

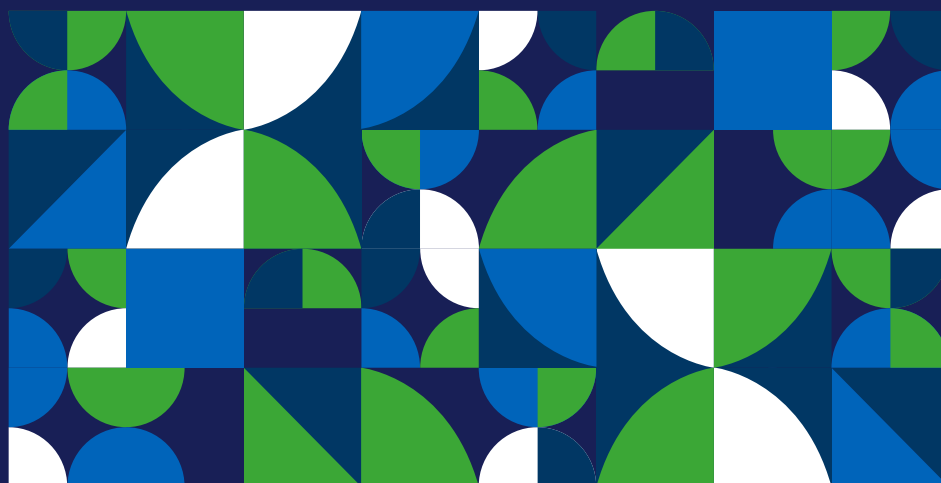


INSTITUTO SUPERIOR UNIVERSITARIO
CARLOS CISNEROS

TECH

• CARLOS CISNEROS •

REVISTA DE INVESTIGACIÓN,
DESARROLLO TECNOLÓGICO E INNOVACIÓN



NÚMERO 4
DICIEMBRE 2024
ISSN 2737-6036
RIOBAMBA ECUADOR

latindex



Oficina Editorial
INSTITUTO SUPERIOR UNIVERSITARIO
CARLOS CISNEROS
Coordinación de Investigación

Ecuador - Riobamba
Campus Principal, Calles Antonio Santillán y Evangelino Calero
Teléfono: 032 944 818
e-mail: revistatech@istcarloscisneros.edu.ec
ISSN: 2737-6036



Esta obra está bajo una
licencia de Creative Commons
Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgua 4.0 Internacional

Edición N° 04
RIOBAMBA - ECUADOR, 2024
Publicación Anual

REVISTA DIGITAL

- Los trabajos firmados son de responsabilidad de cada autor.
- Prohibida la reproducción total o parcial de esta revista, por cualquier medio, sin permiso expreso de la oficina editorial.
- Se puede acceder a una versión en PDF en

<https://revistatech.istcarloscisneros.edu.ec/index.php/tech/issue/view/OpenJournalTechN4>

EQUIPO EDITORIAL

EDITORES

Editor & Chief

Ing. Roberto Alejandro Larrea Luzuriaga PhD

Instituto Superior Universitario Carlos Cisneros
Riobamba - Ecuador

 <https://orcid.org/0000-0003-1568-5113>

Director Editorial

Ing. Cristina Alejandra Orozco Cazco M_Eng

Instituto Superior Universitario Carlos Cisneros
Riobamba - Ecuador

 <https://orcid.org/0000-0003-1896-1590>

CONSEJO EDITORIAL

Mgs. Irlanda Beatriz Aroca Castillo

Instituto Superior Universitario Carlos Cisneros, Riobamba - Ecuador

 <https://orcid.org/0009-0005-3583-726X>

Mgs. Mónica Alexandra Carrión Cevallos

Instituto Superior Universitario Carlos Cisneros, Riobamba - Ecuador

 <https://orcid.org/0000-0003-0928-1307>

Mgs. Cristian Guillermo Fiallos Velasco

Instituto Superior Universitario Carlos Cisneros, Riobamba - Ecuador

 <https://orcid.org/0009-0005-8740-946X>

PhD. Edgar Enrique Orozco Inca

Instituto Superior Universitario Carlos Cisneros, Riobamba - Ecuador

 <https://orcid.org/0000-0003-1748-7866>

Mgs. Fabián Eduardo Vilema Chuiza

Instituto Superior Universitario Carlos Cisneros, Riobamba - Ecuador

 <https://orcid.org/0000-0002-1201-3592>

Mgs. Luis Alberto Zabala Aguiar

Instituto Superior Universitario Carlos Cisneros, Riobamba - Ecuador

 <https://orcid.org/0000-0003-3858-0621>

Mgs. Carlos Julio Lliguay Guanga

Instituto Superior Universitario Carlos Cisneros, Riobamba - Ecuador

 <https://orcid.org/0009-0004-7883-6833>

Mgs. Leticia Aurelina Zabala Barragán

Instituto Superior Universitario Carlos Cisneros, Riobamba - Ecuador

 <https://orcid.org/0009-0007-3889-9110>

PhD. Luis Miguel Prócel

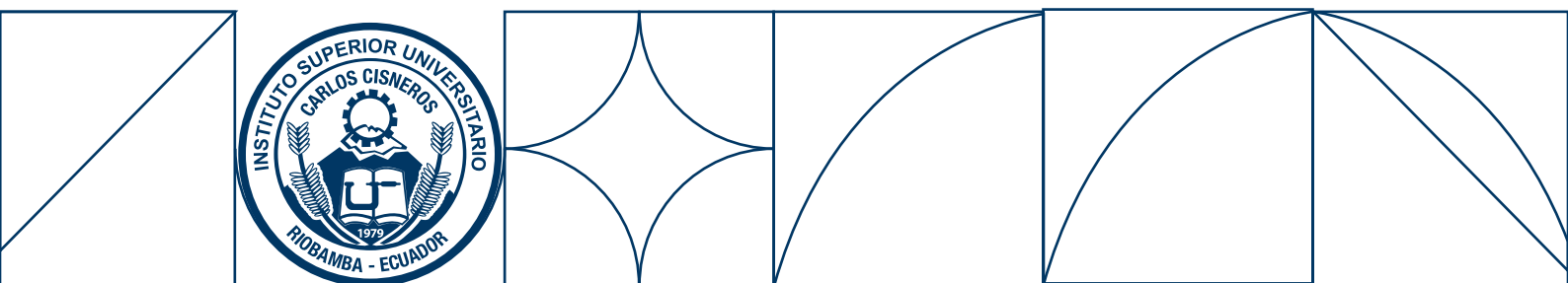
Universidad San Francisco de Quito, Quito -Ecuador

 <https://orcid.org/0000-0001-6189-5184>

PhD. Ulises Ruiz Corona

Instituto Nacional de Astrofísica, Puebla-México





TRADUCTOR

Lic. Gabriela Illicachi

Instituto Superior Universitario Carlos Cisneros
Riobamba - Ecuador

DISEÑO Y DIAGRAMACIÓN

Ing. Fernando Garzón C.

Instituto Superior Universitario Carlos Cisneros
Riobamba - Ecuador

EQUIPO TÉCNICO

Ing. Jorge Chávez Mgs.

Instituto Superior Universitario Carlos Cisneros
Riobamba - Ecuador

Ing. Renny Montalvo Mgs.

Instituto Superior Universitario Carlos Cisneros
Riobamba - Ecuador

COMITÉ CIENTÍFICO & EVALUADORES EXTERNOS

Mgs. Ana Congacha

Universidad Nacional de Chimborazo, Riobamba-Ecuador

PhD. Armando Días Concepción

Universidad Tecnológica de la Habana José Antonio Echeverría, La Habana -Cuba

Mgs. Carlos Izurieta Recalde

Universidad Nacional de Chimborazo, Riobamba-Ecuador

Mgs. Christian Núñez

Universidad Nacional de Chimborazo, Riobamba-Ecuador

Mgs. Cristian Germán Santiana

Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba-Ecuador

M_Eng. Cristian Rocha

Universidad de Sevilla, Sevilla-España

PhD. David Moreno

Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba-Ecuador

Mgs. Edgard Brossard

Instituto Superior Tecnológico Riobamba, Riobamba-Ecuador

Mgs. Edison Marcelo Castillo

Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba-Ecuador

Mgs. Eduardo Hernández

Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba-Ecuador

Mgs. Edwin Pozo

Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba-Ecuador

Mgs. Edwin Rodolfo Pozo Safla

Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba-Ecuador

MSc. Enrique Quevedo García

Universidad de Pamplona, Colombia

M_Eng. Fabricio Santacruz

Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba-Ecuador

M_Eng. Fausto Cabrera

Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba-Ecuador

PhD. Fernando Molina

Universidad Nacional de Chimborazo, Riobamba-Ecuador

PhD. Franklin Eduardo Samaniego Riera

Universidad de Guayaquil, Guayaquil-Ecuador

M_Eng. Gastón Chamba

Universidad Nacional de Loja, Loja -Ecuador

PhD. Gustavo Orozco

Universidad Nacional de Chimborazo, Riobamba-Ecuador

M_Eng. John Germán Vera

Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba-Ecuador

PhD. Juan Carlos Cepeda

Universidad Nacional de Chimborazo, Riobamba-Ecuador

Mgs. Juan Fernando Auquilla Díaz

Universidad Nacional de Educación, Azogues-Ecuador

Mgs. Kléber Augusto Jaramillo Galarza

Universidad Nacional de Chimborazo, Riobamba-Ecuador

COMITÉ CIENTÍFICO & **EVALUADORES EXTERNOS**

PhD. Leonardo Rentería

Universidad Nacional de Chimborazo, Riobamba-Ecuador

PhD. Lorena Paulina Molina

Universidad Nacional de Chimborazo, Riobamba-Ecuador

M_Eng. Luis Chuquimarca

Universidad de la Península de Santa Elena, Santa Elena-Ecuador

Mgs. Luis David Jiménez Jumbo

Universidad Estatal Amazónica, Ecuador

PhD. Luis Fernando Arboleda Álvarez

Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba-Ecuador

Mgs. Luis Fernando Buenaño

Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba-Ecuador

PhD. Luis Patricio Tello

Universidad Nacional de Chimborazo, Riobamba-Ecuador

Mgs. Marcel Paredes

Universidad Nacional de Chimborazo, Riobamba-Ecuador

Mgs. Marco Antonio Ordoñez

Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba-Ecuador

PhD. Marco Vinicio Guevara Granizo

Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba-Ecuador

PhD. Margarita Mayacela

Universidad Técnica de Ambato, Ambato-Ecuador

PhD. María Belén Bravo

Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba-Ecuador

PhD. Marta Lucía Ávalos

Universidad Nacional de Chimborazo, Riobamba-Ecuador

Mgs. Michelle Estefanía Arias Sinchi

Universidad Nacional de Educación, Azogues-Ecuador

Mgs. Nora Tahiri Mejía Cabezas

Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba-Ecuador

PhD. Patricio Humanante

Universidad Nacional de Chimborazo, Riobamba-Ecuador

PhD. Paul Ricaurte

Universidad Nacional de Chimborazo, Riobamba-Ecuador

Mgs. Paula Moreno

Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba-Ecuador

PhD. Rosita Graciela Espinoza Gavilanez

Universidad Politécnica Salesiana, Quito-Ecuador

Mgs. Sócrates Miguel Aquino

Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba-Ecuador

Mgs. Vanessa Vásconez













Universidad Nacional de Chimborazo, Riobamba-Ecuador

PhD. Ximena Aldaz

Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba-Ecuador



ÍNDICE

pg. 10		Metodología aplicada para lectura, modificación y escritura de mapas de inyección en módulos de control automotrices de gestión de motor.
pg. 21		Diseño de un sistema de gestión de inocuidad basado en la norma FSSC 22000 V5.0 para la empresa Lactalis del Ecuador S.A.
pg. 33		Desarrollo de procesos para la preparación de motores de competición mediante uso del flujómetro.
pg. 45		Evaluación fisicoquímica y económica en la elaboración de compost utilizando <i>Trichoderma harzianum</i> y un consorcio bacteriano en residuos orgánicos.
pg. 55		Evaluación del prendimiento en injertos de aguacate variedad Hass con tres estados de yemas bajo invernadero.
pg. 65		Concentración en el mercado de productos de consumo masivo en Ecuador mediante el índice de Herfindahl-Hirschman año 2022.
pg. 75		Aplicación de propóleo y etanol en el tratamiento de mastitis subclínica en vacas en producción.
pg. 86		Análisis de viscosidad dinámica de aceite vegetal reciclado para su uso como combustible en un motor a diésel.
pg. 97		Aplicación de softwares y plataformas digitales para el diagnóstico automotriz preciso.
pg. 109		MINDSTORMS EV3 como herramienta educativa para mejorar el pensamiento lógico-matemático en la primera infancia.
pg. 122		Estudio del comportamiento dinámico de los circuitos memristivos y su sincronización a través de la simulación numérica usando Python.
pg. 143		Utilización de sensores microondas en análisis de sangre con métodos no invasivos.

PREFACIO

Con profunda satisfacción y orgullo, presentamos la cuarta edición de la revista abierta de divulgación científica TECH Carlos Cisneros. Este número marca un hito importante en nuestra trayectoria: la inclusión de nuestra revista en la prestigiosa base de datos académica LatIndex 2.0. Este logro no solo reconoce el arduo trabajo del equipo editorial y científico que conforma esta publicación, sino que también refuerza nuestra proyección en los ámbitos local, nacional e internacional. Esta indexación subraya el compromiso de la revista con los estándares más altos de calidad editorial y rigor académico.

Desde su creación, la Revista TECH ha tenido como objetivo contribuir significativamente al avance de la investigación científica y el desarrollo tecnológico. Nuestro enfoque se ha centrado en promover la innovación y explorar los impactos tangibles que la investigación tiene en la solución de problemáticas en el ámbito social e industrial. Este compromiso ha permitido a la revista consolidarse como un foro abierto para el intercambio de ideas y conocimientos que abordan los desafíos contemporáneos con rigor científico, calidad y creatividad.

En esta cuarta edición, nos enorgullece presentar una selección de 12 artículos de investigación que abarcan una amplia variedad de líneas de estudio. Cada uno de estos trabajos ofrece resultados relevantes y perspectivas innovadoras, aportando al desarrollo y fortalecimiento de sus respectivos campos científicos. Estamos seguros de que estas contribuciones serán de gran interés y utilidad para la comunidad académica y profesional.

En nombre del equipo editorial de la revista, queremos expresar nuestro más sincero agradecimiento a los autores de los artículos publicados en este número, quienes depositaron su confianza en nuestra revista para difundir los resultados de su arduo trabajo. Asimismo, extendemos nuestro reconocimiento a los revisores externos que conforman el comité científico de la revista. Su colaboración desinteresada y profesionalismo garantizan la calidad y pertinencia científica de cada publicación, asegurando que nuestra revista sea un referente de excelencia.

Finalmente, hacemos una invitación cordial a toda la comunidad académica para que continúe enviando los resultados de sus investigaciones a futuras ediciones de la Revista TECH. Juntos, podemos seguir construyendo un conocimiento científico de alto impacto que inspire, innove y transforme nuestra sociedad.

A todos nuestros lectores, autores y colaboradores, les agradecemos por ser parte de este camino.

Con aprecio académico,



Roberto Larrea L.

Editor & Chief Revista TECH



EDITORIAL

Es un honor presentar la cuarta edición de TECH Carlos Cisneros, nuestra revista abierta de divulgación científica. En esta ocasión, reafirmamos nuestro compromiso con la promoción de la divulgación científica como un eje fundamental para democratizar el acceso al conocimiento y garantizar que los resultados de las investigaciones estén disponibles para todos los sectores de la sociedad. TECH busca ser un puente entre el conocimiento académico y el público general, fomentando la interacción entre investigadores, estudiantes y profesionales interesados en el progreso científico.

Divulgación científica: conocimiento para todos

La divulgación científica no solo transmite los avances más recientes en diversas áreas, sino que también fomenta el pensamiento crítico y el interés por la investigación. En un mundo donde el conocimiento avanza a pasos agigantados, es crucial que los hallazgos científicos no permanezcan encerrados en círculos académicos reducidos. TECH adopta una filosofía de acceso abierto, asegurando que los artículos publicados sean una herramienta educativa y una fuente de inspiración para nuevas investigaciones. Esta iniciativa permite que la ciencia sea un bien público, accesible para docentes, estudiantes, profesionales y la sociedad en general.

Ciencia e innovación al servicio del desarrollo

La ciencia y la innovación tecnológica representan pilares fundamentales para el desarrollo sostenible y la resolución de problemas críticos. En esta edición, destacamos investigaciones que abordan retos globales como la sostenibilidad ambiental, la seguridad alimentaria, la eficiencia energética y la transformación digital. Estas contribuciones reflejan el impacto positivo que la ciencia puede generar cuando se orienta hacia aplicaciones prácticas que benefician a todos.

El método científico como base para el avance

El método científico es la herramienta esencial que garantiza la rigurosidad y la objetividad en la investigación. A través de un enfoque estructurado y sistemático, los investigadores logran transformar preguntas en soluciones tangibles y verificables. La revista, promueve estudios que ejemplifican este proceso, mostrando cómo el análisis crítico y la experimentación conducen al descubrimiento de nuevas ideas y tecnologías.



Artículos destacados de esta edición

Esta cuarta edición incluye 12 investigaciones innovadoras que reflejan la diversidad de temas abordados por la comunidad académica:

1. **Metodología aplicada para lectura, modificación y escritura de mapas de inyección en módulos de control automotrices de gestión de motor:** Un análisis exhaustivo de técnicas avanzadas para optimizar el desempeño vehicular.
2. **Diseño de un sistema de gestión de inocuidad basado en la norma FSSC 22000 V5.0 para la empresa Lactalis del Ecuador S.A.:** Una propuesta para fortalecer la seguridad alimentaria.
3. **Desarrollo de procesos para la preparación de motores de competición mediante uso del flujómetro:** Innovación en el rendimiento de motores deportivos.
4. **Evaluación del prendimiento en injertos de aguacate variedad Hass con tres estados de yemas bajo invernadero:** Estrategias para optimizar la producción de cultivos.
5. **Evaluación fisicoquímica y económica en la elaboración de compost utilizando Trichoderma harzianum y un consorcio bacteriano en residuos orgánicos:** Propuestas para la gestión sostenible de desechos.
6. **Concentración en el mercado de productos de consumo masivo en Ecuador mediante el índice de Herfindahl-Hirschman año 2022:** Un estudio de la estructura del mercado y la competencia.
7. **Aplicación de propóleo y etanol en el tratamiento de mastitis subclínica en vacas en producción:** Alternativas sostenibles en salud animal.
8. **Análisis de viscosidad dinámica de aceite vegetal reciclado para su uso como combustible en un motor a diésel:** Opciones para energía renovable.
9. **Aplicación de softwares y plataformas digitales para el diagnóstico automotriz preciso:** Uso del big data para optimizar el mantenimiento vehicular.
10. **MINDSTORMS EV3 como herramienta educativa para mejorar el pensamiento lógico-matemático en la primera infancia:** Tecnologías para el aprendizaje en etapas tempranas.
11. **Estudio del comportamiento dinámico de los circuitos memristivos y su sincronización a través de la simulación numérica usando Python:** Avances en el modelado de componentes electrónicos.
12. **Utilización de sensores microondas en análisis de sangre con métodos no invasivos:** Una solución tecnológica innovadora en el área médica.

Impacto y proyección de la revista TECH

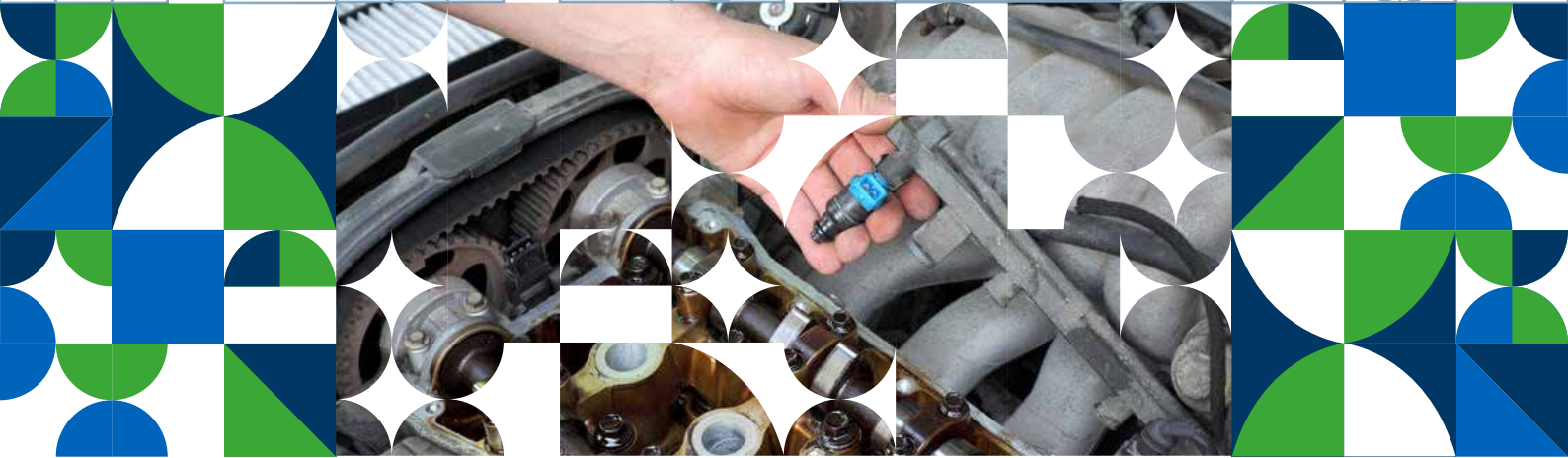
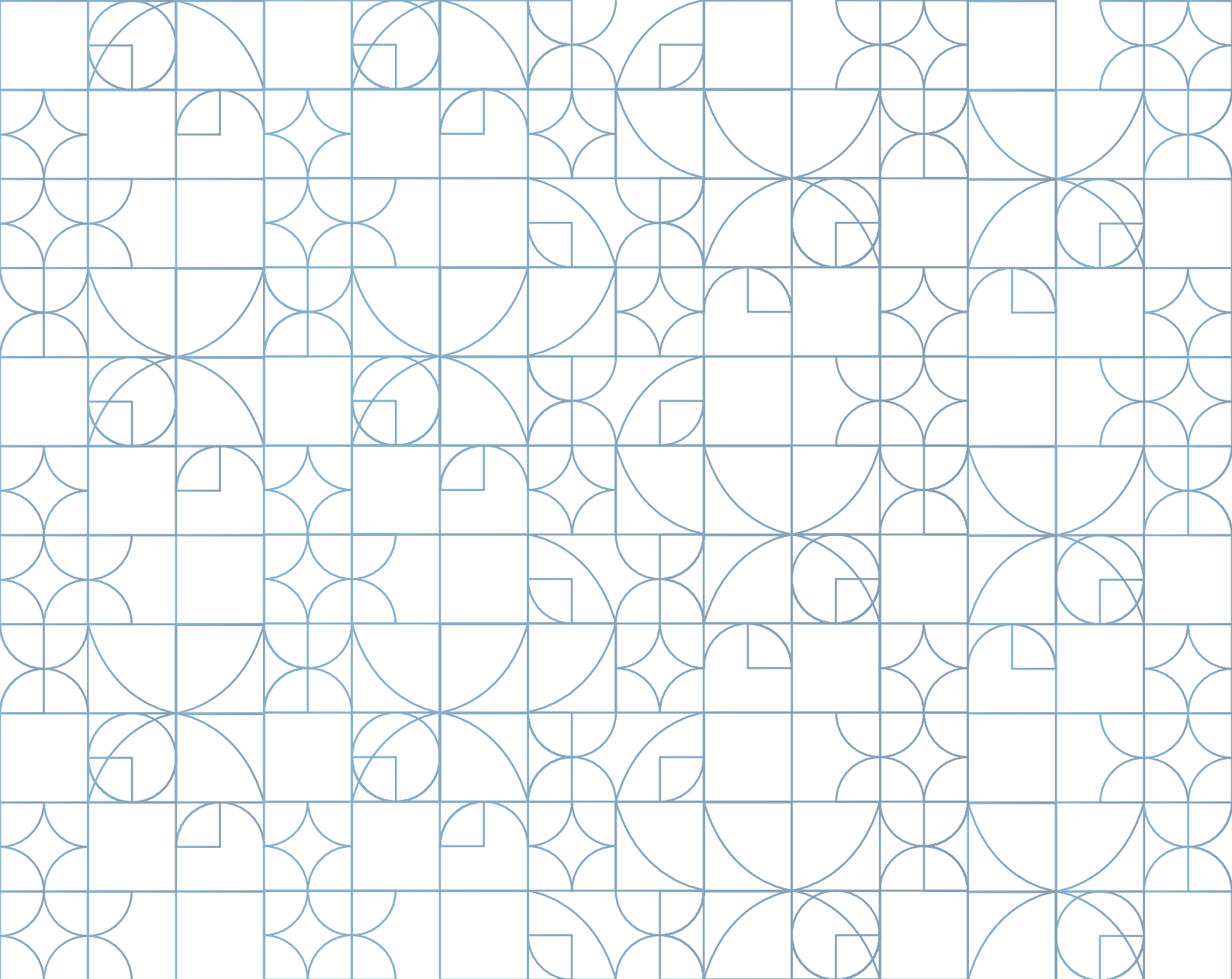
Con orgullo, observamos cómo TECH ha ampliado su alcance, contando con contribuciones de investigadores a nivel nacional. Invitamos a toda la comunidad académica a unirse a esta iniciativa, ya sea compartiendo su trabajo o utilizando los hallazgos aquí presentados como base para nuevas indagaciones. La colaboración y la participación activa son esenciales para garantizar que la ciencia y la innovación continúen transformando el mundo.

Cristina Orozco C.

Directora Editorial Revista TECH



rsucc



**METODOLOGÍA APLICADA PARA LECTURA, MODIFICACIÓN
Y ESCRITURA DE MAPAS DE INYECCIÓN EN MÓDULOS DE
CONTROL AUTOMOTRICES DE GESTIÓN DE MOTOR**

**APPLIED METHODOLOGY FOR READING, MODIFYING AND
WRITING INJECTION MAPS IN AUTOMOTIVE ENGINE
MANAGEMENT CONTROL MODULES**



METODOLOGÍA APLICADA PARA LECTURA, MODIFICACIÓN Y ESCRITURA DE MAPAS DE INYECCIÓN EN MÓDULOS DE CONTROL AUTOMOTRICES DE GESTIÓN DE MOTOR

APPLIED METHODOLOGY FOR READING, MODIFYING AND WRITING INJECTION MAPS IN AUTOMOTIVE ENGINE MANAGEMENT CONTROL MODULES

Álvaro Daniel Rodríguez Cuenca ¹,
Claudio Hernán Ortiz Molina ²,
Rómulo Fernando Astudillo Bravo ³,

¹ Instituto Superior Tecnológico del Austro, Ecuador, alvaro.rodriguez@instecclrg.edu.ec

² Instituto Superior Tecnológico del Austro, Ecuador, claudio.ortiz@instecclrg.edu.ec

³ Departamento de Investigación en Electrónica Automotriz, Grupo Automotriz en Video, Costa Rica, romulo@automotrizenvideo.com

RESUMEN

El presente trabajo aborda el tema de los sistemas de control electrónico en vehículos modernos, enfocándose en la gestión de los procesos, cálculo, y gobierno a través de Módulos de Control Electrónico (ECU). Se destaca que los sistemas de control utilizan una variedad de sensores y actuadores para interactuar con la ECU, la cual ejecuta programas de control almacenados en memorias especiales. El objetivo principal es proponer una metodología para extraer, modificar y escribir el software de los módulos de control electrónico de vehículos, permitiendo optimizar su funcionamiento según necesidades específicas del usuario.

El método se divide en varias etapas, que incluyen la selección del módulo de control por marca/modelo del vehículo y fabricante del microcontrolador, la determinación de la lectura por diferentes métodos como K-TAG, VVDI-Prog, etc., el respaldo y tratamiento de la información extraída, la modificación de archivos y consideraciones del checksum, y el proceso de escritura de los registros modificados en el módulo de control. La aplicación del método demuestra su efectividad para corregir problemas específicos de emisiones, utilizando herramientas de lectura y escritura de registros, así como estrategias de comparación y modificación de datos. El documento subraya la importancia crítica de gestionar eficazmente el software en los módulos de control electrónico de vehículos modernos, así como la necesidad de desarrollar y aplicar metodologías prácticas y efectivas para abordar estos desafíos en el contexto de la reparación y el mantenimiento automotriz.

Palabras claves: Modulo de control electrónico, microcontrolador, checksum, software, DAMOS.

ABSTRACT

This work addresses the topic of electronic control systems in modern vehicles, focusing on process management, calculation, and governance through Electronic Control Modules (ECU). It is highlighted that control systems use a variety of sensors and actuators to interact with the ECU, which executes control programs stored in special memories. The main objective is to propose a methodology to extract, modify and write the software of vehicle electronic control modules, allowing their operation to be optimized according to specific user needs.

The method is divided into several stages, including selection of control module by vehicle make/model and microcontroller manufacturer, determination of reading by different methods such as K-TAG, VVDI-Prog, etc.,



backup and treatment of the extracted information, file modification and checksum considerations, and the process of writing the modified records to the control module.

The application of the method demonstrates its effectiveness to correct specific emissions problems, using log reading and writing tools, as well as data comparison and modification strategies. backup and treatment of the extracted information, file modification and checksum considerations, and the process of writing the modified records to the control module.

The application of the method demonstrates its effectiveness to correct specific emissions problems, using log reading and writing tools, as well as data comparison and modification strategies. The paper highlights the critical importance of effectively managing software in modern vehicle electronic control modules, as well as the need to develop and apply practical and effective methodologies to address these challenges in the context of automotive repair and maintenance.

Keywords: Electronic control module, microcontroller, checksum, software, DAMOS.

Recibido: Agosto 2024
Received: August 2024

Aceptado: Diciembre 2024
Accepted: December 2024

1. INTRODUCCIÓN

En los vehículos distribuidos en la actualidad los fabricantes han implementado, cada vez más, sistemas que generan asistencia, control, monitoreo, gestión mediante un Módulo de Control Electrónico (*Electronic Control Unit - ECU*) que trabaja en conjunto con transductores (sensores) y actuadores. Los sensores y actuadores forman como periféricos la interfaz entre el vehículo y la ECU como unidad de procesamiento. Además, existen buses de datos de comunicación bidireccionales (p. ej., bus CAN), a través de los cuales se intercambia información con otras ECU o sensores [1]. Principalmente, el objetivo de dichos sistemas es el incremento de la eficiencia energética, disminución de la complejidad en la distribución eléctrica (número de líneas de cable y conexiones), reducción del peso y la adaptación del vehículo a distintas condiciones topográficas, operativas, ambientales relacionadas con su circulación [2]. Los requisitos impuestos a las ECU están estandarizados en ISO 16750 [3]. También existen normas empresariales para todos los fabricantes de automóviles.

Para la gestión de los procesos, cálculo, gobierno, entre otros las ECUs utilizan una amplia gama de sistemas de control tanto de lazo abierto como de lazo cerrado, estos con base a parámetros que describen las condiciones de funcionamiento del mecanismo de interés, se procesan mediante uno o varios microcontroladores ejecutando el programa de control (*software*) que permite mediante una etapa de potencia, el control de los actuadores. El programa de control se almacena en una memoria especial del sistema y el hardware de la ECU lo ejecuta, procesando los algoritmos necesarios que permiten el correcto funcionamiento del sistema [4]. Generalmente el software de la ECU se almacena ya sea en memorias internas o externas al microcontrolador, dichas memorias son del tipo no volátil (ROM, PROM, EPROM, Flash EEPROM y EEPROM) y en dependencia de su tipo la información almacenada en éstas se puede o no borrar, además un módulo de control requiere para las operaciones de cálculo y guardado de resultados de memorias volátiles (SRAM y DRAM) las cuales no tienen una capacidad permanente de retención de su información, pues, ésta se elimina al retirar su alimentación eléctrica (ver Figura 1).

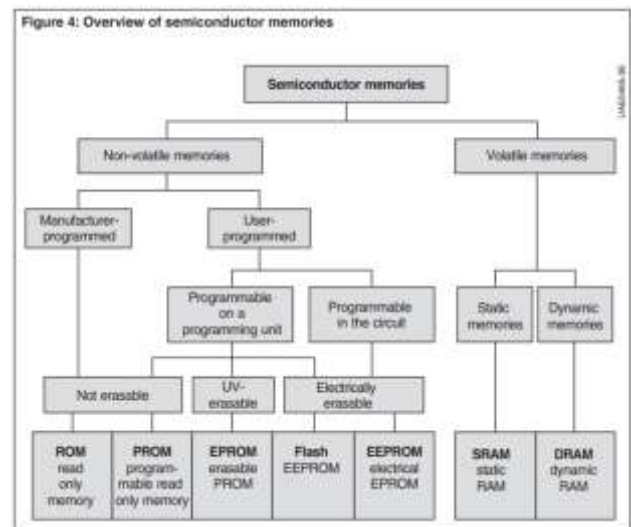


Figura 1. Tipos de memorias semiconductoras [5]

El software puede ser revisado por el fabricante y someterse a procesos de actualización para mejorar su desempeño, corregir averías, agregar funciones, entre otros. Además, en función de las prestaciones que incorpora el vehículo se pueden habilitar o desactivar características del mismo, como por ejemplo cuando la versión de un automóvil incorpora transmisión manual o automática, esta se puede gestionar por una PCM (*Powertrain Control Module*) incorporando el hardware necesario para la gestión del motor y la transmisión, pero, en el caso de una transmisión manual se deshabilita en su software el gobierno de la transmisión mediante la deshabilitación en la EEPROM, modificando su programación EoL (*End of Line*).

En muchos módulos de control, en el software almacenado, se pueden incorporar parámetros operativos relacionados con características propias y únicas de un vehículo (generalmente guardados en una memoria EEPROM y también en la Flash EEPROM), por citar algunas se pueden mencionar su VIN (*Vehicle Identification Number*), algoritmos del sistema antirrobo (IDs de transpondedores, *Crypto key*, *PIN Code*), características operativas del sistema como el número de arranques, SOH y SOC de la batería para el sistema de carga inteligente y el *start /stop*, equipamiento del vehículo según su programación EoL y muchas funciones más que variarán en número y complejidad en dependencia del fabricante y el modelo del automóvil.

La información registrada en las memorias ROM, PROM, EPROM, FLASH EEPROM, EEPROM de un módulo de control se almacena en formato

hexadecimal en una estructura tipo matricial con ordenamientos de filas y columnas; cada carácter hexadecimal contiene un nibble de información (4 bits) y los registros se pueden agrupar “palabras” en formatos de 8 bits, 16 bits y 32 bits en dependencia de la forma en la que trate la información el fabricante. En la Figura 2 se aprecia la información de la memoria EEPROM del microcontrolador de una ECM Denso Z601 con un formato de 8 bits utilizando 2 caracteres hexadecimales por cada posición de fila y columna (1 Byte).

	00	01	02	03	04	05	06	07	08	09	0A	0B	0C	0D	0E	0F
00000000	FF	5A	27	7A	2D	7C	84	DC	02	46	FF	01	00	00	E7	40
00000010	FF	33	00	00	FF	00	03	07	2C	A5	A3	01	A6	5A	FF	28
00000020	FF	26	FF	FF	FF	FF	FF	FF	FF	FF	FF	FF	FF	FF	FF	FF
00000030	FF	FF	FF	FF	FF	FF	FF	FF	FF	FF	FF	FF	FF	FF	FF	FF
00000040	FF	FF	FF	FF	FF	FF	FF	FF	FF	FF	FF	FF	FF	FF	FF	FF
00000050	30	30	32	30	31	30	FF	30	FF	FF	2A	FF	FF	FF	FF	FF
00000060	3D	03	FF	FF	FF	FF	41	FF	FF	FF	FF	FF	FF	FF	FF	FF
00000070	FF	FF	FF	FF	FF	FF	FF	FF	FF	FF	FF	FF	FF	FF	FF	FF
00000080	FF	FF	FF	FF	FF	FF	FF	FF	FF	FF	FF	FF	FF	FF	FF	FF
00000090	FF	FF	FF	FF	FF	FF	FF	FF	FF	FF	FF	FF	FF	FF	FF	FF
000000A0	FF	FF	FF	FF	FF	FF	FF	FF	FF	FF	FF	FF	FF	FF	FF	FF
000000B0	FF	FF	FF	FF	FF	FF	FF	FF	FF	FF	FF	FF	FF	FF	FF	FF
000000C0	FF	FF	9F	0E	30	FF	FF	34	5A	FF	56	FF	35	35	30	
000000D0	FF	FF	34	5A	34	20	34	35	33	39	FF	34	FF	41	FF	30
000000E0	FF	FF	FF	FF	FF	FF	FF	FF	FF	FF	FF	FF	FF	FF	FF	FF
000000F0	FF	FF	FF	FF	FF	FF	FF	FF	FF	FF	FF	FF	FF	FF	FF	FF

Figura 2. Información contenida en una la memoria EEPROM del MCU de una ECM Denso Z601

Generalmente, cuando los fabricantes realizan una revisión / actualización de la cartografía con la que opera un módulo de control, la información de las memorias EPROM, FLASH EEPROM, EEPROM se modifica, a través de una reprogramación Flash (*Flash reprograming*) y la nueva versión de software se la conoce generalmente como una calibración. Su implementación se sustenta en un estudio de operatividad del sistema que se gestiona, mejorando su desempeño o corrigiendo averías, cuando esto se ha realizado se genera un Boletín Técnico de Servicio (TSB) donde se describen las optimizaciones realizadas y el proceso para la carga de dicha calibración en un módulo de control.

Con relación a lo mencionado con anterioridad, la dificultad que se presenta en el ámbito de la reparación, mantenimiento y diagnóstico de los sistemas automotrices con pertinencia a la temática citada radica principalmente en la falta de accesibilidad a las herramientas que tratan el software de los módulos de control automotrices, el alto costo de estas e incluso los bloqueos regionales para su compra y acceso, haciendo que el servicio de actualización sea casi exclusivo del centro autorizado por el fabricante, generando inconvenientes cuando se necesita cambiar un

módulo dañado, cargar su software, actualizarlo y programar su configuración EOL.

Además, en el Ecuador, el poder adquisitivo de la población es limitado si se compara con los países desarrollados, donde los repuestos y vehículos tienen un costo inferior y el ingreso promedio por persona es mayor, la necesidad del usuario que demanda de los técnicos la reparación de módulos de control (a pesar de que los fabricantes de automóviles no lo recomienden) es evidente y en algunos casos dichos procesos se complementan con la modificación de su software, justificando ante esto la necesidad generar una metodología para tratar dicha información.

Inicialmente, se plantea una metodología que permita tratar la información de los módulos de control de motor, resaltando que al poder modificar el mismo se puede optimizar el funcionamiento de un vehículo adaptándolo a una necesidad específica del usuario, ya sea ésta en mejoramiento de las prestaciones asociadas a la potencia o la economía de combustible. Además de poder cargar revisiones de software sin herramienta oficial del fabricante.

La aplicación de dicha metodología se realizará sobre la PCM de un vehículo JAC S5 2020 con problemas de emisiones para la mejora del desempeño, dicha reparación en la actualidad incluye averías relacionadas con el software de las ECUs, donde es relevante poder extraer el mismo de las memorias / microcontroladores, respaldarlo, modificarlo (en el caso de ser necesario) y escribirlo nuevamente utilizando equipos dedicados para este uso (programadores).

2. MATERIALES Y MÉTODOS

En el mercado se ofertan equipos que vulneran la seguridad de los componentes de interés (memorias y microcontroladores) permitiendo su lectura y escritura, entre los ofertados para la extracción de información de ECUs de motor (ECM), tren motriz (PCM) y caja de cambios (TCM) se pueden citar: K-Tag, Kess y Powergate de Alientech, New Genius y New Trasdata de Dimsport, Flex de MagicMotorsport, VVDI-Prog (oferta limitada de modelos de ECM) de Xhorse. Siendo relevantes para esta investigación los equipos K-Tag, Kess y VVDI-Prog.

