Identificación de riesgos	Auxiliar 1	X	X	X									
Modos de intervención	Auxiliar 2				X	X	X						
Seguridad de maquinaria	Auxiliar 3							X	X	X			
Actualización Mapas SHE	Auxiliar 4										X	X	X

Según la Tabla 9, el cronograma de capacitación para el sistema de seguridad de maquinaria se extiende por 12 semanas e incluye los siguientes temas:

- Identificación de riesgos (3 semanas): Impartido por el auxiliar 1 en las semanas 1, 2 y 3.
- Modos de intervención (3 semanas): Dictado por el auxiliar 2 en las semanas 4, 5 y 6.
- Seguridad de maquinaria (3 semanas): Facilitado por el auxiliar 3 en las semanas 7, 8 y 9.
- Actualización mapas SHE (3 semanas): Auxiliar 4 en las semanas 10, 11 y 12.
- El cronograma muestra una capacitación progresiva, comenzando por conceptos básicos de riesgos y luego profundizando en aspectos más específicos de seguridad de maquinaria.
- La actualización al final busca reforzar los procedimientos establecidos en el nuevo sistema.
- La duración de 12 semanas permite reforzar bien los conceptos y asegurar la adopción por parte de los trabajadores.
- El cronograma se ve apropiado y alineado a las necesidades de capacitación identificadas previamente en el análisis.



4. Conclusiones.

El presente estudio permitió realizar un análisis detallado de los riesgos asociados a la maquinaria en una planta de producción alimenticia, a través de metodologías reconocidas como la matriz HRN. Los resultados evidencian la criticidad de ciertos equipos como la laminadora, que presentó la mayor cantidad de tareas de alto riesgo.

La evaluación por niveles de riesgo demostró que, si bien la mayoría de las tareas registradas fueron de bajo riesgo, existe un porcentaje considerable (10%) que implica un riesgo alto para la integridad de los trabajadores. Esto resalta la necesidad de implementar medidas de control para aquellas tareas críticas.

El estudio permite concluir que un sistema de seguridad de maquinaria basado en la evaluación de criticidad es factible y puede mejorar sustancialmente las condiciones de los trabajadores. Las propuestas como requerimientos de guardas y cronograma de capacitación apuntan en esta dirección.

La investigación brinda una metodología replicable para que otras plantas industriales puedan analizar sus riesgos e implementar sistemas de seguridad en maquinaria. Los formatos y herramientas presentadas facilitan la adopción de este enfoque proactivo para la prevención.

El sistema de seguridad de maquinaria basado en criticidad que se propone tiene un alto potencial de impacto al reducir accidentes, ausentismo y costos asociados. La investigación sienta las bases para mejorar la seguridad industrial en el sector manufacturero a nivel global.

Como futuras líneas de investigación se recomienda analizar el desempeño del sistema implementado, realizar análisis costo-beneficio de las medidas adoptadas y extender el modelo a otros sectores con maquinaria crítica dentro de la línea de producción de alimentos.

5.- Referencias.

- [L. Gómez Avila, «CORE,» octubre 2017. [En línea]. Available: 1 <https://core.ac.uk/download/pdf/326424195.pdf>. [Último acceso: 29 2 mayo 2023].
- [A. Sánchez Oropeza, I. González Hernández, R. Granillo Macías, Z. 2 Beltrán Rodríguez, L. Ramírez López y B. Sotero Montalvo, 3 «Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo,» 5 enero 2022. [En 4 línea]. Available: 5 <https://repository.uaeh.edu.mx/revistas/index.php/sahagun/article/view/7119/8475>. [Último acceso: 2023].
- [A. A. Barragán Fabre, D. C. Pilay Parrales y F. J. Duque-Aldaz, 3 «Análisis de la percepción de la afectación del ruido ambiental urbano 4 asociado a la calidad de vida y salud a personas de la generación Z,» 5 Universidad de Guayaquil. Facultad de Ingeniería Química, 6 Guayaquil, 2022.
- [R. Valdez Zegarra, «Redalyc,» enero-junio 2010. [En línea]. 7 Available: <https://www.redalyc.org/pdf/4259/42594254008.pdf>. 8]
- [McGraw-Hill, «MHEducation,» 28 abril 2019. [En línea]. Available: 9 <https://www.mheducation.es/bcv/guide/capitulo/844861626X.pdf>. 10]
- [E. Martínez Ramírez, «Universidad Politécnica de Madrid,» 24 1 febrero 2020. [En línea]. Available: 2 [http://ocw.upm.es/pluginfile.php/1384/mod_label/intro/Tema5.1.Las 3 %20maquinas-y-mecanismos.pdf](http://ocw.upm.es/pluginfile.php/1384/mod_label/intro/Tema5.1.Las%20maquinas-y-mecanismos.pdf). 4]
- [Organización Iberoamericana de Seguridad Social, «OISS,» 2018. 5 [En línea]. Available: [https://oiss.org/wp-content/uploads/2018/11/3- 6 Maquinas-MP.pdf](https://oiss.org/wp-content/uploads/2018/11/3-Maquinas-MP.pdf). 7]
- [Organización Internacional del Trabajo, «OIT,» 2023. [En línea]. 8 Available: [https://www.ilo.org/global/topics/labour-administration- 9 inspection/resources-library/publications/guide-for-labour- 10 inspectors/machinery-plant-equipment/lang-es/index.htm](https://www.ilo.org/global/topics/labour-administration-inspection/resources-library/publications/guide-for-labour-inspectors/machinery-plant-equipment/lang-es/index.htm).
- [F. J. Duque-Aldaz, J. P. Fierro-Aguilar, H. A. Pérez-Benítez y G. W. 1 Tobar-Farías, «Afectación a la calidad de vida y salud en la 2 generación Z debido a la contaminación acústica, conjunto de 3 acciones municipales y agentes generadores de contaminación 4 acústica,» *Magazine De Las Ciencias: Revista De Investigación E 5 Innovación*, vol. 8, n° 1, pp. 62-77, 2023.
- [J. Duque-Aldaz, H. Pérez Benítez, J. Fierro Aguilar y G. Tobar 1 Farías, «Mitigación de la contaminación por Ruido Ambiental en los 2 alrededores de una Institución de Educación Superior mediante la 3 Implementación de Estrategias en un Plan de Marketing Social,» 4 *Investigación, Tecnología E Innovación*, vol. 14, n° 17, p. 30-45, 5 2022.
- [M. M. Gómez Coello, J. L. Portilla Marcillo y F. J. Duque-Aldaz, 1 «Diseño de un sistema de gestión de seguridad y salud ocupacional 2 basado en la Norma ISO 45001: 2018 en la empresa Hazarmavet 3 S.A.,» Universidad de Guayaquil. Facultad de Ingeniería Química, 4 Guayaquil, 2022.
- [F. Duque-Aldaz, E. Pazán Gómez, W. Villamagua Castillo y A. 1 López Vargas, «Sistema de gestión de seguridad y salud ocupacional 2 según ISO:45001 en laboratorio cosmético y natural,» *Revista 3 Científica Ciencia Y Tecnología*, vol. 24, n° 41, 2024.
- [P. Cajías Vasco, D. Álvarez Calderón, P. Merino Salazar y A. Gómez 1 García, «INNOVA RESEARCH JOURNAL,» 8 diciembre 2017. [En 2 línea]. Available: 3 <https://revistas.uide.edu.ec/index.php/innova/article/view/322/529>. 4]
- [«Ministerio de Trabajo,» diciembre 2012. [En línea]. Available: 1 [https://www.trabajo.gob.ec/wp- 2 content/uploads/downloads/2012/12/Reglamento-de-Seguridad-y- 3 Salud-de-los-Trabajadores-y-Mejoramiento-del-Medio-Ambiente-de- 4 Trabajo-Decreto-Ejecutivo-2393.pdf](https://www.trabajo.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2012/12/Reglamento-de-Seguridad-y-Salud-de-los-Trabajadores-y-Mejoramiento-del-Medio-Ambiente-de-Trabajo-Decreto-Ejecutivo-2393.pdf). 5]
- [«ILO,» 2013. [En línea]. Available: 1 <https://www.ilo.org/safework/cis/lang-en/index.htm>. 2]
- [«World Health Organization,» 2023. [En línea]. Available: 3 <https://www.who.int/health-topics/occupational-health>. 4]
- [«Centers for Disease Control and Prevention,» [En línea]. Available: 1 <https://www.cdc.gov/niosh/>. 2]
- [«ILO,» 2023. [En línea]. Available: 1 <https://www.ilo.org/safework/lang-en/index.htm>. 2]
- [F. J. Duque-Aldaz, J. P. Fierro Aguilar, H. A. Pérez Benítez y G. W. 1 Tobar Farías, «Afectación del ruido ambiental a Instituciones 2 Educativas; conjunto de acciones desde la Participación Ciudadana y 3]

[illegible]



Optimización de despacho de combustible fuel oil a través de regresión multivariada utilizando indicadores locales de almacenamiento.

Fuel oil fuel dispatch optimization through multivariate regression using local storage indicators.

Geovanny Javier Morocho Choca ¹ * ; Luis Ángel Bucheli Carpio ² & Francisco Javier Duque-Aldaz ³

Recibido: 12/02/2024 – Aceptado: 30/05/2024 – Publicado: 01/07/2024

*Autor para la correspondencia.

Resumen.

El presente estudio buscó desarrollar un modelo de regresión multivariada para optimizar el despacho de combustible fuel oil, teniendo como objetivo diseñar una herramienta basada en indicadores de almacenamiento que predijera y mejorara dicho proceso logístico. Se recopilaron 787 registros históricos de despacho y almacenamiento entre 2022 – 2023, realizando un riguroso análisis exploratorio de los datos. Luego de seleccionar las variables temperatura y gravedad API, que explicaban el 98% de variabilidad del factor de corrección de volumen, se construyeron dos modelos de regresión lineal múltiple. Estos modelos fueron validados, midiendo métricas de ajuste y comparando valores reales v.s. predichos. Los resultados mostraron que ambos modelos presentaron un excelente ajuste a los datos reales históricos, logrando explicar casi la totalidad de su variabilidad. Específicamente, el modelo que incluyó las dos variables mejoró sustancialmente el ajuste. Al validar los modelos, demostraron una precisión muy alta para predecir el factor de corrección requerido, superando los pronósticos actuales. Estos hallazgos permitieron concluir que la implementación de esta herramienta analítica optimizará significativamente los procesos logísticos de despacho de combustible, mejorando la planificación, minimizando costos e inconsistencias operativas. Además, la investigación sentó las bases para futuros trabajos orientados a ampliar el alcance geográfico y considerar más variables predictoras, con el objetivo de robustecer el modelo multivariado propuesto. En definitiva, esta investigación tiene un alto potencial de impacto para la industria energética.

Palabras clave.

Optimización Despacho Combustible; Regresión Multivariada, Modelo Pronóstico Logística, Factor Corrección Volumen, Análisis Series Temporales, Pronóstico Demanda

Abstract.

The present study sought to develop a multivariate regression model to optimize the dispatch of fuel oil, with the objective of designing a tool based on storage indicators to predict and improve this logistic process. A total of 787 historical dispatch and storage records were collected between 2022 - 2023, performing a rigorous exploratory analysis of the data. After selecting the variables temperature and API gravity, which explained 98% of the variability of the volume correction factor, two multiple linear regression models were built. These models were validated by measuring fit metrics and comparing actual vs. predicted values. The results showed that both models presented an excellent fit to the actual historical data, managing to explain almost all of their variability. Specifically, the model that included the two variables substantially improved the fit. When the models were validated, they demonstrated a very high accuracy in predicting the required correction factor, surpassing current forecasts. These findings led to the conclusion that the implementation of this analytical tool will significantly optimize fuel dispatch logistics processes, improving planning, minimizing costs and operational inconsistencies. In addition, the research laid the groundwork for future work aimed at expanding the geographical scope and considering more predictor variables, in order to strengthen the proposed multivariate model. In short, this research has a high potential impact for the energy industry.

Keywords.

Fuel Dispatch Optimization; Multivariate Regression, Logistic Forecasting Model, Volume Correction Factor, Time Series Analysis, Demand Forecasting

1. Introducción

El despacho eficiente de fuel oil es crucial para asegurar el suministro energético de la generación eléctrica e industrias, sin embargo, medir con precisión el volumen despachado es un desafío debido a que la densidad y viscosidad del combustible varían con factores como la temperatura y presión [1]. Por lo tanto, es necesario utilizar un Factor de Corrección de Volumen (VCF) para estandarizar las mediciones en el proceso de despacho [2].

Una compañía comercializadora de fuel oil ha detectado inconsistencias en inventarios y facturación como consecuencia de una aplicación inadecuada del VCF durante el despacho. Esto le ha generado pérdidas

económicas, problemas operativos y sanciones de la Agencia de Regulación y Control Hidrocarbúrico. Por lo anterior, la compañía requiere con urgencia capacitar a su personal, estandarizar los procedimientos y garantizar un correcto cálculo y uso del VCF para optimizar el despacho de fuel oil.

El proceso de despacho consta de los pasos: Refinamiento, Distribución (Bombeo de producto), Redes de distribución de producto por poliducto; Almacenamiento de productos en tanques, área de despacho, Comercialización de Fuel Oil [3].

¹ Universidad Estatal de Milagro; gmorochoc2@unemi.edu.ec; <https://orcid.org/0000-0001-6807-1567>; Milagro; Ecuador.

² Universidad Estatal de Milagro; lbuchelic@unemi.edu.ec; <https://orcid.org/0000-0003-2277-603X>; Milagro; Ecuador.

³ Universidad de Guayaquil; francisco.duquea@ug.edu.ec; <https://orcid.org/0000-0001-9533-1635>; Guayaquil; Ecuador.



En base a lo anterior se puede indicar que el objetivo de la investigación es Optimizar el despacho de combustible fuel oil mediante el desarrollo de un modelo de regresión multivariada que incorpore indicadores locales de almacenamiento

Para lograr el desarrollo del objetivo planteado se propone identificar y seleccionar los indicadores de almacenamiento y el despacho de combustible fuel oil para desarrollar un modelo de regresión multivariada que prediga y optimice el despacho de este combustible en base a dichos indicadores. Posteriormente, se validará el modelo mediante el uso de datos reales de despacho y almacenamiento de fuel oil, determinando la precisión que este alcanza para predecir de manera efectiva el despacho optimizado.

1.1.- Factores que afectan el despacho de combustibles

El despacho de combustibles es un proceso logístico complejo que depende de múltiples factores como la demanda, capacidad de producción y almacenamiento, niveles de inventario, ubicación geográfica de instalaciones, medios y costos de transporte. La identificación y análisis riguroso de estos elementos es indispensable para desarrollar modelos analíticos que permitan optimizar el despacho [4].

Uno de los factores más importantes es la demanda del combustible, la cual determina las cantidades y frecuencia de despacho hacia los puntos de consumo. Otro factor relevante es la capacidad de producción y almacenamiento, la cual limita la disponibilidad del combustible. Los niveles de inventario en tanques también afectan cuándo y cuánto se debe producir y despachar [5].

La ubicación geográfica entre puntos de producción, almacenamiento y consumo impacta en la distancia y modo de transporte requerido. El traslado del combustible puede ser por barco, tren o camión, siendo cada modo diferente en capacidad, velocidad y costo [6].

Otros factores como el clima, mantenimientos programados y las regulaciones aplicables también inciden en el proceso de despacho, por lo que deben ser considerados en la planificación y optimización logística [7].

1.2.- Indicadores de nivel de tanques de almacenamiento.

Los combustibles como el fuel oil son almacenados en grandes tanques antes de ser despachados. El monitoreo en tiempo real de los niveles de inventario es fundamental para coordinar la logística relacionada con el movimiento del producto. Los tanques cuentan con instrumentos que miden parámetros como volumen almacenado y tasas de llenado/vaciado [8].

Estos indicadores de nivel proveen información valiosa para pronosticar demanda, prever necesidades de reposición e

implementar los despachos requeridos. Su integración con técnicas analíticas como regresión multivariada optimiza todo el proceso de distribución física [9].

Algunos puntos clave sobre los indicadores son la medición de niveles, el rango óptimo de operación, tasas de llenado/vaciado, punto de reposición, rotación de inventario y su correlación con el despacho. Además, permiten realizar pronósticos de demanda y optimizar los modelos matemáticos de recomendación logística [10].

Monitorear en tiempo real los niveles es esencial para una coordinación óptima de la cadena de suministro y el despacho eficiente, minimizando costos y tiempos [11].

1.3.- Pronóstico de producción.

Debido a los continuos cambios tecnológicos y comerciales, los modelos de gestión de inventarios deben actualizarse constantemente. El pronóstico de ventas se ha convertido en una fuente vital de datos para predecir la demanda de productos de la manera más cercana a la realidad [12].

Las pequeñas empresas requieren conocer la cantidad de compra que demanda el mercado para cada producto, a fin de mantener suficiente inventario y satisfacer la demanda de los consumidores de manera eficiente. Por ello, el pronóstico de producción cobra relevancia en la planificación de estas empresas [13].

El pronóstico de producción es una predicción del futuro bajo cierta incertidumbre, que se puede realizar mediante métodos cuantitativos y cualitativos. Entre los métodos más utilizados se encuentran las series de tiempo, regresiones y métodos cualitativos [14].

Los factores a considerar para seleccionar el modelo de pronóstico apropiado incluyen el comportamiento de la demanda, la existencia de tendencias y la situación particular de cada punto de distribución. La elección adecuada del método es crucial para que las pequeñas empresas puedan planificar su producción eficientemente [15].

1.4.- Regresión Multivariada.

La regresión multivariada implica relacionar una variable dependiente con múltiples variables independientes mediante modelos matemáticos lineales. Es indispensable evaluar supuestos como heterocedasticidad y multicolinealidad mediante pruebas estadísticas para obtener resultados válidos [16].

La gran ventaja es que al incorporar más variables independientes, se incluye más información relevante para construir el modelo, aproximándose más a la realidad con menor error y mayor precisión [17].



El modelo matemático de regresión lineal múltiple expresa a la variable dependiente como función lineal de las variables independientes, más un término de error. Los parámetros son desconocidos y se estiman mediante mínimos cuadrados.

El método de regresión por mínimos cuadrados obtiene estimaciones simultáneas de los coeficientes, minimizando la suma de cuadrados de los residuos.

Para determinar las variables más influyentes, se utilizan técnicas como selección secuencial, stepwise o análisis de varianza, permitiendo construir un modelo más parsimonioso y útil para pronósticos [18].

1.5.- Coeficiente de determinación R^2

La evaluación rigurosa de la bondad de ajuste de los modelos de regresión es indispensable para determinar su utilidad predictiva. Una métrica ampliamente utilizada es el coeficiente de determinación R^2 , el cual indica la proporción de variabilidad en la variable dependiente explicada por el modelo [19].

El R^2 varía entre 0 y 1, donde valores cercanos a 1 representan un mejor ajuste. Aunque valores altos son deseables, incluso modestos R^2 pueden ser útiles en fenómenos complejos. Se trata de una métrica estándar para comparar modelos de regresión [20].

Los puntos clave del R^2 son su definición, cálculo e interpretación. Indica el porcentaje de varianza en Y explicado y su ajustado corrige la sobreestimación. Permite evaluar bondad de ajuste, significancia de variables e idoneidad predictiva [21].

A pesar de sus limitaciones como sensibilidad a outliers, el R^2 es una herramienta valiosa siempre que se analice en el contexto del problema modelado, pues en ciertos casos valores moderados podrían ser aceptables dada la complejidad del fenómeno estudiado [22].

1.6.- Principales métricas para medir la exactitud y el error en modelos de pronóstico

La evaluación del desempeño es una etapa crucial en la construcción de modelos predictivos, donde se cuantifica la precisión de las predicciones versus los valores reales mediante métricas de error. Existen diversas métricas que aportan información complementaria sobre el ajuste del modelo [23].

Algunas de las métricas más comunes son el error cuadrático medio, la raíz de este error, el error absoluto medio y el error porcentual absoluto medio. Otras métricas útiles son el coeficiente de determinación y el error cuadrático medio porcentual [24].

El análisis riguroso de estas métricas es indispensable para evaluar la calidad y utilidad de un modelo, permitiendo comparar modelos y seleccionar el más preciso. Ayuda además a identificar posibles mejoras [25].

Cada métrica tiene sus ventajas, por lo que analizar varias complementarias entre sí es lo recomendable para una adecuada evaluación del desempeño del modelo predictivo [26].

2. Materiales y métodos.

2.1 Datos

Se obtuvieron datos históricos de 787 registros correspondientes al despacho trimestral de combustible fuel oil, así como indicadores de almacenamiento, desde el primer trimestre de 2022 hasta el tercer trimestre de 2023 de una empresa distribuidora de hidrocarburos.

Los datos incluyen: volumen despachado (m^3), temperatura promedio ($^{\circ}C$), gravedad específica API, niveles máximo y mínimo de inventario en cada tanque, entre otros. La variable objeto de estudio fue el Factor de Corrección de Volumen (VCF) aplicado en cada despacho.

2.2 Preprocesamiento de datos

Se realizó un análisis exploratorio de datos para verificar valores atípicos y datos faltantes. Luego se codificaron variables categóricas y se normalizaron algunas métricas para darles la misma escala de importancia. No hubo valores perdidos.

2.3 Selección de variables

Mediante correlación bivariada y métodos de selección como stepwise, se escogieron las variables Temperatura y API como más influyentes sobre el VCF. Estas explican el 98% de su variación.

2.4 Modelos de regresión

Se construyeron dos modelos de regresión lineal múltiple utilizando como predictores:

- Modelo 1) Temperatura
- Modelo 2) Temperatura y API

2.5 Validación del modelo

El modelo se evaluó mediante métricas de ajuste (R^2 , RMSE), pruebas de significancia (ANOVA, t-Student) y comparación de valores reales vs. predichos, utilizando una muestra de validación del 15% de los datos no usados en el entrenamiento.

2.6 Optimización del despacho

Finalmente, se implementó el modelo 2 para predecir el VCF requerido en nuevos despachos y así optimizar procedimientos, disminuir costos e incrementar la precisión del proceso logístico.



3. Resultados.

A continuación, se expondrán los hallazgos derivados de aplicar los procedimientos estadísticos descritos en la metodología de esta investigación. Luego de construir los modelos de regresión multivariada utilizando las variables seleccionadas, es necesario proceder a evaluar su desempeño y capacidad de predicción frente a nuevos datos.

Para ello, se empleará la técnica de validación cruzada dividiendo la muestra total de datos en subconjuntos de entrenamiento y prueba. De esta forma, cada modelo podrá someterse a rigurosas pruebas que determinen su grado de ajuste a la realidad, midiendo las desviaciones entre valores calculados y reales. Solo de esta manera podrá valorarse fehacientemente si los modelos cumplen con el objetivo de predecir de forma efectiva el factor de corrección de volumen.

Tabla 1.- Resumen del Modelo

Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado ajustado	Error estándar de la estimación
1	0,998 ^a	0,995	0,995	0,000448152
2	0,998 ^b	0,996	0,996	0,000446967

a. Predictores: (Constante), Temperatura

b. Predictores: (Constante), Temperatura, API

La tabla 1, presenta un resumen de los dos modelos de regresión lineal múltiple generados. En el modelo 1 la única variable independiente es la Temperatura, mientras que en el modelo 2 se agrega una segunda variable independiente que es el API.

Los parámetros que indica la tabla son:

- R: Coeficiente de correlación múltiple, que indica qué tan cercanas están las predicciones del modelo con respecto a los datos reales. Cuanto más cercano a 1 mejor el ajuste. Para ambos modelos es muy alto (0.998).
- R cuadrado: Proporción de varianza de la variable dependiente explicada por el modelo. De nuevo es muy alto para los dos modelos, sobre 0.995.
- R cuadrado ajustado: Corrige el sesgo de R cuadrado al aumentar las variables independientes. Este es ligeramente menor pero también muy alto.
- Error estándar de la estimación: Raíz del error cuadrático medio, indica cuán dispersos están los datos respecto a la línea de regresión. Es muy bajo para ambos modelos, por debajo de 0.0005.

Esta tabla muestra que ambos modelos tienen un excelente ajuste a los datos, explican casi la totalidad de la varianza en la variable dependiente, y los datos se ajustan muy poco dispersos a la línea de predicción. El modelo 2 que incluye la variable API como predictor mejora ligeramente el ajuste respecto al modelo 1.

Tabla 2.- ANOVA

Modelo	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
1 Regresión	0,035	1	0,035	173357,521	0,000 ^b
1 Residuo	0,000	785	0,000		
1 Total	0,035	786			
2 Regresión	0,035	2	0,017	87141,854	0,000 ^c
2 Residuo	0,000	784	0,000		
2 Total	0,035	786			

a. Variable dependiente: Factor Corrección

b. Predictores: (Constante), Temperatura

c. Predictores: (Constante), Temperatura, API

La tabla 2 ANOVA (Análisis de Varianza) compara la variabilidad de los modelos con la variabilidad de los datos, para determinar si los modelos son estadísticamente significativos.

Columnas:

- Suma de cuadrados: Indica la variabilidad total y la variabilidad explicada por el modelo (regresión) vs la variabilidad no explicada (residuo).
- gl: Grados de libertad asociados a cada suma de cuadrados.
- Media cuadrática: Cociente entre la suma de cuadrados y los grados de libertad, similar a una varianza.
- F: Estadístico F que cuantifica qué tan mayor es la variabilidad explicada vs la residual.
- Sig.: Nivel de significancia asociado al estadístico F.

Resultados:

- Ambos modelos tienen una suma de cuadrados de regresión muy alta y una suma de cuadrados de residuos muy baja.
- Los valores de F son extremadamente altos (mayores de 87,000), lo que indica que la variabilidad explicada por los modelos es muchísimo mayor que la variabilidad residual.
- Los niveles de significancia están por debajo de 0.000, lo que confirma que ambos modelos son altamente significativos estadísticamente.

La tabla ANOVA valida que ambos modelos de regresión son adecuados para representar la relación entre la variable dependiente y las variables independientes, de acuerdo al criterio estadístico.