A su vez la información leída puede modificarse mediante software de uso específico para esta

aplicación, los programas más comunes en el mercado con este fin son WinOLS de EVC Electronic, ECM Titanium de Alientech, Race de Dimsport, siendo relevante para esta investigación la modificación mediante WinOLS.

Respecto a la generación de una metodología que permita la extracción de la información, su modificación y posterior escritura en el módulo de control se aporta por parte de los investigadores el desarrollo de una secuencia ordenada de procedimientos que dictaminan si es o no factible dicho proceso, el cual se describe en las siguientes subsecciones de este apartado.

A. Selección del módulo por marca / modelo del vehículo, familia del módulo de control y fabricante del microcontrolador

Las herramientas citadas con anterioridad permiten una selección del módulo en función de diversos parámetros, en términos generales se categorizan las ECUs en función del fabricante del vehículo, su modelo y familia de ECM, por citar un ejemplo práctico con el software K-Suite utilizado por K-Tag y Kess con referencia en la Figura 3 se aprecia que para el vehículo del fabricante Peugeot cuyo modelo es 207 del año 2009 se puede seleccionar una ECM de la marca Bosch cuya familia es MED 17.4.



Figura 3. Selección de ECM perteneciente a un vehículo Peugeot 207 2009 en el software K-Suite [6]

También se puede seleccionar el módulo en función del fabricante del Microcontrolador que equipa, por citar algunos de los que más se encuentran en ECMs y PCMs del campo automotriz están: ST, Renesas, Infineon, Mitsubishi, NEC, Motorola, entre otros.

B. Determinación de lectura por puertos JTAG, BDM, Boot Mode, K-Line, CAN Bus, línea

dedicada, extracción del componente o desde el DLC

Los fabricantes de los vehículos pueden permitir o no la extracción y escritura de la información de una ECM, PCM o TCM directamente desde el DLC (puerto OBDII o SAE J1962), por lo que no llega a ser necesario retirar la ECU del vehículo, generalmente, los procesos citados se realizan por K-Line en módulos antiguos y CAN Bus en ECUs actuales. Entre las herramientas que pueden realizar una lectura y escritura de esta forma se destacan Kess, Flex y New Genius, pero, es importante resaltar que en el proceso se debe respaldar la alimentación de la batería mediante un equipo dedicado (estabilizador de tensión) como se muestra en la Figura 4.



Figura 4. Extracción de información de ECM Transtron 8982107100 de Isuzu DMax 3.0 2016 mediante Kess, respaldo de batería con estabilizador de tensión Schumacher INC-100

Los módulos pueden incorporar en su PCB (*Printed Circuit Board*) puertos de uso específico para la lectura y escritura de la información presente en sus memorias / microcontrolador, estas terminales se conocen como puertos JTAG (*Joint Test Action Group*) o BDM (*Background Debug Mode*) como se aprecian en la Figura 5, para la lectura/escritura se puede soldar líneas a los terminales aportados por la herramienta o utilizar un adaptador específico en conjunto con una mesa BDM (Figura 6).



Figura 5. Puerto BDM en PCB de ECM Bosch MED 17.4 de Peugeot 207.



Figura 6. Conexión a ECM Bosch MED 17.4 de Peugeot 207 mediante puerto BDM con adaptador 14P600KT04 utilizado en K-Tag [7].

Ciertos microcontroladores / memorias requieren de una conexión externa para permitir la lectura y escritura de su información, la cual se suele indicar en el software de la herramienta utilizada (Figura 7), a través de lo citado el componente estaría en Boot Mode, es importante considerar que la lectura / escritura se hace mediante conexiones directas a sus terminales (microcontrolador / memoria), uso de un puerto BDM / JTAG o conexión a la bornera del módulo de control mediante K-Line, CAN Bus o línea dedicada (Figura 8), por lo que no resulta suficiente la conexión única del terminal del Boot Mode (Figura 9).



Figura 7. Puntos de conexión a MCU Infineon TriCore TC1766 de ECM Delphi MT-60 para lectura por CAN Bus utilizando VVDI-Prog [8].



Figura 8. Lectura de ECM Hitachi A56-Y32 de Nissan X-Trail 2010 soldando líneas dedicadas utilizando K-Tag.



Figura 9. Conexión para Boot Mode de MCU Infineon TriCore TC1766 de ECM Delphi MT-60 correspondiente a Chevrolet Sail 2013, lectura posterior por CAN Bus mediante VVDI-Prog.

La conexión de elementos directamente en la PCB no siempre es una opción viable, en ocasiones resulta necesario la extracción del elemento de interés (Figura 10) para colocarlo en un sócalo / adaptador específico (Figura 11), es importante recalcar que en estos procesos el usuario debe evaluar la dificultad en el soldado / desoldado del componente, pues la funcionalidad del módulo de control puede estar comprometida si el usuario no posee la pericia para la ejecución del proceso, además se debe considerar la limpieza de la superficie de contacto y el aislamiento térmico de los elementos en la periferia de la memoria / microcontrolador cuando se desmonta y monta este utilizando calor.



Figura 10. Desoldado de memoria EEPROM ST9501K de ECM Híbrida Delphi HV-340 de Chevrolet Corsa Evolution 2006 para posterior lectura con VVDI-Prog



Figura 11. Lectura de memoria EEPROM 93C66 extraída de ECM Hitachi A56-Y32 de Nissan X-Trail 2010 mediante VVDI-Prog.

C. Respaldo y tratamiento previo de la información

Es importante destacar que se debe asegurar la integridad de la información extraída de un módulo de control se requieren realizar varias lecturas del microcontrolador / memoria en cuestión, se utiliza software específico para comparar la información de la lectura número 1 y la lectura número 2 asegurando su integridad si estas son iguales, entre los programas que pueden cumplir la actividad mencionada se citan: UltraCompare, UltraEdit, Batronix Prog-Express Express, Software de VVDI-Prog, entre otros. La información debe guardarse con parámetros de interés que identifiquen al módulo leído como pueden ser placa del vehículo, año modelo/ serie, VIN, marca y familia de ECM, defecto previo, defecto corregido, procesos realizados o cualquier parámetro que permita identificar los registros (Figura 12).

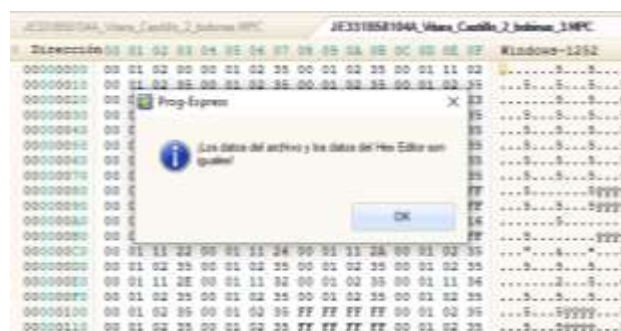


Figura 12. Comparación de registros de dos lecturas realizadas en módulo Mitsubishi E6T13 de un Suzuki Gran Vítara 2007.

D. Modificación de archivos y consideraciones del checksum

Los registros de los módulos de control pueden estar protegidos ante procesos de modificación por parte del fabricante, en el campo de la telecomunicación, transmisión de datos y programación una de las estrategias más comunes de uso para verificar la integridad de la información es el cálculo de la suma de comprobación o *checksum* de su data [9], dicho proceso consiste en aplicar un algoritmo que utilice total o parcialmente la información de la memoria o el microcontrolador aportando un resultado esperado, el cual, se somete a comparación con el registro de *checksum* grabado en la memoria y asegura que los registros no han sido modificados; cabe destacar que en la data pueden existir algunas zonas de comprobación de *checksum* de la información.

Las herramientas de lectura y escritura pueden identificar dentro de su base de datos (presente en su software) las zonas de corrección de *checksum* y ajustarlas para mantener la coherencia en estos registros, los programadores K-Tag, Kess de Alientech y New Trasdata de Dimsport tienen la facultad de realizar este proceso, pero, también hay herramientas que no permiten dicha corrección cuando se escriben archivos modificados en la memoria / microcontrolador como lo son Flex de Magicmotorsport, VVDI-Prog de X-Horse y New Genius de Dimsport, por lo cual, es imperativo que previo a la escritura se realicen correcciones de *checksum* con software especializado para este uso, por citar un caso mediante WinOLS se pueden comprar *checksum points* aplicables a un grupo de familias de módulos de control que permiten la corrección previa de dichos registros antes de su escritura.

Es importante destacar también que la información extraída debe ser segmentada y delimitada, pues, dentro de esta se almacenan registros asociados a cartografía, DTCs, programación EoL, registros particulares del vehículo (VIN, kilometraje / millaje, aprendizajes, por mencionar algunos). En WinOLS se puede cargar sobre los registros de lectura de una memoria / microcontrolador un registro DAMOS (*Database for Microcontroller Oriented Systems*) [4], el cual delimita y segmenta los registros, siendo de carácter relevante para su uso considerar la versión de hardware y software para la que es aplicable el DAMOS en cuestión (Ver Figura 13), generalmente los archivos mencionados tienen un costo y se adquieren de proveedores externos.

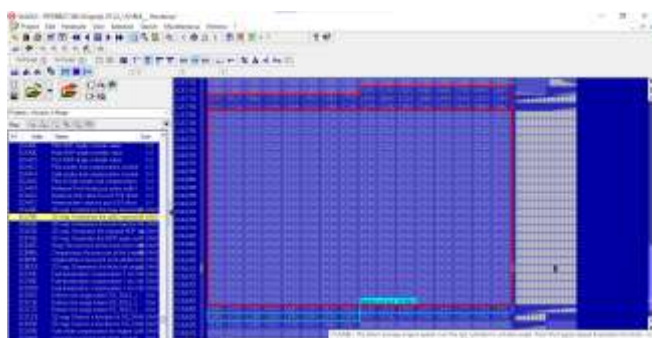


Figura 13. DAMOS aplicado a registros de tractocamión Peterbilt 386 en WinOLS, enmarcado en rojo se delimita un mapa de cartografía y a la izquierda se lista.

Los registros modificados se pueden exportar como

un archivo independiente y su extensión varía en función de la herramienta que se utiliza para leer y escribir la información en el módulo de control, las extensiones de uso común en K-Tag y Kess son: MPC para registros del microcontrolador, EPR para registros de la memoria EEPROM, FLS para los registros de la Flash EEPROM, MAPAS para registros de cartografía que permiten su trabajo en WionOLS (solo en Kess) y registros *Backup* que son respaldos comprimidos de toda la información del elemento leído (Figura 14).

Nombre	Tipo	Tamaño
SID904 Backup	Archivo	603 KB
SID904.EPR	Archivo EPR	4 KB
SID904.FLS	Archivo FLS	2,048 KB
SID904.MAPAS	Archivo MAPAS	2,560 KB
SID904.MPC	Musepack Audio ...	513 KB

Figura 14. Extensiones de registros leídos de una ECM Siemens SID904 utilizando Kess [10].

E. Proceso de escritura de registros

La escritura de la información en un módulo de control debe considerar la secuencia ordenada de pasos aportada en el proceso de lectura, es relevante definir la acción a realizar con los archivos pues en el caso de una clonación de módulos de control resulta suficiente la escritura de registros sin modificar, o inclusive solamente de los que tengan relación con la programación EoL.

En el caso de registros modificados se debe necesariamente evaluar los aportes con relación a corrección de *checksum* y extensiones pertinentes al elemento de escritura, además de comprobar el tamaño del registro, que debe ser igual al original.

3. RESULTADOS

El presente método se aplica en una reparación de un vehículo marca JAC, modelo S5 del año 2020 que incorpora una ECM marca Delphi MT-80, con un sistema de inyección indirecta a gasolina que gobierna un motor Turbo Green Jet 2.0.

Con referencia en el informe técnico de la avería anexo en su apartado "Etapa 1: Verificar el Reclamo o Problema", se detalla que el vehículo genera altas emisiones de Monóxido de Carbono (CO) en prueba de ralentí acelerado en RTV (2500

rpm) con base a NTE INEN 2204, después de la revisión correspondiente de sistemas asociados a la avería se identifica que el sistema de inyección no considera la señal del S_{1B_1} de O_2 para regular el Ajuste de Combustible al Corto Plazo (*Short Therm Fuel Trim* - STFT) ni el Ajuste de Combustible al Largo Plazo (*Long Therm Fuel Trim* - LTFT) a pesar de que se cumple la condición para entrar en condición operativa de Lazo Cerrado (*Closed Loop*) según PIDs aportados en la línea de datos de la ECM verificado con equipo de diagnóstico (Figura 15).



Figura 15. Registros de PIDs de ECM Delphi MT-80 de vehículo JAC S5 2020 asociados a STFT, LTFT, $S_{1B_1}O_2$ y condición operativa en Lazo cerrado.

Con base en el apartado “Etapa 5: Reparación del problema” del informe técnico anexo se evidencia que cuando las revoluciones se incrementan se puede ver que el $S_{1B_1}O_2$ retroalimenta a la ECM sobre una dosificación con riqueza en la mezcla aire combustible, su tensión llega aproximadamente a 0,93V, lo cual consecuentemente según el comportamiento típico de los motores de combustión la gasolina generará un incremento de las emisiones de CO, HC; además, de esto se repercutirá en la reducción del coeficiente Lambda (<1), la cantidad de O_2 y CO_2 (la reducción de este gas indica una combustión deficiente, pero, que dicha condición disfuncional se corrige en el vehículo al accionar el aire acondicionado pues se modifican las condiciones de carga sobre el motor y se varía el STFT según el aporte operativo mencionado en [11] por Martin (ver Figura 16).

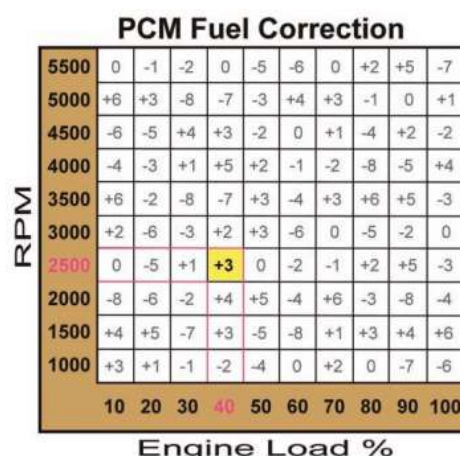


Figura 16. Mapa general de valores adaptativos de ajuste de combustible STFT en función del régimen de giro del motor y su carga [11].

Según información aportada por el centro de servicio autorizado de la marca, en una investigación previa con referencia a la avería, un lote de los vehículos en cuestión no gestiona correctamente el ajuste de combustible a corto plazo al régimen de giro y condiciones de carga de la prueba en ralentí acelerado según RTV bajo NTE INEN 2204 (2500 rpm, sin carga con vehículo estacionario), siendo necesaria una actualización de los registros de la Flash EEPROM, pero, la carga de la nueva calibración no es factible debido a la indisponibilidad del equipo necesario para el proceso.

Cabe destacar que en una campaña de corrección de la avería en cuestión en el pasado el centro de servicio autorizado actualizó parte de la flota con el problema mediante personal autorizado de fábrica, y que de dicho proceso se posee una ECM que almacena la calibración mencionada.

En primera instancia se lee la información de la ECM mencionada con dos equipos, K-Tag y VVDI-Prog, la información de la Flash EEPROM del microcontrolador Infineon Tricore TC1766 se segmenta en dos, PFlash (*Program Flash*) y DFlash (*Data Flash*), sus pesos según información técnica del fabricante son de 1504KB y 32KB respectivamente [12], para el proceso de lectura se debe realizar una conexión para el *Boot Mode* la cual se aprecia en la Figura 17 con referencia al software VVDI-Prog, la lectura se da mediante CAN Bus.



Figura 17. Conexión de módulo Delphi MT-80 V3 para lectura y escritura por CAN Bus y Boot Mode con referencia al so VVDI-Prog [8].

No se dispone de un DAMOS para el vehículo en cuestión que permita la segmentación de la información de la DFlash en partes y mapas para migrar los correspondientes, por lo que mediante estrategias de comparación entre registros se modifica la información distinta entre archivos resaltando que, no se puede migrar toda la información principalmente porque en ella existen registros asociados al sistema antirrobo del vehículo lo cual inhabilita su arranque inmovilizándolo, la comparación de registros se observa en la Figura 18 y para la misma se utiliza el software de VVDI-Prog.

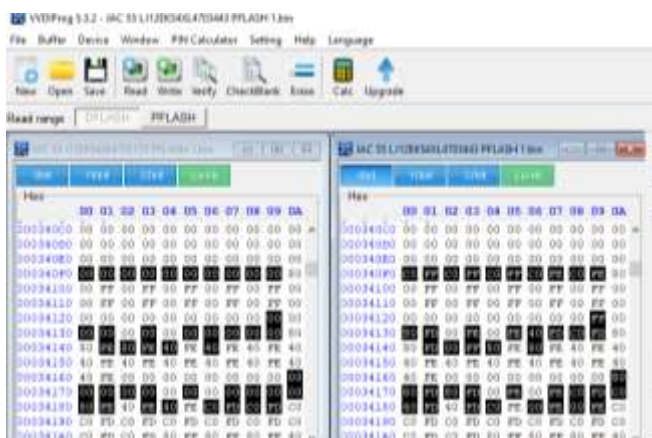


Figura 18. Comparación de registros entre versiones de ECMs, diferencias marcadas en negro

Mediante la migración progresiva de datos se escriben los registros en el módulo utilizando K-Tag, ya que al no tener la facultad de corrección de *Checksum* VVDI-Prog el vehículo inhabilita el arranque debido a incoherencias en dicho parámetro, la modificación por partes del registro de la DFlash de la ECM mencionada corrige la avería con referencia a la emisión de CO y HC en prueba estática en ralentí acelerado según NTE INEN 2204 detallado en el informe técnico anexo.

4. CONCLUSIÓN

El aumento en la complejidad de los sistemas de vehículos contemporáneos, junto con la implementación de sistemas de control electrónico, destaca la importancia de gestionar eficazmente el software de los módulos de control electrónico para garantizar un rendimiento óptimo y cumplir con los estándares de emisiones.

La dificultad para acceder y modificar el software de los módulos de control electrónico, debido a barreras como el alto costo de las herramientas especializadas y los bloqueos regionales, subraya la necesidad de desarrollar metodologías accesibles y eficaces para la reparación y el mantenimiento de vehículos.

El proceso de extracción, modificación y escritura de software en los módulos de control electrónico presenta una serie de desafíos técnicos, como la selección adecuada de parámetros, la manipulación física de componentes electrónicos y la corrección de errores de checksum. Estos desafíos resaltan la importancia de contar con personal capacitado y herramientas adecuadas.

La aplicación del método propuesto en la reparación de un vehículo específico demuestra su efectividad para corregir problemas específicos de emisiones, lo que resalta la relevancia práctica de la metodología desarrollada y su capacidad para abordar problemas reales en la industria automotriz.

El documento subraya la importancia crítica de gestionar eficazmente el software en los módulos de control electrónico de vehículos modernos, así como la necesidad de desarrollar y aplicar metodologías prácticas y efectivas para abordar estos desafíos en

el contexto de la reparación y el mantenimiento automotriz.

5. REFERENCIAS

- [1] H. Randoll, Elektronische Steuerung von Dieselmotoren, Wiesbaden, 2016.
- [2] . F. Landhäußer, A. Michalske, M. L. Susaeta, . M. Grosser, M. Heinzelmann, J. Feger, L.-M. Fink, W. Gerwing, G. Klaus , B. Illg, J. Kurz, R. Mayer, D. Ottenbacher, A. Werner, J. Wiesner y M. Walther, Electronic Diesel Control (EDC), Wiesbaden : Springer , 2014.
- [3] ISO, «ISO 16750: Road vehicles – Environmental conditions and testing for electrical and electronic equipment.,» vol. 3, p. 13, 2018.
- [4] F. Landhäußer, A. Michalske, M. L. Susaeta, M. Grosser, M. Heinzelmann, J. Feger, L.-M. Fink, W. Gerwing, G. Klaus, B. Illg, J. Kurz, R. Mayer y D. Ottenbacher, Electronic Control Unit (ECU), Wiesbaden: Springer, 2014.
- [5] K.-H. Dietsche y . K. Reif , Automotive Handbook, Karlsruhe: Robert Bosch GmbH, 2022.
- [6] Alientech Srl, «Selección de ECM en K-Suite,» Alientech Srl, Trino, 2012.
- [7] Alientech Srl, «Adaptador 14P600KT04,» Alientech Srl, Trino, 2012.
- [8] Shenzhen Xhorse Electronics Co., Ltd., «Diagrama de conexión para lectura de ECM Delphi MT-60,» Shenzhen Xhorse Electronics Co., Ltd., Shenzhen , 2024.
- [9] M. Barr, Programming Embedded Systems in C and C++, California: O'Really & Associates, Inc., 1999.
- [10] R. Pintado, «Curso de Reprogramación en Vehículos Automotores con WinOLS,» Instituto de Tecnología Automotriz Avanzada ITAA, Montevideo, 2020.
- [11] T. Martin , How to use Automotive Diagnostic Scanners, Minneapolis: Motorbooks, 2015.
- [12] Infineon Technologies AG, Data Sheet, V1.0 TC1766 32-Bit Single-Chip Microcontroller TriCore, Múnich: Infineon Technologies AG, 2008.



Diseño de un sistema de Gestión de inocuidad basado en la norma FSSC 22000 (FOOD SAFETY SYSTEM CERTIFICATION) V5.0 para la empresa Lactalis del Ecuador S.A.

Design of a safety management system based on the FSSC 22000 standard (FOOD SAFETY SYSTEM CERTIFICATION) V5.0 for the company Lactalis of Equator S.A



Diseño de un sistema de Gestión de inocuidad basado en la norma FSSC 22000 (FOOD SAFETY SYSTEM CERTIFICATION) V5.0 para la empresa Lactalis del Ecuador S.A.

Design of a safety management system based on the FSSC 22000 standard (FOOD SAFETY SYSTEM CERTIFICATION) V5.0 for the company Lactalis of Equator S.A.

Myriam Elizabeth Saigua Maigua¹

Marcia Yolanda Núñez Orozco²

Jesús Ramón López Salazar³

Carmita del Pilar Altamirano Calderón⁴

¹Empresa Lactalis del Ecuador S.A., Ecuador, myriam.saigua@espoch.edu.ec

²Instituto Superior Universitario Carlos Cisneros, Ecuador, marcia.nunez@istcarloscisneros.edu.ec

³Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Ecuador, jesus.lopez@espoch.edu.ec

⁴Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Ecuador, carmita.altamirano@espoch.edu.ec

RESUMEN

La presente investigación tuvo como objetivo Diseñar un sistema de gestión de Inocuidad basado en la norma FSSC 22000 (FOOD SAFETY SYSTEM CERTIFICATION) V5.0. para la empresa Lactalis del Ecuador S.A. El enfoque metodológico que se adoptó incluyó varias fases. Primero se organizaron los requisitos previos para las operaciones, incluido el diseño de edificios, el control de alergias y el control de plagas ect. Posterior se implementó el Plan HACCP de acuerdo con la norma FSSC 22000 V5.0, tomando en cuenta ciertos productos lácteos como mantequilla, yogurt, queso crema, leche entera y leche descremada. Para combatir el fraude alimentario, se creó simultáneamente un Programa de Gestión de la Defensa Alimentaria. Los resultados fueron dignos de mención. La auditoría obtuvo una puntuación de 128 puntos, considerándose el 55,50% de conformidades y el 44,50% de no conformidades. Se implementaron programas de seguridad alimentaria para optimizar la gestión de riesgos y la reducción de peligros en todo el proceso de fabricación. La ejecución de los programas tuvo éxito, como lo demuestran los hallazgos, tanto en términos de seguridad alimentaria como de cumplimiento normativo. Para garantizar la eficacia a largo plazo, se sugirió realizar capacitación del personal, esfuerzos de mejora continua y evaluación continua de los procedimientos antifraude. Gracias a esta iniciativa, LACTALIS DEL ECUADOR se ha consolidado como pionero en el sector de productos lácteos, demostrando una fuerte dedicación a la calidad y avances continuos en seguridad alimentaria.

Palabras claves: Seguridad alimentaria, Defensa de alimentos, Fraude alimentario, Prerrequisitos operaciones, Estándares normativos.



ABSTRACT

The aim of the present investigation was to Design a safety management system based on FSSC 22000 (FOOD SAFETY SYSTEM CERTIFICATION) V5.0. for the company Lactalis del Ecuador S.A. The methodological approach adopted included many stages. First, the requirements for operations were organized, including building design, allergy control and pest control ect. The HACCP Plan was then implemented in accordance with FSSC 22000 V5.0, taking into account certain dairy products such as butter, yogurt, cream cheese, whole milk and skimmed milk. To combat food fraud, a Food Defence Management Programme was created simultaneously. The results were worth mentioning. The audit obtained a score of 128 points, with 55.50% of responses being considered positive and 44.50% not satisfied. Food safety programmes were implemented to improve risk management and hazard reduction throughout the manufacturing process. The implementation of the programmes was successful, as the findings show, both in terms of food safety and compliance. In order to ensure long-term effectiveness, staff training, continuous improvement efforts and ongoing evaluation of anti-fraud procedures were suggested. Thanks to this initiative, Lactalis of Equator has consolidated itself as a pioneer in the dairy sector, demonstrating a strong commitment to quality and continuous advances in food safety.

Keywords: Food safety, Food defence, Food fraud, Prequired operations, Normational satandars.

Recibido: Agosto 2024
Received: August 2024

Aceptado: Diciembre 2024
Accepted: December 2024

1. INTRODUCCIÓN

Según las directrices establecidas por la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) desde la Cumbre Mundial sobre la Alimentación (CMA) de 1996, la seguridad alimentaria se logra cuando todos tienen acceso físico y financiero constante a suficientes alimentos seguros y ricos en nutrientes. para satisfacer sus necesidades y deseos de nutrición a nivel individual, familiar, nacional e internacional, permitiéndoles llevar una vida activa y una salud ideal [1].

Con el transcurso del tiempo, la progresión de los sistemas de gestión de la calidad y seguridad alimentaria se ha vuelto un factor fundamental para despertar el interés de las organizaciones en considerar las expectativas del consumidor, el impacto ambiental, las condiciones laborales de sus empleados y, sobre todo, las circunstancias en las que se fabrican sus productos con el fin de asegurar tanto la calidad como la inocuidad. Asimismo, este proceso ha propiciado que las organizaciones se impongan a sí mismas estándares y criterios exigentes que determinen la calidad de sus procesos y/o productos, permitiéndoles mantenerse de manera sostenible a lo largo del tiempo [2].

La seguridad alimentaria representa una preocupación primordial en términos de salud pública para todas las naciones y se sitúa como una de las prioridades más destacadas tanto para los consumidores, los productores como para los gobiernos. En este contexto, según [3], la inocuidad de los alimentos se define como el conjunto de condiciones y acciones que deben llevarse a cabo durante la producción, almacenamiento, distribución y preparación de alimentos. El propósito es garantizar que, al ser consumidos, no representen un riesgo apreciable para la salud del consumidor, es decir, productos que no contengan agentes químicos, físicos o biológicos ajenos a su composición [4].

En los últimos años, se han experimentado diversos avances en el ámbito de la seguridad alimentaria. Por este motivo, resulta crucial asegurar la producción de alimentos seguros a través de un sistema de aseguramiento de calidad, el cual respalde y diferencie los productos de las empresas respecto a la competencia [5]. Las principales preocupaciones de las compañías dedicadas a la

producción de alimentos incluyen la protección de su marca, el cumplimiento de los numerosos requisitos y normativas relacionadas con la inocuidad alimentaria, así como la oferta de alimentos seguros a los consumidores [6].

Estas empresas enfrentan desafíos como la necesidad de estandarizar la producción, seguir las buenas prácticas de manufactura en todos los eslabones de los procesos, reducir riesgos para los consumidores, obtener certificaciones de seguridad alimentaria y aumentar su productividad y competitividad tanto en el mercado local como internacional [7]. Al abordar estos desafíos mediante el diseño de un sistema de gestión de inocuidad basado en la norma FSSC 22000, se contribuye a resguardar las marcas y a proteger la salud pública de todos los consumidores [8].

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Para este estudio se trabajó bajo una metodología de investigación deductiva, que sigue una trayectoria de lo general a lo particular, dentro de sus parámetros específicos [9]. Este método facilita la toma de decisiones basadas en supuestos racionales que cumplen con los estándares establecidos por el estándar FSSC 22000 V5.0. Por lo tanto, un marco lógico para la creación y ejecución del Sistema de Gestión de Seguridad lo proporciona la metodología deductiva, que permite la aplicación de lineamientos y estándares amplios especificados por la norma a las circunstancias particulares de Lactalis del Ecuador S.A.

Tipo y diseño de la investigación

El estudio utilizó un método exploratorio y descriptivo con el fin de proporcionar información para mejorar la gestión de la seguridad alimentaria basado en la norma FSSC 22000 V5 [10]. La elección del diseño del estudio de caso se hizo para permitir un examen exhaustivo y contextualizado de las circunstancias únicas de la empresa, teniendo en cuenta sus características y dificultades únicas.

Método cualitativo

El estudio incluyó entrevistas semiestructuradas con personas clave y observación participante para recopilar información sobre la cultura organizacional, los procedimientos de gestión de seguridad ya

implementados y las impresiones del personal sobre la implementación del nuevo sistema [11].

Método cuantitativo

Para obtener información cuantitativa sobre la eficacia del Sistema de Gestión de Seguridad sugerido, se utilizaron cuestionarios estructurados [12]. La eficacia del nuevo sistema se evaluó utilizando determinadas métricas cuantitativas, como las tasas de incidencia relacionadas con la seguridad alimentaria.

Enfoque de la investigación

Se utilizó un enfoque de investigación mixto, integrando los hallazgos cualitativos y cuantitativos para lograr una comprensión integral y completa [13]. Si bien la técnica cuantitativa permitió la evaluación objetiva del desempeño del sistema, el enfoque cualitativo permitió una investigación en profundidad de las perspectivas del sistema de gestión de la calidad.

Alcance de la investigación

El alcance se centró en el diseño e implementación del Sistema de Gestión de Inocuidad en Lactalis del Ecuador S.A. Se abordaron aspectos específicos apoyados en la normativa ISO 22000: 2018 + ISO 22002-1 y la FCCS 22000 V5 que evaluaron los requisitos de un sistema de gestión de calidad, el cumplimiento de los requisitos adicionales establecidos por la FCCS y la revisión de la gestión de prerrequisitos específicos requeridos por el esquema para la defensa y autenticidad de los alimentos. El estudio se limitó al periodo de implementación y se centró en medir y evaluar la mejora continua de las prácticas de inocuidad alimentaria en la empresa [14].

Población de estudio

La población objeto de investigación en esta investigación incluyó todas las regiones bajo la organización Lactalis del Ecuador S.A. Esta amplia gama incluye no sólo el ámbito de la administración sino también los dominios operativos, que van desde la logística hasta la fabricación de los alimentos [15].

Técnica de recolección de datos primarios y secundarios

Se encuestó a los empleados de la empresa en muchos departamentos, se entrevistó a gerentes y supervisores y se realizaron inspecciones in situ en las instalaciones de la empresa [16]. Cuestionarios estructurados, entrevistas semiestructuradas y observaciones directas fueron las herramientas utilizadas en el estudio para recopilar datos primarios. Estos fueron creados para evaluar la percepción de los empleados y recopilar datos cualitativos sobre los procedimientos de gestión de seguridad alimentaria. Se examinaron informes internos, registros de auditorías anteriores y leyes relevantes para el negocio alimentario en relación con datos secundarios.

Instrumentos para procesar datos recopilados

Se emplearon varios equipos a lo largo de la fase de procesamiento de datos de la recopilación. Se utilizó el programa informático Microsoft Excel para organizar y comparar datos pertinentes [17]. Esta herramienta fue crucial para llegar a hallazgos importantes y ayudar en la toma de decisiones durante la instalación del Sistema de Gestión de Seguridad de Lactalis del Ecuador S.A.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

1. Diagnóstico a la empresa en cuanto al cumplimiento de los requisitos exigidos por la norma FSSC 22000 V5.0.

Con el fin de determinar el estado actual de la empresa y los vacíos que es necesario cubrir para llegar al estado ideal, es decir, el cumplimiento de todos los requisitos de la norma, se realizó una auditoría de diagnóstico. Mediante este procedimiento fue factible crear un plan de acción y ponerlo en práctica para conocer las "no conformidades" y las "oportunidades de mejora" descubiertas, orientando así el sistema hacia la mejora continua. Los tres requisitos principales del esquema FSSC 22000 V5.0 (ISO 22000:2018, ISO 22002-1:2009 y los requisitos adicionales de FSSC 22000 V5.0) se tuvieron en cuenta durante toda la auditoría de evaluación. Con base en un criterio de calificación predeterminado, los resultados mostraron incumplimiento, cumplimiento, y programas de desarrollo (Defensa y Fraude). Ver tabla 1.

Tabla 1: Auditoria de diagnóstico de la empresa

1RA PARTE CHECK-LIST - ISO 22000:2018				
Requisito	Descripción	Número de Cláusulas	Cláusula que Cumple	Porcentaje de Cumplimiento
4	Contexto de la organización	4	0	0.00
5	Liderazgo	12	4	33.33
6	Planificación	11	2	18.18
7	Soporte	22	11	50.00
8	Operación	55	43	78.18
9	Evaluación de desempeño	5	3	60.00
10	Mejora	3	3	100.00
Total de porcentaje de cumplimiento				59.00

Utilizando la lista de verificación basada en la norma ISO 22000:2018 para sistemas de gestión de seguridad alimentaria. La evaluación reveló que la cláusula relativa al contexto organizacional no cumplía con ninguna de las cuatro cláusulas, resultando en una calificación de cumplimiento del 0,00%. En materia de liderazgo, se descubrió que sólo cuatro de las doce cláusulas o el 33,33%— se cumplieron respectivamente. Sólo se cumplieron dos de los once puntos de la planificación, lo cual demuestra un grado de cumplimiento deficiente (18,18%). En lo relacionado al soporte se cumplieron 11 de las 22 cláusulas, con un cumplimiento parcial del 50,00%.

La operación mostró un fuerte índice de cumplimiento del 78,18%, satisfaciendo 43 de las 55 cláusulas. Con respecto a la evaluación de desempeño se evidencio un cumplimiento del 60,00%. Por último, la mejora alcanzó el 100,00%. El porcentaje de cumplimiento ponderado de todas las fases evaluadas fue del 59,00%, determinando que varias áreas requieren mayor atención y modificaciones para satisfacer completamente los estándares de la norma.



Figura 1: Auditoria de diagnóstico de la empresa

Tabla 2: Descripción de los requisitos del esquema FSSC 22000 V5

1RA PARTE CHECK-LIST - FCCS 22000 V5				
Requisito	Descripción	Numero de Clausulas	Cláusula que Cumple	Porcentaje de Cumplimiento
2.5.1	Gestión de Servicios	1	1	100.00
2.5.2	Etiquetado de Producto	1	1	100.00
2.5.3	Defensa de los alimentos	3	0	0.00
2.5.4	Mitigación del fraude alimentario	5	0	0.00
2.5.5	Uso del logotipo	1	0	0.00
2.5.6	Gestión de alérgenos	4	4	100.00
2.5.7	Control Ambiental	1	0	0.00
Total de porcentaje de cumplimiento				38.00

La tasa de cumplimiento general del 38,00% indica que, para aumentar el cumplimiento general de los criterios del esquema FCCS 22000 V5, se debe prestar especial atención a las áreas de defensa alimentaria, mitigación del fraude alimentario, uso del logotipo y gestión ambiental.





Figura 2: Descripción de los prerrequisitos de la normativa FSSC 22000 V5

Tabla 3: Calificación obtenida en la auditoria de diagnóstico

Resumen	Valor	%
Total de puntos que no aplica	0	0.00
Total de puntos que cumple	71	55.50
Total de puntos no conformes	57	44.50
Total de puntos evaluados	128	100.00

Del resumen general de la auditoría se desprende una valoración de 128 puntos. De ellos, el 55,50%, o 71 puntos, fueron respondidos satisfactoriamente. Se encontró que un total de 57 puntos, o el 44,50%, están en incumplimiento, no se encontraron puntos que no aplican debido a la estructura del proceso. Ver figura 3. Al respecto según [3], en el estudio denominado Implementación de un sistema de gestión de calidad e inocuidad alimentaria en una comercializadora de alimentos, manifiesta que, el nivel de cumplimiento de las cláusulas de la norma en dicha empresa fue del 22.73% y el no cumplimiento fue del 77.27%, demostrando que en la empresa LACTALIS DEL ECUADOR S.A., existe una gestión más eficaz de la norma FSSC 22000 V5, esta Norma Internacional combina la comunicación, la gestión del sistema, los programas de prerrequisitos y los principios del HACCP, para asegurar la inocuidad de los alimentos a lo largo de toda la cadena alimentaria, para lo cual es indispensable tener un cumplimiento alto y así asegurar un producto inocuo hasta el punto de consumo final.

CALIFICACIÓN OBTENIDA EN LA AUDITORÍA DE DIAGNÓSTICO

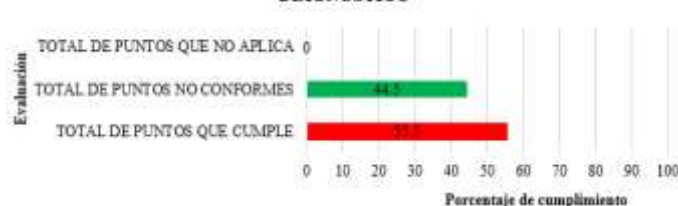


Figura 3: Calificación obtenida en la auditoria de diagnóstico

2. Estructurar la documentación existente de pre requisitos operacionales y el plan HACCP bajo los lineamientos del esquema FSSC 22000 V5.0

El programa de condiciones previas cubre requisitos previos, acciones y estándares mínimos que las empresas deben cumplir de antemano para garantizar la calidad y seguridad del producto a través de protocolos y controles documentados que son aplicables a sus procesos de fabricación.

Pre requisitos operacionales

Procedimiento: Programa de manejo de alérgenos

Como consecuencia de la implementación del programa, se creó un sistema organizado para detectar, rastrear e informar de manera eficiente sobre la presencia de alérgenos en los productos. Esto garantizó tanto el cumplimiento normativo hacia la seguridad de los consumidores con riesgos a la presencia de alérgenos. La seguridad alimentaria requiere un control eficaz de las alergias que exige el cumplimiento de los requisitos de la FSSC 22000.

Procedimiento: Programa de manejo de residuos sólidos

Este proceso condujo al establecimiento de un sistema eficaz de gestión de residuos sólidos que redujo sus efectos negativos en el medio ambiente, cumplió con los requisitos legales y fomentó métodos de eliminación seguros y sostenibles. La reducción de residuos sólidos y el cumplimiento de criterios legales y ambientales están controlados de acuerdo con la norma. Para evitar efectos perjudiciales sobre el medio ambiente y la salud

pública, esta estrategia es crucial para mantener el sistema de gestión de calidad.

Procedimiento: Programa de capacitación

Mediante la ejecución de este procedimiento, el personal posee información actualizada y están capacitados en seguridad alimentaria, reconocen la importancia de sus responsabilidades en la prevención de riesgos y el desarrollo continuo. Los beneficios incluyen menos fallas operativas y un personal con más competitivo y garantizar que tengan el conocimiento y la experiencia necesaria en seguridad alimentaria, la capacitación del personal se pone en concordancia con las principales exigencias de la norma FSSC 22000.

Procedimiento: Programa de limpieza y desinfección

Mediante el uso de un programa eficiente de limpieza y desinfección, se produjo un ambiente libre de contaminantes con alto estándar sanitario. Como resultado, los riesgos microbiológicos se eliminan garantizando la calidad del producto terminado. El esquema FSSC 22000 enfatiza la necesidad de procedimientos eficientes de limpieza y desinfección.

Procedimiento: Programa de control de plagas

Este proceso aseguró la integridad de los procesos cumpliendo con las normas de seguridad alimentaria al mantener un ambiente libre de plagas. Esto fue posible gracias a una exitosa estrategia de manejo de plagas que evita la presencia de roedores e insectos que pueden contaminar las áreas de la empresa. El esquema enfatiza la importancia de tomar medidas preventivas contra las plagas.

Procedimiento: Programa de buenas prácticas higiénicas

Se adoptaron prácticas de higiene en todas las operaciones como consecuencia de la implementación del programa de Buenas Prácticas de Higiene. Esto promovió una cultura de higiene en los empleados y garantizando la producción de alimentos seguros e inocuos y de la más alta calidad. Las regulaciones establecen que mantener buenas prácticas de higiene es crucial para preservar la seguridad alimentaria.

Procedimiento: Programa de manejo de residuos líquidos

Este programa condujo al establecimiento de un sistema para la gestión adecuada y responsable de los residuos industriales líquidos, reduciendo directamente los efectos negativos sobre el medio ambiente y cumpliendo con las leyes ambientales. Para reducir los peligros medioambientales y cumplir las normas, es esencial que los residuos líquidos se gestionen adecuadamente.

Procedimiento: Programa de mantenimiento preventivo

Los equipos y maquinaria están mantenidos consistentemente como resultado de implementar una política de mantenimiento preventivo. Esto aseguró un funcionamiento eficaz y disminuyó las posibilidades de fallo. El esquema FSSC 22000 enfatiza lo crucial que es mantener los equipos funcionando con la máxima eficiencia.

Procedimiento: Programa de proveedores de insumos y materias primas

Los resultados de este proceso fueron la selección y evaluación de proveedores que cumplieran con los requisitos de seguridad y calidad alimentaria. Como resultado, la industria podría utilizar proveedores seguros y confiables. El esquema enfatiza lo importante que es garantizar la calidad de los insumos y materias primas.

Procedimiento: Programa de identificación y trazabilidad

Se mantiene un programa de identificación y trazabilidad que permite monitorear los productos a lo largo de toda la cadena de suministro, garantizando la seguridad alimentaria y facilitando la resolución de problemas. Las regulaciones establecen que la trazabilidad es necesaria para monitorear y regular los productos en caso de problemas.

Procedimiento: Programa de abastecimiento de agua

Este proceso aseguró un suministro de agua potable que cumple con criterios de calidad. Al hacer esto, se redujeron las preocupaciones por la contaminación y se garantizó la seguridad de los productos alimenticios. Las reglas enfatizan lo



crucial que es tener agua potable disponible durante todo el procesamiento de alimentos.

Procedimiento: Programa de calibración de equipos

Al disponer un programa de calibración periódica de equipos conducen a tener equipos seguros, garantizando medidas precisas. Esto mejoró la calidad y seguridad de los productos elaborados. El esquema FSSC 22000 demuestra la necesidad de mantener los equipos en condiciones calibradas.

Plan HACCP

La seguridad alimentaria está cubierta por el Plan HACCP de la empresa Lactalis S.A. para todos sus productos, que incluye mantequilla a granel, leche entera, leche desnatada, yogures de frutas y queso crema. Se han identificado riesgos químicos, biológicos y físicos específicos para cada producto y se ha establecido un equipo HACCP bajo la dirección del gerente de producción y el gerente de calidad.

Elaboración del flujograma de los procesos

Para cada línea de productos lácteos, como la leche entera, leche desnatada, yogur con frutas, queso crema y mantequilla a granel, se elaboró los diagramas de flujo teniendo en cuenta las características únicas de cada producto lácteo, estos diagramas brindan una perspectiva precisa y exhaustiva de cada paso del proceso.

Descripción de los flujogramas

En cada diagrama de flujo se incluyó una explicación detallada de las etapas de proceso particular para leche entera, leche desnatada, yogur de frutas, queso crema y mantequilla a granel. De tal manera que se comprenda los procesos particulares, los aspectos cruciales y las medidas preventivas relacionadas con cada tipo de producto lácteo gracias a esta exhaustiva documentación.

Análisis e identificación de los peligros en cada etapa del proceso

Se llevó a cabo una investigación exhaustiva para identificar riesgos particulares relacionados con la fabricación de leche entera, leche descremada, yogur de frutas, queso crema y mantequilla a granel. Esto incluyó tener en cuenta preocupaciones

exclusivas de los productos lácteos, como la posibilidad de contaminación microbiológica, la existencia de alérgenos y los riesgos relacionados con ciertos métodos de fabricación.

Establecimiento de los PCC

Se determinaron y establecieron Puntos Críticos de Control (PCC) para cada línea de producto elaborado en la empresa. Al establecer estos PCC se tuvieron cuidadosamente en cuenta las distintas cualidades de cada producto, como la temperatura de pasteurización de la leche entera, leche descremada, el proceso de fermentación del yogur y ciertos puntos cruciales del queso crema y la mantequilla. Cada PCC fue documentado cumpliendo con los criterios del esquema FSSC 22000 V5.0.

Establecimiento de la gestión de tratamientos para los PCC

En particular, se creó una estrategia exhaustiva de gestión del tratamiento la leche entera, la leche desnatada, el yogur de frutas, el queso crema y para la mantequilla a granel. Esto incluye medidas específicas para regular y vigilar los peligros relacionados con cada tipo de producto lácteo. Además, se establecieron distintos protocolos de verificación y mantenimiento de registros para garantizar la eficacia sostenida de las medidas preventivas.

Crear un programa gestión de defensa de los alimentos y mitigación del fraude alimentario (planes, procedimientos, instructivos, registros), en las líneas de productos lácteos de LACTALIS DEL ECUADOR.

Las líneas de productos lácteos de LACTALIS DEL ECUADOR cuentan con un sólido Programa de Gestión de Defensa Alimentaria y Mitigación del Fraude Alimentario. Este programa aborda la prevención y mitigación del fraude alimentario de manera integral en los productos que incluyen mantequilla a granel, yogur de frutas, queso crema, leche entera y leche descremada. También contiene procesos precisos, instrucciones claras y registros adecuados. La ejecución de este programa no sólo satisface los criterios FSSC 22000 sino que también fortalece la seguridad alimentaria al tomar precauciones particulares para preservar la integridad de los productos lácteos.



Los beneficios del manejo adecuado de los criterios de la norma FSSC 22000 V5, como parte de los resultados de esta investigación concuerdan con los señalados en las investigaciones de Cadena Gómez, y Camargo Gómez, [1], González-Enrique, y García-Pérez, [3], Frutuoso, [6], Silvestre Gómez, [4]. Dichos beneficios encontrados fueron: el mejoramiento de procesos y procedimientos internos de la empresa, la comunicación entre las partes interesadas (empleados, alta dirección, clientes y proveedores), incremento de la productividad, al minimizar tiempos de entrega e incrementar la cantidad de producto procesado, el eficiente manejo de documentos y registros, la satisfacción de los clientes, personal mejor capacitado, todo esto traducido a productos de mayor calidad e inocuos, cuidando así de los clientes.

4. CONCLUSIONES

Después de una auditoría exhaustiva realizada de acuerdo con las normas ISO 22000: 2018 y el esquema FSSC 22000, se auditaron 128 puntos en total, de estos; 71 puntos que corresponden al 55,50%, fueron respuestas aceptables, lo que demuestra una fuerte exigencia en la aplicación de los procedimientos de seguridad alimentaria. Sin embargo, debido a que se determinó que el 44,50%, o 57 puntos, no cumplían, se observaron oportunidades de mejora continua. Es importante resaltar que no se encontró ningún punto que fuera inaplicable a las circunstancias, lo que indica una aplicación lógica y práctica de las normas, demostrando la preocupación y dedicación de la organización a la excelencia en la gestión de la seguridad alimentaria de acuerdo con las normas ISO 22000 y FSSC 22000 se ve reforzada por esta evaluación, que ofrece una base clara para el desarrollo y la consolidación continua de los procesos de seguridad alimentaria.

La seguridad alimentaria se ha visto enormemente reforzada por la exitosa integración de requisitos previos y la implementación del Plan HACCP bajo el esquema FSSC 22000 V5.0 en líneas de producción, desde leche entera hasta mantequilla a granel. La gestión de riesgos se ha mejorado durante todo el proceso de fabricación mediante la creación meticulosa de diagramas de flujo, análisis exhaustivos de peligros, identificación de puntos críticos de control (PCC) e implementación de medidas preventivas adoptadas a cada producto,

además; la introducción de ciertos requisitos operativos para las líneas de proceso ha contribuido a crear un ambiente propicio para la ejecución exitosa del Plan HACCP. Esta estrategia combinada promueve la eficiencia y la calidad en el proceso de fabricación de alimentos seguros, además de satisfacer los criterios regulatorios.

En las líneas de proceso de LACTALIS DEL ECUADOR se ha implementado exitosamente el Programa de Gestión de Defensa Alimentaria y Mitigación del Fraude Alimentario, dando lugar a un enfoque sólido y proactivo para mantener la integridad de los productos y garantizar la seguridad alimentaria, cumpliendo con los requisitos del esquema FSSC 22000, este programa, compuesto por planes minuciosos, procesos precisos, instrucciones comprensibles y registros medibles, confiables y verificables lo que demuestra la dedicación de LACTALIS DEL ECUADOR a la excelencia en la calidad y la confianza de los consumidores. La entrega de productos seguros y genuinos se garantiza prestando especial atención a la prevención y mitigación del fraude alimentario en productos como la leche entera, la leche desnatada, el yogur de frutas, el queso crema y la mantequilla a granel.

5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Cadena Gómez, M. y Camargo Gómez, L. Diseño del sistema de gestión de inocuidad alimentaria de la empresa Holy Water Ale, bajo los lineamientos de la norma NTC ISO 22000:2018, [Tesis]. Universidad Tecnológica de Pereira, 2020.
- [2] Murillo Camacho, C. y Robles Contreras, D. "Diseño de un sistema de gestión de la calidad basado en la norma ISO 22000:2018 para mejorar la productividad de una empresa molinera, Santa Anita 2020" [Tesis]. Universidad Nacional de Callao, 2022.
- [3] González-Enrique, L. y García-Pérez, E. Implementación de un sistema de gestión de calidad e inocuidad alimentaria en una comercializadora de alimentos., 11, 1405-5597, 2022.
- [4] Silvestre Gómez, H. Propuesta de un sistema de gestión de inocuidad alimentaria (ISO 22000)



para el proceso de azúcar rubia en la empresa agraria azucarera Andahuasi S.A.S. Sayan 2020 [Tesis]. Universidad Nacional José Fautino Sánchez Carrión, 2021.

[5] Casañas Sosa, J., Suarez Fernández, Y y Colas Chávez, M. Bases teóricas metodológicas del sistema HACCP en la obtención de agua de calidad de una lechería bubalina., 43, 1-9, 2021.

[6] Frutuoso, A. Implementação do Referencial FSSC 22000 numa Queijaria. [Tesis]. Universidad de NOVA, 2022.

[7] Zárate Malpica, A. y. Carrasco Núñez, Y, y Arrieta Jerí, M. Estado actual y tendencias en las exigencias de calidad e inocuidad alimentaria en la producción de quinua de la Asociación de Productores Heroínas Toledo – Orcotuna., 1, 30-36, 2020.

[8] Tello Revilla, B. Evaluación de la implementación de sistemas de gestión de la inocuidad alimentaria en la región Amazonas [Tesis]. Universidad Nacional de Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas, 2022.

[9] Dominguez, R., Espinosa, M., Dominguez, M y Romero, L. Lean 6S in Food Production: HACCP as a Benchmark for the, Sustainability., 13, 1-20, 2021.

[10] Saltos Solorzano, J., Márquez Bravo, Y., Demera Lucas, F y Alcívar Martínez, B DIAGNÓSTICO DE LA INOCUIDAD DEL QUESO FRESCO EN PEQUEÑAS EMPRESAS LOCALES MEDIANTE EL SISTEMA HACCP., 27, 123-178, 2020.

[11] Arévalo Arévalo, H., Menjura Rojas, E., Barragán Fonseca, K y Vázquez Majía, S Implementation of the HACCP system for production of Tenebrio molitor., 138, 1-12, 2022.

[12] Romero, D. Sanidad Animal e Inocuidad Alimentaria. 12, 139-153, 2022.

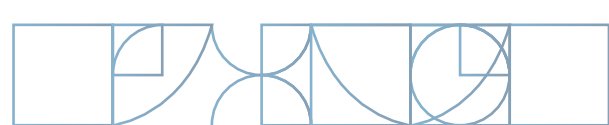
[13] Bergaglio, J y Bergaglio, O. Contaminación de alimentos por Escherichia coliyla inocuidad alimentaria como eje fundamental. 5, 1-17, 2020.

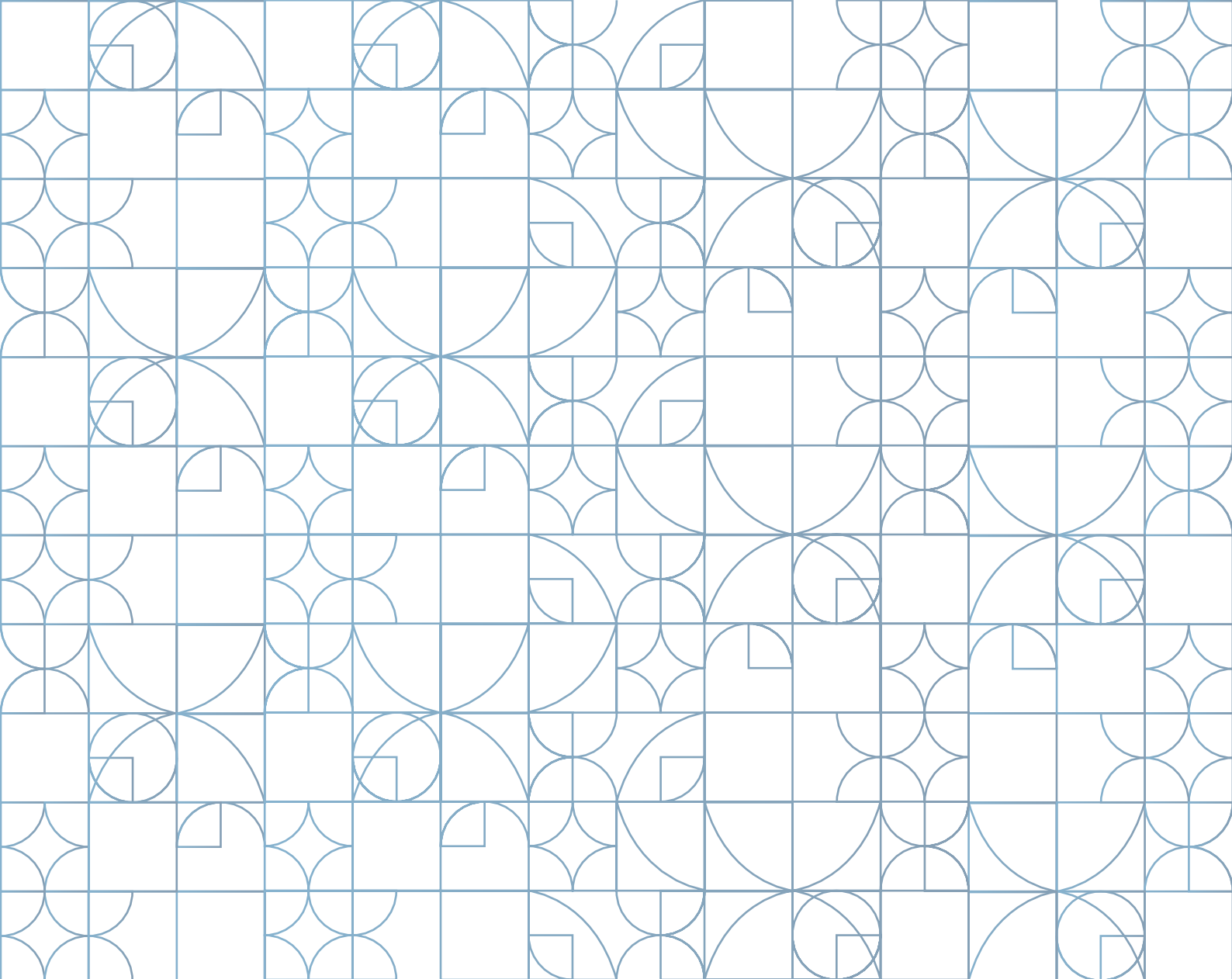
[14] Paucar Quenta, D. Implementación del Sistema De Gestión Ambiental ISO 14001:2015 en la minera El Dorado UHG del distrito de Colquamarca - Cusco, 2021. [Tesis]. Universidad Continental, 2021.

[15] Campaña Díaz, R. SISTEMA DE GESTIÓN DE CALIDAD BASADO EN LA ISO: 9001 2015 PARA, LA EMPRESA "INGEAUTO" [Tesis] Universidad Técnica de Ambato, 2019.

[16] Morera Urballa, R. Instal·lació Fotovoltaica d'Autoconsum para una Empresa del Sector HORECA [Máster Tesis]. Universitat de Barcelona, 2022.

[17] Escobar, N., Beas, S., Gras, N y Ronco, A. Fraude alimentario: Pasado, presente y futuro. R. 50, 106-116, 2023.





***Desarrollo de procesos para la preparación de motores
de competición mediante uso del Flujoómetro***

*Development of processes for the preparation of competi-
tion engines through the use of the Flowmeter*

Desarrollo de procesos para la preparación de motores de competición mediante uso del Flujómetro

Development of processes for the preparation of competition engines through the use of the Flowmeter

Marco Antonio García Mendieta¹,
Brayan Andres Maldonado Cueva²,
Cristian Fernando Lema Romero³,

¹Instituto Superior Tecnológico del Austro, Ecuador, marco.garcia@instecclrg.edu.ec

²Instituto Superior Tecnológico del Austro, Ecuador, brayan.maldonado@instecclrg.edu.ec

³Instituto Superior Tecnológico del Austro, Ecuador, fernando.lema@instecclrg.edu.ec

RESUMEN

Este trabajo desarrolla un proceso experimental para mejorar la potencia de los motores de competición mediante el uso de un flujómetro. Este equipo es fundamental en la medición del flujo de aire dentro del sistema de alimentación del motor, lo que resulta clave para optimizar tanto la potencia como la eficiencia volumétrica del mismo. A través del análisis detallado del flujo de aire, se buscó identificar posibles mejoras en la configuración de los ductos de admisión y escape, lo que permitiría maximizar el rendimiento del motor en condiciones de alta exigencia.

Para llevar a cabo las pruebas, se estableció una metodología basada en la evaluación de diversas configuraciones de los ductos de admisión y escape del Cabezote de un motor A12 de Nissan 1200cc. Se emplearon tanto configuraciones estándar como versiones modificadas, y se utilizó una presión de prueba controlada para medir el flujo de aire mediante el flujómetro. El proceso incluyó un análisis detallado del cabezote del motor, así como la medición de las variaciones en el flujo de aire que se presentaban a medida que se realizaban modificaciones en los conductos.

Los resultados obtenidos demostraron mejoras significativas en el rendimiento del motor. En el caso de los ductos de admisión modificados, se consiguió aumentar el flujo de aire en un 6,34%, mientras que los conductos de escape modificados presentaron un incremento del flujo de aire del 6,67%. Estas mejoras sustanciales en el flujo de aire se tradujeron en un notable aumento de la potencia calculada del motor, lo que evidencia la efectividad del proceso de modificación implementado en este trabajo experimental.

Palabras claves: Flujómetro, Potencia, Flujo, Cabezote, Trucaje.



ABSTRACT

This work develops an experimental process to improve the power of competition engines through the use of a flowmeter. This equipment is essential in measuring the air flow within the engine's feeding system, which is key to optimizing both its power and volumetric efficiency. Through detailed analysis of the air flow, we sought to identify possible improvements in the configuration of the intake and exhaust ducts, which would allow maximizing engine performance in highly demanding conditions.

To carry out the tests, a methodology was established based on the evaluation of various configurations of the intake and exhaust ducts of the Cabezote of a 1200cc Nissan A12 engine. Both standard configurations and modified versions were used, and a controlled test pressure was used to measure air flow using the flowmeter. The process included a detailed analysis of the engine head, as well as measuring the variations in air flow that occurred as modifications were made to the ducts.

The results obtained demonstrated significant improvements in engine performance. In the case of the modified intake ducts, the air flow was increased by 6.34%, while the modified exhaust ducts showed an increase in air flow of 6.67%. These substantial improvements in air flow translated into a notable increase in the calculated engine power, which demonstrates the effectiveness of the modification process implemented in this experimental work.

Keywords: Flowmeter, Power, Flow, Head, Trucaje.

Recibido: Agosto 2024
Received: August 2024

Aceptado: Diciembre 2024
Accepted: December 2024

1. INTRODUCCIÓN

En este proyecto, se utiliza una metodología analítica experimental para evaluar y optimizar el rendimiento de un motor Nissan A12 mediante la modificación de los conductos de admisión y escape. Para ello, se emplea un flujómetro, un dispositivo que mide la cantidad de aire que circula en el sistema de admisión del motor, así como en componentes como la culata, el carburador, el múltiple de admisión y los tubos de escape. Al realizar las pruebas, el aire es succionado a través de una válvula que ajusta la presión utilizada, y luego es liberado al exterior a través de aberturas calibradas que registran el flujo en pies cúbicos por minuto.

La información obtenida del flujómetro permite un análisis detallado del flujo en el cabezote, lo que facilita la evaluación de las variaciones en el rendimiento del motor. Es fundamental interpretar correctamente estos datos, ya que una comprensión inadecuada puede llevar a modificaciones que no mejoren el desempeño como se espera. Con los resultados de las pruebas, se calcula la potencia generada por el motor tras las modificaciones, lo cual proporciona una base sólida para comprender cómo los cambios en los conductos de admisión y escape afectan la eficiencia y la potencia del motor. Este enfoque no solo busca mejorar la entrada de aire y la salida de gases, sino también optimizar la potencia y el desempeño general del motor.

Según el libro "Motores de Competición" de Carlos Funes, uno de los aspectos clave para la medición precisa del flujo de aire.

En el caso del flujómetro, la presión de funcionamiento ideal que se menciona en el libro es de 10 inH₂O (pulgadas de columna de agua). Esta es la presión estándar bajo la cual se obtienen resultados precisos y consistentes que permiten comparar el flujo de aire de manera uniforme en distintas condiciones y entre distintos motores. La presión de 10 inH₂O es una referencia establecida en la industria, utilizada ampliamente en pruebas de motores de competición para garantizar que las mediciones sean comparables y precisas.

Sin embargo, en muchos entornos locales, la presión máxima disponible para operar el flujómetro es considerablemente más baja, alcanzando solo 4 inH₂O. Este hecho tiene una repercusión directa en los resultados obtenidos al medir el flujo de aire. La presión de funcionamiento influye directamente en la cantidad de aire que pasa a través del flujómetro, ya que, a menor

presión, se obtiene un flujo más bajo debido a la menor fuerza que impulsa el aire a través del sistema.

Según los autores Frank Carlos Gaviláñez Heras y Danny Ramiro Gallardo Jácome, las pruebas realizadas en el ducto estándar de un cabezote, bajo una presión de 2.7 inH₂O, arrojaron un caudal de flujo de aire de 98.69 cfm. Tras modificar el ducto, el caudal aumentó a 105.13 cfm, lo que representó una mejora del 6.12% en el flujo de aire.

En comparación, las pruebas realizadas en un motor de 1200 cm³, bajo una presión de 4 inH₂O, mostraron un caudal de flujo de aire de 35.40 cfm en el ducto estándar. Al modificar el ducto, el flujo de aire aumentó a 37.76 cfm, lo que resultó en una mejora del 6.67%.

Estas pruebas destacan cómo las modificaciones en los ductos pueden mejorar el flujo de aire, lo que a su vez podría influir positivamente en el rendimiento del motor.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

A. Equipos y Materiales:

Materiales, herramientas y accesorios para el desarrollo del proyecto:

- Jeringa
- Múltiple de admisión
- Múltiple de escape
- Refrigerante
- Cabezote de Motor
- Caja de herramientas

B. Modificaciones propuestas.

A continuación, se describen cada una de las modificaciones realizadas; donde se aplicarán en todas estas la metodología de prueba definida.

1. Cabezote Estándar: Cuando se utiliza un cabezote estándar junto con un flujómetro, el propósito principal es garantizar que el flujómetro esté midiendo de manera precisa. El cabezote estándar proporciona un punto de referencia conocido y confiable, lo que permite comparar las lecturas del flujómetro con los ductos modificados.

2. Modificación del Diámetro de Ductos de Admisión: Se realiza la modificación de las entradas de los ductos de admisión en un cabezote mediante un rectificador, que es una técnica utilizada para mejorar el flujo de aire de ingreso y, en consecuencia, optimizar el rendimiento del motor.

3. Modificación del Diámetro de Ductos de Escape: Se modifica las entradas de los ductos de escape mediante un rectificador, esto busca

optimizar el flujo de los gases de escape al suavizar y ajustar la geometría interna de los conductos, reduciendo la contrapresión y mejorando la eficiencia del motor.

4. Comparativa Múltiple de Admisión

Armado: Se coloca el múltiple de admisión en el cabezote y se realizarán la prueba de flujo con motor estándar y con la modificación del ducto de admisión del cabezote. Esto nos permite registrar la variación de flujo que se genera por la geometría del múltiple de admisión.

5. Comparativa Múltiple de Escape

Armado: Se coloca el múltiple de escape en el cabezote y se realizan las pruebas de flujo con motor estándar y con la modificación del ducto de escape del cabezote. Esto nos permite registrar la variación de flujo que se genera por la geometría del múltiple de escape.

Se optó por una metodología analítica experimental que, con base de la recopilación de información mediante el uso del flujómetro y accesorios ajustables, elementos que nos ayudan a analizar el flujo existente en el cabezote, se procede a calcular la potencia resultante del motor tras modificar los conductos de admisión y escape.

C. Características del motor de prueba.

En la tabla 1, se describe el motor que se utiliza para este trabajo.

Tabla 1 Nissan A12

Nissan A12		
Tipo	4 cilindros en línea	
Diámetro	73 mm	2.874 pulg.
Carrera	70 mm	2.756 pulg.
Capacidad	1171cm ³	
Máximo HP	68hp SAE @ 6000 rpm	
Máximo Torque	9.70 kg/m @ 3600 rpm	
Orden de encendido del motor	1 – 3 – 4 – 2	
Radio de compresión	1.1	

D. Metodología para la medición del cabezote en el flujómetro.

1. Presión de prueba:

La presión para la prueba se evalúa utilizando un manómetro de columna de H₂O, el cual cuenta con un orificio que se conecta al ambiente exterior para registrar la presión atmosférica, mientras que el otro orificio se une a la entrada de la cámara de succión. Al hacer una prueba de flujo de la culata a una presión de 4", es posible estimar la potencia del motor y el régimen asociado mediante los

cálculos propuestos por [1]. Esta presión se ajusta mediante una válvula ubicada en la parte frontal del panel de control. El porcentaje de flujo se mide en un manómetro inclinado que, al igual que en el caso anterior, tiene un orificio conectado al exterior y otro a la cámara de expulsión. Este manómetro tiene una escala que varía de 0 a 100 pues el diseño del flujómetro es adoptado de [1].

También cuenta con otro manómetro vertical para medir presiones en conductos, múltiples, carburador, etc., sin embargo, en este trabajo no se utiliza por el tipo de pruebas en estudio.

2. Toma de datos del Motor y ajuste del Flujómetro.

Se mide el diámetro del cilindro Fig.1., el cual concuerda con el dato del fabricante, y se coloca en el cilindro adaptador que tiene la misma dimensión Fig. 2.



Figura 1 Medición del Cilindro



Figura 2 Adaptación del cilindro al flujómetro

3. Prueba de Flujo en Cabezote.

Se debe colocar la bujía y la válvula de escape como se muestra en la (Fig.3.), en caso de realizar



con la válvula se puede trabajar con variaciones de alzada con el árbol de levas, sin embargo, en este estudio se considera realizar la prueba sin válvula para evaluar el máximo flujo de acuerdo con [2].



Figura 3. Válvula de Admisión retirada y bujía puesta

Se tapona el orificio de la guía de válvulas del cabezote para impedir que pase aire Fig.4.

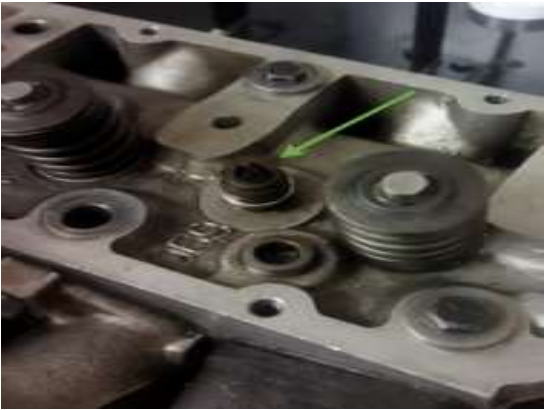


Figura 4 Guía de válvula tapada.

Se procede a medir el diámetro y la longitud del vástago de la válvula. Con base en estos parámetros (Fig. 5), se seleccionará la escala (CFM) correspondiente, de acuerdo con las dimensiones de la válvula que se utilizará para realizar la medición del flujo en el cabezote, con los

datos obtenidos se busca en la (Tabla 2) el resultado de acuerdo con [4].



Figura 5. Diámetro de la válvula

Tabla 2 Escala CFM

L/D	0.05	0.10	0.15	0.20	0.25	0.30
3"	7.4	15	22.5	30	32	33
5"	9.6	19.3	29	38.8	41.4	42.5
8"	12.2	24.4	36.7	49.1	52.3	53.8
10"	13.6	27.3	41	54.9	58.5	60.1
15"	16.7	33.4	50.2	67.2	71.6	73.6
20"	19.7	38.6	58	77.6	82.7	85
25"	21.5	43.2	64.9	80.7	92.5	95.1
28"	22.8	45.6	68.6	91.8	98	101
36"	25.8	51.8	77.8	104	111	114

Con la escala CFM seleccionada en el paso anterior, se procede a ubicar en el flujómetro la escala de flujo retirando los tapones de la escala en la que se va a realizar la prueba de flujo de acuerdo con la Tabla 3 y Fig.6 [5].

Tabla 3. Escala de Flujo

ORIFICIOS	CFM
1	10
2	18
1+2	29
1+3	40
1+2+3	59
1+3+4	84
1+2+3+4	105
1+2+3+5	140
1+2+3+4+5	185





Figura 6. Selección de escala de Flujo

El cabezote se coloca firmemente sujeto al cilindro adaptador mediante pernos, asegurando que no haya ingresos adicionales de aire hacia el conducto correspondiente ya sea de admisión o escape. Se utiliza el empaque de cabezote para asegurar estanqueidad. Fig.7 [2].



Figura 7. Cabezote sujetado al cilindro adaptador

Se enciende el flujómetro y con la válvula manual se regula la presión de prueba por 4inH2O en la que podemos observar en la Fig.9. [2].



Figura 9. Presión a medir

Se realiza una prueba con el cabezote original para saber cuáles son los resultados de flujo iniciales con el motor estándar (STD). Para las modificaciones propuestas también aplica lo descrito anteriormente Fig.8



Figura 8. Prueba de Flujo con Cabezote STD.

Durante la prueba se coloca un cono de radio amplio (tipo trompeta) en el ducto de admisión o escape en el que se realizara la prueba para eliminar turbulencias que dificulten la lectura. Fig.10.



Figura 10. Coloca el Cono para que no haya turbulencia

Con los datos de flujo obtenido se procede a realizar los cálculos y determinar la potencia del motor y las RPM asociadas.

Se calcula el volumen unitario.

- **Volumen unitario**

$$Vu = \frac{\pi \times D^2}{4} \times L [6]$$

Vu = Volumen unitario [6]

D= Calibre (mm) [6]

L= Carrera (mm) [6]

Π = 3.14

Vc = 26.3

Se calcula el volumen total.

- Volumen Total.

$$Vt = Vu \times N [6]$$

N= Numero de cilindros [6]

Vt= Volumen Total [6]

Se calcula la potencia del motor.

- Potencia Calculada del Motor Unitaria

$$1CFM = 0.43 \text{ HP} [2]$$

$$Pu = \frac{CFM \times 0.43HP}{1 CFM} [2]$$

- Potencia Total Calculada

$$Pt = Pu \times N [2]$$

Se calcula las RPM.

- RPM del Motor

$$RPM = \frac{2200 \times (CFM)}{Vu} [2]$$

A partir de este paso se repiten los mismos criterios establecidos para las demás pruebas con las modificaciones propuestas.

3. RESULTADOS

1. Selección de escala en Flujómetro:

Se procede a medir el diámetro y la longitud del vástago de la válvula siendo 0.31496in y 4.0945in respectivamente. Con estos resultados, se selecciona la escala (CFM) correspondiente utilizando la tabla 2, la cual da 42.5 CFM.

De la tabla 3 entonces se identifica la escala del flujómetro y se retira los tapones 1,2 y 3 la cual permite medir hasta 59CFM, siendo la selección más adecuada para las pruebas.

Se procede a realizar las pruebas de flujo con el cabezote STD y las modificaciones propuestas.

2. Resultados de las Pruebas.

Para cada una de las pruebas se realiza los cálculos correspondientes para la potencia del motor y las RPM a obtenerse. Se expresa los resultados a continuación.

2.1. Flujo de aire en el ducto de admisión estándar y modificado

La tabla 4, indicara los datos obtenidos, con base en el flujo de los ductos de admisión estándar y el modificado.

Tabla 4 Datos del Ducto de Admisión STD y Modificada

ESCALA: 59 CFM						
Presión de la Prueba: 4inH2O						
Prueba	%	CFM	Potencia a motor x Cilindro (HP)	Potencia a de motor total (HP)	RPM Motor	% Variación Potencia
Ducto de Admisión STD	71.00	41.89	18.01	72.05	4332.48	0.00
Ducto Admisión Modificado	75.50	44.55	19.15	76.62	4607.07	6.34



Figura 11. Comparativa del Ducto Admisión STD y Modificado

En la Fig.11 se muestra la comparativa entre el ducto de admisión estándar y el ducto modificado, la parte de admisión al ser ampliada tendrá un mayor flujo de aire generando una mayor potencia, agregándole un 6,34% más que al de serie.

2.2. Flujo de aire en el ducto de escape estándar y modificado.

En la tabla 5 se presentan los datos del ducto de escape estándar y modificado

Tabla 5 Datos del Ducto de Escape STD y Modificada

ESCALA: 59 CFM						
Presión de la Prueba: 4inH2O						
Prueba	%	CFM	Potencia motor x Cilindro (HP)	Potencia de motor total (HP)	RPM Motor	% Variación Potencia
Ducto de Escape STD	60.00	35.40	15.22	60.89	3661.25	0.00
Ducto de Escape Modificado	64.00	37.76	16.24	64.95	3905.33	6.67



Figura 12 Comparativa del Ducto de escape STD y Modificado

En la Fig.12 se compara el ducto de escape estándar y el ya modificado, al analizar los datos vemos una mejora significativa en la potencia, llevando consigo una mejora del 6,67% de flujo en el ducto.

2.3.Flujo de aire en el ducto de admisión estándar y modificado con múltiples.

En la tabla 6 se muestran los datos obtenidos del flujo de aire que recorre por el ducto y el múltiple de admisión estándar y modificado.

Tabla 6 Datos del Armado Admisión STD y Modificada

ESCALA: 59 CFM						
Presión de la Prueba: 4inH2O						
Prueba	%	CFM	Potencia a motor x Cilindro (HP)	Potencia de motor total (HP)	RPM Motor	% Variación Potencia
Armado Admisión STD	67.00	39.53	17.00	67.99	4088.40	0.00
Armado Admisión Modificado	69.00	40.71	17.51	70.02	4210.44	1.00



Figura 13. Comparativa del armado Admisión STD y Modificado

En la Fig.13 se presenta una comparación exhaustiva entre el conducto de admisión estándar y su versión modificada. El rediseño del conducto de admisión, con una ampliación en su sección, permite un aumento significativo en el flujo de aire, lo que se traduce directamente en una mayor generación de potencia. Este incremento en la capacidad de admisión proporciona una mejora del 2,99% en comparación con la versión de serie, lo que refleja una optimización en la eficiencia volumétrica del motor, favoreciendo un mejor rendimiento global del sistema de combustión y, por ende, una mayor eficiencia en el aprovechamiento de la mezcla aire-combustible.

2.4.Flujo de aire en el ducto de escape estándar y modificado con múltiples.

En la tabla 7 se muestran los resultados del flujo obtenido del ducto de escape con su respectivo múltiple, las cuales se realizó en estándar y modificado.



Tabla 7 Datos del Armado escape STD y Modificada

ESCALA: 59 CFM						
Presión de la Prueba: 4inH2O						
Prueba	%	CFM	Potencia motor x Cilindro (HP)	Potencia de motor total (HP)	RPM Motor	% Variación Potencia
Armado Escape STD	59.00	34.81	14.97	59.87	3600.23	0.00
Armado Escape Modificado	61.50	36.29	15.60	62.41	3752.78	4.24

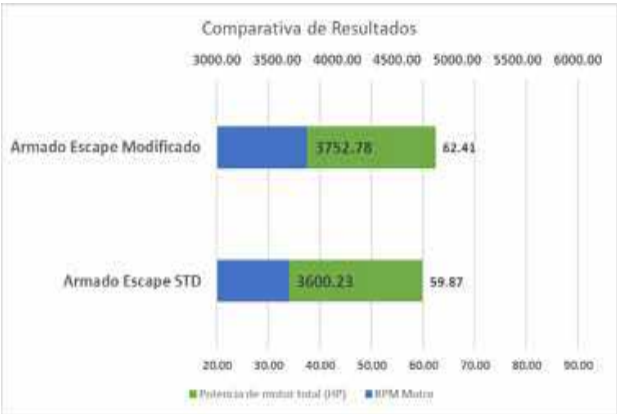


Figura 14. Comparativa del armado escape STD y Modificado

En la Fig. 14 se lleva a cabo una comparación detallada entre el conducto de escape en su configuración estándar y la versión modificada. Al analizar los datos obtenidos, se evidencia una mejora considerable en el rendimiento del sistema, reflejada en un aumento significativo de la potencia generada. Este incremento de la potencia está directamente relacionado con una optimización del flujo a través del conducto de escape, logrando una mejora del 4,24% en la Potencia. Esta mejora no solo sugiere una mayor capacidad de evacuación de gases, sino también una disminución de las restricciones internas del sistema, lo que contribuye a un desempeño más eficiente del motor en general.

2.5. Flujo de aire en el ducto de admisión estándar y modificado con el carburador.

En la tabla 8 se encuentra los datos obtenidos del flujo de la parte de admisión con el carburador.

Tabla 8 Datos del Armado Carburador STD y Modificada

ESCALA: 59 CFM						
Presión de la Prueba: 4inH2O						
Prueba	%	CFM	Potencia a motor x Cilindro	Potencia a de motor total (HP)	RPM Motor	% Variación Potencia
Armado Carburador STD	66.50	39.24	16.87	67.48	4057.88	0.00
Armado Carburador Modificado	67.00	39.53	17.00	67.99	4088.40	0.75



Figura 15. Comparativa del armado Carburador STD y Modificado

En la Fig. 15 se presenta una comparativa detallada del sistema de admisión, que incluye tanto el conducto de admisión como el múltiple y el carburador, en su configuración estándar frente a su versión modificada. Las modificaciones realizadas optimizan el flujo de aire a través del conducto de admisión y el múltiple, además de mejorar la atomización y dosificación de la mezcla aire combustible en el carburador. Estas mejoras permiten una mayor eficiencia volumétrica y una combustión más precisa, lo que resulta en un incremento considerable de la potencia del motor. En conjunto, las modificaciones al sistema de admisión incrementan el flujo de aire en un 3,08%, mejorando la respuesta del motor, la potencia generada y el desempeño global en comparación con la configuración original de fábrica.