Tabla 3.- Coeficientes

Modelo		Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados	T	Sig.
		B	Error estándar	Beta		
1	(Constante)	1,024	0,000		9447,690	0,000
	Temperatura	,000	0,000	-0,998	-416,362	0,000
2	(Constante)	1,032	0,004		281,660	0,000
	Temperatura	0,000	0,000	-0,998	-415,280	0,000
	API	-0,001	0,000	-0,005	-2,274	0,023

a. Variable dependiente: Factor Corrección

La tabla 3 muestra los coeficientes estimados para cada uno de los predictores en los dos modelos de regresión:

- Coeficientes no estandarizados (B): Son los coeficientes de la ecuación de regresión que relacionan directamente a cada predictor con la variable dependiente.
- Error estándar: Indicador de cuan dispersos están los datos respecto al coeficiente estimado.
- Coeficientes estandarizados (Beta): Permiten comparar el efecto relativo de cada predictor sobre la variable dependiente.
- T: Estadístico t que prueba si cada coeficiente es significativamente distinto de cero.
- Sig.: Nivel de significancia asociado.

Los resultados muestran que:

- Los coeficientes de Temperatura son altos y muy significativos.
- El coeficiente de API también es significativo, aunque mucho menor.
- Los errores estándares son pequeños, lo que refuerza la significancia de los coeficientes.

La tabla valida que tanto la Temperatura como el API (aunque en menor grado) tienen un efecto significativo sobre la variable dependiente del modelo, y los coeficientes estimados son estadísticamente válidos.

Tabla 4.- Estadísticas de muestras emparejadas

	Media	N	Desviación estándar	Media de error estándar
FC_RLM	0,97942810	787	0,006662019	0,000237475
FactorCorrec	0,97947722	787	0,006670629	0,000237782

La tabla 4 presenta estadísticas descriptivas para las variables FC_RLM (variable dependiente predicha por el modelo de regresión) y FactorCorrec (variable dependiente real). Se trata de valores emparejados para cada observación.

- Media: Promedio de ambas variables, que es muy similar (0.9794 aprox.).
- N: Número de observaciones analizadas, que es 787 pares de valores.
- Desviación estándar: Indica la dispersión típica de los valores. Es similar en ambas variables (0.0066 aprox.), lo cual es deseable.
- Media de error estándar: Estimador del error típico de la media. Es pequeño para ambas variables.

Esta tabla muestra que las medidas centrales y dispersiones son muy similares entre la variable dependiente real y aquella predicha por el modelo de regresión. Esto implica que a nivel descriptivo, el modelo está capturando de manera adecuada el comportamiento de los datos reales.

Por lo tanto, esta tabla aporta evidencia preliminar de que existe una buena correspondencia entre los valores predichos y observados.

Tabla 5.- Correlaciones de muestras emparejadas

		N	Correlación	Sig.
Par 1	FC_RLM & FactorCorrec	787	0,998	0,000

Esta tabla presenta el estadístico de correlación para los valores emparejados entre la variable dependiente predicha por el modelo (FC_RLM) y la observada realmente (FactorCorrec).

- N: Número de observaciones analizadas, que es 787 pares nuevamente.
- Correlación: Estadístico que cuantifica el grado de relación lineal entre ambas variables.
- Sig.: Nivel de significancia asociado.

Los resultados muestran:

- La correlación entre FC_RLM y FactorCorrec es de 0.998.
- Este valor extremadamente alto y cercano a 1, lo que implica una excelente relación lineal positiva entre ambas variables.
- El nivel de significancia es 0, indicando que esta correlación no es producto del azar.

La tabla 5 confirma mediante un análisis estadístico que existe una relación funcional muy fuerte entre los valores reales y predichos, lo cual valida preliminarmente la precisión del modelo de regresión planteado. El alto valor de correlación es consistente con las demás tablas presentadas.



Tabla 6.- Prueba de muestras emparejadas

	Diferencias emparejadas						
	Media	Desviación estándar	Media de error estándar	95% de intervalo de confianza de la diferencia		T	gl
				Inferior	Superior		
FC_RLM – FactorCorrec	-0,000049	0,000446443	0,000015914	-0,000080353	0,000017876	-3,086	786
							0,002

Esta tabla presenta los resultados de una prueba t de Student para muestras emparejadas, con el objetivo de evaluar si existe diferencia estadísticamente significativa entre los pares de valores de FC_RLM y FactorCorrec.

- Diferencias emparejadas: Promedio de las diferencias = muy pequeño (-0.000049).
- Desviación estándar: Muy pequeña (0.000464).
- Error estándar de la media: Pequeño (0.000016).
- Intervalo de confianza: Ambos límites son muy pequeños, lo que implica poca dispersión.
- T: Estadístico t = -3.086.
- gl: Grados de libertad = 786.
- Sig. bilateral: Nivel de significación = 0.002.

Los resultados muestran:

- La diferencia promedio entre datos predichos y reales es casi nula.
- Poca dispersión entre parejas de valores.
- El estadístico t es significativo, rechazando la hipótesis nula de igualdad.

Por lo tanto, se concluye que a nivel estadístico no existen diferencias significativas entre los valores predichos por el modelo y los reales observados. Esto valida la precisión del modelo planteado.

Tabla 7.- Resumen de Errores en Regresión Lineal Múltiple.

MAD Desviación Media Absoluta	MSE Error Cuadrático Medio	RMSE Error de raíz cuadrada media	MAPE Error porcentual absoluto medio
8,07984E-05	2,0122E-07	0,000448574	0,00825%

La tabla 7, presenta diversas métricas de error comúnmente utilizadas para evaluar el desempeño de un modelo de regresión. Los valores corresponden al modelo desarrollado.

- MAD (error absoluto medio): Promedio de los valores absolutos de las diferencias entre predicciones y reales. Muy pequeño = 0.00008 aprox.
- MSE (error cuadrático medio): Promedio de los cuadrados de las diferencias. Aún más pequeño = 2E-07.

- RMSE (raíz del error cuadrático medio): Raíz del MSE. Indica el tamaño típico del error. Pequeño = 0.0004 aprox.
- MAPE (error porcentual medio absoluto): Promedio de errores en valor absoluto como % sobre los reales. Mínimo = 0.00825%

Esta tabla muestra que:

- Todos los indicadores de error son muy pequeños.
- El modelo predice los valores con gran precisión.
- El tamaño típico del error es del orden de 0.0004 como máximo.

La tabla 7, valida mediante métricas directas de precisión que el modelo de regresión desarrollado es altamente preciso para representar el comportamiento de los datos reales.

Modelo propuesto

Para realizar la formulación del modelo matemático utilizando la regresión multivariada primero se debe seleccionar la variable dependiente (Y) y las variables independientes (X), a continuación, se muestra la selección de las variables y la ecuación.

La variable dependiente o de salida corresponde al Factor de Corrección (FC), las variables independientes son: Temperatura (T) y Grados API

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2$$

Donde

- $Y = FC$
- $X_1 = T$
- $X_2 = API$

Teniendo en cuenta los resultados de la tabla 3.- Coeficientes, se deduce que el modelo matemático en base a la regresión multivariada para el modelo de pronóstico es

$$Y = 1,032449 - 0,000401X_1 - 0,000510X_2$$

Donde

- $Y = FC$
- $X_1 = Temp$
- $X_2 = API$

$$FC = 1,032449 - 0,000401 * Temp - 0,000510 * API$$

El modelo de regresión multivariada desarrollado en esta investigación constituye una valiosa herramienta analítica para optimizar el despacho de combustible fuel oil en la empresa distribuidora. Al incluir variables predictoras clave como la temperatura y gravedad API, logra explicar con alta



precisión la variabilidad del factor de corrección de volumen.

Queda demostrado que el enfoque de regresión multivariada, al integrar múltiples indicadores relevantes, logra aproximarse de manera efectiva a la complejidad del proceso real de distribución de fuel oil. El modelo propuesto en esta investigación, al ser validado con datos históricos, representa un avance significativo para la optimización del despacho de combustibles en el sector energético.

4. Conclusiones.

El presente estudio logró desarrollar con éxito un modelo de regresión multivariada para optimizar el despacho de combustible fuel oil, utilizando como variables predictoras la temperatura y la gravedad API. Los resultados mostraron que el modelo cuenta con un excelente ajuste a los datos históricos, explicando casi la totalidad de la variabilidad en el factor de corrección de volumen.

Validando el modelo con datos reales de despacho y almacenamiento, se pudo comprobar su alta precisión para predecir de manera efectiva el factor de corrección requerido. Esto permitirá a la empresa distribuidora mejorar significativamente la planificación logística del combustible, minimizando costos e inconsistencias en facturación.

La investigación aporta una herramienta analítica con potencial para ser implementada a nivel operativo. Permitirá estandarizar los procedimientos, capacitar al personal clave y garantizar un correcto cálculo del factor de corrección durante todo el proceso de despacho de fuel oil.

Asimismo, el monitoreo en tiempo real de los indicadores de almacenamiento integró información valiosa para pronosticar de manera óptima la demanda. Esto posibilitará una coordinación más eficaz de la cadena de suministro energético a diferentes puntos de consumo.

Los resultados obtenidos sentarán las bases para futuras investigaciones orientadas a incluir más variables independientes, considerar otros combustibles y ampliar el alcance geográfico del modelo predictivo planteado. Del mismo modo, se recomienda continuar evaluando periódicamente el desempeño del modelo ante posibles cambios en las condiciones del negocio.

Finalmente, este estudio demuestra la importancia y la factibilidad técnica de emplear herramientas avanzadas como la regresión multivariada para la optimización de procesos logísticos complejos en el sector energético. Se trata de una investigación de alto impacto con implicaciones a nivel operativo, científico y para la toma de decisiones estratégicas de las empresas.

Referencias.

- [1] R. A. Alcántar Ruiz, F. E. Treviño Treviño y J. L. Martínez Flores, «Modelo estadístico que permite observar el impacto de los factores que inciden en el rendimiento de combustible», *Nova Scientia*, vol. 7, n° 14, pp. 236-253, 2019.
- [2] J. A. Peña Acción, P. R. Viego Felipe, J. R. Gómez Sarduy y A. E. Padrón Padrón, «PRONÓSTICO EL CONSUMO PICO PARA LA GESTIÓN ENERGÉTICA DE LA UNIVERSIDAD DE CIENFUEGOS», *UNIVERSIDAD Y SOCIEDAD*, vol. 11, n° 4, pp. 220-228, 2019.
- [3] M. A. Falconí Borja y S. Marrero Ramírez, «EVALUACIÓN DEL ÍNDICE DE CONSUMO DE COMBUSTIBLE DE LOS VEHÍCULOS Y SU INCIDENCIA EN LA EFICIENCIA DEL PARQUE AUTOMOTOR DEL GAD MUNICIPAL DE SANTO DOMINGO EN EL AÑO 2015. DISEÑO DE UN SISTEMA AUTOMATIZADO PARA EL MONITOREO Y CONTROL DE LA EFICIENCIA EN EL», Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión, Latacunga, 2018.
- [4] J. A. Bethancourt Vásquez, «Tecnología para despacho de combustible en CBC», Universidad Galileo, 2023.
- [5] J. F. Sánchez Enríquez, «Mejoramiento de procesos en el área comercial B2B de una empresa comercializadora de combustibles y lubricantes», Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Quito, 2021.
- [6] C. M. Huaylla Mendoza, «Las diferencias en el stock de combustible y su incidencia en la utilidad del grifo Inversiones RD SAC, Trujillo 2019», Universidad Privada del Norte, 2022.
- [7] D. E. Casas Tello, J. L. Janeiro Macedo, C. J. Ingunza Hamann y É. A. Solsol Hidalgo, «Consultoría de negocios: "Optimización de procesos para el despacho de combustible a camiones cisterna en planta de ventas Iquitos"», PUCP, Lima, 2023.
- [8] M. E. Valencia Valencia, «Diseño y control automático de tanque de almacenamiento de crudo de petróleo para una refinería», Universidad Nacional de Piura, Piura, 2019.
- [9] J. C. Deantonio Lamprea, «Diseño e implementación de sistema de control de Nivel para tanques acoplados de almacenamiento de Hipoclorito», Universidad Libre, 2018.
- [10] L. H. MONTTOYA LARA y G. I. CACHUMBA SIMBAÑA, «IMPLEMENTACIÓN DE UN PROTOTIPO PARA EL CONTROL AUTOMÁTICO DE NIVEL DE AGUA PARA TANQUES DE ALMACENAMIENTO CON INTERFAZ HMI», Universidad Israel, Quito, 2019.
- [11] J. A. Bustos Sánchez, «Aseguramiento y control de calidad en el montaje del tanque para almacenamiento de agua de 628.32 m³ de capacidad - Compañía Minera Antamina S.A.», Universidad Nacional del Callao, 2018.
- [12] J. A. Arango Marin, J. A. Giraldo Garcia y O. D. Castrillón Gómez, «Gestión de compras e inventarios a partir de pronósticos Holt-Winters y diferenciación de nivel de servicio por clasificación ABC», *Scientia Et Technica*, vol. 18, n° 4, pp. 743-747, 2013.
- [13] E. Sánchez-López, A. Barreras-Serrano, C. Pérez-Linares, F. Figueroa-Saavedra y J. A. Olivas-Valdez, «APLICACIÓN DE UN MODELO ARIMA PARA PRONOSTICAR LA PRODUCCIÓN DE LECHE DE BOVINO EN BAJA CALIFORNIA, MÉXICO», *tropical and Subtropical Agroecosystems*, vol. 16, n° 3, pp. 315-324, 2013.
- [14] P. D. Medina Varela, J. H. Restrepo Correa y E. A. Cruz Trejos, «PLAN DE PRODUCCION PARA LA COMPAÑÍA DE HELADOS "NATA"», *Scientia Et Technica*, vol. 15, n° 43, pp. 311-315, 2009.
- [15] E. N. Escobar-Gómez, J. J. Díaz-Núñez y L. F. Taracena-Sanz, «Modelo para el ajuste de pronósticos agregados utilizando lógica difusa», *Ingeniería. Investigación y Tecnología*, vol. 11, n° 3, pp. 289-302, 2010.



- [16] R. Montero Granados, «Modelos de regresión lineal múltiple,» *Universidad de Granada. España*, 2016.
- [17] J. M. Rojo Abuín, «Regresión lineal múltiple,» *Instituto de Economía y Geografía*, pp. 2-33, 2007.
- [18] T. Palominos-Rizzo, M. Villatoro-Sánchez, A. Alvarado-Hernández, V. Cortés-Granados y D. Paguada-Pérez, «Estimación de la humedad del suelo mediante regresiones lineales múltiples en Llano Brenes, Costa Rica,» *Agronomía Mesoamericana*, vol. 33, n° 2, 2022.
- [19] J. W. Huanca-Arohuana y P. Geldrech Sánchez, «Planificación educativa y gestión pedagógica-estratégica-operacional en las instituciones del nivel inicial en el sur del Perú,» *Conrado*, vol. 16, n° 76, 2020.
- [20] M. Fernandez, D. Florez, M. Yactayo, D. Lovera, J. Quispe, C. Landauero y W. Pardave, «Remoción de metales pesados desde efluentes mineros, mediante cáscaras de frutas.,» *AiBi Revista De Investigación, Administración E Ingeniería*, vol. 8, n° 1, pp. 21-28, 2020.
- [21] A. G. Vera-Dávila, J. C. Delgado-Ariza y S. B. Sepúlveda-Mora, «Validación del modelo matemático de un panel solar empleando la herramienta Simulink de Matlab,» *Revista de Investigación, Desarrollo e Innovación*, vol. 8, n° 2, 2018.
- [22] D. F. Alzate Velásquez, G. A. Araujo Carrillo, E. O. Rojas Barbosa, D. A. Gómez Latorre y F. E. Martínez Maldonado, «INTERPOLACION REGNIE PARA LLUVIA Y TEMPERATURA EN LAS REGIONES ANDINA, CARIBE Y PACÍFICA DE COLOMBIA,» *Colombia Forestal*, vol. 21, n° 1, 2018.
- [23] Y. C. Sánchez Henao y C. A. Castro Zuluaga, «Propuesta para selección de parámetros de modelos de pronósticos mediante poderación de indicadores claves de desempeño : caso suavización exponencial,» *Universidad EAFIT*, 2022.
- [24] D. Borrero-Tigres y O. F. Bedoya-Leiva, «Predicción de riesgo crediticio en Colombia usando técnicas de inteligencia artificial,» *Revista UIS Ingenierías*, vol. 19, n° 4, 2020.
- [25] S. D. Villanueva Sampin y N. Cárdenas Escobar, «Aplicación de un modelo estadístico para el pronóstico de la demanda de productos de una empresa comercializadora de ítems de ferretería de la ciudad de guayaquil.,» *ESPOL. FCNM, Guayaquil*, 2021.
- [26] S. Mariño, «SIMULACIÓN EN LA IDENTIFICACIÓN DE MIRTACEAS BASADO EN REDES NEURONALES ARTIFICIALES SUPERVISADAS,» *Revista De La Escuela De Perfeccionamiento En Investigación Operativa*, vol. 27, n° 45, 2019.
- [27] Y. A. Fernández Romero, «ANÁLISIS DE CONSUMO DE COMBUSTIBLE DE VEHICULOS DE CARGA AL APLICAR TECNICAS DE CONDUCCION EFICIENTE.,» *Universidad Antonio Nariño, Antonio Nariño*, 2020.



Estudio comparativo de extracción y caracterización del aceite de aguacate, mediante procesos de: termobatido, enzimático, prensado hidráulico y expeller.

Comparative study of extraction and characterization of avocado oil, through processes of: thermobeating, enzymatic, hydraulic pressing and expeller.

Miroslav Gonzalo Alulema Cuesta ¹*; Joselin Patricia Estrada Gaybor ²; Kenia Doménicka Morocho Salazar ³

Recibido: 12/03/2024 – Aceptado: 10/06/2024 – Publicado: 01/07/2024

*Autor para la correspondencia.

Resumen.

El aguacate (*Persea americana* Mill.), es una materia prima rica en aceite, por lo cual su extracción y producción puede considerarse como una opción industrial, ya que se le atribuye varias propiedades beneficiosas para la salud. El objetivo de este trabajo fue realizar un estudio comparativo para la obtención de aceite de aguacate, variedad Hass, por cuatro métodos distintos (termobatido, enzimático, prensado hidráulico y por expeller), especificando diferencias significativas y determinando el mejor método en términos de rendimiento y calidad. La variable de rendimiento se calculó en base seca, siendo el método de Termobatido el que presenta el más alto porcentaje con 89,78%. A las muestras de aceite obtenido se les realizó pruebas fisicoquímicas como humedad, densidad, índice de acidez, índice de peróxido, índice de saponificación e índice de yodo, obteniéndose los mejores resultados en el método de termobatido, con excepción del índice de peróxido y cuyos valores fueron: 0.054%, 0.9039 g/mL, 3.13 g/100g, 78.87 meqO₂/kg, 190.06 mgKOH/mg, 84.56 g/g respectivamente. Por otra parte, respecto a la composición de ácidos grasos se realizó Cromatografía Líquida de Alta Presión (HPLC), donde el método de Prensado hidráulico generó los mejores valores, los cuales fueron: 23.57 g/100g, 64.29 g/100g, 12.14 g/100g, 0.48 g/100g, 11.65 g/100g, 61.07 g/100g, 21.00 g/100g y 1.26 g/100g para Ácidos Grasos Saturados, Monoinsaturados, Poliinsaturados, Omega 3, 6, 9, Ácido Palmítico y Ácido Estéarico, respectivamente. Finalmente se contrastó estos valores con datos experimentales de otras investigaciones junto a los de un aceite comercial, encontrándose valores cercanos a los reportados.

Palabras clave: Aguacate, termobatido, enzimático, prensado hidráulico, prensado por expulsor, cromatografía líquida de alta presión (HPLC), ácidos grasos.

Abstract.

Avocado (*Persea Americana* Mill.) is a raw material rich in oil, which is why its extraction and production can be considered an industrial option, since it is attributed several beneficial properties for health. The objective of this work was to carry out a comparative study to obtain avocado oil, Hass variety, by four different methods (thermobeating, enzymatic, hydraulic pressing and expeller), specifying significant differences and determining the best method in terms of performance and quality. The performance variable was calculated on a dry basis, with the Thermobeating method having the highest percentage with 89.78%. Physicochemical tests such as humidity, density, acidity index, peroxide index, saponification index and iodine index were carried out on the oil samples obtained, obtaining the best results in the thermobeating method, with the exception of the peroxide index and whose values were: 0.054%, 0.9039 g/mL, 3.13 g/100g, 78.87 meqO₂/kg, 190.06 mgKOH/mg, 84.56 g/g respectively. On the other hand, regarding the composition of fatty acids, High Pressure Liquid Chromatography (HPLC) was carried out, where the hydraulic pressing method generated the best values, which were: 23.57 g/100g, 64.29 g/100g, 12.14 g/100g, 100g, 0.48 g/100g, 11.65 g/100g, 61.07 g/100g, 21.00 g/100g and 1.26 g/100g for Saturated, Monounsaturated, Polyunsaturated Fatty Acids, Omega 3, 6, 9, Palmitic Acid and Stearic Acid, respectively. Finally, these values were contrasted with experimental data from other investigations together with those of a commercial oil, finding values close to those reported.

Keywords: Avocado, thermobeating, enzymatic, hydraulic pressing, expeller pressing, high pressure liquid chromatography (HPLC), fatty acids.

1. Introducción

En el Ecuador se producen cerca de 20 variedades de Aguacate; las más conocidas son: guatemalteco, criollo, hass y fuerte. En los últimos años se ha convertido en una actividad agroexportadora. El aguacate es un cultivo que en el Ecuador va tomando mayor importancia año tras año. Su alto rendimiento en condiciones climáticas adecuadas y la gran demanda en el mercado internacional han colocado a este producto en un sitio privilegiado en el país [1].

Entre sus cualidades, al aguacate se le han atribuido las características de embellecer la piel y también propiedades afrodisíacas. El árbol de aguacate, dependiendo de la variedad, puede crecer en territorios ubicados tanto a nivel del mar como a 2 500 m de altitud, en los valles cálidos interandinos del país. [2]. Por consiguiente esta investigación aportará información relevante tanto para estudiantes de Ingeniería Química como de otras carreras afines, y eventualmente a personas que quieran emprender en un rentable negocio, pues contarán con las bases teóricas

¹ Universidad de Guayaquil; miroslav.gonzaloa@ug.edu.ec; <https://orcid.org/009-001-6527-7567>, Guayaquil; Ecuador

² Investigador Independiente; josefinestrada1997@gmail.com; <https://orcid.org/0009-008-7187-1344>, Guayaquil; Ecuador.

³ Investigador Independiente; domenicka@hotmail.com; <https://orcid.org/0009-004-0499-0424>, Guayaquil; Ecuador.



de los diferentes métodos y procesos de obtención de aceite de aguacate experimentados en este trabajo, que se irán detallando a lo largo del contenido del mismo, considerando así su extracción y caracterización, para lo cual se realizó perfiles de ácidos grasos de las diversas maneras de extracción, y se comparó con marcas comerciales, para poder lograr de esta manera el estudio comparativo propuesto con anterioridad.

Para alcanzar el objetivo general de: Realizar un estudio comparativo para la obtención de aceite de aguacate por cuatro distintos métodos (termobatido, enzimático, prensado hidráulico y expeller), especificando diferencias significativas y determinando el método más beneficioso en términos de rendimiento y calidad, se plantearon los siguientes objetivos específicos:

- Extraer el aceite por varias metodologías de obtención (termobatido, enzimático, prensado hidráulico y expeller) de aceite de aguacate a nivel de laboratorio, y determinar el de mejor rendimiento en cuanto a productividad.
- Caracterizar fisicoquímicamente el aceite extraído, mediante pruebas de: Humedad, Densidad, Índice de Acidez, Índice de Saponificación, Índice de Peróxido, Índice de Yodo.
- Realizar un perfil de Ácidos Grasos de los aceites obtenidos a partir del aguacate (Variedad Hass) mediante Cromatografía Líquida de Alta Presión (HPCL) y determinar el mejor método de obtención en relación a la calidad del aceite extraído.
- Contrastar los resultados obtenidos mediante análisis fisicoquímico y HPCL del método más apto encontrado en la investigación con las mejores características de calidad de un producto experimental y otro presente en el mercado.

Este estudio puede ser motivo para promover el valor agregado que se le daría a la salida de exportación de aguacate y desarrollar un producto natural no tradicional de exportación como el aceite, siendo este un producto de calidad con perspectivas futuras mediante empleo de nuevas y mejores tecnologías, y no comercializarlo tan solo como fruto.

1.1 Proceso de Termobatido

Según lo que indican Cueva Cabrera [3] este es el proceso encargado de separar líquidos, aceites y sólidos, por lo que en el futuro no tendrán mucha resistencia a la extracción de los elementos. El tratamiento térmico consiste en utilizar la pulpa obtenida previamente y verterla en un tambor rotatorio, en el tambor rotatorio se encuentra una serie de palas que se encargan de emulsionar el producto a bajas velocidades y temperaturas no superiores a 45°C para evitar dañar el producto. En algunos procesos de extracción de aceite, cuando la temperatura sube por encima de la temperatura especificada, se pueden perder muchas

vitaminas, características de aroma y sabor; en algunos casos, cuando esta característica excede su tolerancia, a menudo se producen grasas trans. Por lo tanto, este aceite saturado, no resulta en un producto 100% saludable.

1.2 Proceso Enzimático

La técnica de extracción de aceite mediante aplicación de enzimas ha surgido como un método promisorio para la extracción de aceite. En este proceso se utilizan enzimas adecuadas para extraer el aceite de las semillas trituradas. Entre sus principales ventajas, se destaca el hecho de ser amigables con el medio ambiente, dado que no se generan compuestos volátiles orgánicos como ocurre en el proceso de extracción con solventes que es por lo general. Sin embargo, el tiempo de proceso para la extracción de aceite es bastante mayor en comparación con la extracción mecánica anteriormente descrita, lo cual constituye en la principal desventaja asociada con esta alternativa [4, p. 235].

El uso de enzimas comparte su propio beneficio con el medio ambiente. Diferentes estudios sugieren que las enzimas pueden usarse para mejorar la producción de aceite en los procesos de extracción de aceites y grasas vegetales, donde se utilicen solvente no convencionales y pueden, también, ser inmovilizadas para su recuperación y reutilización, lo que puede ayudar a reducir el costo de procesamiento. [4, p. 235].

Pectinasas. Las pectinasas hidrolizan los diferentes tipos de pectinas, liberando ácidos urónicos. La biodegradación de las pectinas se realiza gracias a las pectinasas y específicamente endopoligalacturonasas, que solo actúan sobre unidades ácidas (no esterificadas). Las unidades esterificadas son degradadas por las metil pectina esterasas, que permiten adaptar el sustrato para reaccionar con la enzima anterior. En el caso de las pectinas altamente metiladas, solo las pectiniliasas de origen bacteriano, poseen la capacidad de hidrolizarlas. [5].