3. CONCLUSIONES

El análisis detallado de los sistemas de entrada de aire y expulsión de gases en un motor 1200, tanto en su configuración estándar como modificada, revela mejoras significativas en el rendimiento general del motor.



Se obtuvieron en las siguientes pruebas las mejoras en porcentaje en potencia:

La modificación del ducto de alimentación ha resultado en una mejora del 6,34% en el flujo de aire, al pasar de 41,89 a 44,55 CFM. Esta optimización permitió alcanzar un mayor régimen de revoluciones, subiendo de 4332,48 RPM en la configuración estándar a 4607,07 RPM en la versión modificada. Los cambios estructurales en el ducto, como la optimización del diámetro y la eliminación de restricciones internas, han facilitado un flujo de aire más eficiente, incrementando la cantidad de oxígeno disponible para la combustión. Este aumento en el suministro de aire contribuye directamente a una mayor potencia y rendimiento general del motor.

La modificación del ducto de escape resultó en una mejora del 6,67% en el flujo de gases expulsados, incrementándose de 35,40 a 37,76 CFM. Esta mejora permitió un aumento en las revoluciones del motor, pasando de 3661,25 RPM en la versión estándar a 3905,33 RPM en la versión modificada. Las mejoras en el diseño, como la reducción de restricciones en el ducto, facilitaron una evacuación más eficiente de los gases de combustión, disminuyendo la contrapresión dentro del sistema de escape.

La incorporación de múltiples al ducto de alimentación estándar resultó en una mejora del 2,99% en el flujo de aire, aumentando de 39,53 a 40,71 CFM. Esta modificación permitió también un incremento en el régimen de revoluciones, pasando de 4088,40 a 4210,44 RPM. Aunque la mejora en el flujo de aire es relativamente modesta, la utilización de múltiples facilita una distribución más uniforme del aire hacia cada cilindro del motor, lo que optimiza la eficiencia de la combustión y permite un rendimiento más equilibrado.

La modificación del ducto de escape con la adición de múltiples resultó en una mejora del 4,24% en el flujo de gases expulsados, aumentando de 34,81 a 36,29 CFM. Esta mejora también permitió un incremento en las revoluciones del motor, pasando de 3600,23 RPM en la versión estándar a 3752,78 RPM en la versión modificada. La incorporación de múltiples en el diseño del sistema de escape facilitó una evacuación más eficiente de los gases de combustión, reduciendo la acumulación de presión interna.

La integración del carburador en el ducto de alimentación modificado resultó en una mejora del 0,75% en el flujo de aire, incrementando de 39,24 a 39,53 CFM. Esta modificación también permitió un ligero aumento en las revoluciones del motor, pasando de 4057,88 RPM en la versión estándar a 4088,40 RPM en la versión modificada. Aunque la

mejora en el flujo de aire es modesta en comparación con otras modificaciones, subraya la relevancia del carburador en la mezcla aire-combustible.

4. AGRADECIMIENTOS

Queremos expresar nuestros más sinceros agradecimientos a todos los que hicieron posible la ejecución de esta tesis. Como primer punto, agradecemos a Dios por darnos la fuerza y sabiduría necesaria para enfrentar cada desafío a lo largo de este proyecto. A nuestras familias, quienes han sido nuestra mayor fuente de apoyo y motivación. Gracias por su cariño incondicional y su confianza en nosotros. Sin su constante aliento, este logro no habría sido posible. A mis compañeros de estudio y amigos, quienes estuvieron a mi lado en los momentos de mayor incertidumbre. Gracias por su apoyo, su compañerismo y por convertir este viaje en una vivencia memorable.

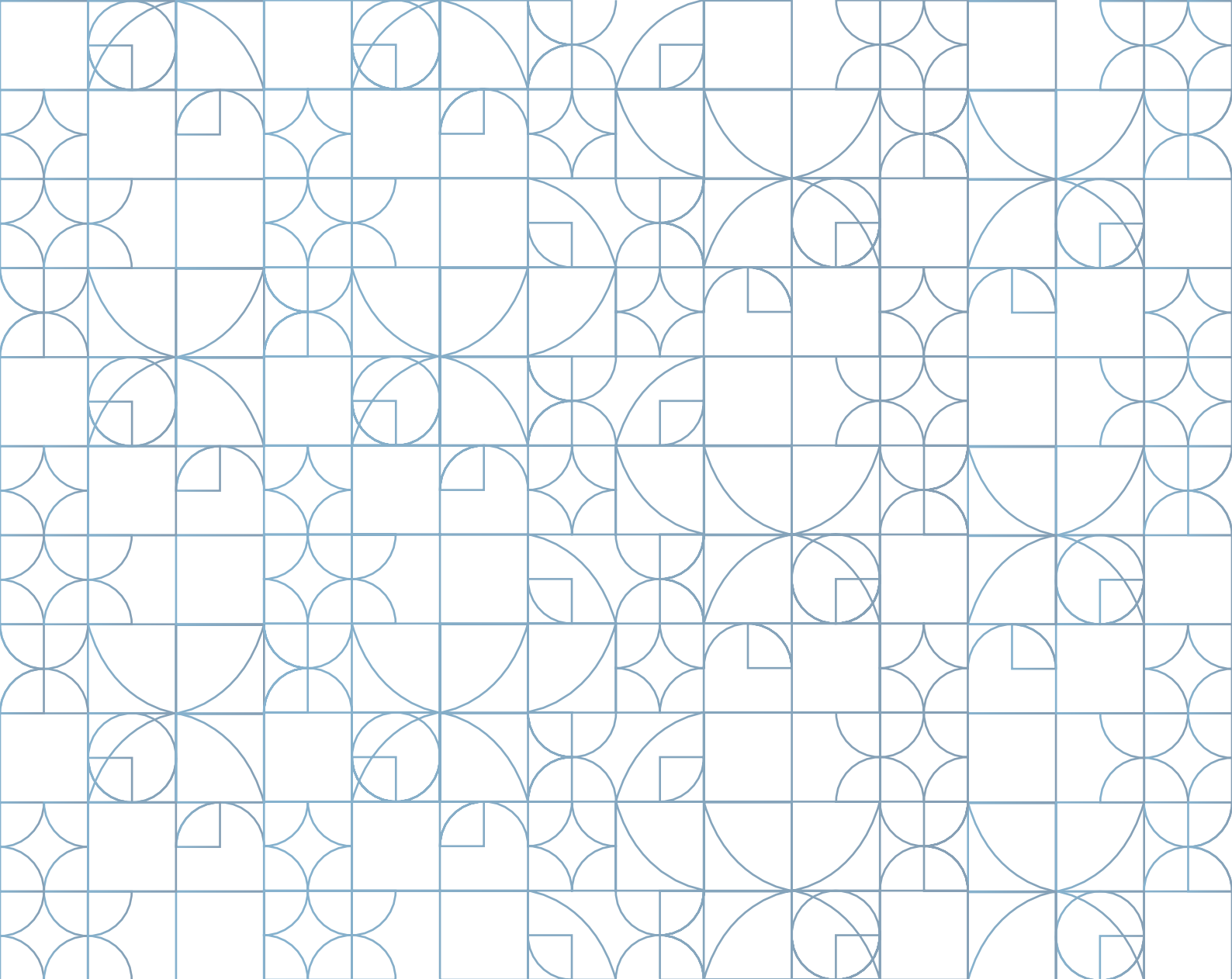
5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] L. R. M. ANDRÉS., «DSpace ESPOCH.,» 17 11 2016. [En línea]. Available: <http://dspace.esepoch.edu.ec/handle/123456789/5938>. [Último acceso: 11 06 2024].
- [2] C. Funes, Motores para competición, 1 ed., Cordoba, 2018, p. 245.
- [3] Carlos A Funes, «FLUJOMETRO [Video],» YouTube, Argentina, 2021.
- [4] J. L. M. LARREA, «Repositorio Digital UIDE,» 08 2015. [En línea]. Available: <https://repositorio.uide.edu.ec/handle/37000/827>. [Último acceso: 02 07 2024].
- [5] G. S. P. M. y. O. O. J. Geovanny, «Repositorio de la Universidad del Azuay,» 07 2012. [En línea]. Available: <https://dspace.uazuay.edu.ec/handle/datos/1441>. [Último acceso: 17 08 2024].
- [6] IngeLibreblog, «IngeLibreblog,» 17 08 2024. [En línea]. Available: <https://ingelibreblog.wordpress.com/2014/02/21/calculo-de-la-cilindrada-de-un-motor/>.
- [7] Carlos A Funes, «VIDEO EXPLICACIÓN POTENCIA EN FUNCIÓN DE LA CAPACIDAD DE FLUJO DE LA TAPA [Video],» YouTube, 2019.
- [8] «Scribd,» [En línea]. Available: https://www.itqb.unl.pt/~dfb/datsun1200/work_es.pdf. [Último acceso: 12 06 2024].



- [9] «wikipedia,» [En línea]. Available: https://en.wikipedia.org/wiki/Nissan_A_engine. [Último acceso: 16 08 2024].
- [10] A. E. A. R. y D. A. C. Mendieta, «Repositorio UNIVERSIDAD INTERNACIONAL DEL ECUADOR,» 2010. [En línea]. Available: <http://repositorio.uide.edu.ec/handle/37000/192>. [Último acceso: 12 07 2024].





**EVALUACIÓN FÍSICOQUÍMICA Y ECONÓMICA EN LA
ELABORACIÓN DE COMPOST UTILIZANDO TRICHODERMA
HARZIANUM Y UN CONSORCIO BACTERIANO EN RESIDUOS
ORGÁNICOS**

**PHYSICOCHEMICAL AND ECONOMIC EVALUATION IN THE
PRODUCTION OF COMPOST USING TRICHODERMA HARZIANUM
AND A BACTERIAL CONSORTIUM IN ORGANIC WASTE**

EVALUACIÓN FÍSICOQUÍMICA Y ECONÓMICA EN LA ELABORACIÓN DE COMPOST UTILIZANDO *TRICHODERMA HARZIANUM* Y UN CONSORCIO BACTERIANO EN RESIDUOS ORGÁNICOS

PHYSICOCHEMICAL AND ECONOMIC EVALUATION IN THE PRODUCTION OF COMPOST USING TRICHODERMA HARZIANUM AND A BACTERIAL CONSORTIUM IN ORGANIC WASTE

Orlando Marcelo Gualavisí Cachiguango¹
Wilma Alexandra Farinango Guzmán²
Daysi Johanna Vallejo Espinosa³

¹Instituto Superior Tecnológico Proyecto 2000, Ecuador, orlando.gualavisí@proyecto2000.edu.ec

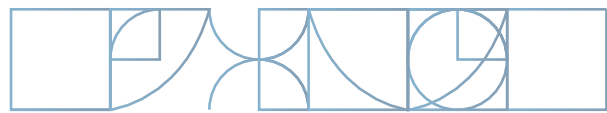
²Instituto Superior Tecnológico Proyecto 2000, Ecuador, wilma.farinango@proyecto2000.edu.ec

³Instituto Superior Tecnológico Proyecto 2000, Ecuador, dajovaes@gmail.com

RESUMEN

El presente estudio se enfocó en evaluar la capacidad de descomposición de residuos vegetales en respuesta a la acción metabólica de *Trichoderma harzianum* y un consorcio bacteriano (*Lactococcus*, *Enterococcus*, *Streptococcus*, *Pediococcus* y *Lactobacilli*) y de los factores asociados a esta sobre la producción de compost para lo cual se estableció un ensayo con cuatro tratamientos basado en uso de microorganismos mencionados frente a un testigo. Se realizó cuatro repeticiones por tratamiento en un diseño completo al azar donde se evaluó las propiedades físicas químicas como pH, peso humedad, relación carbono-nitrógeno, olor, color además de la relación beneficio costo. Del análisis funcional a los 75 y 90 días de ensayo, para pH y peso presentaron diferencias altamente significativas, en tanto que para humedad no se detectó significancia estadística. Por otra parte, la relación carbono-nitrógeno del tratamiento consorcio bacteriano registró la mayor relación con 30.78 a los 75 días y 32.05 a los 90 días. Finalmente, del análisis económico se deduce que el tratamiento consorcio bacteriano fue el que alcanzó la mayor relación Beneficio Costo de 1.46 es decir que por cada dólar invertido y recuperado se gana 0.46 dólares.

Palabras claves: compost, microorganismos, rentabilidad, carbono-nitrógeno, descomposición.



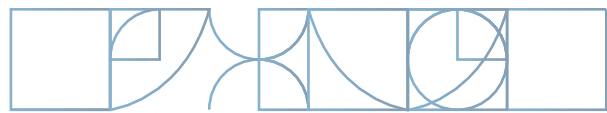
ABSTRACT

*The present study focused on evaluating the decomposition capacity of plant residues in response to the metabolic action of *Trichoderma harzianum* and a bacterial consortium (*Lactococcus*, *Enterococcus*, *Streptococcus*, *Pediococcus* and *Lactobacilli*) and the factors associated with this on compost production. For this purpose, a test was established with four treatments based on the use of the aforementioned microorganisms against a control. Four repetitions per treatment were carried out in a complete randomized design where the physical and chemical properties such as pH, weight and humidity, carbon-nitrogen ratio, odor, color, and the cost-benefit ratio were evaluated. From the functional analysis at 75 and 90 days of testing, highly significant differences were found for pH and weight, while no statistical significance was detected for humidity. On the other hand, the carbon-nitrogen ratio of the bacterial consortium treatment registered the highest ratio with 30.78 at 75 days and 32.05 at 90 days. Finally, from the economic analysis it can be deduced that the bacterial consortium treatment was the one that achieved the highest Benefit Cost ratio of 1.46, meaning that for every dollar invested and recovered, 0.46 dollars are earned.*

Keywords: compost, microorganisms, profitability, carbon-nitrogen, decomposition

Recibido: Agosto 2024
Received: August 2024

Aceptado: Diciembre 2024
Accepted: December 2024





1. INTRODUCCIÓN

La utilización de fertilizantes químicos provoca un efecto negativo sobre el ambiente y ecosistemas. Entre lo que se puede destacar es la destrucción de los microorganismos del suelo, resultando en daños irreparables en la biodiversidad y afectando los procesos de descomposición de la materia orgánica [1].

Como producto de las malas prácticas de reciclaje de residuos vegetales, no son aprovechados adecuadamente, contribuyendo al colapso del sistema salubre, generando focos de contaminación, contrariamente a su aprovechamiento en la producción de abonos orgánicos [2].

El producto de la degradación de la materia vegetal permite obtener una fuente de abono natural para plantas, tanto de campo como para pequeños huertos familiares [1].

En la agricultura, como regla general es necesario el uso de alternativas del reciclaje de residuos orgánicos, utilizando procesos de compostaje, ya sea a través de la lombricultura o implementación de microorganismos con la finalidad de dotar a los desechos orgánicos compostados características productivas que sean aprovechadas por las plantas [3].

Los microorganismos contribuyen de manera positiva en la degradación de residuos de materia orgánica vegetal, siempre y cuando las condiciones de humedad, temperatura, y composición, sean favorables para la descomposición [4].

Los trabajos citados anteriormente se relacionan con esta investigación, que busca conocer el rango de degradación de los residuos vegetales en respuesta a la aplicación de microorganismos.

El objetivo de esta investigación fue: comparar los parámetros fisicoquímicos de los productos obtenidos del proceso de compostaje como respuesta a la utilización de microorganismos: hongos *Trichoderma harzianum*, y un consorcio de bacterias ácido lácticas e identificar diferencias nutricionales de estos sustratos.

La hipótesis planteada en la investigación fue si existe diferencias en el proceso de degradación de residuos orgánicos al aplicar microorganismos como hongos benéficos y un consorcio de bacterias ácido lácticas.

2. METODOLOGÍA

Para el estudio, las muestras fueron tomadas de los tratamientos implementados para evaluar la actividad microbiológica en el proceso de producción de compost, en la parroquia de Solanda, cantón Quito.

En esta investigación, se implementó un diseño completo al azar “DCA”, con cuatro tratamientos y cuatro repeticiones por tratamiento. Estos tratamientos fueron evaluados en dos periodos de tiempo (a los 75 y 90 días). Su esquema se presenta en la Tabla 1.

Tabla 1. Esquema de los tratamientos.

Tratamientos		Dosis
Número	Código	
1	TH ₃₀₀	Concentración 300ufc <i>Trichoderma harzianum</i> 75 días
	TH* ₃₀₀	Concentración 300ufc <i>Trichoderma harzianum</i> 90 días
2	BAL ₃₀₀	Concentración 300ufc Em's bacterias ác. Lácticas 75 días
	BAL* ₃₀₀	Concentración 300ufc Em's bacterias ác. Lácticas 90 días
3	THB ₃₀₀	Concentración 150ufc <i>Trichoderma</i> + 150ufc Em's 75 días
	THB* ₃₀₀	Concentración 150ufc <i>Trichoderma</i> + 150ufc Em's 90 días
0	T1	Testigo 1 Sin aplicación 75 días
	T2*	Testigo 2 Sin aplicación 90 días

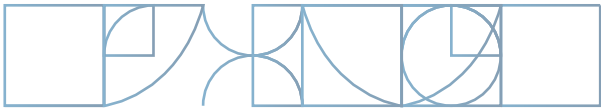
Los parámetros físicos y químicos analizados en los sustratos obtenidos del proceso de compostaje fueron: pH, peso, temperatura, humedad, contenido de materia orgánica, nitrógeno total, carbono y la relación carbono/nitrógeno.

Los parámetros físicos y químicos fueron analizados en los Laboratorios de Suelos de Agrocalidad, que siguen los lineamientos consensuados por la Red de Laboratorios de Suelos del Ecuador “RELASE” y métodos nacionales e internacionales (NTE-INEN-17025, Standard Methods).

En la evaluación del pH fue realizado “in situ” en cada unidad experimental. Para efecto se utilizó un instrumento electrónico portátil digital específico para sustratos.

La evaluación del peso de los tratamientos en estudio se realizó con una balanza digital calibrable. Para el diagnóstico de esta variable se tomó en cuenta el peso del recipiente donde se realizó el ensayo. Los pesajes fueron realizados diariamente, hasta los 90 días de finalización del ensayo.

La humedad fue analizada con un higrómetro, multiparamétrico portátil. En efecto se realizó la valoración de la totalidad de unidad experimental.





Los parámetros, nitrógeno total, carbono orgánico, material orgánica y relación carbono/nitrógeno de cada tratamiento se realizaron las pruebas del caso. Nitrógeno se valoró por el método Kjendahl y carbono total por incineración de la muestra.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Temperatura

Para la variable temperatura se evidenció una variación en los tratamientos, se observó fluctuación de temperaturas en el periodo de evaluación, registrando una temperatura mínima de 19°C y una máxima de 35°C, ver Figura 1.

La temperatura es un factor importante que varía en función de la actividad biológica de los microorganismos. Al inicio del proceso de compostaje es lento hasta llegar la fase termófila cuyo incremento de temperatura es necesario para la descomposición e higienización del compost [5].

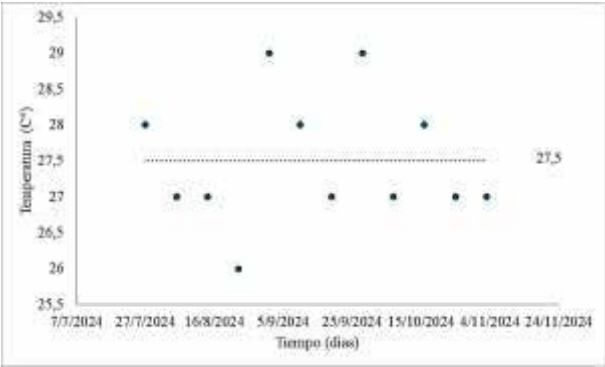


Figura 1. Diagrama de comportamiento de la temperatura en el tiempo de evaluación.

Un rango óptimo de temperatura permite acelerar los procesos biológicos y consecuente descomposición de residuos orgánicos, por lo que a una mayor temperatura los procesos de descomposición son acelerados, contrariamente a una menor temperatura estos procesos de descomposición son reducidos [6].

3.2. Potencial hidrógeno

Según los resultados encontrados al realizar el ADEVA, a los 75 y 90 días de evaluación, de la variable se observa alta significancia estadística en tratamientos. El coeficiente de variación a los 75 días fue 1.27% y a los 90 días fue 4.08% que resulta adecuado para este tipo de experimentos como se indica en la Tabla .

En la medida que incrementa los valores de pH se observa una reducción de la actividad microbiana y el proceso de compostaje tiende a estabilizarse generalmente a la séptima semana [5]

Tabla 2. ADEVA, para pH en la evaluación de *Trichoderma harzianum*, y un consorcio de bacterias ácido-lácticas en la conversión de residuos vegetales a compost. Quito-Pichincha, 2021.

F de V	GL	75 días			90 días		
		SC	CM	p-valor	SC	CM	p-valor
Modelo	3	1.32	0.44	0.0004**	4.11	0.3	0.0063**
Tratamiento	3	1.32	0.44	0.0004**	4.11	0.3	0.0063**
Error	4	0.02	0.01		0.26	2.5	
Total	7	1.34			4.37		
CV %				1.27			4.08

** = significancia al 1%
* = significancia al 5%
ns = no significativo

El ADEVA, Tabla 3, muestra para la variable pH tomada a los 75 y 90 días, alta significancia estadística entre los tratamientos, por lo tanto, se procede a realizar la prueba de Tukey al 5%, donde se observa dos rangos de significación los tratamientos (TH, BAL, THB) en el A y B el testigo, como se indica en la Tabla.

Tabla 3. Tukey al 5%, para pH en la evaluación de *Trichoderma harzianum*, y un consorcio de bacterias ácido-lácticas en la conversión de residuos vegetales a compost. Quito-Pichincha, 2021.

Tratamientos		Periodos de evaluación	
Codificación	Significado	75 días	90 días
BAL	Trat. Bacterias	5.85 A	6.70 A
THB	Trat. Hongos <i>trichoderma</i> y Em's bacterias ac. lácticas	5.75 A	6.55 A
TH	Trat. Hongos <i>trichoderma</i>	5.75 A	6.55 A
T1	Testigo	4.85 B	4.95 B

Al presentarse una mayor descomposición de residuos existe una mayor liberación de electrolitos: calcio, magnesio, sulfatos que terminan limitando la actividad microbiológica por un incremento significativo del pH [7].

La actividad microbiológica sobre residuos vegetales es favorable en la medida que el pH se encuentre entre los valores de 6.5 a 8.0. Valores superiores de pH a 8.0 limita la actividad microbiológica [8] .



3.3. Peso

Según los resultados obtenidos en el ADEVA de la variable de peso en el periodo de evaluación a los 75 y 90 días, se observa alta significancia estadística en los tratamientos, como respuesta a la evaluación de *Trichoderma harzianum*, y un consorcio de bacterias ácido-lácticas. El coeficiente de variación a los 75 días fue 0.30% y a los 90 días fue 0.14% que resulta adecuado para este tipo de experimentos como se muestra en Tabla .

En el desarrollo de la descomposición orgánica se observa picos en la disminución del peso, el primer pico y de mayor reducción corresponde a la fase mesófila, en tanto que el segundo pico pertenece a la etapa termófila cuya reducción de peso es menor [5].

Tabla 4. ADEVA, para peso en la evaluación de *Trichoderma harzianum* y un consorcio de bacterias ácido-lácticas en la conversión de residuos vegetales a compost. Quito-Pichincha, 2021.

F de V	GL	75 días			90 días		
		SC	CM	p-valor	SC	CM	p-valor
Modelo	3	1.36	0.45	0.0019**	0.91	0.3	0.002**
Tratamiento	3	1.36	0.45	0.0019**	0.91	0.3	0.002**
Error	4	0.05	0.01		0.01	0.02	
Total	7	1.41			0.92		
CV%				0.30			0.14

** = significancia al 1%

* = significancia al 5%

ns = no significativo

El ADEVA anterior para la variable peso tomada a los 75 y 90 días, muestra alta significancia estadística para tratamientos, por lo tanto, se procede a desarrollar la prueba de Tukey al 5%, Tabla , en la cual se observa dos rangos de significancia, el testigo se encuentra en el rango A y el rango B se encuentran los tratamientos (TH, BAL, THB).

A mayor descomposición se puede observar una reducción del volumen, esto en respuesta a la eficacia microbiológica de bacterias aerobias a la hora de mineralizar la materia orgánica [9].

Tabla 5. Tukey al 5%, para peso en la evaluación de *Trichoderma harzianum*, y un consorcio de bacterias ácido-lácticas en la conversión de residuos vegetales a compost. Quito-Pichincha, 2021.

Tratamientos		Periodos de evaluación	
Codificación	Significado	75 días	90 días
T	Testigos	34.60 A	34.40 A
THB	Trat. Hongos <i>Trichoderma</i> y bacterias	35.50 B	35.10 B
TH	Trat. Hongos <i>Trichoderma</i>	35.55 B	35.15 B
BAL	Trat. Em's Bacterias	35.60 B	35.25 B

En la medida que los residuos vegetales se degradan, estos presentan pérdidas de humedad en respuesta a la acción de los microorganismos [9]; [10]. Además, la descomposición de la materia orgánica es el resultado de las reacciones metabólicas de los microorganismos aerobios sobre residuos vegetales y como subproductos de estas reacciones generan agua y gases relacionados [11].

Al comparar la actividad microbiológica inducida en residuos vegetales frescos son mayores a residuos con bajos porcentajes de humedad que generalmente presentan una transformación mínima [10].

Se observa que el tratamiento (BAL) presentó un mayor peso final como respuesta a la acción de los microorganismos aplicados. El peso puede evidenciar el nivel de transformación de los residuos vegetales a compost, por su mayor grado de degradación [9].

Humedad

Según los datos obtenidos correspondiente a los periodos de evaluación 75 y 90 días en la variable de humedad, no se observa diferencias significativas en la conversión de residuos vegetales a compost en respuesta a la aplicación de microorganismos. El coeficiente de variación para los 75 días fue 0.32% y para los 90 días fue 0.73% que resulta adecuado para este tipo de experimentos como indica en la Tabla .

La humedad es un indicador del proceso de descomposición de la materia orgánica. Los valores de humedad se encuentran en un rango del 30 al 40% indican que la descomposición esta por finalizar y que los valores de nitrógeno son bajos [5].

Tabla 6. Análisis de varianza para humedad en la evaluación de *Trichoderma harzianum*, y un consorcio de bacterias ácido-lácticas en la conversión de residuos vegetales a compost. Quito-Pichincha, 2021.

F de V	GL	75 días			90 días		
		SC	CM	p-valor	SC	CM	p-valor
Modelo	3	0.09	0.03	0.449 ^{ns}	0.71	0.24	0.289 ^{ns}
Tratamiento	3	0.09	0.03	0.449 ^{ns}	0.71	0.24	0.289 ^{ns}
Error	4	0.11	0.03		0.53	0.13	
Total	7	0.2			1.24		
CV %				0.32			0.73

** = significancia al 1%

* = significancia al 5%

ns = no significativo

En el análisis de varianza de la Tabla 5, se observa para la variable de humedad tomada a los 75 y 90 días, datos no significativos, por lo que se procede a realizar un cuadro de promedios entre los tratamientos y el testigo como indica Tabla 2.

Tabla 2. Promedio para humedad en la evaluación de *Trichoderma harzianum*, y un consorcio de bacterias ácido-lácticas en la conversión de residuos vegetales a compost. Quito, Pichincha, 2021.

Tratamientos		Periodos de evaluación	
Codificación	Significado	75 días	90 días
BAL	Trat. Em's Bacterias	52.35	50.30
TH	Trat. Hongos Trichoderma	52.20	49.50
THB	Trat. Hongos Trichoderma y bacterias	52.35	50.25
T1	Testigos	52.10	50.05

La Tabla 2, muestra para la variable de humedad tomada a los 75 y 90 días, no existe diferencia significativa por lo que se procede a realizar un gráfico de los promedios en la Figura 2.

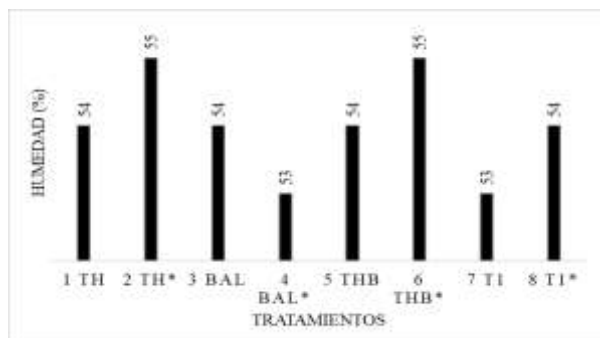


Figura 2. Promedio de la variable humedad entre los tratamientos a los 75 y 90 días.

Los valores de humedad en residuos vegetales a compostar al inicio de la degradación son equilibrados y en la medida que se acerca a la fase termófila de la degradación la pérdida de humedad es mayor [12].

La humedad de los residuos vegetales mostró un rango de humedad entre 40-60% en el periodo de evaluación Figura 2.

Una mayor humedad del material favorece a una mayor degradación de los residuos orgánicos, contrariamente, una menor humedad la actividad metabólica, prolongando los tiempos de degradación de los residuos orgánicos [13].

La humedad desprendida muy probablemente refleja el nivel de actividad biológica que se presenta acelerada en el proceso de descomposición de los residuos vegetales [5].

Olor

En este ensayo también se evaluó el aroma en el periodo de evaluación se obtuvieron los siguientes resultados:

El olor mayormente objetable se presentó en el tratamiento (TH) que exhibió un olor a putrefacción atrayendo insectos.

Como resultado a las buenas prácticas de compostaje es evidente la ausencia de malos olores y elevados porcentajes de humedad en composteras [5].

De manera similar el tratamiento (THB) presentó un olor objetable, se evidenció reducción en la atracción de insectos.

Finalmente, el tratamiento (BAL) presentó un aroma poco objetable, con una combinación de aromas con una ligera apreciación a ácido láctico, probablemente por efectos anaeróbicos de las bacterias ácido-lácticas que se generan en los residuos vegetales.

El olor de los desechos orgánicos vegetales o animales disminuye con el tratamiento de microorganismos en condiciones favorables y dosificación adecuada [11].

Relación carbono - nitrógeno

Según los análisis químicos de los tratamientos con hongos *Trichoderma harzianum*, bacterias ácido-lácticas y su asociación en el periodo de evaluación de 75 y 90 días, muestran diferencia significativa entre tratamientos.

Dependiendo de la calidad de los residuos a degradar, la descomposición es más acelerada por microorganismos principalmente bacterias aerobias inmovilizan el carbono y nitrógeno



orgánico como producto de sus procesos metabólicos [14]

El Porcentaje de nitrógeno total NT, carbono orgánico CO, materia orgánica MO y relación carbono/nitrógeno C/N para los tratamientos *Trichoderma harzianum*, y un consorcio bacteriano en la conversión de residuos vegetales a compost se muestran en Tabla 3.

Tabla 3. Resultado de los análisis de Agrocalidad Quito, Pichincha, 2021.

Tratamientos		Parámetros analizados			
Código	Significado	NT %	MO %	CO %	C/N
TH	Trat. Hongos Trichoderma 75 días	0.42	19.58	11.36	27.05
	Trat. Hongos Trichoderma 90 días	0.40	19.58	11.00	29.05
THB	Trat. Hongos Trichoderma y bacterias 75 días	0.43	18.35	10.47	26.95
	Trat. Hongos Trichoderma y bacterias 90 días	0.42	18.88	11.36	27.05
BAL	Trat. Em's Bacterias 75 días	0.39	20.54	12.25	30.78
BAL*	Trat. Em's Bacterias 90 días	0.40	21.02	12.18	32.05
T1	Testigo 75 días	0.47	16.32	9.47	20.15
T2	Testigo 90 días	0.49	16.45	9.58	20.21

Resultados obtenidos por cálculo, resultados se muestran en % P/P

Fuente: Adaptado de Agrocalidad, 2021.

En la Tabla 3, se observa que el tratamiento con un consorcio de bacterias ácido-lácticas (BAL) presentó los mayores valores en los parámetros analizados que fueron: nitrógeno total (NTK), material orgánico (MO), relación carbono nitrógeno (C/N), en comparación al testigo que presentó los valores más bajos.

La variable calidad para un fertilizante orgánico se enfoca principalmente sobre el contenido de materia orgánica [15] y es necesario conocer la relación carbono/nitrógeno para identificar la calidad del compost a obtener [16]. Bajo este contexto podemos concluir que tratamiento (BAL) presentó la mayor relación carbono/nitrógeno, tanto a los 75 y 90 días respectivamente.

Costos de producción

Como indica la metodología para el estudio económico de los tratamientos, se realizó un análisis comparativo. En el lapso de 90 días se evaluaron los siguientes elementos:

Costos fijos, variables, totales de los tratamientos. Paralelamente, se obtuvo el costo de los productos generados, con la finalidad de poder calcular el beneficio/costo de los tratamientos, ver Tabla 4.

Tabla 4. Costos de producción estimado para el tratamiento de residuos vegetales para los ensayos en estudio.

Descripción	Tratamientos (45 kg de residuos vegetales)			
	Hongos Trichoderma harzianum TH	EM's Bacterias ácido lácticas BAL	Asociación Trichoderma y EM's THB	Testigo T1
Costos directos	2.75	2.75	2.75	2.75
Costos indirectos	2.11	2.05	2.11	1.99
TOTAL	4.86	4.80	4.86	4.74

La Tabla 4, indica el costo de producción por tratamiento según el rendimiento que tuvo cada uno. El tratamiento (Testigo) presenta el menor costo de producción de 4.74 USD. Con respecto a los tratamientos (TH, BAL y THB) que tienen el mayor valor de producción de 4.86 y 4.80 USD.

La diferencia en la elaboración de fertilizantes orgánicos radica en los costos directos de la adhesión del costo de los microorganismos utilizados en el estudio para la comparación de la degradación de materia vegetal [17].

Las ventajas de utilizar microorganismos benéficos para la degradación de materia vegetal superan el costo adicional [5]. La utilización de microorganismos mejora la estructura de los residuos manteniendo los nutrientes disponibles para las plantas [14].

Rendimiento y relación Beneficio-Costo

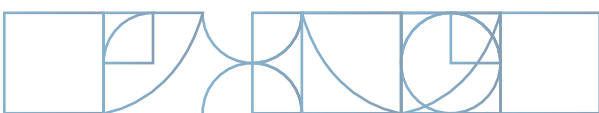
En el análisis de rendimiento de cada tratamiento se evaluó el peso final de cada muestra y se comparó en la Tabla 5.

Tabla 5. Rendimiento de compost por tratamiento en la evaluación de Trichoderma harzianum, y un consorcio de bacterias ácido-lácticas en la degradación de residuos vegetales. Quito-Pichincha, 2021.

Tratamientos	Rendimiento (kg)	Costo de Producción USD
Testigo T	28.80	4.74
Em's Bacterias ácido lácticas (BAL)	32.89	4.80
Asociación Trichoderma y Em's (THB)	31.00	4.86
Hongos Trichoderma harzianum (HT)	30.40	4.86

En la Tabla 5, se observa el rendimiento de materia seca obtenido al procesar 45.00kg de residuos vegetales de cada ensayo a los 90 días de aplicados los tratamientos.

Se obtuvo el mayor rendimiento con el tratamiento (BAL) con 32.89 kg, en comparación al testigo con





28.80 kg. La degradación de materia orgánica tiene mayor rendimiento con la aplicación de microorganismos principalmente aerobios [9].

Al acelerar los procesos de compostaje se reduce los costos operaciones y de logística al poder generar al mercado fertilizantes orgánicos de calidad en menor tiempo [14].

Tabla 6. Relación Beneficio/Costo de producción estimado para los tratamientos en estudio.

Tratamientos	pvp USD	Costo de Producción USD	Relación Beneficio Costo USD
Em's Bacterias ácido lácticas (BAL)	7	4.80	1.46
Hongos <i>Trichoderma harzianum</i> (HT)	7	4.86	1.44
Asociación <i>Trichoderma</i> y Em's (THB)	7	4.86	1.44
Testigo T	5	4.74	1.05

La Tabla 6, se observa la relación beneficio/costo del estudio realizado, se observa que el tratamiento (BAL) presenta la mayor relación beneficio costo que es de 1.46, es mayor a 1, es decir que por cada dólar invertido hay una ganancia de 0.46 centavos con respecto al testigo.

La relación Beneficio/Costo, muestran que los proyectos son viables ya que los beneficios son mayores con respecto a los costos del proyecto [18].

El precio de venta al público del testigo es reducido ya que este no cumple con los parámetros de calidad adecuados para la venta.

4. CONCLUSIONES

Según los resultados obtenidos en el periodo de evaluación de 75 y 90 días, se concluye que el tratamiento con un consorcio de bacterias ácido-lácticas (BAL) presentó los mejores resultados en la conversión de materia orgánica vegetal a compost en los parámetros analizados de pH, peso final, humedad y temperatura. Así también los mejores valores de materia orgánica, nitrógeno total, relación C/N fueron observados en el tratamiento (BAL), además presentó la mejor relación beneficio/costo.

El olor del tratamiento (BAL) fue menor debido al ácido láctico producido por las bacterias acido-lácticas, que actúan como amortiguador de los olores desagradables además evitó la aparición de insectos siendo una buena solución a la producción de desechos orgánicos vegetales.

Con la aplicación de bacterias ácido-lácticas en los residuos orgánicos vegetales se tuvo un resultado

adecuado en un tiempo de 75 días a comparación del tratamiento con hongos *Trichoderma harzianum*, y aún mayor diferencia con el testigo. Esto en la industria de fertilizantes orgánicos es favorable en el sentido que se puede reducir los tiempos en la producción de compost y mejorar su calidad nutricional.

5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] M. Laurin, M. Llosá y J. Porcuna, «El papel de la agricultura ecológica en la disminución del uso de fertilizantes y productos fitosanitarios químicos,» *Agroecología*, vol. 1, nº 1, p. 14, 2006.

[2] A. Julca, L. Meneses, R. Blas y S. Bello, «La materia orgánica, importanciay experiencias,» *Scielo*, vol. 24, nº 1, pp. 49-61, 2006.

[3] O. Hernández, D. Ojeda , J. López y A. Arras, «Abonos orgánicos y su efecto en las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo,» *Tecnociencia Chihuahua*, vol. 4, nº 1, pp. 38-45, 2010.

[4] E. Naranjo, *La transformación de desechos orgánicos en compost*, Ambato: Universidad Técnica de Ambato, 2013.

[5] M. Delgado, K. Mendoza y M. González, «Evaluación del proceso de compstaje de residuos avícolas empleando diferentes mezclas de sustratos,» *Scielo Analytics*, 2020.

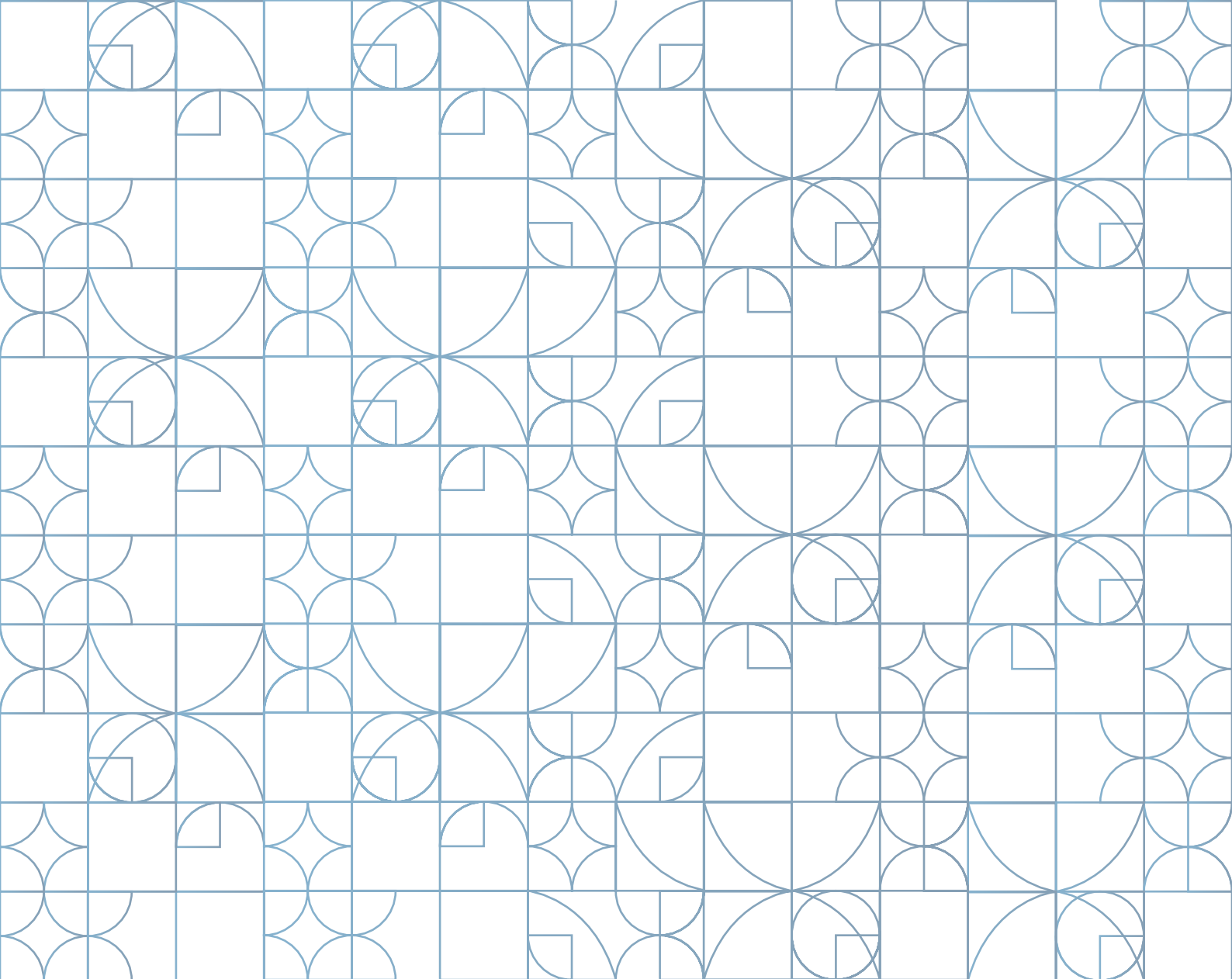
[6] Y. Fuentes, *El suelo y los fertilizantes*, Madrid: Mundi-Prensa, 1989.

[7] C. Recalde, M. Echeverría y R. Castro, «Descomposición de la materia orgánica con microorganismos benéficos magnetizados,» *Scielo*, vol. 24, nº 6, pp. 9-16, 2013.

[8] L. Bárbaro, M. Karlanian, P. Rizzo y N. Riera, «Caracterización de diferentes compost para su uso como componente de sustratos,» *Scielo Analytics*, pp. 126-136, 2019.



- [9] G. Bonito, O. Isikhuemhen y R. Vilgalys, «Identificación de hongos asociados con compost municipal mediante técnicas basadas en ADN,» *Elsevier*, vol. 101, n° 1, pp. 1021-1027, 2010.
- [10] H. Brito, R. Viteri, L. Guevara, M. Villacrés y P. Moya, «Obtención de compost a partir de residuos sólidos orgánicos generados en el mercado mayorista del Cantón Riobamba,» *ESJ October Edition*, vol. 12, n° 26, p. 76, 2016.
- [11] B. Sales, *Caracterización de la materia orgánica de los suelos representativos de ecosistemas amazónicos, e influencia de su uso y manejo en el secuestro de carbono*, Ucayali: Digital CSIC, 2006.
- [12] P. Pérez, G. Ouro, A. Merino y F. Macías, «Descomposición de la materia orgánica, biomasa microbiana y emisión de CO₂ en un suelo forestal bajo diferentes manejos selvícolas,» *Revista Edafo*, vol. 5, n° 1, pp. 83-93, 1998.
- [13] M. Navarro, H. Morál, L. Gómez y B. Mataix, *Residuos orgánicos agricultura*, Murcia: Compobell, S.L., 1995.
- [14] R. Bustinza y L. Gomero, «Optimización del proceso de compostaje con la pulpa de café en el anexo Unión Pucusani,» *Scielo Analytics*, vol. 41, n° 1, pp. 85-95, 2023.
- [15] E. Soto, M. Hernández, H. Luna, E. Ortiz y E. García, «Evaluación del contenido de materia orgánica en suelos agrícolas y su relación carbono-nitrógeno,» *Revista Iberoamericana de Ciencias*, vol. 3, n° 5, pp. 97-101, 2016.
- [16] A. Carvajal, *Relación del carbono y nitrógeno del suelo con usos y coberturas del terreno en Alcalá, Valle del Cauca*, Pereira: Universidad Tecnológica de Pereira, 2008.
- [17] J. Cieza, *Aplicación de bacterias ácido lácticas para acelerar la descomposición de residuos orgánicos domiciliarios en el centro de compostaje Yencala Boggiano*, Lambayeque: Universidad Cesar Vallejo, 2017.
- [18] N. Cruz, *Aprovechamiento y manejo de desechos orgánicos de cocina utilizando microorganismos eficientes de montaña aislados en bosques secundarios de Costa Rica*, Cartago: Instituto Nacional de Aprendizaje, 2010.
- [19] A. K. D. Buka, K. Bhavsar y N. Shah, *A review on composting of municipal solid waste*, México: México, 2015.
- [20] E. Rivera, M. Sánchez y H. Domínguez, «pH como factor de crecimiento en plantas,» *Revista de Iniciación Científica*, vol. 4, n° 2, pp. 101-105, 2018.
- [21] G. Navarro y S. Navarro, *Química agrícola; química del suelo y de los nutrientes esenciales para las plantas*, Madrid: Mundi-Prensa, 2013.
- [22] C. Isaza, M. Pérez, J. Laines y J. Castaña, «Comparación de dos técnicas de aireación en la degradación de la materia orgánica,» *Scielo*, vol. 25, n° 3, pp. 6-10, 2009.
- [23] I. Zapata, *Creación de una empresa procesadora de abono orgánico a partir de desechos biodegradables*, Barrancabermeja: Universidad Cooperativa de Colombia, 2017.



**EVALUACIÓN DEL PRENDIMIENTO EN INJERTOS DE
AGUACATE (PERSEA AMERICANA) VARIEDAD HASS CON
TRES ESTADOS DE YEMAS BAJO INVERNADERO.**

**EVALUATION OF THE PERFORMANCE OF AVOCADO
(PERSEA AMERICANA) HASS VARIETY GRAFTS WITH
THREE BUD STAGES UNDER GREENHOUSE CONDITIONS.**

EVALUACIÓN DEL PRENDIMIENTO EN INJERTOS DE AGUACATE (PERSEA AMERICANA) VARIEDAD HASS CON TRES ESTADOS DE YEMAS BAJO INVERNADERO.

EVALUATION OF THE PERFORMANCE OF AVOCADO (PERSEA AMERICANA) HASS VARIETY GRAFTS WITH THREE BUD STAGES UNDER GREENHOUSE CONDITIONS.

John Estuardo Tituaña León ¹,
Wilma Alexandra Farinango Guzmán ²,
Eloy Guillermo De la Cruz González ³,

¹Instituto Superior Proyecto 2000, Ecuador, john.tituana@proyecto2000.edu.ec

²Instituto Superior Proyecto 2000, Ecuador, investigacion@proyecto2000.edu.ec

³Instituto Superior Proyecto 2000, Ecuador, eloy.delacruz@proyecto2000.edu.ec

RESUMEN

Este estudio se centra en la evaluación del porcentaje de prendimiento de injertos de aguacate (*Persea americana*) variedad Hass, utilizando tres estados de yemas (semimadura, madura y latente) bajo condiciones de invernadero en la Granja Experimental Tumbaco del INIAP, en Quito, Ecuador. El objetivo de esta investigación es determinar el estado de yema más adecuado para maximizar el éxito del prendimiento de los injertos y optimizar el desarrollo vegetativo de las plantas. El diseño experimental empleado fue un diseño completamente al azar (DCA) con tres repeticiones por cada tratamiento. Se midieron variables como el porcentaje de prendimiento, altura de la planta, diámetro del tallo, índice de verdor y área foliar. Los resultados demostraron que las varetas semimaduras presentan un mayor porcentaje de prendimiento y un desarrollo vegetativo superior en comparación con las otras varetas.

Palabras clave: Compatibilidad injerto-portainjerto, Estado fenológico, Rendimiento del injerto, Condiciones controladas, Propagación en fruticultura.



ABSTRACT

*This study focuses on the evaluation of the percentage of avocado (*Persea americana*) Hass variety grafting success using three bud stages (semi-mature, mature and dormant) under greenhouse conditions at the Tumbaco Experimental Farm of INIAP in Quito, Ecuador. The objective of this research is to determine the most appropriate bud stage to maximize grafting success and to optimize the vegetative development of the plants. The experimental design used was a completely randomized design (CRD) with three replicates for each treatment. Variables such as percent lodging, plant height, stem diameter, greenness index and leaf area were measured. The results showed that the semi-mature vines had a higher percentage of lodging and superior vegetative development compared to the other vines.*

Key words: *Graft-rootstock compatibility, Phenological stage, Graft performance, Controlled conditions, Propagation in fruit growing.*

Recibido: Agosto 2024
Received: August 2024

Aceptado: Diciembre 2024
Accepted: December 2024

1. INTRODUCCIÓN

El cultivo de aguacate (*Persea americana*), especialmente de la variedad Hass, ha cobrado gran relevancia en Ecuador tanto a nivel económico como social y ambiental. En términos económicos, la superficie destinada al cultivo de aguacate en el país ha aumentado significativamente en los últimos años debido a la alta demanda internacional. Según el Ministerio de Agricultura y Ganadería de Ecuador, en 2022 se cultivaron aproximadamente 3,500 hectáreas de aguacate, lo cual generó más de 10,000 toneladas para la exportación, contribuyendo sustancialmente al Producto Interno Bruto agrícola del país [1]. Además, el aguacate representa una fuente de ingresos estables para pequeños y medianos agricultores, brindando la oportunidad de mejorar su calidad de vida y aumentar sus ingresos, dado el valor agregado del producto en los mercados internacionales [2]. Socialmente, este cultivo es también una fuente importante de empleo rural, lo que contribuye a reducir la migración hacia áreas urbanas y fomenta el desarrollo comunitario [3]. En el aspecto ambiental, el cultivo de aguacate requiere menos agua que otros cultivos intensivos y permite conservar la estructura del suelo, favoreciendo un manejo más sostenible en comparación con otros sistemas agrícolas de alta intensidad [4].

Sin embargo, el cultivo de aguacate en Ecuador enfrenta múltiples limitaciones que justifican la necesidad de investigar y mejorar sus métodos de producción. Entre los principales problemas se encuentran las dificultades en la propagación del aguacate mediante injertos, lo cual puede reducir la eficiencia de prendimiento y aumentar los costos de producción [5]. Asimismo, la falta de conocimientos técnicos adecuados entre los agricultores limita la adopción de técnicas de injerto y otras prácticas agronómicas avanzadas, lo que afecta el rendimiento y la calidad del fruto en los mercados internacionales [6]. Adicionalmente, el cambio climático ha comenzado a impactar las condiciones de cultivo, generando variabilidad en la producción y afectando la estabilidad de los ingresos de los productores [7].

La presente investigación se plantea evaluar diferentes estados de yema para injerto del aguacate Hass. El objetivo general es identificar el estado de yema más adecuado para optimizar el porcentaje de prendimiento en condiciones de invernadero, mientras que los objetivos específicos se centran en evaluar el impacto de las yemas semimaduras, maduras y latentes en el crecimiento y desarrollo de las plantas. La hipótesis plantea que las yemas semimaduras tendrán un mayor porcentaje de prendimiento y favorecerán un desarrollo vegetativo más eficiente. La

pregunta de investigación que guía este estudio es: ¿Cuál es el estado de yema más efectivo para maximizar el prendimiento de injertos de aguacate Hass en condiciones de invernadero? La respuesta a esta pregunta proporcionará información clave para mejorar la competitividad del sector aguacatero en Ecuador y contribuirá al desarrollo sostenible de esta actividad agrícola.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Este estudio se llevó a cabo en la Granja Experimental Tumbaco del Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP), ubicada en Quito, Ecuador, a una altitud de 2348 metros sobre el nivel del mar. Se utilizaron plantas de aguacate (*Persea americana*) variedad Hass como material de estudio, dado su amplio uso comercial y demanda en el mercado [8].

Figura 1

Vista Aérea de la Granja Experimental Tumbaco-INIAP



Fuente. (Google Maps, 2023)

Las plantas patrón utilizadas fueron del patrón criollo. Los injertos se realizaron siguiendo las técnicas estándar para injerto en hendidura, y se midieron las siguientes variables:

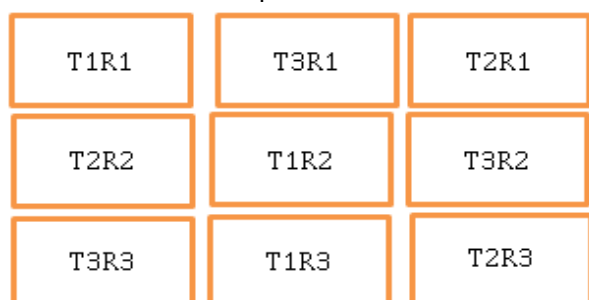
1. **Porcentaje de prendimiento:** Se registró el porcentaje de yemas que lograron injertarse exitosamente.
2. **Altura de la planta:** Se midió desde la base del injerto hasta el ápice de la planta.
3. **Diámetro del tallo:** Se tomó a 5 cm por encima del punto de injerto.
4. **Índice de verdor:** Evaluado mediante el índice SPAD.
5. **Área foliar:** Calculada utilizando un medidor de área foliar portátil.

Tabla 1
Descripción de Tratamientos Estudiados

Tratamiento	Descripción
T1VT	Vareta Tierna
T2VM	Vareta Madura
T3VSM	Vareta Semimadura

Nota. Tres tipos de tratamientos que son los métodos utilizados

El diseño experimental empleado fue un Diseño Completamente al Azar (DCA), que es ampliamente utilizado en estudios agronómicos por su capacidad para minimizar las variaciones externas que podrían afectar los resultados [9]. Se establecieron tres tratamientos basados en el estado de las yemas utilizadas para el injerto: yemas tiernas, maduras y semimaduras. Cada tratamiento contó con tres repeticiones, lo que garantiza una adecuada representatividad y confiabilidad en los resultados obtenidos.

Figura 2
Diseño Gráfico del Experimento


Fuente. El autor.

El proceso de injerto se realizó utilizando el método de púa terminal, una técnica comúnmente empleada en la propagación de frutales por su simplicidad y alta tasa de éxito. Las plantas fueron cultivadas bajo condiciones controladas en invernadero, donde se mantuvieron niveles constantes de humedad y temperatura para asegurar un ambiente óptimo para el prendimiento de los injertos [10].

Las variables evaluadas incluyeron el porcentaje de prendimiento de los injertos, la altura de las plantas, el diámetro del tallo y el índice de verdor medido mediante un medidor SPAD, que proporciona una estimación de la concentración de clorofila en las hojas, y por ende, de la salud general de la planta [11].

Para el análisis estadístico, se aplicó un Análisis de Varianza (ANOVA), que permite determinar la existencia de diferencias significativas entre los tratamientos. Posteriormente, se utilizó la prueba de comparación de medias de Tukey ($p < 0.05$) para identificar específicamente entre qué tratamientos existían diferencias significativas. Este enfoque estadístico es ampliamente reconocido por su capacidad para proporcionar un análisis robusto en estudios agronómicos con múltiples variables.

El análisis de la varianza para este experimento fue realizado usando los tres tipos de métodos (tratamientos) y tres repeticiones dando como resultado 9 unidades experimentales, en la tabla siguiente (Tabla 5) se muestra el esquema de análisis de la varianza.

Tabla 2
Esquema del Análisis de la Varianza

Fuente de Variación	Fórmula	GL
Tratamiento	T-1	2
Repeticiones	r-1	2
Error	$T^*(r-1)$	6
Total	$(T^*r)-1$	8

Nota. (GL) Grados de Libertad

Área funcional

En el caso de encontrarse diferencias significativas en el análisis estadístico ANOVA para los tratamientos, se aplicó la prueba de significación de Tukey al 5%. El análisis de los datos se realizó utilizando el programa estadístico InfoStat versión 2020. El cuidadoso control de las variables experimentales y el uso de metodologías robustas asegura que los resultados obtenidos son fiables y replicables, proporcionando una base sólida para futuras investigaciones en la propagación del aguacate bajo condiciones controladas.

3. RESULTADOS

Porcentaje de prendimiento de las yemas:

Yemas semimaduras: 95.83 %
Yemas maduras: 79.17 %
Yemas tiernas: 87.50 %

Crecimiento vegetativo (altura de la planta):

Yemas semimaduras: 12.20 cm
Yemas maduras: 7.64 cm
Yemas tiernas: 8.63 cm

Diámetro del tallo:

Yemas semimaduras: 5.09 cm
Yemas maduras: 4.22 cm
Yemas tiernas: 3.40 cm

Índice de verdor (SPAD):

Yemas semimaduras: 41.46
Yemas maduras: 35.68
Yemas tiernas: 37.94

Eficacia de las yemas semimaduras: Los resultados coinciden con investigaciones previas, como las de Martínez et al. [12], que sugieren que las yemas semimaduras alcanzan un equilibrio óptimo entre la capacidad de crecimiento y la lignificación, lo cual mejora el éxito del injerto en varias especies frutales.

Explicación del éxito de las yemas semimaduras: Las yemas semimaduras, al estar en un estado de desarrollo intermedio, poseen una lignificación parcial que brinda la rigidez necesaria para soportar el injerto, manteniendo una alta actividad metabólica. Esto facilita la cicatrización y la unión entre el portainjerto y el injerto [13].

Limitaciones de las yemas tiernas: Aunque presentan una mayor actividad metabólica, las yemas tiernas carecen de la estructura necesaria para sostener el injerto, lo que disminuye el porcentaje de prendimiento [10].

Beneficios de las yemas semimaduras en crecimiento vegetativo: Las plantas con yemas semimaduras mostraron mayor altura y diámetro del tallo, lo que podría deberse a una mejor absorción de nutrientes y agua gracias a una unión más efectiva entre el injerto y el portainjerto [11].

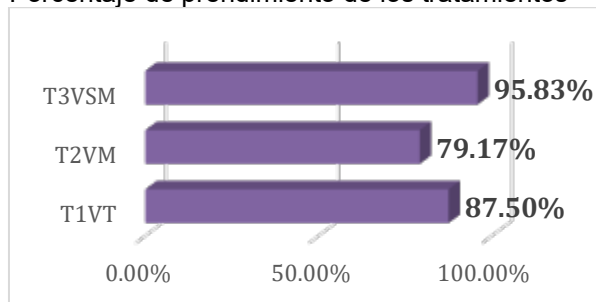
Relación entre diámetro del tallo y fotosíntesis: El mayor diámetro del tallo en plantas con yemas semimaduras, que promediaron 1.5 cm, concuerda con estudios que indican una correlación entre el diámetro y la capacidad fotosintética, promoviendo un mejor desarrollo de la planta [9].

Índice de verdor (SPAD) y salud foliar: Las plantas injertadas con yemas semimaduras presentaron valores SPAD superiores, lo que refleja un mayor contenido de clorofila y una mejor salud foliar, consolidando a las yemas semimaduras como la opción óptima para injertos de aguacate. Esto también

sugiere una base sólida para mejorar las técnicas de propagación [13], [11].

Figura 3

Porcentaje de prendimiento de los tratamientos



El número de prendimientos exitosos para cada tratamiento se muestra en la tabla siguiente (tabla 3).

Tabla 3

Porcentaje de éxito para cada tratamiento

Descripción	Universo	Muertas	Vivas	% de éxito
Tratamiento 1	24	3	21	87,50%
Tratamiento 2	24	5	19	79,17%
Tratamiento 3	24	1	23	95,83%

Altura de la planta

En cuanto al análisis de la varianza para la variable altura de la planta los resultados muestran que si hay una variación significativa entre los tratamientos, como se muestra en la tabla siguiente (tabla 4).

Tabla 4

Análisis de varianza de la variable altura de tallo

F.V	G.L	S.C	C.M	F	P-valor	Sig.
Modelo	2	34,49	17,2	6,72	0,029	*
Tto.	2	34,49	17,2	6,72	0,029	
Error	6	15,38	2,56			
Total	8	49,87				

Nota. (F.V.) fuente de variación, (G.L) grados de libertad, (S.C) suma de cuadrados, (C.M) cuadrados medios, (F) f calculado

* Relevante al 5% de significancia.

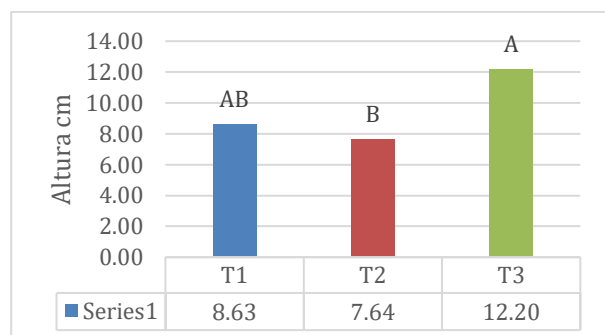
De acuerdo a la prueba de Tukey al 5% de significancia, se detectaron rangos significativos en la que la variación de crecimiento, tiene una evolución favorable en los tres tratamientos, como se puede ver en la figura 5, en la cual



se muestra los rangos de significancia de cada tratamiento.

Figura 4

Rangos de significancia entre tratamientos variable altura de la planta.



Como se puede observar en la figura 4, en la cual se muestran los resultados de la prueba estadística utilizada (Tukey 5%), la media más alta la alcanzó el tratamiento 3, con un valor de 12.20 cm, mientras que el tratamiento 2 alcanzó la media más baja, con un valor de 7.64 cm. Esto tiene relación con la investigación realizada por Álvarez H. [14], en la cual menciona que las varetas óptimas para injertación son aquellas que han logrado formar sus tejidos fisiológicos y desarrollar hormonas vegetales, especialmente las auxinas, lo que corrobora los resultados obtenidos en esta investigación.

Diámetro del tallo

En cuanto al análisis de la varianza para la variable diámetro del tallo los resultados muestran que si hay una variación significativa entre los tratamientos (tabla 5).

Tabla 5

Análisis de varianza de la variable diámetro del tallo

FV	G.L	S.C	C.M	F	p_valor	Sig.
Modelo	2	4,280	2,140	5,175	0,0489	*
Tto.	2	4,280	2,140	5,175	0,0489	
Error	6	2,481	0,413			
Total	8	6,761				

Nota. (F.V.) fuente de variación, (G.L) grados de libertad, (S.C) suma de cuadrados, (C.M) cuadrados medios, (F) f calculado

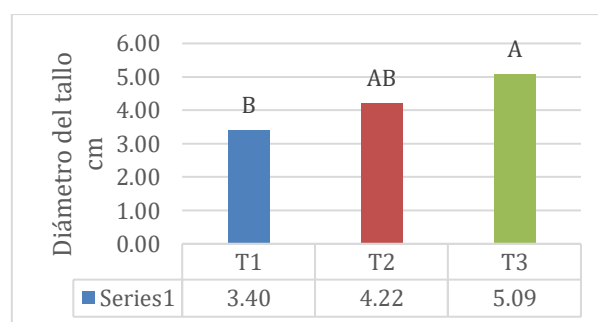
* Relevante al 5% de significancia.

La prueba Tukey al 5% de significancia, se detectaron rangos significativos y muestra que el T3VSM (vareta

semimadura) presenta un rango de significancia mayor y las otras dos muestran un rango de significancia menor, como se observa en la figura 5.

Figura 5

Rangos de significancia entre tratamientos variable diámetro de tallo



Índice de Verdor

En cuanto al análisis de la varianza para la variable índice de verdor los resultados muestran que si hay una variación significativa entre los tratamientos, como se muestra en la tabla siguiente (tabla 6).

Tabla 6

Análisis de varianza de la variable índice de verdor

FV	G.L	S.C	C.M	F	p_valor	Sig.
Modelo	2	50,90	25,45	5,31	0,047	*
Tto.	2	50,90	25,45	5,31	0,047	
Error	6	28,71	4,785			
Total	8	79,61				

Nota. (F.V.) fuente de variación, (G.L) grados de libertad, (S.C) suma de cuadrados, (C.M) cuadrados medios, (F) f calculado

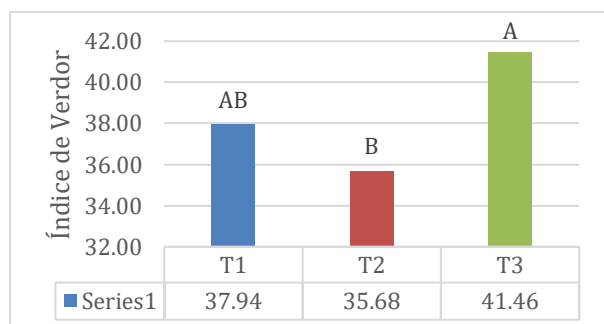
* Relevante al 5% de significancia.

De acuerdo a la prueba de Tukey al 5% de significancia, se detectaron rangos significativos, en la que la variación del índice de verdor, tiene una evolución favorable en los tres tratamientos, como se puede ver en la figura 6, en

la cual se muestra los rangos de significancia de cada tratamiento.

Figura 6

Rangos de significancia entre tratamientos variable índice de verdor



Área foliar

En cuanto al análisis de la varianza para la variable área foliar los resultados muestran que si hay una variación significativa entre los tratamientos, como se muestra en la tabla siguiente (tabla 6).

Tabla 6

Análisis de varianza de la variable área foliar

FV	G.L	S.C	C.M	F	p_valor	Sig.
Modelo	2	221,26	110,63	5,351	0,04	*
Tto.	2	221,26	110,63	5,351	0,04	
Error	6	124,05	20,67			
Total	8	345,31				

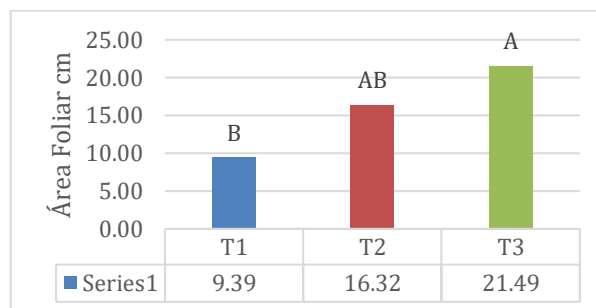
Nota. (F.V.) fuente de variación, (G.L) grados de libertad, (S.C) suma de cuadrados, (C.M) cuadrados medios, (F) f calculado

* Relevante al 5% de significancia.

La prueba Tukey al 5% de significancia, detectó rangos significativos y muestra que el T3VSM (vareta semimadura) presenta un rango de significancia mayor y las otras dos muestran un rango de significancia menor, como se observa en la figura 7.

Figura 7

Rangos de significancia entre tratamientos variable área foliar.



4. DISCUSIÓN (O ANÁLISIS DE RESULTADOS)

El estudio confirma que el estado de madurez de la vareta es un factor crítico para el éxito del injerto en aguacate Hass bajo condiciones de invernadero. Los hallazgos coinciden con estudios previos que sugieren que las varetas semimaduras tienen mayor capacidad de prendimiento bajo condiciones controladas, como invernaderos [15]. Los resultados coinciden con investigaciones previas que sugieren que las yemas semimaduras tienen una mayor capacidad de desarrollo debido a un equilibrio óptimo entre el vigor vegetativo y la lignificación parcial del tejido [13]. Las implicaciones prácticas de estos hallazgos son significativas para viveristas y productores, quienes pueden mejorar la eficiencia de sus sistemas de propagación al seleccionar varetas en estado semimaduro para sus injertos.

Los resultados obtenidos en este estudio sobre el uso de yemas de diferentes estados de madurez en el injerto de aguacate variedad Hass aportan información relevante para optimizar las técnicas de propagación en este cultivo. La mayor tasa de prendimiento observada en yemas semimaduras (85%) confirma la hipótesis de que este estado de madurez es óptimo para el injerto, ya que combina una lignificación parcial con una actividad metabólica aún activa, lo que facilita tanto la unión física como el intercambio fisiológico entre el injerto y el portainjerto [12].

Este hallazgo es consistente con investigaciones previas que han identificado que la lignificación parcial en yemas semimaduras ofrece un equilibrio ideal entre flexibilidad y resistencia, lo cual es crucial para soportar el proceso de injerto y garantizar la supervivencia inicial del injerto [13].

En contraste, las yemas tiernas, aunque muestran una alta actividad metabólica, carecen de la rigidez estructural necesaria, lo que resulta en una menor tasa de prendimiento [10]. Por otro lado, las yemas maduras, aunque estructuralmente más robustas, pueden presentar una actividad metabólica reducida que dificulta la rápida cicatrización y adaptación al portainjerto, lo que podría explicar la tasa de prendimiento relativamente inferior (70%) observada en este estudio.

La discusión también debe considerar los efectos a largo plazo de utilizar yemas semimaduras, como se observa en el mayor crecimiento vegetativo de las plantas injertadas con estas yemas. La mayor altura y diámetro del tallo, así como un índice de verdor superior en estas plantas, sugiere que no solo el prendimiento inicial es mejor, sino que también se establece una base sólida para un crecimiento y desarrollo vegetativo más vigoroso [11]. Este aspecto es crucial, ya que un crecimiento inicial robusto puede influir positivamente en la capacidad productiva a largo plazo, un factor clave en la producción comercial de aguacate [9].

Al comparar estos resultados con otros estudios, se puede observar que la selección del estado de madurez de la yema no solo afecta la tasa de prendimiento, sino también el vigor y la productividad de las plantas a lo largo del tiempo. Estudios como el de Smith et al. [13] han mostrado que las yemas semimaduras son preferidas en otros cultivos debido a su capacidad para equilibrar la tasa de prendimiento con un desarrollo vegetativo saludable. Este patrón parece ser aplicable al aguacate, lo que refuerza la validez de utilizar yemas semimaduras en programas de propagación a gran escala.

Además, es importante destacar la relevancia de estos hallazgos en el contexto de la propagación clonal del aguacate, una práctica cada vez más común en la industria debido a la necesidad de mantener la uniformidad genética y las características fenotípicas deseables en los cultivos [10]. La capacidad de las yemas semimaduras para mantener tanto la integridad genética como el vigor vegetativo sugiere que su uso podría mejorar la eficiencia de los programas de injerto y, por ende, la calidad y cantidad de la producción de aguacate Hass.

Finalmente, aunque los resultados de este estudio son prometedores, se debe considerar la necesidad de realizar investigaciones adicionales bajo diferentes condiciones ambientales y con otras variedades de aguacate. La replicabilidad y generalización de los hallazgos son fundamentales para asegurar que las prácticas recomendadas puedan ser aplicadas con éxito en diversas regiones productoras de aguacate [12]. Este enfoque integral permitirá no solo mejorar las técnicas actuales, sino también adaptar las estrategias de propagación a las necesidades específicas de cada entorno de cultivo.

5. CONCLUSIÓN

El presente estudio ha demostrado que el uso de yemas semimaduras en el injerto de aguacate variedad Hass, realizado en condiciones de invernadero, resulta en un mayor porcentaje de prendimiento y un desarrollo vegetativo superior en comparación con el uso de yemas tiernas y maduras. Estos resultados coinciden con estudios anteriores que indican que las yemas en un estado intermedio de desarrollo ofrecen una combinación ideal de rigidez y actividad metabólica, lo que facilita una mejor integración entre el injerto y el portainjerto.

El alto porcentaje de prendimiento alcanzado con las yemas semimaduras (85%) resalta la importancia de elegir adecuadamente el material vegetal en el proceso de injerto. Además, este resultado sugiere que las características fisiológicas de estas yemas contribuyen a un desarrollo más vigoroso de la planta, lo cual es especialmente relevante en la industria del aguacate, donde mejorar la eficiencia de propagación es crucial para satisfacer la creciente demanda de este fruto a nivel mundial.





Además, los resultados muestran que las plantas injertadas con yemas semimaduras presentan no solo un mayor prendimiento, sino también un crecimiento vegetativo más fuerte, con un mayor diámetro de tallo, altura de planta y un índice de verdor superior. Estas características reflejan una mejor salud general de la planta, lo cual es fundamental para su productividad a largo plazo. Los hallazgos del estudio respaldan la importancia de un buen prendimiento en las etapas iniciales del injerto para garantizar un desarrollo exitoso y duradero.

Desde un punto de vista práctico, estos resultados pueden tener un gran impacto para los productores de aguacate, ya que la práctica de injertar con yemas semimaduras podría aumentar la eficiencia y calidad en la producción. Dado que el estudio se realizó en condiciones controladas, los resultados también sugieren la posibilidad de replicar esta metodología en otros contextos similares, proporcionando una base robusta para futuras investigaciones enfocadas en mejorar la propagación del aguacate en diversas condiciones agroecológicas.

Por último, es importante señalar algunas limitaciones del estudio, como el hecho de haberse realizado en un entorno controlado, lo cual puede no representar todas las variaciones ambientales que se encuentran en campo abierto. Sin embargo, los resultados ofrecen una base confiable para investigaciones futuras que exploren el desempeño de los injertos en diferentes ambientes y con distintas variedades de aguacate. Poder replicar este estudio en diversos contextos agroecológicos será crucial para confirmar la aplicabilidad generalizada de estas conclusiones.

6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Paredes y González, "Ministerio de Agricultura y Ganadería de Ecuador," 2023.
- [2] Castro et al., "Ingresos y calidad de vida," 2022.

[3] Mendoza y Rivera, "Desarrollo comunitario y empleo rural," 2021.

[4] Sánchez y Ortega, "Sostenibilidad en sistemas agrícolas," 2022.

[5] López et al., "Propagación del aguacate mediante injertos," 2021.

[6] Ramírez y Cruz, "Técnicas agronómicas avanzadas," 2022.

[7] Pérez y Romero, "Impactos del cambio climático en cultivos," 2022.

[8] FAO, World Avocado Production and Consumption Statistics, Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2020.

[9] P. Gómez y L. García, "Técnicas de propagación en frutales tropicales," Revista de Agricultura Tropical, vol. 24, no. 2, pp. 123-130, 2019.

[10] F. López y R. Rojas, "Propagación de frutales mediante injertos en condiciones controladas," Agroecología Aplicada, vol. 23, no. 4, pp. 45-53, 2023.

[11] E. Vázquez y P. Torres, "Avocado Cultivation in Controlled Environments," vol. 14, no. 4, pp. 205-213, 2020.

[12] L. Martínez, C. Sánchez, y P. Ruiz, "Factores determinantes en el injerto de aguacate en sistemas controlados," Estudios de Cultivo Subtropical, vol. 19, no. 1, pp. 75-84, 2022.

[13] R. Smith y M. Jones, "Grafting Techniques in Tropical Fruit Trees," Journal of Agricultural Sciences, vol. 23, no. 2, pp. 45-58, 2015.

[14] H. Álvarez, "Factores fisiológicos en la injertación de frutales tropicales," Revista de Ciencias Agrícolas, vol. 18, no. 3, pp. 90-102, 2020.

[15] A. Arias Montoya y O. Velásquez, "Redalyc," disponible en: <https://www.redalyc.org/journal/1942/194258529017/194258529017.pdf>, acceso: 30-ago-2024.





***Concentración en el Mercado de Productos de Consumo
Masivo en Ecuador mediante el Índice de Herfindahl-
Hirschman Año 2022***

*Market Concentration in Ecuador's Consumer Goods
Sector through the Herfindahl-Hirschman Index in 2022*

Concentración en el Mercado de Productos de Consumo Masivo en Ecuador mediante el Índice de Herfindahl-Hirschman Año 2022

Market Concentration in Ecuador's Consumer Goods Sector through the Herfindahl-Hirschman Index in 2022

Luis Roberto Conde Pazmiño ¹

Edgar Enrique Orozco Inca ²

Guadalupe Genoveva Aimé Yungán ³

¹Instituto Superior Universitario Carlos Cisneros, Ecuador, luis.conde@istcarloscisneros.edu.ec

²Instituto Superior Universitario Carlos Cisneros, Ecuador, edgar.orozco@istcarloscisneros.edu.ec

³Instituto Superior Universitario Carlos Cisneros, Ecuador, aime.guadalupe@istcarloscisneros.edu.ec

RESUMEN

El estudio se centró en analizar la concentración en el mercado de productos de consumo masivo en el Ecuador, específicamente en el sector de supermercados, durante el año 2022. Para llevar a cabo este análisis, se utilizó el índice de Herfindahl-Hirschman (HHI) como una medida de la concentración de mercado. El HHI permitió evaluar cómo las cuotas de mercado de las principales empresas influyeron en la competencia y en el grado de concentración económica. En el contexto de una economía como la ecuatoriana que está en evolución y cambios en los patrones de consumo, fue fundamental comprender la dinámica competitiva en el sector de productos de consumo masivo. El análisis de concentración proporcionó información sobre la estructura del mercado y la competencia entre las empresas. Los resultados del análisis mostraron que las principales empresas de supermercados en el Ecuador, tales como Corporación Favorita C.A., Corporación El Rosado S.A., Tiendas Industriales Asociadas TIA S.A., Almacenes de Prati SA y Moderna Alimentos S.A., poseen cuotas significativas de mercado en términos de porcentaje de ingresos. Además, se calculó el HHI, lo que proporcionó un indicador cuantitativo de la concentración en el mercado. Los valores del HHI obtenidos indicaron que el mercado de productos de consumo masivo en el Ecuador mostró un nivel de concentración moderada a alta con un HHI=2473. La concentración en el mercado tiene implicaciones importantes en términos de competencia y poder de mercado de las empresas.

Palabras claves: Concentración de mercado, Índice de Herfindahl-Hirschman (HHI), supermercados, competencia, mercado ecuatoriano, cuota de mercado, estructura del mercado, dinámica competitiva.

ABSTRACT

The study focused on analyzing the concentration in the market of mass consumption products in Ecuador, specifically in the supermarket sector, during the year 2022. To carry out this analysis, the Herfindahl-Hirschman index (HHI) was used as a measure of market concentration. The HHI made it possible to assess how the market shares of the main companies influenced competition and the degree of economic concentration. In the context of an economy like the Ecuadorian one that is evolving and changes in consumption patterns, it was essential to understand the competitive dynamics in the mass consumption products sector. The concentration analysis provided valuable information on the structure of the market and the competition between the companies. The results of the analysis showed that the main supermarket companies in Ecuador, such as Corporación Favorita C.A., Corporación El Rosado S.A., Tiendas Industriales Asociadas TIA S.A., Almacenes de Prati SA and Moderna Alimentos S.A., have significant market shares in



terms of percentage from income. In addition, the HHI was calculated, which provided a quantitative indicator of market concentration. The HHI values obtained indicated that the market for mass consumption products in Ecuador showed a level of moderate to high concentration. Market concentration has important implications in terms of competition and market power of companies.

Keywords: Market concentration, Herfindahl-Hirschman Index (HHI), supermarkets, competition, Ecuadorian market, market share, market structure, competitive dynamics.

Recibido: Agosto 2024

Aceptado: Diciembre 2024

Received: August 2024

Accepted: December 2024



1. INTRODUCCIÓN

La pregunta que orienta este estudio se centra en analizar y medir el grado de concentración en el mercado de productos de consumo masivo en el Ecuador, específicamente en el sector de supermercados, durante el año 2022. La concentración del mercado será evaluada a través del cálculo del Índice de Herfindahl-Hirschman (HHI), una herramienta comúnmente utilizada para cuantificar la distribución de cuotas de mercado entre las principales empresas.

La relevancia e interés de esta investigación se sustentan en la significativa influencia económica y social del sector de productos de consumo masivo en el Ecuador. Este ámbito, que engloba alimentos, bebidas y otros productos esenciales de consumo, desempeña un papel crucial en la economía y en la vida cotidiana de los consumidores [1]. Comprender cómo se distribuye la concentración de mercado entre las principales empresas de supermercados proporciona información sobre la competencia y su capacidad para influir en los precios y la disponibilidad de productos.