1.3 Proceso de hidráulico

Existen varios tipos de moldeo por compresión que utilizan diferentes técnicas para formar un método semi-seco, aunque la mayoría de los métodos son en realidad iguales o similares, las características finales del producto justifican el uso de una u otra técnica. El proceso de prensado hidráulico se base en el empleo de un amortiguador cuya presión es aplicada por un émbolo empujado por la presión del fluido dentro del circuito hidráulico. [6]. La presión aplicada en cualquier parte del fluido cerrado e incompresible se transmitirá uniformemente en todas las direcciones de todo el fluido, es decir, la presión de todo el fluido es constante. Según la inferencia del físico Pascal cuanto mayores el tamaño del elemento que aplica presión, mayor es la presión aplicada, mayor es la fuerza que se puede obtener.

1.4 Proceso de presando por expeller

El prensado continuo es realizado de forma común en las prensas expeller o tornillo. Estas prensas soportan altas presiones; generalmente se practica el prensado en dos o tres prensadas, incrementando en cada una de ellas la presión. [7, p. 446].

Existen varios tipos o modelos de prensa, por lo que las principales diferencias de estas son la geometría del tornillo, el tipo de orificio o boquilla, la salida del aceite y la torta de filtración residual. [8, p. 14].

2. Materiales y métodos.

2.1 Procedimiento experimental para la extracción de aceite de aguacate por el Método de Termobatido.

Se receptó la materia prima, la misma que fue seleccionada considerando el estado de madurez de los aguacates, lo cual se lo realizó de manera muy meticulosa, descartando los frutos que no cumplen con la dureza, firmeza, textura y apariencia pretendida.

A continuación, se lavó los aguacates con agua destilada para eliminar cualquier tipo de impurezas que puedan cambiar las características fisicoquímicas, luego se desinfectó con una solución de lejía a 150 ppm. Se pesó la fruta previamente seleccionada en una balanza gravimétrica, y así se procedió a pelar los aguacates de tal forma que se consiga la mayor parte de pulpa y posteriormente a sacar la semilla, cortar en pedazos, y con ayuda de un tenedor se trituró la pulpa de tal forma que se pudo poner la masa de la manera más fácil en las bandejas de estufa para un secado óptimo a una temperatura de 53°C por 24 horas. Una vez obtenida la pulpa seca, se fragmentó en trozos más pequeños y con una humedad aproximadamente mayor al 5%, y se alimentó a la tolva de la prensa Piteba. Se encendió el mechero de alcohol y se colocó en el equipo, esperando 10 minutos, de manera que la prensa se fue calentando, lo que facilitó que después salga más cantidad de aceite de la materia prima empleada.

Cuando el aceite se calentó demasiado se disminuyó la intensidad de la llama hasta que la misma sea adecuada. La presión ejercida se aplicó de acuerdo al tapón regulador, ya que en cuanto más se atornillo este tapón, más alta fue la presión. Cabe indicar que el expeller tiene dos salidas, por una saldrá el aceite y por la otra la pulpa totalmente seca en forma de tiras. El producto obtenido se procede a filtrarlo, medir su volumen, envasarlo en botellas ámbar y almacenarlo a la temperatura ambiente.

En la Tabla 1 se describen los principales materiales, equipos y reactivos que se utilizaron para la extracción del aceite de aguacate a partir de la materia prima de variedad Hass, mediante el Método de Termobatido.

Tabla 1. Materiales, instrumentos y equipos utilizados para la extracción de aceite de aguacate por el método de Termobatido.

Materiales	Marca/Modelo	Capacidad
Vasos de precipitación	EISCO	250 ml
Frascos de Vidrio	S/M	150 ml
Mechero de Alcohol	S/M	50 ml
Papel filtro	Whatman	150 mm Ø
Botellas de color ámbar	S/M	500 ml
Recipiente metálico	S/M	4 Lt
Instrumentos	Marca	Capacidad
Balanza gramera	OHAUS	5 Kg
Estufa	Dalvo/TDE/70	<= 200°C
Prensa Expeller	Piteba	
Reactivos	Pureza	
Lejía	75%	
Agua destilada o desionizada	100 %	
Alcohol etílico	69.99 ° GL	

En la Figura 1 se muestra el equipo empleado para la obtención de aceite de aguacate por el método de Termobatido.



Fig 1. Prensa Piteba, prensado en caliente con mechero de alcohol etílico

2.2 Procedimiento experimental para la extracción de aceite de aguacate por el Método Enzimático.

Una vez realizada la desinfección del fruto como se indica en el proceso 2.1 se procedió a pelar y deshuesar los aguacates para posteriormente se pesó 420 g de pulpa de aguacate. Se Trituró la pulpa obtenida en un recipiente metálico y se ajustó el pH a 5, con soluciones de ácido fosfórico al 42,5% y ácido ascórbico al 7,7%. Luego se trasladó la mezcla a un baño maría en una hornilla, luego de lo cual se agregó 5 ml del preparado enzimático cuando la temperatura alcanzó a los 40 °C. Posteriormente se agitó continuamente durante aproximadamente por 2 horas para facilitar el trabajo de la dosis enzimática utilizada anteriormente. La mezcla tratada se colocó en una prensa hidráulica, donde fue colocada dentro de tela poliséda y ésta dentro de un tamiz, el cual permitirá la salida del aceite y el agua, donde se prensará manualmente aplicando 100 Kg/cm² y la fase líquida resultante se centrifugó a 1400 rpm, por 15 minutos, donde se separará el aceite crudo y el



agua. Se repitió el proceso hasta obtener una cantidad considerable de muestra la misma que fue analizada al final del proceso. El aceite crudo obtenido fue neutralizado, blanqueado y secado, para lo cual se utilizó 200 g.

En la Neutralización, para eliminar los ácidos grasos libres del aceite que le otorgan inestabilidad o tendencia a la formación de espuma cuando se utiliza a elevadas temperaturas. Al aceite obtenido se le aplicó a 80 °C el NaOH a una concentración 5N, para provocar la formación de sales de sodio. Posteriormente se agregó 20 g del óxido de magnesio y se esperó que reaccione por 5 minutos a la temperatura señalada con agitación moderada y constante.

Mientras que, en Blanqueamiento, para eliminar los compuestos indeseables que conceden al aceite mal aspecto por hebras vegetales e inestabilidad oxidativa por la clorofila se filtró con tierra de diatomeas en proporción de 1%, luego se calentó a 120°C a una presión de 130 mm Hg por 20 minutos en estufa al vacío. Posteriormente se desecharon las tierras mediante filtración al vacío con papel filtro Whatman N° 4.

Finalmente, para el Secado, se empleó una estufa al vacío a una presión de 130 mm Hg a 120°C por 30 minutos, luego de lo cual se extrajo la muestra del aceite en una botella color ámbar, se procedió a etiquetarla y almacenarla a temperatura ambiente.

Para la obtención de Aceite de aguacate por el método Enzimático, se utilizaron los materiales, instrumentos y equipos que se describen en la Tabla 2

Tabla 2 Materiales, instrumentos y equipos utilizados para la extracción de aceite de aguacate por el método Enzimático.

Materiales	Marca/modelo	Capacidad
Probeta	EISCO	50 ml
Tela poli seda	S/M	1 m ²
Botellas de color ámbar	S/M	500 ml
Recipiente metálico	S/M	4 Lt
Tubos de ensayo plástico con rosca	BOECO	10 ml
Papel filtro Whatman N° 4.	Germany	
Instrumentos	Marca	Capacidad
Balanza Gramera	OHAUS	5 kg
Cocina eléctrica de 1 hornilla	IMACO	100°C
Prensa Hidráulica	Century	20 ton
pH metro	OAKION ecoTestr	0 – 14
Centrífuga (Lavadora)	Samsung	1400 rpm
Reactivos	Pureza	
Lejía	75%	
Agua destilada o desionizada	100 %	
Enzima Pectinasa (GranozymePTE 100)	Concentrada	
Ácido Fosfórico	69,99 ° GL	
Ácido Ascórbico	7,7%	
Ácido Fosfórico	42,5%	
Hidróxido de Sodio	5 N	

Una vez seleccionado, desinfectado, pesado los aguacates se procedió a cortar en pedazos y con ayuda de un tenedor triturar la pulpa de tal forma que se pueda poner la masa de la manera más fácil en las bandejas de la estufa sobre las fundas de polietileno para un mejor secado a una temperatura de 53°C por 24 horas. Una vez obtenida la pulpa seca, se hace trozos más pequeños y con una humedad aproximadamente mayor al 5%, se alimentará un tamiz de acero conectado a la Prensa hidráulica. En las platinas del equipo se colocó un recipiente plano y sobre papel aluminio donde se recogió todo el aceite, el mismo que se acopló a una manguera que se conectó a una probeta para recolectar la muestra.

Posteriormente se colocó en un pedazo de poli seda dentro del tamiz y se aplicó una fuerza por medio de la prensa cada 10 minutos aproximadamente con un valor de 6000 lbs, poco a poco hasta que se extrajo todo el aceite que se pudo y se dejó que quede la torta seca.

A través del papel filtro, se pasó el aceite hacia un vaso de precipitación, para luego decantarlo el aceite obtenido en un tiempo 12 horas aproximadamente de proceso y tener la certeza de la separación recomendable de aceite del agua y otras macropartículas. El aceite obtenido, se depositó en botellas color ámbar de 500 ml para que la luz no pueda deteriorar el aceite y se rotuló las mismas para su identificación.

Finalmente, se almacenaron los frascos a una temperatura ambiente. En la Tabla 3 se muestran los materiales, instrumentos y reactivos empleados en el proceso de prensado hidráulico.

Tabla 3 Materiales, instrumentos y equipos utilizados para la extracción de aceite de aguacate por el método de prensado hidráulico

Materiales	Marca/modelo	Capacidad
Vasos de precipitación	EISCO	250 mL
Probeta	EISCO	100 mL
Tela poli seda	S/M	1 m ²
Botellas de color ámbar	S/M	500 mL
Papel Aluminio	S/M	40 x 40 cm
Disco de acero	S/M	8 -10 mm Ø
Bolsas plásticas de polietileno	S/M	40 x 25 cm
Instrumentos	Marca	Capacidad
Balanza Gramera	OHAUS	5 Kg
Prensa Hidráulica	Century	20 Ton
Estufa	Dalvo/TDE/70	<= 200°C
Reactivos	Pureza	
Lejía	75%	
Agua destilada o desionizada	100%	

2.3 Procedimiento experimental para la extracción de aceite de aguacate por el Método de Prensado Hidráulico.

En la Figura 2 se muestra el equipo empleado para el proceso de prensado hidráulico.



Fig 2 Prensa Hidráulica con capacidad de 20 Tm empleada para el proceso de prensado

2.4 Procedimiento experimental para la extracción de aceite de aguacate por el Método de Prensado por Expeller

El presente método se cumplió con el proceso de selección y desinfección de la materia prima como en los demás procedimientos indicados anteriormente, luego se procedió a cortar en pedazos la pulpa y con ayuda de un tenedor a triturar la pulpa de tal forma que se pueda poner la masa de la manera más fácil en las bandejas de estufa para un secado óptimo a una temperatura de 53°C por 24 horas. Una vez obtenida la pulpa seca, se fragmentó en trozos más pequeños y con una humedad aproximadamente mayor al 5%, alimentar la tolva de la prensa Piteba.

La presión ejercida se aplicará de acuerdo al tapón regulador, ya que en tanto más se ajuste este tapón, más alta será la presión. Cabe indicar que el expeller tiene dos salidas, por una saldrá el aceite y por la otra la pulpa totalmente seca en forma de tiras.

Una vez el aceite obtenido, se repite el proceso de a filtrar, medir, envasar en las botellas ámbar, etiquetar y almacenar, al igual que el método de Termobatido. Se debe recalcar que la diferencia en relación al proceso de Termobatido es que no se procedió a calentar la prensa para la obtención del aceite.

En la Tabla 4 se muestran los materiales, instrumentos y reactivos empleados para el proceso de prensado por expeller.

Tabla 4. Materiales, instrumentos y equipos empleados para la extracción de aceite de aguacate por el método de prensado por expeller.

Materiales	Marca/modelo	Capacidad
Vasos de precipitación	EISCO	250 ml
Frascos de Vidrio	S/M	150 ml
Papel filtro	Whatman	150 mm Ø
Botellas de color ámbar	S/M	500 ml
Recipiente metálico	S/M	4 Lt
Instrumento	Marca	Capacidad
Balanza Gramera	OHAUS	5 Kg
Estufa	Dalvo/TDE/70	<= 200°C
Prensa Expeller	Piteba	
Reactivos	Pureza	
Lejía	75%	
Agua destilada o des ionizada	100 %	

2.5 Determinación del rendimiento.

Para la determinación del rendimiento, se realizaron las medidas correspondientes conseguidas por cada método de extracción en relación al peso de aceite obtenido en base seca y con el peso de la materia seca de la pulpa empleada se procedió a calcular el rendimiento.