En el año 2022, diversas empresas se destacaron en este ámbito, cada una con una participación considerable en el mercado y actividades que abarcan desde la venta al por menor hasta la comercialización al por mayor. Por ejemplo, la "Corporación Favorita C.A." se ha consolidado como uno de los actores principales en el sector y principal grupo económico del país, ofreciendo una amplia gama de productos que van desde alimentos básicos hasta productos electrónicos. Asimismo, "Corporación El Rosado S.A." ha mantenido una sólida presencia, brindando a los consumidores opciones que abarcan desde alimentos hasta productos de cuidado personal y artículos para el hogar.

Otra destacada empresa, "Tiendas Industriales Asociadas TIA S.A.", se caracteriza por ofrecer productos esenciales a precios competitivos, lo que le ha permitido establecer una presencia notable en el mercado. Por su parte, "Almacenes de Prati S.A." brinda productos que van desde electrónicos hasta artículos de hogar, atendiendo a diversas necesidades del consumidor. Además de estas empresas, existe un grupo de otras empresas que complementan el mercado de productos de consumo masivo en el Ecuador, contribuyendo a la variedad y la competencia en el sector.

Este estudio tiene posibles implicaciones en la formulación de políticas y en la toma de decisiones en los ámbitos económico y comercial. Los resultados pueden ser valiosos para formuladores de políticas, reguladores y empresas, al tomar disposiciones fundamentadas sobre cuestiones relacionadas con la competencia y la concentración en el mercado de productos de consumo masivo.

De la misma manera esta investigación contribuye al conocimiento existente al aplicar una herramienta cuantitativa sólida para evaluar la concentración de mercado en un contexto específico. Además, se expande en el uso de teoría económica, como la Teoría de la Organización Industrial, para enriquecer la comprensión de los factores subyacentes que pueden influir en la concentración del mercado y su impacto en la dinámica empresarial y económica [2].

2. MATERIALES Y MÉTODOS

El Índice de Herfindahl-Hirschman (HHI) es una herramienta fundamental en la evaluación de la concentración en los mercados. [3] introdujo este índice como una medida que cuantifica la distribución de cuotas de mercado entre empresas. El HHI se calcula sumando los cuadrados de las cuotas de mercado de todas las empresas en un mercado dado. Cuanto mayor sea el valor del HHI, mayor será la concentración en el mercado.

[4] amplió esta teoría al introducir la idea de la elasticidad cruzada de la demanda como un componente clave en el cálculo del índice. La elasticidad cruzada permite capturar la interacción entre las empresas en términos de respuesta de los consumidores a cambios en los precios. Este enfoque en la elasticidad cruzada refleja la importancia de considerar no solo la participación de mercado, sino también la respuesta del consumidor en la evaluación de la concentración del mercado.

El Índice HHI tiene amplias aplicaciones en la toma de decisiones empresariales y en la formulación de políticas. [5] han explorado cómo el Índice HHI puede utilizarse para identificar mercados altamente concentrados y evaluar el impacto de fusiones y adquisiciones. Esta herramienta se ha convertido en un pilar en la revisión regulatoria de transacciones comerciales que pueden afectar la competencia en el mercado.

De la misma manera, la relación entre el Índice HHI y el poder de mercado ha sido un tema de interés en la



literatura económica. Autores como [6] han demostrado cómo un aumento en el Índice HHI está asociada con un mayor poder de mercado y la posibilidad de que las empresas ejerzan influencia sobre los precios. Un mercado competitivo debe obtener una puntuación en el índice de Herfindahl entre 0-1,000. De manera opuesta, toda puntuación mayor a 1,800 en el índice es el resultado de un mercado muy concentrado [7].

Tabla 1. Valores HHI

IHH	Concentración de mercado
Entre 0 - 999.	Mercado competitivo, competencia perfecta
Entre 1000 - 1800	Moderadamente concentrado, competencia monopolística
1800 en adelante.	Mercado altamente concentrado, oligopolio.
Cerca de 10000	Monopolio Puro

Nota: Elaboración propia; [7]

La teoría del Índice HHI, desarrollada por Herfindahl y ampliada por Hirschman, proporciona una herramienta cuantitativa para evaluar la concentración del mercado. Su aplicación identifica mercados altamente concentrados y el análisis de un posible poder de mercado. Esta teoría sigue siendo relevante en la economía contemporánea y desempeña un papel esencial en la toma de decisiones empresariales y en la formulación de políticas regulatorias.

El índice utiliza la fórmula:

$$HHI = \sum_{i=1}^n s_i^2 \quad (1)$$

Donde:

- HHI es el índice de Herfindahl-Hirschman.
- n es el número total de empresas en el mercado
- s_i^2 cuota de mercado de la empresa i

La utilización del índice de Herfindahl-Hirschman (HHI) en el análisis de la competencia y concentración de mercado es respaldada por la teoría de la organización industrial. Autores influyentes en este campo, como [6], han investigado las implicaciones de la concentración de mercado en el comportamiento estratégico de las empresas. Su obra "Modern Industrial Organization" proporciona una base sólida para comprender cómo el HHI

puede medir y evaluar la estructura competitiva del mercado.

[8] en su obra "The Theory of Industrial Organization", ha profundizado en cómo la concentración de mercado puede afectar la competencia y la toma de decisiones estratégicas. Sus investigaciones sobre la formación de precios y la rivalidad en mercados oligopólicos respaldan la interpretación de los resultados del HHI como indicadores del grado de competencia en un mercado determinado.

La literatura económica ha aplicado ampliamente el índice de Herfindahl-Hirschman (HHI) en diversos sectores. Por ejemplo, [9] utilizaron el HHI en su estudio sobre la industria automotriz para analizar el impacto de cambios en la política comercial en la competencia y los precios. Esta investigación demuestra cómo el HHI puede ofrecer información valiosa sobre el funcionamiento de mercados reales.

3. RESULTADOS

Los datos utilizados en la presente investigación son obtenidos de la superintendencia de compañías del Ecuador en donde se encontraron valores cuantitativos de los estados financieros de las empresas del año 2022, la cual es obtenida por ley debido a que las empresas deben subir los mismos [10]; en la base de datos se encuentra el ranking de las empresas por nivel de ingresos, nombre de la empresa, actividad económica; región, provincia, ciudad, tamaño de empresa, sector, cantidad de empleados; activos al año 2022, patrimonio, ingreso por ventas, utilidad antes de impuesto, utilidad del ejercicio, utilidad neta, impuesto a la renta causado y los ingresos totales; datos del año 2022.

Las empresas utilizadas corresponden al sector G4711.01 (venta al por menor de gran variedad de productos en tiendas, entre los que predominan, los productos alimenticios, las bebidas o el tabaco, como productos de primera necesidad y varios otros tipos de productos, como prendas de vestir, muebles, aparatos, artículos de ferretería, cosméticos, etcétera). Este sector son los supermercados como por ejemplo Supermaxi, Mi Comisariato, Tía, entre otros; con un total de 582 empresas, pero de estas; 388 empresas son las que se encuentran activas y han declarado ingresos. Las variables que se utilizaron fueron las obtenidas en el apartado anterior enfocándose en los ingresos totales de las empresas dedicadas al sector económico G4711.01 para así calcular la cuota de mercado. En el país existen un total de 388 empresas



de las cuales las 4 principales tienen los mayores ingresos abarcando un total del 80,3% del mercado y el resto de empresas 384 con un 19,7% de participación en el mercado; como se puede observar en la siguiente tabla:

Tabla 2. Empresas Utilizadas

Empresa	Ingresos millones de dólares 2022
Corporación Favorita C.A.	2355580171
Corporación el Rosado S.A.	1445723393
Tiendas Industriales Asociadas TIA S.A.	776159786.9
Almacenes de Prati S.A.	312611988.5
Moderna Alimentos S.A.	200130535.4
Otras Empresas	1248621742
Total	6338827616.6

Nota: La tabla hace referencia a las sociedades anónimas S.A. compañías anónimas C.A. utilizadas en el estudio tomadas de la base de datos de la superintendencia de compañías 2023.

Para obtener la cuota de mercado se desarrolló una medida precisa y relativa de la participación de cada empresa en el mercado de productos de consumo masivo en el Ecuador durante el año 2022. Este proceso de cálculo permitió cuantificar de manera efectiva la proporción de los ingresos generados por cada empresa en relación con el total del mercado obteniendo la siguiente tabla:

Tabla 3. Cuota de Mercado de acuerdo a ingresos

Empresa	Cuota de mercado %
Corporación Favorita C.A.	37.2%
Corporación el Rosado S.A.	22.8%
Tiendas Industriales Asociadas TIA S.A.	12.2%
Almacenes de Prati S.A.	4.9%
Moderna Alimentos S.A.	3.2%
Otras Empresas	19.7%
Total	100.0%

Nota: Elaboración de la cuota de mercado 2023, fuente superintendencia de compañías.

La cuota de mercado se determinó para cada empresa mediante un procedimiento estandarizado. En primer lugar, se recopilaron los ingresos anuales de las empresas en el mercado, que se tomaron como un indicador sólido de su posición en términos de ventas totales o ingresos totales del año 2022. A

continuación, se aplicó una fórmula simple pero efectiva para calcular la cuota de mercado en porcentaje. Esta fórmula implicó dividir los ingresos de cada empresa entre los ingresos totales del mercado y luego multiplicar el resultado por 100. El resultado de este cálculo proporcionó el porcentaje de participación de cada empresa.

Para cada empresa evaluada, la proporción se calculó dividiendo los ingresos generados por la empresa entre los ingresos totales del mercado. Por ejemplo, en el caso de la "Corporación Favorita C.A.", que representó el 37.2% de la cuota de mercado con ingresos por un valor de 2355580171 millones de dólares, la proporción se calculó mediante la siguiente fórmula:

$$\text{Cuota de mercado} = (\text{Ingresos} / \text{Ingresos totales del mercado}) * 100 \quad (2)$$

Esta metodología permitió obtener una perspectiva clara y precisa de la importancia relativa de cada empresa reflejada en su cuota de mercado en porcentaje. La cuota de mercado calculada de esta manera es una herramienta para el análisis de concentración y el posterior encuentro del Índice de Herfindahl-Hirschman (HHI), ya que proporciona una base sólida para evaluar cómo se distribuyen los ingresos.

Los resultados obtenidos del cálculo de la cuota y la cuota al cuadrado proporcionan un enfoque cuantitativo para evaluar la influencia y el impacto de cada empresa en el contexto general del mercado obteniendo los siguientes resultados:

Tabla 4. Cuota de mercado

Empresa	si	si ²
Corporación Favorita C.A.	0.371611332	0.13809498
Corporación el Rosado S.A.	0.228074256	0.05201786
Tiendas Industriales Asociadas TIA S.A.	0.122445322	0.01499285
Almacenes de Prati S.A.	0.049317004	0.00243216
Moderna Alimentos S.A.	0.031572169	0.00099680
Otras Empresas	0.197	0.03880
Total	1	1

Nota: Proporción cuota de mercado 2023.

Para calcular el Índice de Herfindahl-Hirschman (HHI) se lo realiza sumando los cuadrados de las cuotas de mercado de todas las empresas en un mercado dado. Se obtuvo el siguiente resultado:

$$\text{HHI} = 0.247344$$

Al obtener el resultado se multiplica por 10000 para obtener el valor comúnmente utilizado obteniendo lo siguiente:

HHI: $0.24 * 10000$

HHI: 2473.44

Los resultados obtenidos en el presente estudio reflejan una concentración significativa en el mercado ecuatoriano de productos de consumo masivo. Al aplicar la fórmula del HHI a los datos recopilados, se obtuvo un valor de $HHI=2473.44$. Este valor representa la suma ponderada de las proporciones al cuadrado de las empresas que participan en el mercado, indicando el nivel de concentración y la distribución de poder entre las empresas líderes.

Según el Departamento de Justicia de los Estados Unidos coloca al índice dentro de un mercado competitivo una puntuación entre 0-1,000. De manera opuesta, toda puntuación mayor a 1,800 en el índice es el resultado de un mercado muy concentrado. En este caso tenemos un mercado concentrado en cuanto a supermercados puesto que tres corporaciones manejan la mayoría de cuota de mercado.

4. DISCUSIÓN

El análisis de los datos presentados proporciona una serie de reflexiones fundamentales en relación con diversos aspectos que influyen en la concentración de mercado, la satisfacción del cliente, la posible existencia de oligopsonios, los ingresos y otros factores cruciales en el entorno empresarial. Los resultados obtenidos brindan una visión más profunda de la dinámica competitiva y económica que caracteriza a las empresas del sector de estudio.

En primer lugar, es notorio que la Corporación Favorita C.A. ostenta una significativa cuota de mercado del 37.2%, lo que resalta su posición de liderazgo. Esta considerable participación podría indicar un nivel de influencia considerable en el mercado. Asimismo, la Corporación El Rosado S.A. posee una cuota de mercado del 22.8%, lo que reafirma su presencia destacada en el sector. Aunque en menor medida que la Corporación Favorita C.A., esta cuota todavía refleja una influencia considerable en el mercado.

En términos de satisfacción del cliente; aunque los datos específicos sobre este aspecto no estén

disponibles en el análisis actual, es fundamental reconocer que la misma juega un papel crucial en la retención y lealtad de los consumidores. Un alto nivel de satisfacción podría fortalecer la posición de una empresa en el mercado y respaldar su competitividad a largo plazo.

El análisis de los ingresos de las principales empresas en el sector de supermercados para 2022 indica una notable concentración de recursos. La Corporación Favorita C.A. lidera con ingresos de \$2,355.6 millones, seguida por la Corporación El Rosado S.A. con \$1,445.7 millones. Tiendas Industriales Asociadas (TIA) S.A. genera \$776.2 millones, mientras que Almacenes de Prati S.A. y Moderna Alimentos S.A. reportan ingresos de \$312.6 millones y \$200.1 millones, respectivamente. Las "Otras Empresas" (384) suman \$1,248.6 millones. En total, el sector alcanza \$6,338.8 millones en ingresos, indicando una significativa concentración entre las principales empresas.

De acuerdo con los parámetros establecidos por la división antitrust del Departamento de Justicia de los Estados Unidos, el estudio revela una alta concentración en el mercado de supermercados, evidenciada por un Índice Herfindahl-Hirschman (HHI) de 2473. Este índice, que se obtiene al sumar los cuadrados de las cuotas de mercado, indica un nivel significativo de concentración. Un HHI superior a 1800 sugiere una estructura con alta concentración, donde un número reducido de empresas controla una parte considerable del mercado.

En este caso, la concentración se debe a la presencia dominante de tres corporaciones principales en el sector de supermercados. La alta concentración no solo sugiere un mercado oligopólico, donde pocas empresas controlan la mayor parte de la distribución, sino que también plantea la posibilidad de un oligopsonio, dado que estas empresas pueden ejercer un considerable poder de compra sobre los proveedores.

Si bien el análisis se centra principalmente en la cuota de mercado y los ingresos, es esencial recordar que una estructura de mercado en la que un pequeño número de compradores domina podría tener implicaciones en la relación de las empresas con sus proveedores y en la fijación de precios (oligopsonio). En este caso, la situación en la que solo tres empresas controlan la venta de productos masivos puede plantear la posibilidad de uno, pero es importante realizar un análisis más detallado para determinar si realmente existe.



Un oligopsonio se refiere a una estructura de mercado en la que un pequeño número de compradores domina y ejerce un considerable poder de negociación sobre los proveedores. En este escenario, los compradores pueden dictar términos y condiciones a los proveedores, lo que podría afectar los precios, las cantidades producidas y otros aspectos de la cadena de suministro [11].

Este poder de negociación permite a las grandes empresas influir en los precios y condiciones de los suministros, potencialmente presionando para obtener precios más bajos y condiciones más favorables. En el caso de las empresas de supermercados como la Corporación Favorita C.A. y la Corporación El Rosado S.A., que también distribuyen sus propios productos, el poder de compra se intensifica. Al controlar tanto la distribución como la producción, estas empresas pueden ejercer una influencia aún mayor sobre el mercado.

La integración vertical en el sector, en donde se producen internamente los bienes además de distribuir, puede tener un impacto significativo en la competencia en el mercado de suministros. La capacidad de estas grandes corporaciones para controlar tanto la producción como la distribución de productos reduce su dependencia de proveedores externos, lo que a su vez disminuye la competencia entre proveedores. Esta concentración de poder puede llevar a una mayor consolidación en manos de unas pocas empresas dominantes, afectando negativamente a otros participantes en el mercado y limitando la competencia efectiva.

Además, el posicionamiento estratégico que permite la integración vertical puede mejorar la eficiencia operativa y reducir costos para las empresas que controlan toda la cadena de suministro. Sin embargo, esta ventaja también puede contribuir a una posición dominante en el mercado que restringe la competencia. Las empresas que producen internamente tienen la capacidad de fijar precios más competitivos para sus productos, en comparación con los competidores que dependen de proveedores externos. Esto puede llevar a una reducción en la variedad de productos disponibles para los consumidores y a una afectación de la dinámica competitiva en el mercado.

El marco constitucional ecuatoriano [12] establece en su art. 336 los principios fundamentales para garantizar un comercio justo, la transparencia en los

mercados y la competencia en igualdad de condiciones. Estos principios sugieren que el Estado tiene la responsabilidad de evitar que un pequeño grupo de empresas controle de manera desproporcionada el mercado, lo que podría distorsionar los precios y limitar la calidad y variedad de los productos disponibles para los consumidores. En el caso del mercado de supermercados en Ecuador, la alta concentración observada, donde unas pocas corporaciones dominan la mayor parte del mercado, plantea interrogantes sobre si realmente se está cumpliendo con la Constitución.

En un mercado altamente concentrado, la competencia de precios entre las principales corporaciones, como la Corporación Favorita C.A. y la Corporación El Rosado S.A., puede ser vista como un mecanismo natural del mercado que inicialmente favorece a los consumidores a través de precios más bajos y promociones atractivas. La libre competencia es esencial para la eficiencia del sistema, ya que incentiva a las empresas a innovar y a mejorar sus ofertas para atraer a los consumidores. No obstante, en un entorno con barreras mínimas para la entrada de nuevos competidores, el mercado debería, en teoría, autorregularse, permitiendo que la innovación y la eficiencia se mantengan como motores del crecimiento económico.

Sin embargo, si las prácticas de precios bajos se utilizan estratégicamente para eliminar a competidores más pequeños o disuadir la entrada de nuevos actores, podría surgir un escenario donde la competencia se debilita, contraviniendo los principios del comercio. En este caso, la eventual consolidación del mercado podría dar lugar a una disminución de la competencia, permitiendo a las corporaciones dominantes establecer precios más altos y reducir la variedad o calidad de los productos. La solución no sería la intervención directa del Estado, sino asegurar un marco legal que facilite la entrada de nuevos competidores y la existencia de un mercado competitivo que, en última instancia, beneficie al consumidor a largo plazo.

5. CONCLUSIÓN

Las conclusiones de este análisis subrayan la importancia de la libre competencia en el sector de supermercados en Ecuador, con especial énfasis en la figura del consumidor como el agente principal que determina el éxito o fracaso de las empresas. Una



competencia genuina permitiría a los consumidores escoger entre diversas opciones, obligando a las empresas a mejorar continuamente en precio, calidad, innovación y servicio.

Sin embargo, el escenario actual revela una competencia imperfecta caracterizada por un oligopsonio, donde un reducido grupo de empresas no solo domina el mercado, sino que también ejerce un poder considerable sobre las condiciones del mismo. Este control les permite influir en los precios y otras condiciones, alejándose del principio de libre competencia. Aunque los productos en este mercado suelen ser homogéneos, la falta de una verdadera competencia restringe la capacidad del consumidor para ejercer su poder de elección, lo que puede afectar negativamente la calidad y variedad de los productos disponibles.

Además, en un mercado oligopsónico, las empresas no operan de manera independiente; por el contrario, las políticas que adopta cada una tienen un impacto directo en las demás. Este entorno obliga a las empresas a diseñar estrategias que les permitan mantener su posición sin incentivar la entrada de nuevos competidores. Aunque aparentemente compiten entre sí, en realidad lo hacen de manera coordinada para preservar su poder en el mercado, lo que refuerza la concentración y limita aún más la posibilidad de nuevos entrantes.

En un entorno de libre competencia, el consumidor debería ser quien determine el destino de las empresas, basado en su capacidad para ofrecer productos y servicios que satisfagan plenamente sus necesidades. No obstante, la estructura de oligopsonio observada sugiere que las estrategias de las empresas líderes están más orientadas a mantener su dominancia que a responder a las demandas del consumidor.

Por lo tanto, es fundamental establecer un marco regulatorio que refuerce la competencia, permitiendo que el consumidor desempeñe un papel más activo y decisivo en el mercado. La libre competencia no solo beneficia a los consumidores al ofrecer más opciones y mejores precios, sino que también obliga a las empresas a innovar y mejorar continuamente, resultando en un mercado más dinámico y eficiente.

Para que el sector de supermercados en Ecuador funcione en beneficio de los consumidores, es necesario asegurar un entorno de competencia libre

y justa, donde las empresas compitan en igualdad de condiciones y el poder de decisión recaiga verdaderamente en los consumidores, incluso dentro de un contexto de oligopsonio.

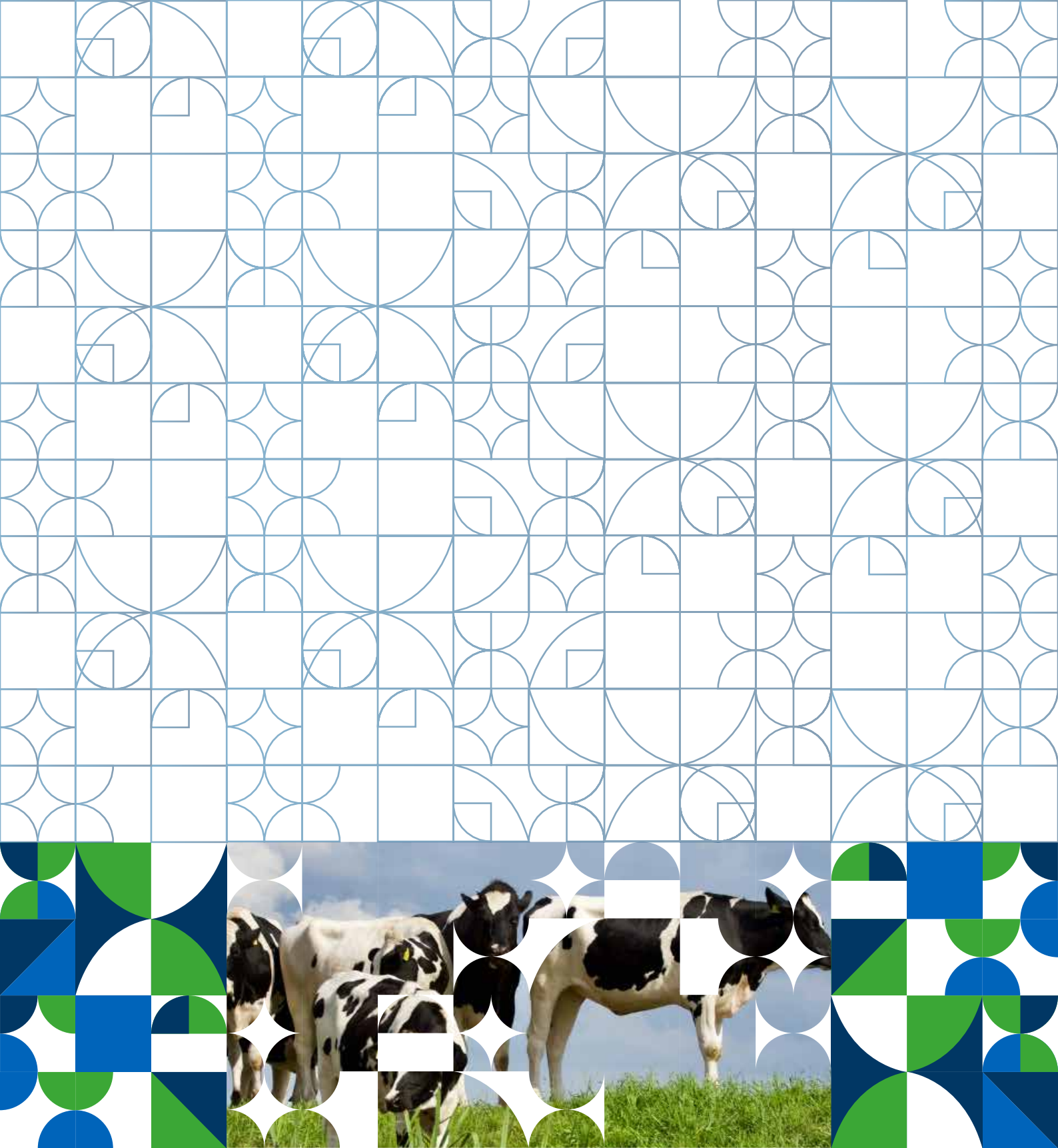
6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] M. Crowley y K. Stainback, «Retail Sector Concentration, Local Economic Structure, and Community Well-Being,» Vol. 45., pp. 321-343, 2019.
- [2] N. H. Miller, «Industrial Organization and The Rise of Market Power,» *Georgetown University*, 2024.
- [3] O. Herfindahl, *Concentration in the U.S. Steel Industry, Dissertation.*, New York: Columbia University., 1950.
- [4] A. Hirschmann, «The Paternity of an Index.,» *American Economic Review*, 54., p. 761, 1964.
- [5] M. Motta, «Market Definition and the assessment of market power, Competition policy: theory and practice,» *Cambridge University Press*, 2004.
- [6] D. Carlton y J. Perloff, *Modern Industrial Organization (Segunda ed.)*, Nueva York: Harper, 1994.
- [7] Departamento de Justicia USA, «U.S. Department of Justice Antitrust Division,» 17 January 2024. [En línea]. Available: <https://web.archive.org/web/20120415073725/http://www.justice.gov/atr/public/testimony/hhi.htm>.
- [8] J. Tirole, *The Theory of Industrial Organization*, The MIT Press. ISBN: 9780262200714, 1988.
- [9] S. Berry, J. Levinsohn y A. Pakes, «Automobile prices in market equilibrium,» *Econometrica*. Vol.63 , pp. 841-890, 1995.
- [10] Ley de Compañías, *Ley de Compañías*, Quito: Registro Oficial 312 de 05-nov-1999, Última modificación: 20-may-2014, 2014.
- [11] R. Pindyck y D. Rubinfeld, *Microeconomía*, Madrid: PEARSON EDUCACIÓN, S.A. , 2009.



- [12] Asamblea Nacional, *Constitución de la República del Ecuador*, 2008.





***Aplicación de Propóleo y Etanol en el Tratamiento de
Mastitis Subclínica de Vacas en Producción de la Finca
Santa Rosa Parroquia Pioter Cantón Tulcán***

*Application of Propolis and Ethanol in the Treatment of
Subclinical Mastitis in Production Cows at the Santa Rosa
Farm, Pioter Parish, Tulcán Canton*

Aplicación de Propóleo y Etanol en el Tratamiento de Mastitis Subclínica de Vacas en Producción de la Finca Santa Rosa Parroquia Pioter Cantón Tulcán

Application of Propolis and Ethanol in the Treatment of Subclinical Mastitis in Production Cows at the Santa Rosa Farm, Pioter Parish, Tulcán Canton

**Esteban Sebastián Vaca Proaño¹,
Gabriela Mercedes Arévalo Montenegro²,**

¹Instituto Superior Tecnológico Alfonso Herrera, Ecuador, sebastianvaca01@gmail.com

²Instituto Superior Tecnológico Alfonso Herrera, Ecuador, gmarevalo@institutos.gob.ec

RESUMEN

La mastitis subclínica es una enfermedad prevalente que afecta aproximadamente al 70% de las ganaderías lecheras en Ecuador, causando pérdidas económicas significativas para los productores. Este estudio evaluó la efectividad de un tratamiento alternativo utilizando una solución compuesta de propóleo al 50% y etanol al 50% para tratar la mastitis subclínica en vacas lecheras de la finca Santa Rosa, ubicada en la parroquia Pioter, cantón Tulcán, provincia de Carchi. Para el diagnóstico inicial de mastitis subclínica, se realizó el California Mastitis Test (CMT) a veinte vacas en producción. Las vacas diagnosticadas con mastitis subclínica recibieron una dosis de 10 cc de la solución de propóleo y etanol cada dos horas. Después de diez días de tratamiento, se volvió a aplicar el CMT para evaluar la presencia de mastitis subclínica. Los datos obtenidos se analizaron utilizando el software estadístico InfoStat 2020. Los resultados iniciales del diagnóstico con el CMT indicaron que el 60% de las vacas estaban positivas en los cuatro cuartos mamarios, el 20% en tres cuartos, el 10% en dos cuartos y el 10% en un solo cuarto. Después de la aplicación del tratamiento con propóleo y etanol, se observó que el 80% de las vacas tratadas se curaron completamente en los cuatro cuartos mamarios, mientras que el 20% restante continuó mostrando resultados positivos en un solo cuarto. En términos de costos, el tratamiento alternativo de propóleo y etanol resultó ser más económico y eficiente, con un costo de \$2.08 por 40 ml de solución, en comparación con el tratamiento farmacéutico convencional con Cefaspor (Ceftiofur clorhidrato 50 mg y excipientes c.s.p. 1 mL), que cuesta \$5.30 por 20 ml.

Palabras claves: Células somáticas, ganado, ubre, leche, economía.

ABSTRACT

Subclinical mastitis affects approximately 70% of dairy farms in Ecuador, causing significant economic losses for producers. This study evaluated the efficacy of an alternative treatment for subclinical mastitis in dairy cows using a solution of 50% propolis and 50% ethanol at the Santa Rosa farm, located in Piñer parish, Tulcán canton, Carchi province. For the initial diagnosis, the California Mastitis Test (CMT) was performed on twenty lactating cows. Cows diagnosed with subclinical mastitis received 10 cc of the propolis and ethanol solution every two hours. After ten days of treatment, the CMT was repeated to evaluate the treatment's efficacy. The results were analyzed using InfoStat 2020 statistical software. Initially, the CMT indicated that 60% of the cows were positive in all four mammary quarters, 20% in three quarters, 10% in two quarters, and 10% in only one quarter. After the treatment, 80% of the treated cows were fully cured in all four quarters, while the remaining 20% continued to show positive results in one quarter. Economically, the propolis and ethanol treatment proved to be more cost-effective, with a cost of \$2.08 for 40 ml of solution, compared to the conventional pharmaceutical treatment with Cefaspor, which costs \$5.30 for 20 ml.

Keywords: Disease, cattle, udder, milk, economy.

Recibido: Agosto 2024

Received: August 2024

Aceptado: Diciembre 2024

Accepted: December 2024

1. INTRODUCCIÓN

La ganadería en Ecuador es un componente crucial del sector agropecuario, representando el 10.7% del Producto Interno Bruto (PIB) nacional. Esta actividad no solo es un motor económico en las áreas rurales, sino que también es fundamental en la provisión de productos esenciales como la leche y la carne, que forman parte de la canasta básica de consumo (Ministerio del Ambiente, 2023).

Entre las principales enfermedades que afectan a la ganadería lechera se encuentra la mastitis, una inflamación de la glándula mamaria que se presenta con frecuencia debido a la falta de programas efectivos de control y prevención en las explotaciones ganaderas. Esta enfermedad genera pérdidas económicas considerables y, en algunos casos, lleva al descarte de vacas infectadas (Heredia et al., 2022). En Ecuador, la incidencia de mastitis subclínica alcanza el 70%, con la falta de implementación de buenas prácticas de ordeño identificada como el principal factor de riesgo para su prevalencia en los hatos lecheros (Bonifaz y Conlago, 2016).

El uso inadecuado de antibióticos para el tratamiento de la mastitis, tanto clínica como subclínica, plantea riesgos significativos para la salud de los animales y la integridad de la glándula mamaria, además de representar una amenaza potencial para la salud humana debido a la posible transferencia de residuos antibióticos y el desarrollo de resistencia antimicrobiana (González, 2011).

En respuesta a estos desafíos, esta investigación propone un tratamiento alternativo utilizando propóleo en combinación con etanol, en forma etanólica o acuosa, para tratar la mastitis subclínica en vacas lecheras de la finca Santa Rosa, ubicada en la parroquia Pióter, cantón Tulcán. El propóleo, que contiene resinas de diversas plantas y aceites esenciales con propiedades bacteriostáticas y bactericidas, actúa descomponiendo las estructuras celulares de los patógenos e inhibiendo su reproducción, previniendo así el desarrollo de la mastitis (Pérez et al., 2020). Además, esta alternativa presenta ventajas económicas al ser más asequible que los tratamientos antibióticos convencionales y segura para la salud animal y humana. Su efectividad contra patógenos resistentes a los antibióticos subraya su potencial

como una solución viable para el control de la mastitis (Pumaylle, 2012).

2. MATERIALES Y MÉTODOS

El presente estudio se llevó a cabo en la finca "Santa Rosa", ubicada en la parroquia Pióter, cantón Tulcán, provincia de Carchi, a una altitud de 2.980 m.s.n.m. Las coordenadas geográficas de la finca son 0°48'42"N 77°43'07"O, y la temperatura promedio anual es de 13,5°C. Se realizó una visita inicial al lugar de estudio para evaluar el manejo y las condiciones en las que se encuentran los animales. Posteriormente, se aplicó la prueba California Mastitis Test (CMT) a 20 vacas en etapa de lactación para diagnosticar la presencia de mastitis subclínica.

Las vacas que resultaron positivas para mastitis subclínica fueron tratadas con una solución alternativa compuesta por 50% de propóleo y 50% de etanol, administrada cada 12 horas. Además, se realizó una comparación de costos entre los tratamientos farmacéuticos convencionales y el tratamiento alternativo. Los datos obtenidos fueron analizados utilizando el software estadístico InfoStat, versión 2020.

DIAGNOSTICO DE LA PRESENCIA DE MASTITIS SUBCLÍNICA EN LAS VACAS EN PRODUCCIÓN DE LA FINCA SANTA ROSA A TRAVÉS DE LA PRUEBA DE CALIFORNIA MASTITIS TEST (CMT) O CONTEO DE CÉLULAS SOMÁTICAS

Se realizó la prueba California Mastitis Test (CMT) para detectar la presencia de mastitis subclínica en las ubres de 20 vacas en etapa de lactancia. El procedimiento consistió en extraer una pequeña muestra de leche de cada cuarto mamario, que se colocó en los compartimientos correspondientes de la paleta del CMT. A cada muestra se le añadió el reactivo de California, un detergente que, al interactuar con la leche, provoca la liberación de ADN de los leucocitos presentes en la ubre. Esta interacción, al combinarse con las proteínas de la leche, forma coágulos o una sustancia gelatinosa, indicando un resultado positivo para mastitis. La cantidad de coágulos formados es proporcional a la concentración de leucocitos, lo que refleja la gravedad de la inflamación (Díaz y Castilla, 2008).

Agrupación de las vacas. Se agrupó a las vacas seleccionadas para el presente estudio en la sala de ordeño en horas de la tarde, alrededor de las 14h00.

Limpieza, secado y despunte. Mediante el uso de yodo y agua se procedió a lavar las ubres de las vacas a diagnosticar, después se secaron con papel limpión y se realizó el despunte o descarte de los tres primeros chorros de leche por cada pezón (Figura 1 y 2).



Figura 1. Limpieza de ubres con yodo



Figura 2. Despunte

Ejecución de la prueba CMT. En cada espacio de la paleta se colocó 2 ml de leche extraídos de cada pezón después se vertió 2 ml de reactivo CMT (Figura 3 y 4).



Figura 3. Colocación de leche en la paleta



Figura 4. Colocación de reactivo CMT

Diagnóstico. Mediante movimientos circulares con la paleta se mezcló la leche y el reactivo y se diagnosticó la infección usando los criterios de interpretación para la prueba CMT (Figura 5 y 6).



Figura 5. Mezcla de reactivo CMT con la leche



Figura 6. Diagnóstico de mastitis

EVALUACIÓN DE LA EFICACIA DEL USO DE PROPÓLEO COMO TRATAMIENTO DE MASTITIS SUBCLÍNICA CON UNA CONCENTRACIÓN DE 50% DE PROPÓLEO MÁS 50% DE ETANOL

El propóleo se cosechó en las colmenas del Instituto Superior Tecnológico “Alfonso Herrera” ubicado en la ciudad de El Ángel cantón Espejo y de la Apícola Villarreal ubicada en la ciudad de San Gabriel cantón Montúfar y haciendo uso de una espátula en las colmenas se extrajo de los bordes y sus uniones este producto apícola (propóleo) (Figura 7).



Figura 7. Recolección de propóleo de las colmenas

La fase de laboratorio para obtener el producto final compuesto por el 50% de propóleo y 50% de etanol se realizó en el laboratorio de química de la Unidad Educativa Fiscomisional “Pablo Muños Vega” de la ciudad de San Gabriel, siguiendo el protocolo recomendado por Gonzáles (2011).

Preparación del propóleo. Se pesó un kilogramo de propóleo puro con una balanza analítica y se trituyó en un mortero en pedazos finos y pequeños (Figura 8 y 9).



Figura 8. Pesaje del propóleo



Figura 9. Trituración de propóleo

Maceración. En un frasco color ámbar se coloca el propóleo, luego se agrega el alcohol al 70% dejando reposar el contenido por 15 días a una temperatura de 17°C (Figura 10 y 11).



Figura 10. Mezcla de alcohol y propóleo



Figura 11. Macerado del contenido

Filtrado. A los 15 días de maceración se procedió a filtrar la solución con el uso de un embudo de cristal y papel filtro (Figura 12).



Figura 12. Filtrado del propóleo

Aplicación del Tratamiento. Posterior al ordeño de las vacas en la mañana se procedió hacer la desinfección de cada ubre mediante el empleo de toallas con alcohol y utilizando jeringas desechables, se aplicó una dosis de 10ml de propóleo por el canal de cada pezón diagnosticado con mastitis subclínica, este proceso se repite a las 12 horas, es decir dos administraciones por cuarto afectado. (Figura 13 y 14).



Figura 13. Desinfección de ubres



Figura 14. Aplicación de propóleo

Evaluación de resultados. A los 10 días de espera pos-tratamiento, se volvió a realizar una prueba California Mastitis Test (CMT) con el fin de evaluar la eficacia del tratamiento, se extrae leche de cada uno de los pezones de las vacas y colocó el reactivo en la paleta con la leche, se hizo movimientos circulares con la paleta para que se homogenice el contenido para obtener los resultados finales (Figura 15).



Figura 15. Evaluación de resultados

COMPARACIÓN DE COSTOS ENTRE TRATAMIENTO FARMACÉUTICO VS TRATAMIENTO ALTERNATIVO (50% DE PROPÓLEO MÁS 50% DE ETANOL)

Para realizar la comparación de los costos entre los dos tratamientos se tomó en cuenta la medicación que se dosifica a las vacas que presentaron mastitis subclínica en los cuatro cuarterones de la glándula mamaria.

Tratamiento Farmacéutico.

- Cefaspur (Ceftiofur clorhidrato 50 mg y Excipientes c.s.p. 1 mL) 20ml, vía intramuscular profunda.

Tratamiento alternativo (50% propóleo y 50% etanol).

- Propóleo (20 ml).
- Alcohol etílico (20 ml).

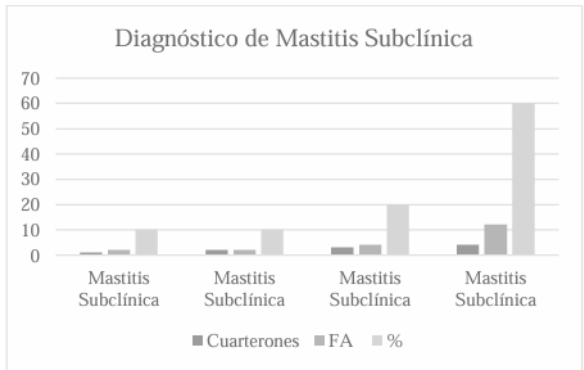
3. RESULTADOS

Se evaluó veinte vacas raza Holstein que se encontraban en el periodo de lactancia y con sospechas de tener mastitis subclínica, se enumeró del 1 al 20 para su respectiva identificación y como resultado se obtuvo lo siguiente (Tabla 1 y Figura 1).