Para conseguir los valores de porcentaje del rendimiento en base seca por cada método considerando el porcentaje de Humedad de Pulpa de Aguacate de variedad Hass, (Gutara Sanabria & Vargas Rodríguez, 2018) se aplicó la siguiente ecuación (1).

$$\%rendimiento (bs) = \frac{\text{Peso de aceite (bs)}}{\text{Peso de pulpa (bs)}} * 100 \quad (1)$$

2.6 Determinación de las características fisicoquímicas.

Para la evaluación de las variables físico-químicas, se analizaron las cuatro muestras obtenidas por cada método de extracción, a las cuales se les evaluó seis parámetros: índice de acidez, índice de peróxido, índice de saponificación, índice de yodo, densidad y humedad, las mismas que serán comparadas mediante una referencia bibliográfica, un aceite comercial de similares características y la norma NTE INEN 29 referente al aceite de Oliva, ya que no se dispone de una norma INEN para aceites de aguacate

a) Índice de Acidez

Para realización esta técnica se tomó como referencia la Norma AOAC 21TH 2019,940.28, la misma que fue desarrollada en Laboratorios AVVE. S.A. cuyas unidades se expresaron en g/100g.

b) Índice de Peróxido

Este ensayo se fundamentó en la Norma AOAC 21TH 2019,965.33, que fue realizada en Laboratorios AVVE. S.A., donde sus unidades de medición serán en mEqO₂/kg

c) Índice de Saponificación.

La metodología aplicada para efectuar este parámetro se fundamentó en la Norma MMQ-87 AOAC 21TH 2019,920.160, desarrollada por Laboratorios AVVE. S.A., donde sus unidades están dadas en mg KOH/g.

d) Índice de Yodo



La técnica que se aplicará para este método de ensayo se la realizó de acuerdo a la Norma MMQ-87 AOAC 21TH 2019,920.159, desarrollada en los Laboratorios AVVE. S.A., y sus unidades se expresarán en cg/g.

e) Densidad

Para la determinación de la densidad se procedió a pesar una probeta vacía y seca, luego se taro el peso en la balanza, inmediatamente se llenó la probeta con 100 mL y se procedió a leer el peso obtenido. Para la obtención de la densidad se aplicó la siguiente fórmula:

$$\rho = m/V \quad (2)$$

Donde ρ : es la densidad en g/mL, m: masa en g, V: volumen en mL

Se repitió el procedimiento para cada una de las muestras de aceite obtenido por cada método diferente.

f) Humedad

Este ensayo se lo realizó conforme a la NTE INEN 39, la misma que indica la Determinación de Pérdida por Calentamiento (Humedad) y otras materias volátiles, en las grasas y aceites animales o vegetales.

Para la determinación de la humedad se procedió a verificar si la muestra era líquida, de aspecto claro y sin sedimento, luego de lo cual se la invirtió varias veces en el recipiente que la contiene, luego se colocó en un platillo de porcelana previamente tarado 5 g, posteriormente se introdujo en una estufa calentada a $103 \text{ C} \pm 2^\circ\text{C}$, finalmente se enfria el platillo se lo coloca en un desecador y se procede a pesar. Se procedió a repetir las operaciones antes indicadas para las muestras obtenidas por cada método de extracción. Para el cálculo de humedad se empleó la siguiente fórmula:

$$\% H = \frac{W_o - W_f}{W_o} \quad (3)$$

Donde W_o representa el peso inicial y W_f el peso final. En la Tabla 5 se listan los materiales, instrumentos y reactivos empleados para la determinación de la densidad y humedad.

Tabla 5 Materiales, instrumentos reactivos empleados para la determinación de densidad y humedad de aceite de aguacate.

Materiales	Marca/Modelo	Capacidad
Probeta	Glassco	100 mL
Cápsulas de porcelana	Canfort	
Instrumentos	Marca/Modelo	Capacidad
Balanza gramera	Ohaus	2 Kg
Desecador de silica gel	S/M	
Estufa	Dalvo/TDE/70	$\leq 200^\circ\text{C}$
Reactivos	Pureza	
Aceite de aguacate	100%	

2.7 Determinación del Perfil de Ácidos Grasos.

La determinación de los ácidos grasos de los aceites obtenidos mediante los cuatro métodos de extracción se los efectuó mediante Cromatografía Líquida de Alta Presión (HPLC), bajo la Norma MMQ-HPCL-09, la cual fue efectuada en Laboratorios AVVE. S.A, los mismos que fueron comparados con un resultado bibliográfico y con un análisis de un aceite comercial.

3. Resultados

3.1 Rendimiento

Los valores del rendimiento obtenidos por cada método de extracción se muestran en la Tabla 6

Tabla 6. Valores de rendimiento obtenidos para cada método de extracción

Porcentaje de rendimiento por método de extracción			
Termobatido	Enzimático	Prensado hidráulico	Prensado por Expeller
89.78	6.79	7.57	38.98

En la Figura 3 se muestran los porcentajes de rendimiento por método de extracción

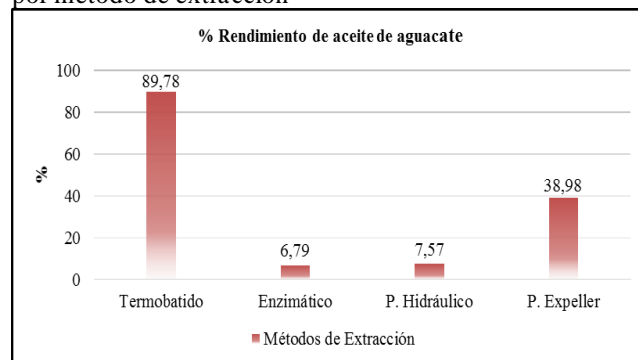


Fig 3. Diagrama de barras para comparar porcentajes de rendimiento entre métodos de extracción.

3.2 Resultados de las características fisicoquímicas

En la Tabla 7 se muestran los resultados de la determinación de las características fisicoquímica del aceite aguate obtenido mediante los 4 procesos.

Tabla 7 Características Fisicoquímicas del aceite de aguacate por cada método de extracción.

Análisis Fisicoquímico	Métodos de Extracción				Unidades
	A	B	C	D	
Índice de Acidez	3.13	1.29	0.90	5.05	g/100g
Índice de Peróxido	78.87	11.36	4.32	49.57	mEqO2/kg
Índice de Saponificación	190.06	189.28	193.87	193.49	mKOH/mg
Índice de Yodo	84.56	78.25	74.29	84.49	cg/g
Densidad	0.9039	0.8955	0.8951	0.9007	g/ml
Humedad	0.054	0.048	0.044	0.052	%

A: Método de Termobatido, B: Método Enzimático, C: Método de Prensado Hidráulico, D: Método de Prensado por Expeller



En la Figura 4 se muestra, una comparación mediante diagrama de barras de las características Físicas del aceite obtenido mediante los diferentes métodos de extracción

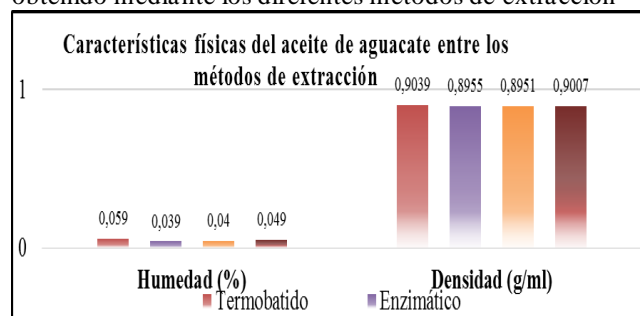


Fig 4 Diagrama de comparación de Características Físicas del aceite entre métodos de extracción.

En la Figura 5 se muestran las características químicas obtenidas del aceite correspondiente a cada método de extracción.

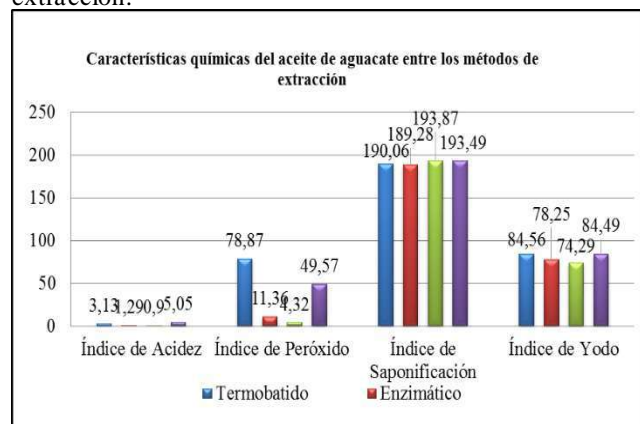


Fig 5 Diagrama de comparación de Características Químicas del aceite obtenido mediante métodos de extracción.

En la Tabla 8 se muestran los parámetros fisicoquímicos de referencias bibliográficas para su respectiva comparación.

Tabla 8 Características Fisicoquímicas de aceite aguacate obtenido por extracción termo-mecánica, evaporación rápida y prensado

Características Fisicoquímicas	Método de Extracción		Unidades
	Extracción Termo mecánica ^a	Evap. Rápida y prensado ^b	
Índice de Acidez	0,38	0,10	g/100g
Índice de Peróxido	5,56	2,20	mEqO ₂ /kg
Índice de Saponificación	195,55	130,00	mKOH/mg
Índice de Yodo	80,94	69,91	cg/g

^a [9]. ^b [10]

3.3 Resultados del Perfil de ácidos grasos de los aceites obtenidos.

En las Tabla 9, se muestran los resultados del perfil de ácidos grasos de los aceites obtenidos mediante los procesos de Termobatido, enzimático y proceso hidráulico, mientras que en la Tabla 10 se muestran los resultados del perfil de

ácidos grasos del aceite obtenido mediante el proceso de prensado por expeller, el perfil lipídico de una referencia bibliográfica y el de un aceite comercial marca MIRA.

Tabla 9 Resultados del Perfil de Ácidos grasos del aceite de aguacate obtenido mediante los procesos de Termobatido, Enzimático y proceso hidráulico.

Perfil Lipídico de ácidos grasos	Métodos de extracción			Unidades
	Termobatido	Enzimático	Prensaado Hidráulico	
Ácidos grasos Saturados	17,93	17,12	23,57	g/100g
Ácidos grasos Monoinsaturados	71,38	72,23	64,29	g/100g
Ácidos Grasos Poliinsaturados	10,69	10,65	12,14	g/100g
Ácido Linolénico (Omega 3)	0,76	0,66	0,48	g/100g
Ácido Linoléico (Omega 6)	9,93	9,99	11,65	g/100g
Ácido Oleico (Omega 9)	67,03	67,02	61,07	g/100g
Ácido Palmítico	17,23	14,93	21,00	g/100g
Ácido Esteárico	0,51	1,05	1,26	g/100g
Vitamina E	-	-	-	mg/100g

Tabla 10 Resultados del Perfil de Ácidos grasos del aceite de aguacate obtenido mediante el proceso de prensado por expeller, extracción Termomecánica y aceite comercial marca MIRA.

Perfil Lipídico de ácidos grasos	Métodos de extracción			Unidades
	Prensaado por Expeller	Extracción Termomecánica	Aceite de Aguacate marca MIRA	
Ácidos grasos Saturados	18,68	22,1059	21,3	g/100g
Ácidos grasos Monoinsaturados	69,99	63,7555	78,7	g/100g
Ácidos Grasos Poliinsaturados	11,33	13,6216	-	g/100g
Ácido Linolénico (Omega 3)	0,91	0,7599	1,4	g/100g
Ácido Linoléico (Omega 6)	10,41	12,8726	8,9	g/100g
Ácido Oleico (Omega 9)	65,72	53,2511	56,62	g/100g
Ácido Palmítico	17,73	21,5194	-	g/100g
Ácido Esteárico	0,57	0,4806	-	g/100g
Vitamina E	-	10,11	13,28	mg/100g

4. Discusión

4.1 Análisis del rendimiento

Una vez calculado los porcentajes de Rendimiento, de cada uno de los métodos de extracción, se determina que el de mayor porcentaje es el que se consiguió por el Método Termobatido con un 89,78%, seguido por el método de Prensaado por Expeller de 39,98%, consecuentemente el de Prensaado Hidráulico con 7,57% y el método Enzimático con 6,79%; por tanto, se establece que el Método de Termobatido es el que mejores resultados presentó, respecto a la variable rendimiento.



Respecto al Método de Termobatido, se ejerce una presión a altas temperaturas, lo que permite que se logran romper más las partículas de aceite, sin embargo, presenta como desventaja la apariencia, ya que presenta un aceite con aspecto más oscuro, a diferencia de los demás métodos.

4.2 Análisis de las características fisicoquímicas

En la investigación de Candori Cahui [10] señala que: “Las propiedades fisicoquímicas son los índices más comunes para evaluar la calidad de los aceites de semilla en la industria alimentaria, no obstante, las determinaciones de las propiedades fisicoquímicas del aceite vegetal son necesarias para juzgar la idoneidad de aceite para una aplicación particular.”

Por tal razón estas características, permiten identificar si los aceites se encuentran en el estado apropiado para someterse a las pruebas posteriores de calidad, o si deben ser rechazados, si su calidad no es la adecuada.

En relación a las características físicas desarrolladas en este trabajo investigativo, los valores de humedad (Pérdida por Calentamiento), así como de la densidad relativa, lograron resultados que están de acorde a la norma NTE INEN 29 [11], que es la que se asemeja a los productos obtenidos en este proyecto, como es el Aceite de Oliva, donde se indica las especificaciones establecidas en un máximo de 0,050% para humedad y un rango de 0,840 y 0,960 g/ml para la densidad relativa.

De acuerdo con los datos obtenidos los métodos de termobatido, enzimático y prensado hidráulico presentan valores de índice de acidez establecido por la norma NTE INEN 29 [11] entre 0.8 y 3.3 g/100 g, en relación con el índice de peróxido solo el método de prensado hidráulico presenta un valor inferior a 10 mEqO₂/kg acorde a la mencionada norma. Comparando el índice de yodo con la norma NTE INEN 29 [11] que indica que los valores deben estar entre 79 y 89 cg/g los cuatro métodos de extracción cumplirían con la norma de comparación.

4.3 Análisis de resultados del Perfil de ácidos grasos

Según los análisis y comparaciones de los resultados, respecto a los principales ácidos grasos, Oleico (C18:1), Linoleico (C18:2) y Alfa Linolénico (C18:3), Palmítico (C18:0) y Esteárico (C18:0) tabulados, se puede observar que respecto al ácido oleico el método termobatido es mejor por tener mayor porcentaje, esto se debe a que el ácido oleico es más sensible al calor, puesto que los productos que tienen una mayor proporción de ácidos grasos insaturados, además los productos que tienen una cantidad alta de ácidos grasos insaturados están más predispuestos a la oxidación a comparación de los que tienen cantidades más pequeñas. Referente al Ácido Linoleico, el método enzimático es el que presenta mayor porcentaje, junto al valor conseguido por el trabajo de Yepes Betancur [9].

Con relación al Ácido AlfaLinolénico, el método por expeller resulto presentar el mayor porcentaje, posteriormente respecto al Ácido Palmítico que es un ácido saturado, el método enzimático es mejor por tener un menor porcentaje, a diferencia de las demás técnicas que tienen mayor saturación por haber sido expuestos a tratamientos de presión y temperatura. [12]

Bergh [13] señala que es sustancial hacer notar el bajo porcentaje de Ac. Esteárico (C18:0) y los ácidos grasos saturados en general frente al alto porcentaje de ácidos grasos monoinsaturados, debido que, aunque los ácidos monoinsaturados y poliinsaturados están relacionados con la disminución del colesterol en la sangre, solo los monoinsaturados influyen en la reducción de la presión sanguínea.

En cambio, Stanley [14], expresa que, sin dejar atrás la importancia de los ácidos grasos insaturados, oleico y linoleico, estos son hipocolesterolémicos, por lo que disminuyen las concentraciones del colesterol LDL (lipoproteína de baja densidad) que se deposita en las arterias y potencian las acciones beneficiosas del colesterol HDL (lipoproteína de alta densidad).

Por estas razones, los aceites extraídos por diferentes métodos como termobatido, enzimático, prensado hidráulico y por expeller, cumplen con los requisitos nutricionales aportando de esta manera a la salud de los consumidores, recalando que sus resultados tienen cierta semejanza entre sí en relación con los ácidos grasos analizados

Las diferencias mínimas encontradas en este trabajo con respecto a otras investigaciones, en las propiedades fisicoquímicas y la composición de ácidos grasos del aceite de aguacate, se deben seguramente a las técnicas utilizadas en la extracción, a las condiciones ambientales del fruto, a su variedad o al estado de madurez.

5. Conclusiones

Las extracciones de aceite de Aguacate de la variedad Hass, realizados por los cuatro métodos, permitió, evaluar y comprobar la presencia de diferencias y semejanzas tanto en la ejecución de las técnicas, como en resultados, para posteriormente seleccionar el mejor proceso que ofrezca las mejores condiciones de calidad, y que posteriormente pueda ser implementado a nivel de planta piloto y finalmente a nivel industrial con las condiciones de proceso y operación debidamente probadas mediante varios ensayos hasta lograr la optimización.

Se encontraron diferencias muy significativas en lo que corresponde a la variable de rendimiento, donde el método que presentó mayor porcentaje fue el método de



Termobatido con un 89,78%, y el método que presento el menor porcentaje fue el método Enzimático con 6,79%.

Comparando los cuatro métodos de extracción entre sí, se concluye que el proceso de prensado hidráulico presenta los más altos valores en relación al contenido de: ácidos grasos saturados, ácidos grasos poliinsaturados, ácido linoleico, palmítico y esteárico respectivamente.

Considerando el rendimiento del proceso, el mismo que es importante en relación a la productividad, así como la calidad del producto obtenido en relación a sus propiedades fisicoquímicas y perfil de ácidos grasos se concluye que la calidad se encuentra relacionada con un bajo rendimiento del aceite obtenido, teniendo que el proceso de prensado hidráulico presenta las mejores condiciones de calidad del producto pero un rendimiento relativamente bajo (7.57%), si el objetivo de una planta industrial sería obtener un buen rendimiento el método más idóneo sería el de termobatido pero con una disminución en la calidad del aceite obtenido sobre todo en lo relacionado con las propiedades físicas, no así con el perfil de ácidos grasos que presentan un buen aporte sobre todo de los insaturados que son los más beneficiosos para la salud.

Puesto que, el rendimiento de obtención en el proceso de termobatido es el más alto, se recomienda un estudio de su obtención empleando antioxidantes con el fin de disminuir el índice de peróxido relacionado con la oxidación del aceite obtenido.

6. Referencias

- [1] R. Melo, «El Telégrafo», 20 Febrero 2016. [En línea]. Available: <https://www.eltelegrafo.com.ec/noticias/regional/1/los-cultivos-de-aguacate-se-extienden-por-los-valles-templados-de-la-serrania>. [Último acceso: 27 Abril 2020].
- [2] «El Comercio», 3 Febrero 2019. [En línea]. Available: <https://www.elcomercio.com/tendencias/consumo-aguacate-ecuador-precolombino-intercultural.html>. [Último acceso: 27 Abril 2020].
- [3] D. A. Cueva Cabrera y A. S. Pilatuña Zambrano, «Universidad Politécnica Salesiana», Septiembre 2016. [En línea]. Available: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/7102/1/UPS-QT05876.pdf>.
- [4] J. M. Rincón Martínez y E. E. Silva Lora, «Bioenergía: Fuentes, conversión y sustentabilidad», 1 ed., ISBN, Ed., Bogotá, Cyted, p. 332.
- [5] L. Rodríguez, «Universidad Nacional del Sur», Mayo 2019. [En línea]. Available: <http://repositoriodigital.uns.edu.ar/bitstream/123456789/4550/1/TESIS%20DOCTORAL-RODRIGUEZ%20LUCIANA-2019.pdf>.
- [6] S. Shourkroun, «Organización y gestión de las operaciones de conformado y secado de productos cerámicos», 5.1 ed., Elearning S.L., 2015, pp. 137 - 359.
- [7] A. E. Bailey, «Aceites y Grasas Industriales», 2 ed., Reverté, 1944, p. 746.
- [8] P. Beerens, «Screw-pressing of Jatropha seeds for fuelling», D. o. S. E. Technology, Ed., Eindhoven University of Technology, 2007.
- [9] D. P. Yépes Betancur, L. Sánchez Giraldo y C. J. Marquéz Cardozo, «Extracción termomecánica y caracterización fisicoquímica del aceite de aguacate (Persea americana Mill. cv. Hass)», *Informador Técnico (Colombia)*, vol. 81, n° 1, pp. 75 - 85, 28 Junio 2017.
- [1] M. Candori Cahui, «Análisis de extracción de aceite de palta (Persea americana) de la variedad Fuerte por evaporación rápida de agua», Diciembre 2016. [En línea]. Available: https://repositorio.upeu.edu.pe/bitstream/handle/UPEU/410/Moises_Tesis_bachiller_2017.pdf?sequence=1&isAllowed=y.
- [1] INEN, «Servicio Ecuatoriano de Normalización», 2012. [En línea]. Available: <https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/29.pdf>.
- [1] H. D. Gutarra Sanabria y M. F. Vargas Rodríguez, «Universidad de San Ignacio de Loyola», Junio 2018. [En línea]. Available: http://repositorio.usil.edu.pe/bitstream/USIL/3252/1/2018_Gutarra-Sanabria.pdf.
- [1] B. Bergh, «The avocado in human nutrition. Avocados and your heart. Proceedings of the second world avocado congress.», 1992. [En línea].
- [1] J. C. Stanley, «The nutritional reputation of palm oil», *Lipid Technology*, vol. 20, n° 5, pp. 112-114, Abril 2018.

Normas para publicar en la revista INQUIDE – Ingeniería Química y Desarrollo

1. Información General

INQUIDE – Ingeniería Química y Desarrollo es una revista científica multidisciplinaria editada por la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad de Guayaquil, ubicada en Guayaquil, Ecuador. Publicada desde enero de 2015, la revista tiene una periodicidad semestral y se enfoca en contribuciones originales en el área de las ciencias y la ingeniería.

INQUIDE es una revista arbitrada que utiliza un sistema de evaluación externa por expertos (peer-review), bajo la metodología de doble ciego (double-blind review), siguiendo las normas de publicación del Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE). Este sistema garantiza un proceso de revisión objetivo, imparcial y transparente, lo que facilita la inclusión de la revista en bases de datos, repositorios e indexaciones internacionales de referencia.

Actualmente, INQUIDE está indexada en:

- 1.- Latindex Catálogo 2.0 (Sistema Regional de Información en Línea para Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal).
- 2.- Dialnet (Fundación Dialnet, Universidad de La Rioja).
- 3.- Red de Editores y Revistas Científicas Ecuatorianas (RERCIE).
- 4.- Crossref, con asignación de DOI (Digital Object Identifier) para cada artículo publicado.

La revista se publica en formato electrónico (e-ISSN: 3028-8533) y acepta manuscritos en español, inglés y portugués, promoviendo la difusión de investigaciones de alta calidad a nivel internacional.

2. Alcance y Política

2.1. Temática

INQUIDE – Ingeniería Química y Desarrollo publica contribuciones originales en el área de las ciencias y la ingeniería, con un enfoque multidisciplinario. Se aceptan trabajos de investigación realizados por autores nacionales e internacionales, siempre que cumplan con los criterios de calidad científica requeridos.

2.2. Tipos de contribuciones

La revista prioriza la publicación de:

- Artículos de investigación empírica que presenten resultados originales y significativos.
- Informes de desarrollo tecnológico que describan innovaciones o aplicaciones prácticas en ingeniería y ciencias.
- Propuestas de modelos y soluciones innovadoras que contribuyan al avance del conocimiento.
- Revisiones del estado del arte (state-of-the-art) que sintetizen y analicen críticamente el conocimiento actual en un área específica.
- Artículos de ensayo que presenten reflexiones teóricas o metodológicas relevantes para el campo.

2.3. Requisitos de originalidad

INQUIDE solo publica trabajos originales e inéditos redactados en español, inglés o portugués. Los manuscritos no deben haber sido publicados previamente en ningún medio impreso o electrónico, ni estar en proceso de arbitraje o publicación en otra revista.

2.4. Proceso de arbitraje

Todos los artículos enviados serán sometidos a un riguroso proceso de evaluación por pares (peer-review) bajo la metodología de doble ciego (double-blind review). La evaluación se basa en criterios de:

- Originalidad: El trabajo debe presentar contribuciones novedosas al campo.
- Pertinencia: El tema debe ser relevante para las áreas de ciencias e ingeniería.
- Actualidad: El estudio debe basarse en literatura reciente y abordar problemas contemporáneos.
- Rigurosidad científica: La metodología y los resultados deben ser sólidos y bien fundamentados.
- Cumplimiento de normas editoriales: El manuscrito debe seguir las directrices de formato y estilo de la revista.

La recepción de un manuscrito no implica compromiso de publicación. La decisión final de publicación será tomada por el Consejo Editorial, basándose en las recomendaciones de los revisores especializados.

2.5. Documentos requeridos

Los autores deben presentar los siguientes documentos junto con su manuscrito:

1. Listado de comprobación: Disponible para descarga en <https://1drv.ms/w/c/7bce1d25160b4657/EdRL-JU4fVBVbqSt1GD7t1N8BZVFXyapiNxM8ji3Fa9LFhA?e=Z7OqeO>.
2. Presentación y cesión de derechos: Disponible para descarga en <https://1drv.ms/w/c/7bce1d25160b4657/EZYnPTveWCtKgV5aNNZ1icQBdaFzvOYKCLwlhD7GC76hzg?e=ldbXMF>.

2.6. Envío de manuscritos

Los manuscritos deben enviarse a través del Open Journal System (OJS) de la revista, disponible en:

<https://revistas.ug.edu.ec/index.php/iqd/information/author>

Adicionalmente, los autores pueden enviar consultas o documentos complementarios al correo electrónico: inquide@ug.edu.ec o francisco.duquea@ug.edu.ec.

3. Presentación y estructura de los manuscritos

Todos los manuscritos enviados a INQUIDE deben seguir el formato establecido por la revista. A continuación, se detallan las normas y requisitos para la presentación y estructura de los artículos:

3.1. Formato del manuscrito

- Los manuscritos deben estar escritos en Microsoft Word (formato.doc o .docx).
- La plantilla oficial de la revista puede descargarse desde:

https://1drv.ms/w/c/7bce1d25160b4657/EXSf2GX2MuJEn-hf5qwsswUBzx4-1vYE_6qKE8ba2UF62g?e=68U2h9.

- El documento debe estar en doble columna, con los siguientes márgenes: Superior: 3.5 cm, Inferior: 3.5 cm, Izquierdo: 1.5 cm, Derecho: 1.5 cm
- Use la fuente Times New Roman, tamaño 10, justificado, con interlineado sencillo y espaciado 0.