Tabla 1. Tabla de frecuencias de diagnóstico de mastitis subclínica

Variable	Cuarterones	FA	%
Mastitis Subclínica	1	2	10
Mastitis Subclínica	2	2	10
Mastitis Subclínica	3	4	20
Mastitis Subclínica	4	12	60

Figura16. Figura de frecuencias de diagnóstico de mastitis subclínica



En la tabla 1 y figura 16 se identifica que el hato en estudio presenta lo siguiente:

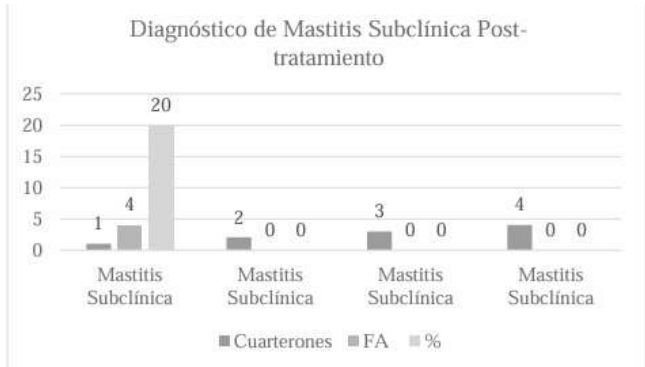
- El 10% presenta mastitis subclínica en un cuarterón, equivalente a dos vacas.
- El 10% presenta mastitis subclínica en dos cuarterones, equivalente a dos vacas.
- El 20% presenta mastitis subclínica en tres cuarterones, equivalente a cuatro vacas.
- El 60% presenta mastitis subclínica en cuatro cuarterones, equivalente a 12 vacas.

Se aplicó el tratamiento alternativo (50% de propóleo más 50% de etanol) en todos los cuarterones de la glándula mamaria previamente diagnosticados con mastitis subclínica y se consiguió los siguientes resultados (Tabla 2 y figura 2).

Tabla 2. Tabla de frecuencias de diagnóstico de mastitis subclínica post-tratamiento

Variable	Cuarterones	FA	%
Mastitis Subclínica	1	4	20
Mastitis Subclínica	2	0	0
Mastitis Subclínica	3	0	0
Mastitis Subclínica	4	0	0

Figura 17. Figura de frecuencias de diagnóstico de mastitis subclínica post-tratamiento.



En la tabla 2 y figura 17 se aprecia que el 20% de vacas tiene mastitis subclínica en un cuarterón equivalente a cuatro animales y las vacas restantes (16) no presentaron mastitis subclínica en ningún cuarterón equivalente al 80%.

El costo de cada tratamiento es basado en una dosis que se aplica a cada vaca diagnosticada con mastitis subclínica en los cuatro cuarterones de la glándula mamaria (Tabla 3 y 4).

Tabla 3. Costos del tratamiento alternativo

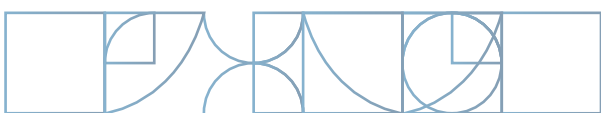
Dosis	Costo
40ml	2,08

Tabla 4. Costos del tratamiento farmacéutico

Dosis	Costo
20ml	5,30

DISCUSIÓN

En un estudio citado por Luna y Mendieta (2024), Vera y Zamora (2020) reportaron un 44% de positividad de mastitis subclínica en el cantón



Chone. De manera complementaria, Avellán et al. (2019) documentaron una prevalencia del 38,57% en 280 vacas muestreadas en el cantón Rocafuerte. Además, Vallejo et al. (2018) detectaron trazas de mastitis bovina en los cantones Pedernales, El Carmen, Flavio Alfaro y Bolívar, todos en la provincia de Manabí (citado en Luna y Mendieta, 2024).

Los resultados de la presente investigación confirman que la mastitis subclínica es común en los hatos ganaderos de producción lechera, con un 60% de positividad entre los animales estudiados.

Estos hallazgos corroboran los resultados de Gonzáles (2011), quien reportó una eficacia del 66.66% en el tratamiento con propóleo, con un tiempo promedio de recuperación postratamiento de 7.5 días, donde 20 de las 30 vacas tratadas arrojaron resultados negativos al test de mastitis.

En el estudio de Pumaylle (2012), se logró una efectividad del 80% en el tratamiento de mastitis subclínica con propóleo, resultados que coinciden con los alcanzados en la presente investigación.

Luna y Mendieta (2024) también demostraron que el tratamiento a base de propóleo es más eficiente económicamente en comparación con los tratamientos antimastíticos tradicionales, con un costo de \$0.50 por animal frente a \$1.40 por animal con tratamientos comerciales.

Pumaylle (2012) concluyó que el tratamiento con propóleo es más económico, con un costo de \$0.70 por animal, en comparación con el tratamiento antibiótico a base de Penicilina y Kanamicina, que costó \$1.34 por animal.

4. CONCLUSIÓN

Prevalencia de Mastitis Subclínica: En el hato ganadero evaluado, se detectó mastitis subclínica en todas las vacas, con la siguiente distribución: 10% de los animales presentaron la infección en un cuarterón, 10% en dos cuarterones, 20% en tres cuarterones y 60% en los cuatro cuarterones de la ubre.

Eficacia del Tratamiento con Propóleo: El tratamiento con propóleo fue eficaz en un 80% de las vacas tratadas, logrando la recuperación completa de todos los cuarterones afectados. El 20% restante de los animales continuó presentando mastitis subclínica en un cuarterón.

Comparación de Costos de Tratamiento: El tratamiento con una solución de propóleo al 50% y etanol al 50% tuvo un costo de \$2,08 por 40 ml, mientras que el tratamiento con antibiótico (Ceftiofur

clorhidrato 50 mg y excipientes c.s.p. 1 ml) costó \$5,30 por dosis de 20 ml.

5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] Ministerio del Ambiente, A. y. (01 de Enero de 2023). Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica. Obtenido de MAATE ejecuta proyecto sobre manejo de ganadería sostenible: <https://www.ambiente.gob.ec/mae-ejecuta-proyecto-sobre-manejo-de-ganaderia-sostenible/>

[2] Sánchez Heredia, D., & Mamani-Mango, G. D. (25 de Febrero de 2022). Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú. Obtenido de Mastitis subclínica bovina y factores de riesgo ambientales en pequeños productores de ganado lechero criado en alta montaña: <https://revistasinvestigacion.unmsm.edu.pe/index.php/veterinaria/article/view/20466>

[3] Bonifaz, N., & Conlago, F. (16 de Octubre de 2016). La Granja. Revista de ciencias de la vida. Obtenido de Prevalencia e incidencia de mastitis bovina mediante la prueba decaliforniamastitis test con identificación del agente etiológico, en paquiestancia, Ecuador: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=476051632003>

[4] Gonzáles, J. M. (2011). Universidad San Carlos de Guatemala. Obtenido de Evaluación del tratamiento local de mastitis clínica en ganado bovino a base de un extracto etanólico de propóleos al 50%.: <https://core.ac.uk/download/pdf/35293392.pdf>

[5] Rodríguez Pérez, B., Canales Martínez, M. M., Penieres Carrillo, J. G., & Cruz Sánchez, T. A. (22 de Septiembre de 2020). SciELO-Scientific Electronic Library Online. Obtenido de Composición química, propiedades antioxidantes y actividad antimicrobiana de propóleos mexicanos: https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-62662020000100101#:~:text=La%20actividad%20antimicrobiana%20es%20una,pinoce mbrina%2C%20quercetina%20naringenina%2C%20acacetina%2C

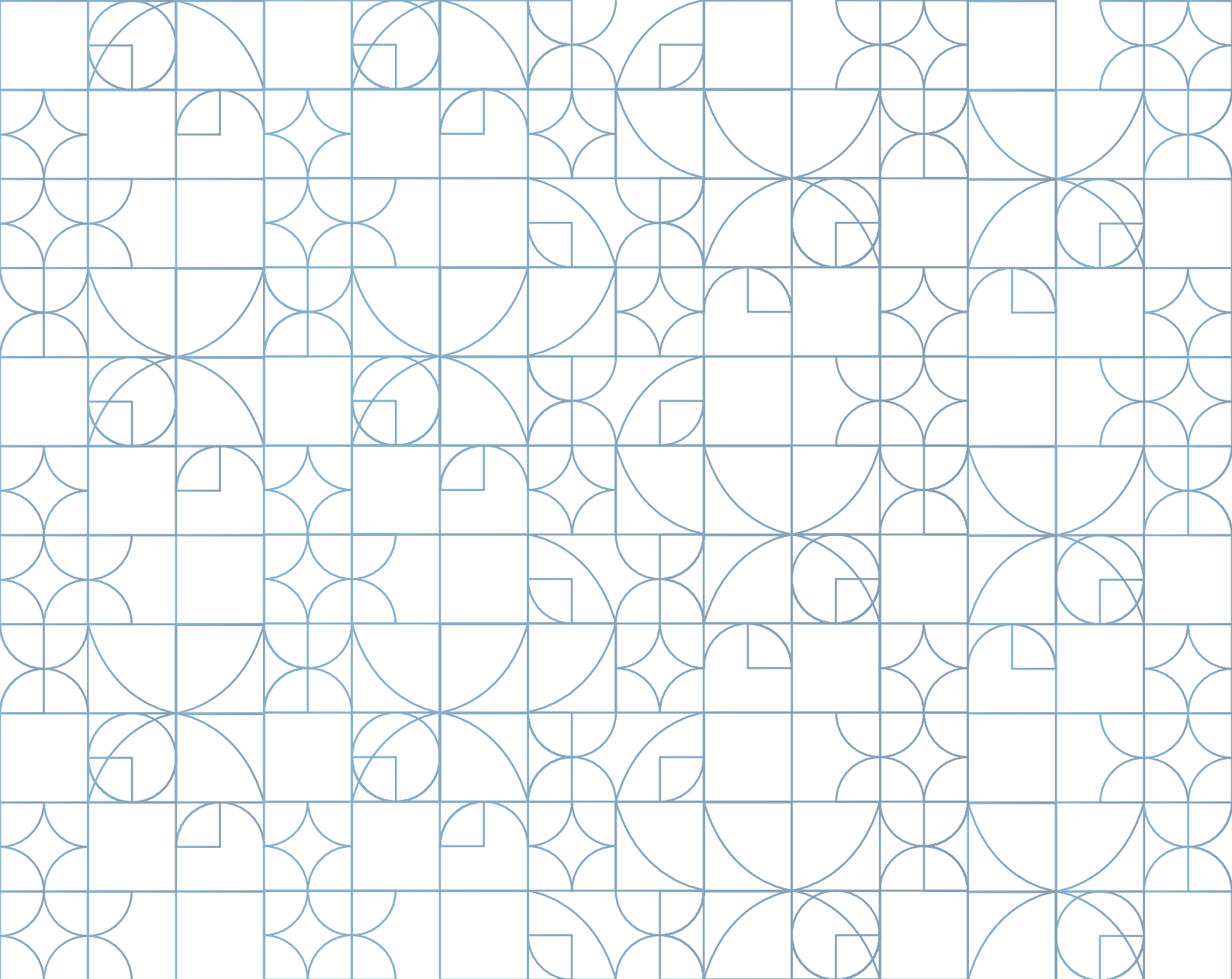
[6] Pumaylle, I. O. (Abril de 2012). UNAMBA. Obtenido de Actividad terapéutica del propóleo en el



tratamiento de mastitis clínica bovina en el establo
lechero San Isidro:
[https://repositorio.unamba.edu.pe/bitstream/handle/
UNAMBA/428/T_0038.pdf?sequence
=1&isAllowed=y](https://repositorio.unamba.edu.pe/bitstream/handle/UNAMBA/428/T_0038.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

[7] Díaz, E. R., & Mercado Castilla, C. D. (2008).
Universidad de Sucre . Obtenido de Determinacion
de mastitis subclinica mediante la prueba mastitis
california test (CMT) y la correlación del periodo de
lactancia del animal con los cuartos mamarios
afectados en bovinos (Bos Indicus y cruces) de
empresas ganaderas en el municipio de Since:
[https://repositorio.unisucre.edu.co/bitstream/handle/
001/461/636.089649E74.pdf](https://repositorio.unisucre.edu.co/bitstream/handle/001/461/636.089649E74.pdf)





***Análisis de viscosidad dinámica de aceite vegetal
reciclado para su uso como combustible en un motor a
diésel.***

*Analysis of dynamic viscosity of recycled vegetable oil for
use as fuel in a diesel engine.*

Análisis de viscosidad dinámica de aceite vegetal reciclado para su uso como combustible en un motor a diésel.

Analysis of dynamic viscosity of recycled vegetable oil for use as fuel in a diesel engine.

**Moya Palacios Katherine Alejandra¹,
Ayala Freire Patricio Fernando²,
Villalba Moya Elvis Danilo³,
Valverde Erazo Fabián Alejandro⁴,**

¹ Instituto Superior Universitario Carlos Cisneros, Ecuador, katherine.moya@istcarloscisneros.edu.ec

² Instituto Superior Universitario Carlos Cisneros, Ecuador, patricio.ayala@istcarloscisneros.edu.ec

³ Instituto Superior Universitario Carlos Cisneros, Ecuador, elvis.villalba@istcarloscisneros.edu.ec

⁴ Instituto Superior Universitario Carlos Cisneros, Ecuador, fabian.valverde@istcarloscisneros.edu.ec

RESUMEN

El artículo "Análisis de viscosidad dinámica de aceite vegetal reciclado para su uso como combustible en un motor a diésel" analiza la viabilidad del aceite vegetal reciclado como combustible alternativo. El estudio incluye mediciones de viscosidad dinámica de diversas muestras: diésel, aceite vegetal reciclado filtrado, aceite reciclado sin filtrar con residuos de grasa animal, una mezcla 50/50 de aceite reciclado filtrado y diésel, y aceite vegetal nuevo. Las pruebas se realizaron a temperaturas que van desde ambiente hasta 100 °C (30, 40, 60, 80 y 100 °C). Los resultados muestran que el aceite reciclado puede alcanzar una viscosidad de aproximadamente 13.5 cP a temperaturas elevadas, acercándose a los 7.7 cP del diésel. Esto indica que la viscosidad del aceite reciclado puede ser ajustada térmicamente para cumplir con los requisitos de los motores diésel, mejorando así el rendimiento de la combustión. También se observó que el aceite reciclado filtrado presenta una viscosidad significativamente menor que el no filtrado, que contiene residuos de grasa animal, lo que resalta la importancia de la filtración para optimizar sus propiedades viscosimétricas. En conclusión, el aceite vegetal reciclado, siempre que se regule su viscosidad mediante control térmico y se garantice una filtración adecuada, es una alternativa técnica viable al combustible convencional. Este enfoque ofrece una solución sostenible y económica, promoviendo el aprovechamiento de combustibles reciclados frente al diésel tradicional.

Palabras claves: Viscosidad dinámica, aceite vegetal reciclado, motor diésel, viscosímetro, biocombustible.

ABSTRACT

The article "Dynamic viscosity analysis of recycled vegetable oil for use as fuel in a diesel engine" analyzes the viability of recycled vegetable oil as an alternative fuel. The study includes dynamic viscosity measurements of various samples: diesel, filtered recycled vegetable oil, unfiltered recycled oil with animal fat residue, a 50/50 mixture of filtered recycled oil and diesel, and fresh vegetable oil. Tests were performed at temperatures ranging from ambient to 100°C (30, 40, 60, 80, and 100°C). The results show that the recycled oil can reach a viscosity of approximately 13.5 cP at elevated temperatures, approaching the 7.7 cP of diesel. This indicates that the viscosity of recycled oil can be thermally adjusted to meet the requirements of diesel engines, thereby improving combustion performance. It was also observed that the filtered recycled oil has a significantly lower viscosity than the unfiltered oil, which contains animal fat residues, which highlights the importance of filtration to optimize its viscometric properties. In conclusion, recycled vegetable oil, as long as its viscosity is regulated through thermal control and adequate filtration is guaranteed, is a viable technical alternative to conventional fuel. This approach offers a sustainable and economical solution, promoting the use of recycled fuels instead of traditional diesel.

Keywords: *Dynamic viscosity, recycled vegetable oil, diesel engine, viscometer, biofuel.*

Recibido: Agosto 2024
Received: August 2024

Aceptado: Diciembre 2024
Accepted: December 2024

1. INTRODUCCIÓN

El término “diésel” proviene de Rudolf Diesel, ingeniero alemán que a finales del siglo XIX desarrolló un motor de alta eficiencia diseñado para soportar grandes presiones. Estos motores emplean una variedad de combustibles derivados del petróleo, conocidos colectivamente como combustibles diésel. En 2012, la Organización Mundial de la Salud (OMS) declaró las emisiones de los motores diésel como carcinógenas, vinculando su exposición a un mayor riesgo de cáncer. Posteriormente, en marzo de 2014, la OMS informó que la contaminación atmosférica, tanto interior como exterior, contribuyó a más de 7 millones de muertes prematuras a nivel mundial [1].

Sims et al. (1981) demostraron que los aceites vegetales, como el de colza, pueden sustituir parcialmente al diésel, sin afectar el rendimiento del motor a corto plazo con mezclas al 50 %. Sin embargo, a largo plazo surgieron fallas en la bomba de inyección y problemas de arranque en frío, aunque los depósitos de carbón en la cámara de combustión fueron similares a los del diésel puro (Jones y Peterson, Universidad de Idaho) [2].

Un aspecto fundamental en el rendimiento de los motores diésel es la viscosidad del combustible, ya que esta influye directamente en la eficiencia del sistema de inyección. A medida que aumenta la viscosidad, el flujo del combustible enfrenta mayor resistencia, lo que puede comprometer el rendimiento de las bombas e inyectores. Cuando la presión diferencial es menor a 85 MPa, el coeficiente de descarga del sistema disminuye, afectando su eficiencia [3]. Por ejemplo, un incremento de la viscosidad en 6.4 mm²/s puede aumentar el coeficiente de descarga en un 10% cuando la diferencia de presión alcanza los 25 MPa. Paralelamente, la densidad también tiene un impacto significativo en el flujo másico, que puede aumentar en un 13% con una reducción del 28% en la densidad del combustible, independientemente de la diferencia de presión, como lo demostraron Choi et al. (2013) [4]. La densidad del combustible también afecta el comportamiento del chorro de inyección: una menor densidad favorece una mayor penetración y un ángulo de apertura más amplio, pero reduce la atomización debido a las fuerzas de Van der Waals. En cuanto al ángulo de apertura, este se reduce con el aumento de la viscosidad y se incrementa con la mayor densidad, aunque estas

relaciones no son estrictamente proporcionales, particularmente en boquillas con relaciones L/D inferiores a 1 [5].

Berbel (2010) señala que la diferencia de viscosidad entre el aceite vegetal reciclado y el diésel puede reducirse ajustando las propiedades físicas de los aceites. Esto se logra calentándolos antes de su inyección al motor, permitiendo alcanzar valores de viscosidad y densidad similares a los del gasoil, lo que facilita su uso como biocombustible [6]. Calderón, Moreta y Erazo (2014) determinaron que la mezcla óptima para motores diésel es al 5% de biodiésel, observando una disminución mínima del 0,2% en el torque y del 1,85% en la potencia en comparación con el diésel convencional. [7].

El biodiésel, derivado de aceites vegetales y grasas animales, es una alternativa renovable al diésel fósil. Ramírez, Vela y Rincón (2012) analizan su producción y viabilidad técnica y económica, destacando su potencia [8]. Benavides, Benjumea y Pashova (2007) estudiaron la producción de biodiésel de aceite de higuera, logrando el máximo rendimiento de metilésteres a temperatura ambiente, con una relación molar metanol/aceite de 9 y un 0.8% de catalizador. Este biodiésel puede mezclarse con diésel convencional hasta un 15% sin superar estándares de calidad. Aunque su alta viscosidad es un desafío, presenta excelentes propiedades de flujo a bajas temperaturas [9].

El biodiésel de aceite de fritura usado es una alternativa viable para reducir emisiones de motores diésel sin modificaciones significativas. Según Mejía Regalado y Cuty Clemente (2019), mezclas como B10, B20 y B30 disminuyen el índice de opacidad en condiciones de carga constante a 1600 rpm, con reducciones de hasta 46 % frente al combustible comercial B5. Esto evidencia el potencial de reutilizar aceites de fritura para mitigar la contaminación ambiental [10].

Conforme a estos antecedentes se efectúa un estudio minucioso en el que se puede observar, el cambio de viscosidad dinámica del aceite en un rango determinado de temperaturas. Con el propósito de avanzar en la investigación sobre combustibles alternativos, se llevarán a cabo pruebas experimentales para medir la viscosidad dinámica de varias sustancias, como diésel, aceite vegetal reciclado, aceite vegetal nuevo y una mezcla 50/50 de aceite vegetal usado y diésel. Estas



pruebas buscan comparar las viscosidades de las sustancias y determinar cuál se aproxima más a la del diésel, con miras a su posible utilización como combustible alternativo.

Adicionalmente, se realizarán pruebas de variación de temperatura en el aceite vegetal reciclado, tanto filtrado como no filtrado (con residuos de grasas animales). El objetivo es analizar cómo las fluctuaciones de temperatura afectan la viscosidad de estos aceites, lo que permitirá evaluar su viabilidad bajo distintas condiciones operativas y, potencialmente, optimizar su uso en motores diésel.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Para el presente estudio, se ha elegido una metodología analítico-experimental basada en la recopilación de datos mediante el uso de un viscosímetro rotacional ST-2001. Este equipo permitirá medir la viscosidad dinámica de las siguientes sustancias:

- Diésel
- Aceite reciclado filtrado
- Aceite reciclado con residuos de grasa animal sin filtrar
- Mezcla 50/50 de aceite reciclado filtrado y diésel
- Aceite vegetal nuevo

El objetivo es determinar los valores de viscosidad dinámica a temperatura ambiente de estas sustancias y evaluar cómo varía la viscosidad de cada una de ellas utilizando el viscosímetro.

Características del equipo

Para realizar las pruebas se utilizó un viscosímetro rotacional con las siguientes características:

- Marca: JP SELECTA S.A
- Modelo: ST- 2001
- Serie: VBCL110197
- Código: 1001512
- Husillo: L2
- Velocidad: 100 RPM
- Sistema de unidades: Cexagesimal
- Unidad de medida: Centi Poise (cP)

Instalación del equipo

Para el ensamblaje del equipo se procede a efectuar los siguientes pasos considerando la Figura 1 que detalla las partes del viscosímetro:

- Se procede a fijar los niveladores (B) en el pie en forma de Y (A).
- Montamos la varilla de sujeción (C) con el tornillo (D) a la base en Y.
- Se ubica la nuez (F) en la varilla de sujeción.
- Se sujeta el viscosímetro cuidadosamente mediante su varilla (E) a la nuez (F).
- Se verifica que el equipo esté correctamente nivelado.
- Se ubica el husillo en el viscosímetro
- Se conecta el cable de alimentación y se procede con el encendido [11].

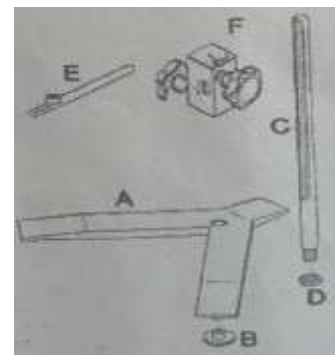


Figura 1: Despiece viscosímetro PJP SELECTA ST-2001 [11]



Figura 2. Viscosímetro PJP SELECTA ST-2001 ensamblado



Figura 3. Montaje de Viscosímetro PJP SELECTA ST-2001

Programación del equipo

Para encender el equipo, se presiona el botón de ON. La pantalla LED se activará y se espera unos segundos para que el sistema se inicie completamente. Una vez encendido, aparecerá el menú principal. Usando las teclas de flecha para seleccionar la opción "L2" en el parámetro "SP", que indica el husillo a utilizar. En el parámetro RPM, que representa la velocidad de medición, ajusta el valor a 100 rpm [11].

Para realizar la medición, se ajusta el viscosímetro girando la nuez para subir o bajar el husillo. Se debe asegurar que el husillo esté completamente sumergido en la sustancia sin tocar el fondo del contenedor y que esté cubierto hasta la marca indicadora grabada en el husillo [11].

Se procede a tomar la medición presionando el botón "ENTER". Cuando los valores en la pantalla LED se estabilicen, se registra la medición. El valor "V" representa la viscosidad dinámica media en centipoises (cP), mientras que el valor "%" indica el porcentaje de la escala completa, reflejando la proporción de la lectura respecto al valor máximo medible con la combinación de husillo y velocidad como se muestra en la Figura 4. Después de realizar la medición, desmonta el husillo y límpialo para evitar la contaminación de otras muestras.



Figura 4. Programación del viscosímetro rotacional.

Medición de viscosidad

Para llevar a cabo las mediciones de viscosidad, se realizaron dos series de pruebas: una a temperatura ambiente y otra con variación de temperatura con la finalidad de comprobar experimentalmente la reducción de la viscosidad dinámica con el aumento de la temperatura.

La variación de la temperatura en el aceite vegetal reciclado es fundamental para reducir su viscosidad dinámica y facilitar su uso como combustible en motores diésel. Dado que los aceites vegetales tienen viscosidades significativamente más altas que el diésel convencional, su uso directo podría causar problemas de funcionamiento y dañar el motor. Sin embargo, al calentar el aceite antes de su inyección, se logra ajustar sus propiedades físicas, reduciendo la viscosidad hasta valores comparables a los del diésel o biodiésel. Este proceso no solo permite una combustión más eficiente, sino que también asegura la compatibilidad con los sistemas de inyección, destacando el potencial del aceite vegetal reciclado como una alternativa sostenible y funcional al diésel tradicional [6].

En la primera fase, se midió la viscosidad dinámica de las muestras a temperatura ambiente, considerando que el laboratorio estaba a 14 °C. Se utilizaron vasos de precipitación de 100 ml para contener las siguientes sustancias: diésel, aceite reciclado filtrado, aceite reciclado con grasa animal sin filtrar, una mezcla de aceite reciclado filtrado con diésel en proporción 50-50, y aceite vegetal nuevo. El objetivo fue determinar cuál de estas sustancias presentaba una viscosidad más cercana a la del diésel a temperatura ambiente.



Figura 5. Medición de viscosidad de muestras a temperatura ambiente.

En la segunda fase de pruebas, se midió la viscosidad dinámica de las muestras a diferentes temperaturas. Se eligieron el aceite vegetal reciclado previamente filtrado y el aceite vegetal reciclado con residuos de grasa animal sin filtrar para este análisis.

El aceite vegetal reciclado se sometió a un proceso previo que inició con una etapa de decantado,

seguida de un filtrado por un tamiz (cedazo), tela nylon, tela de algodón y papel filtro de 5 micras. Finalmente se calentó el aceite a más de 100 °C para eliminar residuos de agua, esto con el fin de cumplir con el proceso de eliminación de impurezas. Para la prueba las muestras se colocaron en vasos de precipitación de 100 ml y se calentaron en un reverbero hasta alcanzar las temperaturas de 30, 40, 60, 80 y 100 grados Celsius, además de la temperatura ambiente. Se utilizó un termómetro digital y un pirómetro para monitorear y controlar cuidadosamente la temperatura de las sustancias antes de proceder con la medición de viscosidad.



Figura 6. Calentamiento de muestras



Figura 7. Pruebas de viscosidad dinámica a muestras con temperatura.

3. RESULTADOS

Una vez completadas las pruebas de viscosidad dinámica para las diversas sustancias, a continuación se presentan los resultados obtenidos.

Viscosidades de sustancias a temperatura ambiente.

En primer lugar, se realizaron mediciones de las siguientes sustancias:

- Diésel
- Aceite reciclado filtrado
- Aceite reciclado con grasa animal sin filtrar
- Mezcla de aceite reciclado filtrado con diésel (50-50)
- Aceite vegetal nuevo

Los resultados de la medición de viscosidad dinámica de estas sustancias a temperatura ambiente se detallan en la Tabla 1 y se ilustran en la Figura 8.

Tabla 1. Viscosidad dinámica de sustancias a temperatura ambiente.

Sustancia	Viscosidad		Temperatura C
	cP	%	
Diésel	7,7	2,4,%	Ambiente
Aceite reciclado filtrado	92,1	29,5%	Ambiente
Aceite reciclado con grasa animal sin filtrar	85,1	27,3%	Ambiente
Aceite reciclado filtrado + diésel (50-50)	19	6,1%	Ambiente
Aceite vegetal nuevo	73,8	23,7%	Ambiente

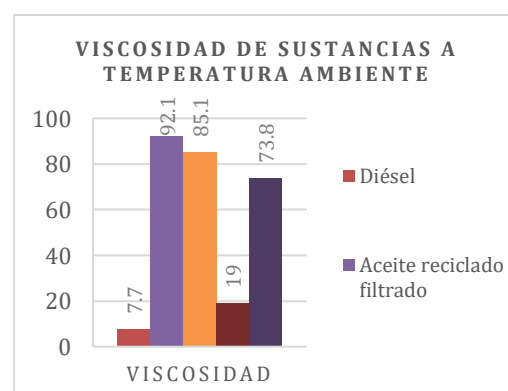


Figura 8: Viscosidad de sustancias a temperatura ambiente.

Viscosidades de aceites reciclados con elevación de la temperatura.

Se seleccionaron muestras de aceite vegetal reciclado proveniente de frituras de papas, el aceite fue procesado conforme al filtrado anteriormente detallado.

Con la ayuda de un reverbero, se calentaron 80 ml de aceite hasta alcanzar las temperaturas deseadas para cada prueba. Luego, se realizaron las pruebas de viscosidad dinámica con el equipo, y los resultados obtenidos se detallan en la Tabla 2.

Tabla 2. Viscosidad dinámica del aceite vegetal reciclado con elevación de temperatura.

Temperatura	Viscosidad	
° C	cP	%
19 (ambiente)	95,7	30,7%
30	50,6	16,2%
40	36,9	11,8%
60,3	28,1	9,0%
80	20,5	6,6%
100,5	13,5	4,3%

En la Figura 9 podemos observar como la viscosidad disminuye en función a la elevación de la temperatura.

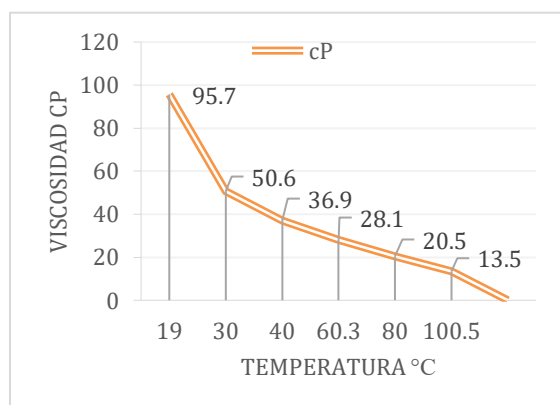


Figura 9: Variación de la viscosidad dinámica del aceite vegetal reciclado filtrado con elevación de temperatura.

También se tomaron muestras de aceite vegetal reciclado de frituras de pollo para las mediciones de

viscosidad, a éste únicamente se le filtró por una media nylon para evitar el paso de impurezas o residuos sólidos grandes.

En el reverbero se calentó 80 ml del aceite hasta alcanzar las temperatura deseadas y se efectuaron las pruebas de viscosidad para cada temperatura, obteniendo los resultados detallados en la Tabla 3.

Tabla 3. Viscosidad dinámica del aceite vegetal reciclado con residuos de grasa animal expuesto a elevación de temperatura sin filtración.

Temperatura	Viscosidad	
° C	cP	%
14,9 (ambiente)	85,7	27,5%
30	60	19,2%
40,5	34,8	11,2%
60,2	25,1	8,1%
80,4	16,5	5,3%
100	11,1	3,6%

En la figura 10 podemos observar la variación en la viscosidad que se produce al elevar la temperatura.

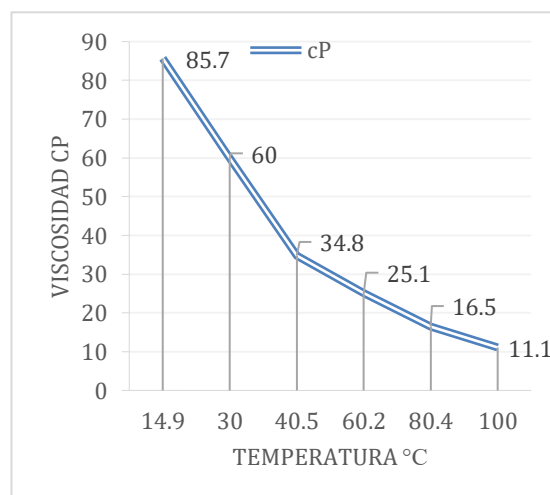


Figura 10: Variación del aceite vegetal reciclado con residuos de grasa animal expuesto a elevación de temperatura sin filtración



4. DISCUSIÓN (O ANÁLISIS DE RESULTADOS)

De acuerdo con los resultados experimentales de la medición de viscosidad dinámica de las diferentes sustancias, se determinó que el diésel tiene una viscosidad de 7.7 cP a temperatura ambiente. En comparación, ninguno de los aceites reciclados analizados alcanzó una viscosidad cercana a la del diésel a temperatura ambiente. En particular, el aceite vegetal reciclado mostró una diferencia de 88 cP respecto al diésel, mientras que el aceite vegetal reciclado con residuos de grasa animal sin filtrar presentó una diferencia de 78 cP.

Además, al analizar la variación en viscosidad dinámica del aceite vegetal reciclado con el aumento de temperatura, se observaron los resultados detallados en la Tabla 4. Estos resultados se expresan en relación con el valor base de viscosidad de 95.7 cP a 19 °C, utilizado como referencia para evaluar las diferencias inducidas por las variaciones de temperatura.

Tabla 4. Diferencia de Viscosidad de aceite vegetal reciclado en relación con la temperatura ambiente.

Temperatura		Diferencia en relación con temperatura ambiente		
° C	cP	%	% de reducción	Diferencia en Temperatura (°C)
19	95,7	-	-	-
30	45,1	14,5%	47,13%	11
40	58,8	18,9%	61,44%	21
60,3	67,6	21,7%	70,64%	41,3
80	75,2	24,1%	78,58%	61
100,5	82,2	26,4%	85,89%	81,5

Con base en los resultados obtenidos, se puede observar que al elevar la temperatura del aceite vegetal reciclado, previamente filtrado, a 100 °C, se produce una reducción del 85.89% en la viscosidad, equivalente a una disminución de 82.2 cP.

Para el aceite vegetal reciclado con residuos de grasa animal, expuesto a variaciones de temperatura sin filtración, y considerando una

temperatura ambiente de 14.9 °C con una viscosidad inicial de 85.7 cP, se determinaron las diferencias en viscosidad que se presentan en la Tabla 5.

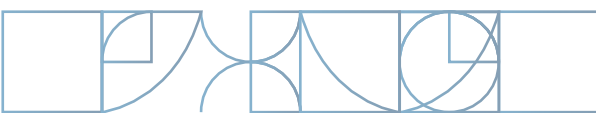
Tabla 5. Diferencia de Viscosidad del aceite vegetal reciclado con residuos de grasa animal expuesto a elevación de temperatura sin filtración.

Temperatura		Diferencia en relación con temperatura ambiente		
° C	cP	%	% de reducción	Diferencia en Temperatura (°C)
14,9	85,7	-	-	-
30	25,7	8,3%	26,85%	15,1
40,5	50,9	16,3%	53,19%	25,6
60,2	60,6	19,4%	63,32%	45,3
80,4	69,2	22,2%	72,31%	65,5
100	74,6	23,9%	77,95%	85,1

Se observa que al aumentar la temperatura del aceite vegetal reciclado con residuos de grasa animal, sin filtración, se logró una reducción del 77.95% en la viscosidad, disminuyendo en 74.6 cP respecto al valor medido a temperatura ambiente.

El aceite vegetal reciclado puede tener mayor viscosidad después de ser filtrado porque el proceso elimina partículas, agua y ciertos compuestos volátiles que diluyen el aceite, mientras que concentra los triglicéridos originales. En contraste, el aceite usado en la fritura de pollo, que contiene residuos de grasa animal y productos de descomposición de la fritura, suele tener una menor viscosidad debido a la presencia de ácidos grasos saturados de cadena más corta y otros subproductos que reducen su densidad.

Al investigar estudios sobre análisis de viscosidad dinámica de aceites reciclados no se ha podido



encontrar resultados similares a esta propuesta, para lo cual es importante considerar lo detallado en el estudio realizado por Brock et al. (2008) que proporciona datos experimentales clave sobre la conductividad térmica y la viscosidad dinámica de varios aceites vegetales, como soja refinada, maíz, girasol, algodón, canola, oliva y salvado de arroz. Las mediciones de viscosidad, realizadas con un viscosímetro tipo Brookfield en un rango de temperaturas entre 20 y 70 °C, muestran que la viscosidad de todos los aceites disminuye notablemente al aumentar la temperatura. Este comportamiento subraya la fuerte dependencia de la viscosidad con respecto a la temperatura, lo que es relevante para el diseño y adaptación de estos aceites como combustibles alternativos [12].

Además, es importante considerar el estudio realizado por Toscano y Maldini (2007) que analiza las relaciones entre las propiedades físicas y químicas de 19 aceites vegetales, destacando la influencia de la temperatura en la viscosidad y su variación específica para cada tipo de aceite. Estos hallazgos son valiosos para el desarrollo de métodos que simplifiquen el control de calidad de los aceites como biocombustibles y optimicen su transformación energética [13].

Aunque nuestro estudio se enfoca específicamente en la viscosidad dinámica de aceites reciclados, los resultados de estos trabajos proporcionan un marco conceptual importante para profundizar en la investigación y avanzar en la adaptación de aceites reciclados como combustibles alternativos en los motores diésel.

5. CONCLUSIÓN

En lo referente a relación entre temperatura y viscosidad dinámica del aceite vegetal reciclado, los resultados experimentales demuestran que al incrementar la temperatura del aceite, es posible alcanzar una viscosidad aproximada de 13.5 cP, valor que se acerca a la viscosidad del diésel de 7.7 cP. Este comportamiento sugiere que la viscosidad del aceite vegetal reciclado puede ser ajustada mediante el control térmico, facilitando su adaptación para ser utilizado como combustible en

motores diésel. Es importante destacar que este ajuste térmico es crucial para obtener un rendimiento óptimo en la combustión y evitar posibles problemas operativos.

En la comparación entre el aceite vegetal reciclado filtrado y no filtrado, los datos obtenidos indican que el aceite vegetal reciclado filtrado presenta valores de viscosidad dinámica significativamente mayores en comparación con el aceite vegetal reciclado no filtrado que contiene residuos de grasas animales. Esta diferencia en viscosidad puede atribuirse a la presencia de impurezas y contaminantes en el aceite no filtrado, que alteran sus propiedades reológicas. Por lo tanto, la filtración del aceite es un proceso crítico para mejorar sus características de viscosidad y, en consecuencia, su idoneidad como combustible.

Con base en los resultados obtenidos, se puede concluir que el aceite vegetal reciclado es técnicamente factible para ser utilizado como combustible en motores diésel, siempre y cuando se realice un adecuado ajuste de la viscosidad mediante la regulación de la temperatura y se asegure la filtración del aceite. La adaptabilidad del aceite reciclado a las condiciones de operación de un motor diésel abre la posibilidad de utilizarlo como una alternativa sostenible y económica al diésel convencional.