3.2. Estructura del manuscrito

3.2.1. Presentación y Cover Letter

1. Título (español) / Title (inglés):
 - Debe ser conciso pero informativo, con un máximo de 20 palabras.
 - Si el artículo está escrito en español, el título en inglés debe aparecer en la segunda línea, y viceversa.
2. Autores y afiliación:
 - Incluya los nombres y apellidos completos de todos los autores, en el orden de preferencia.
 - Especifique la afiliación institucional de cada autor, incluyendo: Dependencia e institución; Correo electrónico institucional; ORCID; Ciudad y país.
 - Nota: Un máximo del 40% de los autores pueden estar afiliados a la Universidad de Guayaquil.
3. Resumen (español) / Abstract (inglés):
 - Extensión máxima de 250 palabras en ambos idiomas.
 - Debe incluir:
 1. Justificación del tema.
 2. Objetivos.
 3. Metodología y muestra.
 4. Principales resultados.
 5. Principales conclusiones.
4. Palabras clave (español) / Keywords (inglés):
 - Proporcione un máximo de 7 palabras clave en cada idioma, relacionadas directamente con el tema del trabajo.
 - Se recomienda utilizar términos del Thesaurus de la UNESCO.
5. Cover Letter:
 - Incluya una declaración que certifique que el manuscrito es una contribución original, no enviada ni en proceso de evaluación en otra revista.
 - Confirme la autoría y la aceptación de cambios formales según las normas de la revista.
 - Descargue el formato de Cover Letter desde:

<https://1drv.ms/w/c/7bce1d25160b4657/EdRL-JU4fBVBqSt1GD7t1N8BZVFXyapjNxM8ji3Fa9LFhA?e=Z7OqeO>

<https://1drv.ms/w/c/7bce1d25160b4657/EZYnPTveWCtKgV5aNNZ1icQBdaFzvOYKCLwlhD7GC76hgzg?e=ldbXMf>

3.2.2. Estructura del manuscrito

1. Introducción:
 - Presente el problema de investigación, el contexto, la justificación y los objetivos del estudio.
 - Incluya una revisión de la literatura más relevante y actual, tanto a nivel nacional como internacional.
2. Materiales y métodos:
 - Describa la metodología, los materiales, el diseño experimental y los procedimientos de manera clara y detallada.
 - Si se utiliza una metodología original, explique su justificación y posibles limitaciones.
3. Resultados:
 - Presente los resultados de manera clara y organizada, utilizando tablas, gráficos y figuras cuando sea necesario.
 - Evite la duplicación de datos entre el texto y las tablas/figuras.
4. Discusión:
 - Interprete los resultados, relacionándolos con los objetivos del estudio y la literatura existente.
 - Discuta las implicaciones teóricas y prácticas de los hallazgos.
5. Conclusiones:
 - Resuma los hallazgos más importantes del estudio.
 - Destaque las contribuciones del trabajo y proponga líneas futuras de investigación.
6. Agradecimientos (opcional):
 - Reconozca las fuentes de financiamiento, colaboradores o instituciones que apoyaron la investigación.
7. Referencias:
 - Siga el estilo IEEE para las citas y la lista de referencias.
 - Utilice el gestor de referencias de Microsoft Word para gestionar las citas.
 - Asegúrese de que todas las referencias estén citadas en el texto y viceversa.

3.3. Figuras, tablas y ecuaciones

- Figuras y tablas:
 - Deben estar numeradas consecutivamente (Fig. 1, Tabla 1, etc.) y citadas en el texto.
 - Las figuras deben tener una resolución mínima de 300 dpi y estar en formato JPG, PNG.
 - Las tablas deben tener un título arriba y las figuras un título abajo.
- Ecuaciones:
 - Utilice el editor de ecuaciones de Microsoft Word.
 - Numere las ecuaciones consecutivamente, colocando el número entre paréntesis y alineado a la izquierda.

3.4. Envío del manuscrito

- Los manuscritos deben enviarse a través del Open Journal System (OJS) de la revista:

<https://revistas.ug.edu.ec/index.php/iqd/information/authorS>.

- Asegúrese de cargar:

- El manuscrito en formato Word (.doc o .docx).
- Las figuras en archivos separados, con la resolución y formato adecuados.
- El Cover Letter y otros documentos requeridos.

4. Proceso de envío

El envío de manuscritos a INQUIDE debe realizarse siguiendo los siguientes pasos y requisitos:

4.1. Plataforma de envío

- Todos los manuscritos deben enviarse a través del Open Journal System (OJS) de la revista, disponible en: <https://revistas.ug.edu.ec/index.php/iqd/information/authors>.
- Los autores deben registrarse en la plataforma OJS antes de realizar el envío.

4.2. Documentos requeridos

Al momento del envío, los autores deben cargar los siguientes documentos:

1. Manuscrito en formato Word (.doc o .docx):
 - El documento debe seguir el formato y la estructura establecidos por la revista (ver sección 3).
 - Incluya los datos completos de los autores y su afiliación institucional.
2. Figuras y tablas:
 - Las figuras deben enviarse en archivos separados, en formato JPG, PNG, con una resolución mínima de 300 dpi.
 - Las tablas deben incluirse en el manuscrito, siguiendo el formato indicado en la sección 3.
3. Cover Letter (Carta de presentación):
 - Incluya una declaración que certifique que el manuscrito es una contribución original, no enviada ni en proceso de evaluación en otra revista.
 - Confirme la autoría y la aceptación de cambios formales según las normas de la revista.

Descargue el formato de Cover Letter desde: <https://1drv.ms/w/c/7bce1d25160b4657/EZYnPTveWCtKgV5aNNZ1icQBdaFzvOYKCLwlhD7GC76hgz?e=ldbXMf>

4. Listado de comprobación:

- Asegúrese de que el manuscrito cumpla con todos los requisitos técnicos y de formato.

Descargue el listado de comprobación desde: <https://1drv.ms/w/c/7bce1d25160b4657/EdRL-JU4fBVBqSt1GD7t1N8BZVFXyapjNxM8ji3Fa9LFhA?e=Z7OqeO>

4.3. Responsable de correspondencia

- Uno de los autores debe designarse como **responsable de correspondencia**.
- Este autor será el punto de contacto principal para todas las comunicaciones relacionadas con el manuscrito.

4.4. Confirmación de recepción

- Una vez enviado el manuscrito, el sistema OJS enviará automáticamente un correo electrónico de confirmación al autor responsable de correspondencia.

4.5. Consultas y soporte

- Para consultas sobre el proceso de envío o problemas técnicos, los autores pueden contactar al equipo editorial a través de los siguientes correos electrónicos:
 - inquide@ug.edu.ec
 - francisco.duquea@ug.edu.ec

5. Proceso Editorial

El proceso editorial de INQUIDE está diseñado para garantizar la calidad, originalidad y rigor científico de los manuscritos publicados. A continuación, se describe el proceso paso a paso:

5.1. Revisión inicial

Una vez recibido el manuscrito, el equipo editorial realiza una revisión inicial para verificar los siguientes aspectos:

1. Temática: El manuscrito debe estar dentro del alcance temático de la revista (ciencias e ingeniería).
2. Formato y estructura: El manuscrito debe seguir el formato y la estructura establecidos por la revista (ver sección 3).
3. Citas y referencias: Todas las referencias bibliográficas deben estar correctamente citadas en el texto, siguiendo el estilo IEEE.
4. Originalidad: El manuscrito será sometido a una revisión de plagio utilizando software especializado. Se acepta un máximo del 15% de similitud con otros trabajos.

Si el manuscrito no cumple con alguno de estos requisitos, se solicitará al autor que realice las correcciones necesarias antes de continuar con el proceso de evaluación.

5.2. Evaluación por pares (Peer-Review)

Los manuscritos que superen la revisión inicial serán sometidos a un riguroso proceso de evaluación por pares bajo la metodología de doble ciego (double-blind review). Este proceso incluye los siguientes pasos:

1. Asignación de revisores:
 - El editor asignará al menos dos revisores especializados en el área temática del manuscrito.
 - Los revisores pueden ser expertos nacionales o internacionales.
2. Evaluación:
 - Los revisores evaluarán el manuscrito en función de criterios como originalidad, pertinencia, rigor científico, claridad y contribución al campo.
 - Cada revisor emitirá un informe con uno de los siguientes resultados:
 - Publicable sin cambios.
 - Publicable con cambios sugeridos.
 - Publicable con cambios obligatorios.
 - No publicable.
3. Decisión editorial:
 - El editor analizará los informes de los revisores y tomará una decisión final sobre la aceptación o rechazo del manuscrito.
 - Si el manuscrito es aceptado, se notificará al autor para que realice los cambios sugeridos (si aplica).

- Si el manuscrito es rechazado, se notificará al autor y se archivará el documento.

5.3. Tiempo de revisión

- El proceso de evaluación por pares tiene una duración mínima de 4 semanas.
- Una vez finalizado este período, se notificará al autor el resultado de la evaluación y las recomendaciones de los revisores.

5.4. Correcciones y versión final

- Si el manuscrito es aceptado con cambios, el autor deberá enviar la versión corregida dentro del plazo establecido por el editor.
- El equipo editorial verificará que las correcciones solicitadas hayan sido incorporadas correctamente antes de proceder con la publicación.

5.5. Publicación

- Los manuscritos aceptados serán publicados en los números semestrales de la revista (enero y julio).
- Los autores recibirán una notificación una vez que su trabajo esté disponible en la plataforma de la revista.

6. Publicación

INQUIDE – Ingeniería Química y Desarrollo publica dos números al año, en las siguientes fechas:

- Primer número: 1 de enero.
- Segundo número: 1 de julio.

6.1. Plazos de envío

Para garantizar la consideración de los manuscritos en los números correspondientes, los autores deben tener en cuenta los siguientes plazos:

- Manuscritos para el número de enero: Deben enviarse antes del 31 de octubre del año anterior.
- Manuscritos para el número de julio: Deben enviarse antes del 30 de abril del mismo año.

6.2. Disponibilidad de los artículos

- Una vez publicados, los artículos estarán disponibles en la plataforma electrónica de la revista, accesible a través de:
<https://revistas.ug.edu.ec/index.php/iqd>.
- Cada artículo publicado incluirá un DOI (Digital Object Identifier), lo que garantiza su identificación y acceso permanente.

6.3. Política de acceso abierto

INQUIDE es una revista de acceso abierto (open access), lo que significa que todos los artículos están disponibles gratuitamente para su lectura, descarga y distribución, bajo una licencia Creative Commons.

7. Información sobre el uso de Inteligencia Artificial

INQUIDE reconoce la importancia de mantener altos estándares éticos en la investigación científica, especialmente en el uso de Inteligencia Artificial (IA). Por ello, se establecen las siguientes directrices:

7.1. Uso de IA en la investigación

- Si se ha utilizado Inteligencia Artificial en cualquier etapa de la investigación presentada en el manuscrito,

los autores deben declararlo explícitamente en la Carta de Presentación (Cover Letter).

- Especifique las secciones del manuscrito en las que se ha empleado IA, describiendo su función y alcance.

7.2. Transparencia y responsabilidad

- Los autores son responsables de garantizar que el uso de IA no comprometa la originalidad, integridad y rigor científico del trabajo.
- El equipo editorial evaluará la declaración de uso de IA y podrá solicitar información adicional si es necesario.

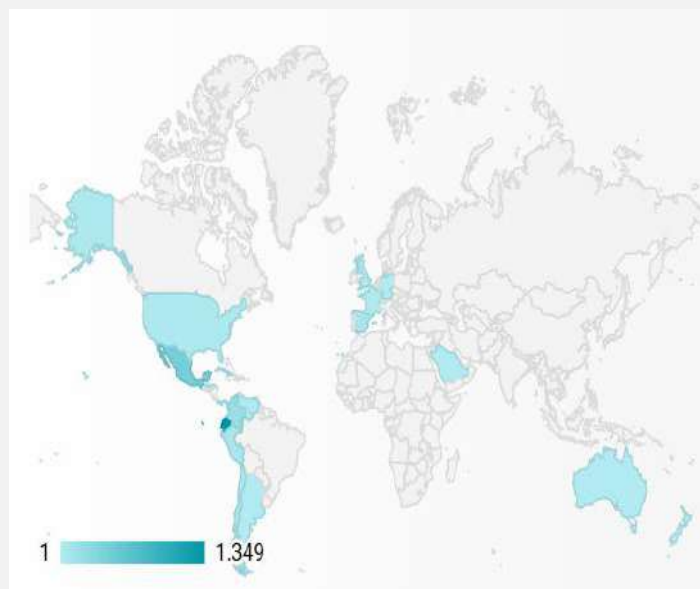
7.3. Aceptación de manuscritos con IA

- La decisión final sobre la aceptación de manuscritos que hayan utilizado IA queda a discreción del Consejo Editorial, basándose en la transparencia y el cumplimiento de las normas éticas de la revista.

INQUIDE

Exploramos lo desconocido,
resolvemos lo imposible.
Bienvenido a la frontera del
conocimiento.

Visitas por país.



Indexación.



Contacto principal.

Francisco Javier Duque-Aldaz
Universidad de Guayaquil
Teléfono +593 98 564 1201 WhatsApp
Teléfono +593 99 576 0762 Telegram
francisco.duquea@ug.edu.ec
inquide@ug.edu.ec

Convierta su investigación en un
legado.

Envíenos su artículo y únase a una
comunidad científica de gran
impacto.