El uso de aceites vegetales reciclados como combustible alternativo representa una solución prometedora sostenible y sustentable en motores diésel. Estas fuentes renovables no solo contribuyen a la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero y partículas contaminantes, sino que también promueven la reutilización de residuos, disminuyendo su impacto ambiental. Incursionar en el desarrollo de nuevas tecnologías, como sistemas avanzados de inyección y combustión que permitan optimizar el uso de estos combustibles y superar desafíos como la viscosidad y la temperatura de inflamación. Así, los aceites reciclados se posicionarían como una herramienta clave para mitigar la contaminación ambiental y avanzar hacia un modelo energético más limpio y responsable.

6. AGRADECIMIENTOS

Queremos expresar nuestro sincero agradecimiento a la Bioquímica Farmacéutica Pamela Monserrath Morales Layedra, Técnico de Laboratorio de la Facultad de Ciencias de la Escuela Superior



Politécnica de Chimborazo. Su valioso apoyo ha sido fundamental para nuestra investigación, ya que no solo facilitó el acceso al equipamiento necesario, sino que también nos brindó asesoría experta en el manejo y uso adecuado del mismo. Su colaboración ha sido esencial para el desarrollo y éxito de nuestro proyecto.

7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] Akbar, S. *Diésel: Impactos en las emisiones, la salud y el clima*. Banco Mundial. Disponible en: <https://blogs.worldbank.org/es/voices/diesel-impactos-en-las-emisiones-la-salud-y-el-clima>. [consultado el 05 de septiembre de 2024].

[2] Jones s., Peterson C. Uso de aceites vegetales no modificados como extensor de combustible diésel. Departamento de Ingeniería Biológica y Agrícola Universidad de Idaho, Moscú, Idaho 83843.

[3] Vergel, M., Rojas, J. P., & Orjuela Abril, M. S. (2021). Estudio sobre el modelado del chorro de inyección en motores de combustión interna diesel con aplicaciones didácticas. *Boletín Redipe*, 10(7), 290-301.
<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8116514> [si está disponible]

[4] Choi, W. C., Yoo, I. S., Park, M. R., & Chung, M. K. (2013). Experimental study on the effect of blade angle on regenerative pump performance. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part A: Journal of Power and Energy*, 227(5), 585-592.

[5] Reitz, R. D., & Bracco, F. V. (1982). Mechanism of atomization of a liquid jet. *The physics of Fluids*, 25(10), 1730-1742.

[6] Berbel, EL (2010). Estudio de la viscosidad y densidad de diferentes aceites para su uso como biocombustible.

[7] Calderón, CA, Moreta, JC, & Erazo, G. (2014). Reciclaje de aceite vegetal de frituras para uso como biocombustible en motores diésel en diferentes proporciones.

[8] Ramírez, IE, Vela, NA y Rincón, JJ (2012). Biodiesel, un combustible renovable.

[9] Benavides, A.Y., Benjumea, P., & Pashova, V. (2007). El biodiesel de aceite de higuera como combustible alternativo para motores diesel. *Dyna*, 74, 141-150.

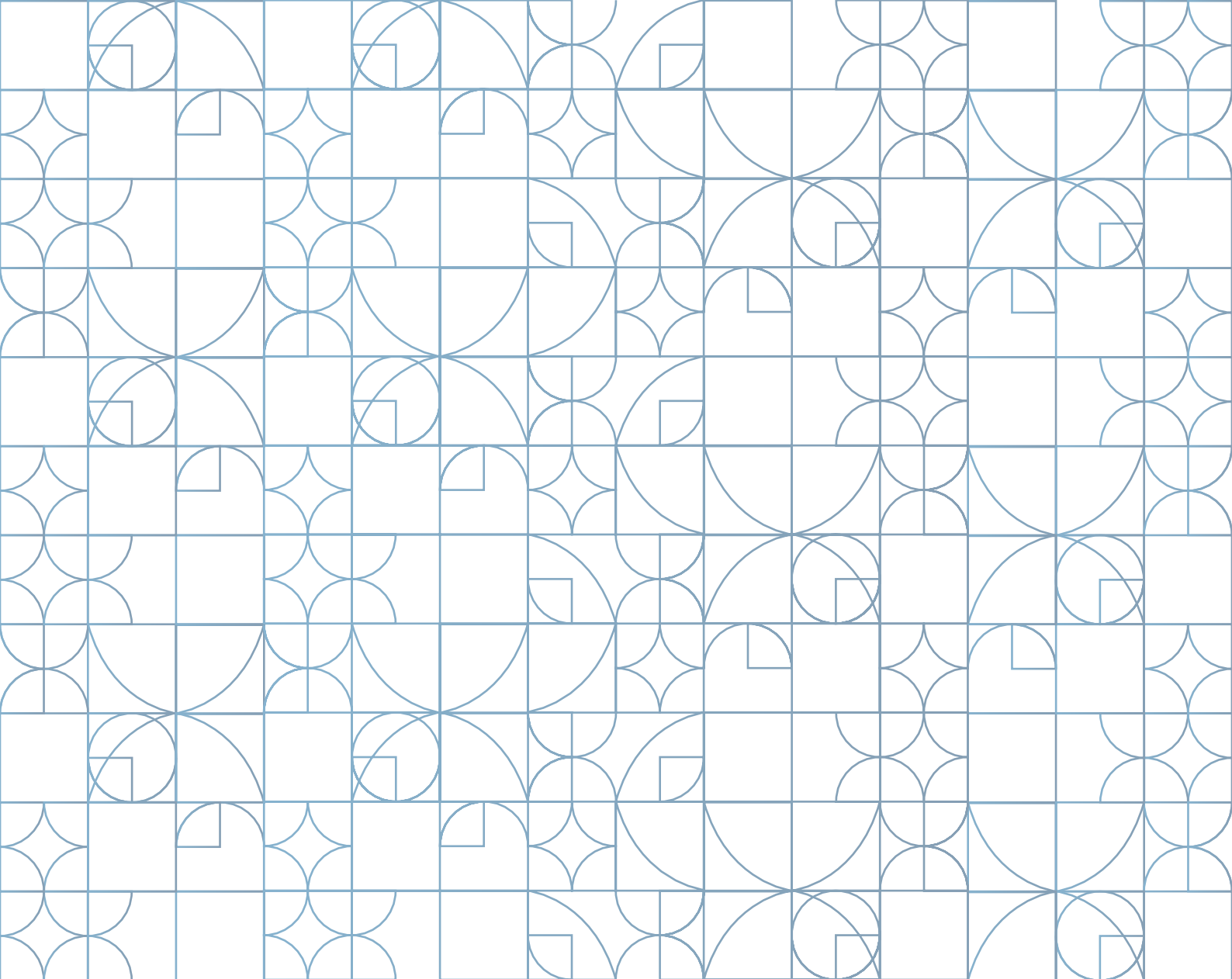
[10] Mejía Regalado, A.D., & Cuty Clemente, E.R. (2019). Influencia del biodiésel de aceite de fritura usado, sobre las emisiones: índice de opacidad. *Tecnura*.

[11] J.P. SELECTA S.A, Manual de instrucciones Código 80156, AENOR, 2023

[12] Brock, J., Nogueira, MR, Zakrzewski, CA, Corazza, FD, Corazza, ML y Oliveira, JV (2008). Determinación experimental de la viscosidad y la conductividad térmica de aceites vegetales. *Internacional de Ciencia y Tecnología de los Alimentos*, 28, 564-570.

[13] Toscano, G., & Maldini, E. (2007). ANÁLISIS DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y QUÍMICAS DE LOS ACEITES VEGETALES COMO COMBUSTIBLE. *Journal of Agricultural Engineering*, 38, 39-47.





Aplicación de softwares y plataformas digitales para el diagnóstico automotriz preciso; aprovechando el análisis de datos del fabricante

Application of softwares and digital platforms for precise automotive diagnosis; leveraging manufacturer data analysis.

Aplicación de softwares y plataformas digitales para el diagnóstico automotriz preciso; aprovechando el análisis de datos del fabricante

Application of softwares and digital platforms for precise automotive diagnosis; leveraging manufacturer data analysis.

Fabian Eduardo Vilema Chuiza¹
Silvia Valeria Castelo Quinde²

¹ Instituto Superior Universitario Carlos Cisneros, Ecuador, fabian.vilema@istcarloscisneros.edu.ec

² Instituto Superior Universitario Carlos Cisneros, Ecuador, silvia.castelo@istcarloscisneros.edu.ec

RESUMEN

La evolución de la industria automotriz, trae consigo el incremento de sistemas electrónicos en el automóvil, permitiendo que el proceso de diagnóstico sea más complejo y tome un cambio drástico viendo la necesidad de aplicar herramientas computacionales que permitan reducir las etapas en el diagnóstico electrónico. El presente estudio tiene como objetivo principal analizar la eficiencia del diagnóstico automotriz aplicando plataformas digitales del fabricante en específico, las mismas que permitan direccionar el análisis de los DTC que se localicen durante la etapa de experimentación del vehículo en estudio, considerando que las plataformas de diagnóstico automotriz propias del fabricante ofrecen, análisis de diagramas eléctricos, manuales de reparación, procesos de reprogramaciones para las ECU además de identificar los procesos de averías en donde se aprecian datos exactos que permitan conocer cada uno de los procesos establecidos para los casos en donde la electrónica del automóvil presenta defectos teniendo como consecuencia el funcionamiento fuera de rango del sistema afectado. Para el caso de estudio se procede con la extracción de códigos de avería en un vehículo MHEV de marca KIA, modelo STONIC del año 2024, el cual presenta fallos en la carga de la batería de baja tensión, siendo necesario aplicar los procesos establecidos por el fabricante en su plataforma digital. El método científico aplicado es del tipo cuantitativo con enfoque no experimental considerando que se tomara muestras de información de la unidad de control electrónica de la batería de alta tensión del vehículo pueda entregar bajo estados de fallo y funcionamiento ideal.

Palabras claves: BMS, KIA, software, plataforma, BAS, MHEV

ABSTRACT

The evolution of the automotive industry brings with it the increase of electronic systems in the car, allowing the diagnostic process to be more complex and take a drastic change seeing the need to apply computational tools that allow to reduce the stages in the electronic diagnosis. The main objective of this study is to analyze the efficiency of the automotive diagnosis by applying digital platforms of the manufacturer in particular, the same ones that allow to direct the analysis of the DTC that are located during the experimentation stage of the vehicle under study, considering that the automotive diagnostic platforms of the manufacturer offer analysis of electrical diagrams, repair manuals, reprogramming processes for the ECUs in addition to identifying the breakdown processes where exact data is appreciated that allow to know each one of the processes established for the cases where the electronics of the car present defects resulting in the out-of-range operation of the affected system. For the case study, fault codes are extracted from a KIA brand MHEV vehicle, STONIC model from 2024, which presents faults in the charging of the low voltage battery, being necessary to apply the processes established by the manufacturer in its digital platform. The scientific method applied is of the quantitative type with a non-experimental approach considering that information samples will be taken from the electronic control unit of the vehicle's high voltage battery that can deliver under fault states and ideal operation.

Keywords: BMS, KIA, software, platform, BAS, MHEV

Recibido: Agosto 2024
Received: August 2024

Aceptado: Diciembre 2024
Accepted: December 2024

1. INTRODUCCIÓN

La industria automotriz ha experimentado un auge tecnológico sin precedentes en los últimos años, impulsado por la creciente integración de electrónica en los vehículos. La implementación de sistemas embebidos ha revolucionado el sector, brindando mayor confort a los ocupantes, optimizando el rendimiento de los motores mediante sistemas de inyección electrónica y abriendo las puertas a la conectividad avanzada con la incorporación de sistemas de telemetría. Estos avances, sin embargo, han incrementado la complejidad de las redes de comunicación dentro del vehículo, lo que presenta nuevos desafíos tanto para los fabricantes y técnicos automotrices [1].

En los vehículos modernos, del 100 por ciento de la totalidad del tiempo dedicado al trabajo, el 70 representa el tiempo empleado en el diagnóstico o identificación de averías, mientras que el 30 por ciento se lo emplea para resolver los fallos localizados en la etapa de análisis en el vehículo, todo esto debido a la complejidad de los sistemas eléctricos y electrónicos que involucran su funcionamiento, tomando en cuenta la gran cantidad de módulos de control electrónico que permiten el funcionamiento del vehículo. Cada uno de estos sistemas realizan acciones destinadas a diferentes trabajos mediante la unidad de control electrónico más conocida como ECU, comunicándose entre otras ECUs a través de las redes CAN (Controller Area Network), garantizando el funcionamiento efectivo y coordinado de la totalidad de los sistemas del vehículo [2], [3].

Con la evolución de la tecnología automotriz, se ha visto necesario la aplicación de métodos de diagnóstico y obtención de datos desde las unidades de control electrónico considerando que el diagnóstico óptimo evita que se provoque accidentes que puedan ocasionar lesiones graves a los ocupantes y por otra parte defectos mayores en los mecanismos de control en donde se presentan las averías en el vehículo [4]. Para resolver esta necesidad, los desarrolladores de vehículos y equipos de diagnóstico han desarrollado softwares capaces de obtener la información de trabajo, como los DTCs (Diagnostic Trouble Code), lectura de datos en vivo, oscilogramas de trabajo, permitiendo así alcanzar parámetros que permitan analizar de manera eficiente los síntomas generados por el funcionamiento deficiente de un determinado

componente que forma parte de la electrónica de control [5].

El diagnóstico electrónico automotriz avanza a la par de la sofisticación tecnológica del sector automotriz, adaptándose a la creciente complejidad de los sistemas computarizados que integran los vehículos modernos. La incorporación de un mayor número de sistemas integrados exige herramientas de análisis y almacenamiento de datos más sofisticadas, como softwares computacionales, que permiten optimizar el proceso de localización de averías y obtener resultados más eficientes en el proceso de diagnóstico de las averías [6], [7].

En la actualidad, en los vehículos, la conectividad con los equipos de monitoreo o diagnóstico es una característica estándar, en los que no solo es posible obtener códigos de fallo o lograr visualizar los parámetros de funcionamiento de las diferentes unidades de control mediante el estándar OBD (On Board Diagnostics) diagnóstico a bordo, que en sus inicios fue el OBD I, mientras que en la actualidad cumple normativa OBD II, hoy en día los softwares de diagnóstico computacionales y las plataformas digitales, permiten la conectividad con la web para lograr restablecer valores de fábrica actualizadas de las unidades de control electrónico conocidas como reprogramaciones en línea o actualizaciones de software [8].

Ante una avería del tipo electrónica el conductor toma contacto con el técnico automotriz, siendo el experto en el área de aplicación el encargado en el diagnóstico de la avería, para lo cual requiere realizar sus análisis mediante la toma de datos de trabajo, a partir de un DTC que le permita encaminar el proceso de solución de la falla que puede tener como resultado el mantenimiento preventivo o correctivo de los componentes que formen dicho sistema de fallo [9], pero no todo es así de simple, esto conlleva la comparación de valores de trabajo y diagramas eléctricos en donde es de suma importancia la aplicación de plataformas digitales y softwares computacionales que permitan comparar la información extraída del vehículo con la obtenida directamente del fabricante mediante diferentes modos de funcionamiento ya sea KOE (Key On Engine Off) o KOER (Key On Engine Run) [10].

2. MATERIALES Y MÉTODOS

MATERIALES

Escáner y software de diagnóstico KIA KDS GDS

La evolución de los procesos de diagnóstico automotriz, en los que se incluye tanto los softwares de diagnóstico, escaners automotrices y plataformas digitales, han permitido que cada componente que se ubica en el vehículo en la parte electrónica, sea verificado mediante rutinas de diagnóstico, las mismas que permitan probar la funcionalidad de los mismos [8]. Los sistemas OBD II son los que predominan en los vehículos modernos, haciendo posible la extracción de datos mediante conectores de diagnóstico de 16 clavijas [8]. Para el diagnóstico del vehículo KIA STONIC MHEV (Mild Hybrid Electric Vehicle) se emplea un software original de fabricante como es el KIA KDS GDS como se observa en la figura 1, permitiendo la extracción de flujo de datos y códigos de avería de los diferentes módulos de control de los vehículos KIA.



Figura 1. Escáner de diagnóstico KIA GDS

Vehículo Kia Stonic 1.0 T - GDi MHEV

El vehículo empleado para el estudio es un Kia Stonic 1.0 T - GDi MHEV, al hablar del motor de combustión interna se puede decir que posee una potencia máxima de 99 Hp a 4500 rpm y torque máximo de 172 nm a 4000 rpm, un sistema de válvulas con 12 válvulas DOHC, cuyo consumo de combustible es de 69 Km/gl. Está constituido por un motor de combustión interna a gasolina de tres cilindros, con una estrategia que permite el control y reducción del consumo de combustible durante la etapa de ralentí y permitiendo generar electricidad en la etapa de desaceleración aprovechando la energía cinética [11].

El sistema MHEV está constituido por una batería compacta basada en iones de litio y polímeros con

un voltaje total de 48 V, mientras que el MHSG (unidad generador-motor de arranque mild-hybrid) permite que se prolongue el periodo de inactividad del vehículo. El MHSG se encuentra conectado al cigüeñal del MCI mediante una banda, permitiendo así los cambios a los modos generador o motor dependiendo las circunstancias de trabajo, en el instante que el MHSG trabaja como motor, en la etapa de la aceleración, este componente proporciona impulsos con energía eléctrica lo cual permite reducir la carga de motor a su vez como se mencionó disminuir las emisiones contaminantes. En el instante de la desaceleración del vehículo el MHSG cambia al modo de generador permitiendo recuperar la energía y recargar la batería de 48 V. En el interior del MHSG se ubica el inversor que se encarga de transformar la corriente de DC a AC para el instante de trabajo en modo motor eléctrico, mientras que la transformación de corriente de AC a DC es empleada para la carga de las baterías en el instante de la desaceleración del vehículo.

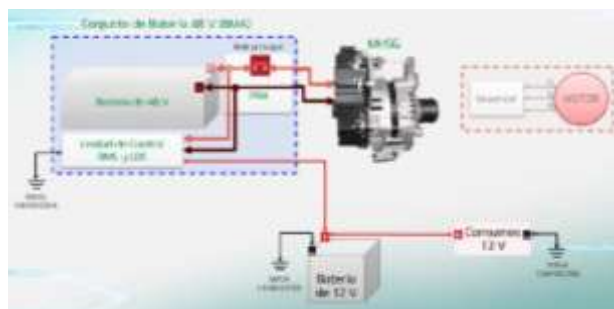


Figura 2. Funcionamiento del sistema MHEV Kia Stonic

El vehículo tomado para la parte experimental presenta una avería en donde el indicador de carga de la batería de 12 voltios o auxiliar, permanece encendido constantemente. En la figura 3 se observa los indicadores de la batería de 12 voltios y la de 48 V se encuentran encendidos con el vehículo en funcionamiento.



Figura 3. Indicador 12 V y 48 V Kia Stonic

Para el desarrollo del presente trabajo, se procede con la revisión de fuentes bibliográficas de trabajos relacionados en torno a la temática de estudio en donde se aprecian procesos de diagnóstico automotriz, que involucran la aplicación de softwares automotrices en vehículos modernos en donde los sistemas embebidos han logrado evolucionar la industria. Uno de los principales trabajos que se ha tomado como referencia es el artículo "Optimized Automotive Fault Diagnosis based on Knowledge Extraction from Web Resources" [12] en donde se resalta la importancia del diagnóstico automotriz fiable, considerando que la mayor parte de la resolución de una avería se encuentra en el diagnóstico, el trabajo en mención hace referencia a cada uno de los puntos de análisis en la etapa de diagnóstico, iniciando con el proceso manual para la parte mecánica, hasta culminar con el electrónico, empleando equipos y datos OEM (Original Equipment Manufacturer) que permitan obtener mejores resultados y alcanzar el 100 % de la eficiencia en la resolución de averías. El artículo "Real Time Diagnostics in the Automotive Industry over the Internet" [13] permite conocer la obtención de información y datos del vehículo obtenidos mediante el proceso de monitoreo a través de interfaces en donde la aplicación de las IoT (Internet de las cosas) en el mundo moderno de la industria automotriz es muy importante, haciendo énfasis a la interconexión entre vehículo con equipos de diagnóstico y plataformas digitales que aportan a la solución de averías de forma general. Este estudio permite conocer que mediante la interconectividad hace posible reducir los tiempos de diagnóstico a diferencia de los procesos empíricos aplicado en talleres en donde no se tiene equipos especializados.

Otros estudios como [14], [15], permiten conocer los resultados de diagnóstico automotriz aplicando procesos digitales para el análisis de datos del vehículo en tiempo real, durante la etapa de funcionamiento en el instante de la prueba de ruta, en donde se aprecia que las pruebas a realizarse inician con un indicador de avería que se presenta en el panel de instrumentos del vehículo. A partir de este punto la comparativa de datos monitoreados por el equipo de diagnóstico y el manual de servicio permite corroborar en un 100 % la exactitud de parámetros medidos y la detección de avería. La comparación de información es empleada para solucionar las averías en el menor tiempo posible, sin necesidad de incluir con múltiples análisis

incensarios que sean confusos con los datos alcanzados en los monitoreos.

Los estudios planteados en los artículos [6], [16] dan a conocer los métodos de diagnóstico automotriz, en donde la sistematización de la información demuestra que establecer procesos comparativos entre datos del vehículo y fabricante permite resolver los problemas con mayor facilidad. Extraer datos por medio de OBD, y tratados de manera cuidadosa permite el procesamiento y gestión de los parámetros en tiempo real y logrando una comparativa con datos que en muchos casos se encuentra en la web o incluso en paquetería informática de forma genérica, considerando que los datos OEM son los que se debe tomar con mayor precisión.

El método que ha permitido sustentar el estudio realizado para la aplicación de softwares y plataformas digitales para el diagnóstico automotriz preciso; aprovechando el análisis de datos del fabricante es el método cuantitativo, el mismo que permite la toma de datos de diagnóstico tanto de la plataforma digital del fabricante y contrarrestar la información con los datos obtenidos en el monitoreo del vehículo, para el caso de estudio que se ha planteado para la aplicación de diagnóstico automotriz aplicando plataformas digitales. Esto permite realizar la comparación de los valores teóricos proporcionados por el fabricante y los parámetros con los cuales se encuentra trabajando resultado de la avería presentado por DTC P0A9400, código que representa la descripción "Dc/Dc Converter performance", lo que determina un mal rendimiento en el convertidor de corriente continua para la carga de la batería de 12 voltios considerada de baja tensión en el vehículo en estudio.

Para aplicar el método mencionado se procede a extraer el código de avería de un vehículo MHEV Kia Stonic del año 2024, debido a que presenta anomalías en el circuito de baja tensión ya que se encuentra el indicador de la batería de 12 voltios encendido constantemente, considerando que el tipo de tecnología de este vehículo está constituido por un motor/generador (MHSG) en el mismo que viene incorporado el inversor el MHSG puede trabajar como motor eléctrico cuando el vehículo requiere adicionar potencia o a su vez de generador para la carga del conjunto de baterías, paquete de baterías de 48 V encargado en hacer trabajar al



MHSG como motor eléctrico, en el conjunto de baterías se encuentra ubicado en un solo grupo la BMS (Battery Management System) y el convertidor electrónico LDC (CC-CC), este último componente permite que se realice la carga de energía en la batería auxiliar. La información del DCT se presenta en la tabla 1, en donde se detalla el código de avería, la descripción y las posibles soluciones.

Tabla 1. Análisis del DCT obtenido en el escaneo.

DTC	Descripción	Posible solución
P0A9400	DC/DC Converter Performance	Falso contacto of MHSG o 12 v.
		MHSG defectuoso.
		Controlador BMS + LDC en mal estado

El proceso de reparación de este código de averías, se procede a obtener mediante la aplicación de softwares y plataformas digitales que nos permitan obtener la información detallada de solución de los DTC encontrados, ubicando cada uno de los parámetros establecidos para el funcionamiento, en este caso del funcionamiento de la parte híbrida del vehículo.

3. RESULTADOS

El análisis de la información generada por las unidades de control electrónico es importante para obtener los parámetros por donde se direcciona las averías de los diferentes componentes de los vehículos, esto permite direccionar el diagnóstico ya que con tanta electrónica incrustada en la actualidad no se permite realizar un monitoreo sin un equipo que permita obtener el flujo de datos en vivo de cada una de las ECU, considerando que los vehículos llegan a alcanzar alrededor de 150 unidades de control electrónico y un total de 100 millones de líneas de código las mismas que deben ser tratadas con todo el cuidado durante el diagnóstico [17].

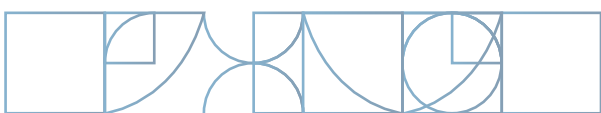
Para determinar el problema que genera el código de avería P0A9400 cuya descripción es "DC/DC Converter Performance", es la obtención del flujo de datos de la BSA (BMS + LDC) del vehículo mediante el escáner de diagnóstico automotriz KIA KDS GDS, en donde se aplica el software de diagnóstico

automotriz de fábrica el mismo que permite la obtención de todos los parámetros en vivo del vehículo Kia Stonic. La tabla 2 muestra los principales datos extraídos para el análisis del código de avería en a resolver.

Tabla 2. Parámetros principales tomados de la BMS del vehículo KIA STONIC.

Nombre del sensor	Valor	Unidad
Relé de batería 48 V (Solicitud)	CLOSED	
Relé de batería 48 V (Corriente)	CLOSED	
Modo LDC (Solicitud)	FORWARD	
Modo LDC (Corriente)	FORWARD	
Modo MHSG (Solicitud)	TORQUE	
Modo MHSG (Corriente)	CTRL	
Velocidad del rotor MHSG	3104	RPM
Corriente del MHSG	-9	A
Voltaje del MHSG	43,88	V
Par de MHSG	-2,4	Nm
Corriente de batería de 48V	0	A
Estado de carga de batería de 48V	46	%
Voltaje de batería de 48 V	43,8	V
Corriente de LDC (12 V)	10	A
Corriente de LDC (48 V)	7	A
Voltaje de LDC (12V)	11,6	V
Voltaje de LDC (48 V)	43,8	V
Punto de ajuste de voltaje de carga de LDC de 12 V	14,3	V
Punto de ajuste de voltaje de carga de LDC de 48 V	46	V

Con los datos obtenidos durante el monitoreo de la BMS del vehículo, en el análisis del funcionamiento del sistema MHEV se procede a realizar las comparaciones de datos aplicando la plataforma digital <https://www.kia-hotline.com/euro5/login.tiles>, la misma que permite visualizar los valores determinados por la ingeniería del vehículo con la finalidad de obtener descripciones de los DCT, causas, rutas de diagnósticos junto con los valores



de trabajo de acuerdo a cada código de fallo. Analizando en la plataforma digital el DTC P0A9400 muestra la ruta de diagnóstico inicial en donde se observa la tabla 3, la misma que muestra los valores de carga de la batería auxiliar o 12 V y la batería de 48 voltios.

Tabla 3. Datos referenciales para análisis del código de avería P0A9400.

Nombre del sensor	Valor	Unidad
48 V Battery Voltage	44,2	V
48 V Battery SOC	49,5	%
48 V Battery Pack Voltage	44,18	V
HS LDC Internal Voltage	43,95	V
HS Voltage	43,93	V
LS LDC Internal Voltage	14,17	V
Ls Voltage	13,9	V
Auxiliary Cell Voltage	13612	mV

Comparando los valores obtenidos durante el monitoreo del vehículo en funcionamiento con los valores proporcionados por el fabricante para determinar las averías que permiten ocasionar el código P0A9400, se presenta la tabla 4 en donde se observa que la batería de 48 voltios se encuentra trabajando correctamente por lo que considerando los niveles de SOC (estado de carga) ya que el fabricante proporciona un SOC del 50 % para un valor de voltaje de 44.2 V, mientras en el dato de escáner muestra un valor de SOC de 46 % para un valor de SOC de 43.8 V en el instante del monitoreo en tiempo real, en toda esta comparativa se observa la variación notable del sistema de carga de batería auxiliar en donde el dato de fabricante determina que el valor proporcionado para la carga debe aproximarse los 14 V, considerando que el punto de ajuste de voltaje de carga de LDC de 12 V es de 14.3 V, en el análisis se aprecia que el valor es de 11.6 V, este parámetro fuera de rango hace posible que se

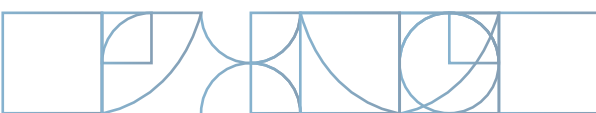
realicen pruebas a los componentes que forman parte de este círculo de trabajo.

Tabla 4. Comparación resultados de monitoreo vs datos de plataforma digital.

Valores obtenidos de la plataforma digital		Valores obtenidos en tiempo real		
Nombre del sensor	Valor	Unidad	Valor	Unidad
48 V Battery Voltage	44,2	V	43,8	V
48 V Battery SOC	49,5	%	46	%
48 V Battery Pack Voltage	44,18	V	43,8	V
HS LDC Internal Voltage	43,95	V	43,95	V
HS Voltage	43,93	V	43,8	V
LS LDC Internal Voltage	14,17	V	11,6	V
Ls Voltage	13,9	V	11,6	V
Auxiliary Cell Voltage	13612	mV		

Al analizar los valores comparativos se toma en cuenta que se genera la ruta de diagnóstico en donde se determina que si los parámetros se encuentran tal cual se presentan en la tabla 4, las posibles causales pueden ser falsos contactos en los conectores de todo el grupo de alta tensión, incluyendo BMS, conectores de batería con corrosión, contaminados o deteriorados, para lo cual se debería realizar el respectivo procedimiento de reparación.

El valor comparativo que marca diferencia es de carga de la batería auxiliar, considerando que se debería tener aproximadamente 14 V y el monitoreo presenta 11.6 V, para variaciones de este parámetro, la ruta de diagnóstico del código P0A9400, determina revisar los cableados entre la batería de 48 V desde la salida de baja tensión hasta la batería auxiliar. La figura 4 muestra la ubicación de conectores de la batería de 48 V y 12 V del vehículo Kia Stonic.



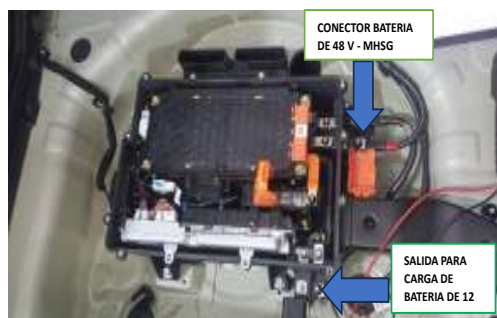


Figura 4. Ubicación conectores del pack de baterías de 48 V y 12 V

Ubicando el conector de la salida desde la batería de 48 V hasta la batería auxiliar, se realiza verificaciones al cableado de conexión con el conector liberado con la batería de alto voltaje

Con el conector positivo desconectado y la ignición en ON, se procede a verificar que el voltaje existente se encuentre en un rango de 11.5 voltios hasta los 14.5 V, en el caso del vehículo con avería se presenta la lectura de los 11.6 voltios, además con la ignición en OFF, se procede a verificar la resistencia de la línea de masa con el chasis del vehículo teniendo en consideración que el valor a obtener deber ser inferior al 1 Ohm aproximadamente, el valor obtenido en la verificación es de 0.8 Ohm, lo que determina que el parámetro obtenido en la verificación se encuentra en el rango establecido para el análisis. La figura 8 muestra la verificación del voltaje con el conector desconectado en la línea de 12 voltios. La figura 5 muestra la medición obtenida del voltaje con los conectores desconectados desde la batería de 48V hasta la de 12V



Figura 5. Verificación de voltaje de 12 voltios con conectores desconectados.

Los valores obtenidos en el proceso de verificación con el conector de conexión de la línea de 12 Voltios determinan que no se tiene fallos en conexiones o circuitos del sistema, por lo que el problema central se basa en el módulo BSA (Ensamblaje de Sistemas de Baterías) que es desde donde nace el voltaje de baja tensión para la carga de la batería de 12 V.

La figura 6 muestra la ubicación del módulo BSA que es donde se engloba la BMS y el LDC, siendo el LDC el que se encarga en convertir la corriente DC – DC para la carga de la batería auxiliar o 12 V.



Figura 6. Ubicación del módulo BSA (BMS +LDC) en el pack de baterías de 48 V.

Al hablar del LDC se considera que es un convertidos CC-CC de bajo voltaje y alta potencia, siendo de mucha importancia en el funcionamiento de los sistemas auxiliares de los vehículos tanto híbridos como eléctricos debido a que es el componente encargado en transferir el alto voltaje de las baterías a la de baja tensión y posterior a los sistemas de control [18].

Para verificar el fallo de la BSA se presenta la figura 7, dividido en dos secciones, en donde en la 1 se observa la vista exterior del módulo, mientras que en la 2 se aprecia la plaqueta electrónica. Al analizar la el conjunto de componentes electrónicos que forman la BSA se visualiza componentes cortocircuitados los cuales no permiten que el LDC realice el proceso de carga a la batería auxiliar.

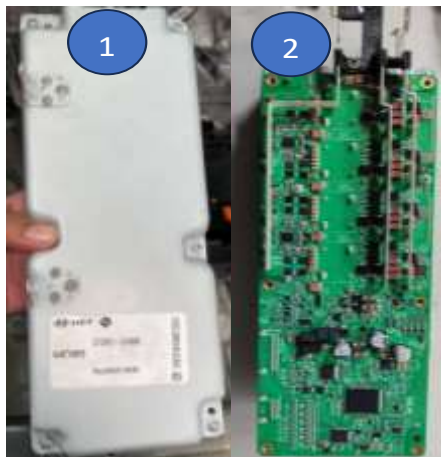


Figura 7. Vista exterior e interior de la BSA del vehículo Kia Stonic.

La sustitución de la BSA permite que la batería de 12 voltios reciba la carga necesaria para mantener el voltaje estable que logre que los sistemas auxiliares del vehículo funcionen correctamente y no exista disminución de tensión que ocasione que el vehículo presente fallos que incluso pueden ocasionar accidentes a los ocupantes.

4. DISCUSIÓN

Como se planteó al inicio del estudio el propósito principal es emplear softwares y plataformas digitales que permitan el diagnóstico automotriz, aplicando en un caso de estudio en donde el vehículo presenta una avería en el sistema de carga de baja tensión, se dice baja tensión a la batería de 12 voltios o auxiliar, ya que el estudio se aplica en vehículo MHEV el cual posee un sistema eléctrico controlado por 48 V.

Los datos obtenidos del flujo de información en tiempo real de 11.6 V, comparados con los valores determinados por el fabricante para funcionamiento óptimo que es de 14 voltios, valores obtenidos de la plataforma digital del fabricante para vehículos Kia <https://www.kia-hotline.com/euro5/index.tiles>, determina que existe un fallo en el sistema de carga de la batería de 12V.

Para este proceso el fabricante en su plataforma digital establece un procedimiento que permite evitar errores en el diagnóstico, es así que al encontrar valores fuera de rango en "Voltaje de LDC" en el vehículo Kia Stonic en la fase experimental, se procede a verificar el voltaje y resistencia con los

conectores desconectados a la salida de la carga de 12 V, obtenido como resultado 11.6 V observados en la figura 6, y la resistencia entre la masa del conector con la de chasis de 0.8 Ohm, con esta medición, el punto a verificación final es la BSA, considerando que en cuyo interior se encuentra el componente LDC que es el encargado en transmitir la corriente CC – CC para la batería de 12 V.

Con la sustitución de la BSA se verifica que el indicador de carga del vehículo se apaga al instante de encenderlo, por lo que el valor generado en el flujo de datos del escáner automotriz KIA GDS alcanza los 14.1 voltios siendo el necesario para la cargar la batería que controla los sistemas auxiliares del vehículo. La tabla 5 muestra los valores de trabajo del sistema posterior a la sustitución del módulo BSA.

Tabla 5. Valores comparativos posterior sustitución del módulo BSA

Valores obtenidos de la plataforma digital			Valores obtenidos en tiempo real	
Nombre del sensor	Valor	Unidad	Valor	Unidad
48 V Battery Voltage	44,2	V	43.8	V
48 V Battery SOC	49,5	%	48	%
48 V Battery Pack Voltage	44,18	V	43,8	V
HS LDC Internal Voltage	43,95	V	43,95	V
HS Voltage	43,93	V	43,8	V
LS LDC Internal Voltage	14,17	V	14.1	V
Ls Voltage	13,9	V	14.1	V
Auxiliary Cell Voltage	13612	mV		

5. CONCLUSIÓN

En la actualidad para el diagnóstico de vehículos híbridos y eléctricos, se debe contar con equipos especializados para el monitoreo de los parámetros de las diferentes unidades de control electrónico, además de tener a la mano información técnica especializada que permita enrutar las averías a partir de los distintos DTC, teniendo como consecuencia la reducción de tiempos en los diagnósticos mediante la comparación de valores en tiempo real vs los entregados por el fabricante.

Los convertidores CC-CC cumplen un papel importante en la generación de energía que abastece a los sistemas auxiliares del vehículo, estos sistemas se encargan en transformar la corriente de alto a bajo voltaje de alta potencia por lo que se les conoce como LDC, es por eso que una falla de estos componentes que se encuentran en el interior de la BSA hace posible que exista averías considerables no solo en el sistema de carga de la batería, sino también en sistemas asociados que requieren mantener la carga estable para el funcionamiento.

El funcionamiento óptimo del MHSG que forma parte del sistema MHEV cumple un papel importante, debido a que al fallar el inversor que se encuentra en el interior del MHSG, no permitirá la carga de la batería de alta tensión, y esto a su vez se verá replicado en el voltaje inexistente para la carga de la batería auxiliar.

Al analizar el BSA y encontrar cortos circuitos en su interior permite concluir que los elevados consumos de corriente o mala manipulación de los sistemas provoca las fallas en estos módulos de control, si se habla de mala manipulación, uno de los consejos es aislar las líneas de alta tensión al instante de realizar trabajos de soldadura en el vehículo, además de evitar cortos circuitos que puedan afectar el fallo en los componentes electrónicos de la BSA.

6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] J. I. Venceslau de Souto, Á. Barbosa da Rocha, R. N. C. Duarte, and E. de Moura Fernandes, "Design and Implementation of an Embedded Data Acquisition System for Vehicle Vertical Dynamics Analysis," *Sensors*, vol. 23, no.

23, p. 9491, Nov. 2023, doi: 10.3390/s23239491.

[2] X. Yang, "Framework of Electric Vehicle Fault Diagnosis System Based on Diagnostic Communication," *International Journal of Engineering*, vol. 37, no. 6, pp. 1194–1207, 2024, doi: 10.5829/IJE.2024.37.06C.16.

[3] A. Chin, P. Wolf, and J. Tian, *A Cloud IoT Edge Framework for Efficient Data-Driven Automotive Diagnostics*. 2019.

[4] J. P. Nieto González, "Vehicle fault detection and diagnosis combining an AANN and multiclass SVM," *International Journal on Interactive Design and Manufacturing (IJIDeM)*, vol. 12, no. 1, pp. 273–279, Feb. 2018, doi: 10.1007/s12008-017-0378-z.

[5] D. G. Vrachkov and D. G. Todorov, "Automotive Diagnostic Trouble Code (DTC) Handling over the Internet," in *2018 IX National Conference with International Participation (ELECTRONICA)*, IEEE, May 2018, pp. 1–3. doi: 10.1109/ELECTRONICA.2018.8439702.

[6] L. P. De Oliveira, M. A. Wehrmeister, and A. S. De Oliveira, "Systematic Literature Review on Automotive Diagnostics," in *Brazilian Symposium on Computing System Engineering, SBESC*, IEEE Computer Society, Nov. 2017, pp. 1–8. doi: 10.1109/SBESC.2017.7.

[7] H. Jie, L. Changlin, Y. Fuwu, and Z. Zeyang, "The development of vehicle diagnostic system based on Android platform," in *2015 International Conference on Connected Vehicles and Expo, ICCVE 2015 - Proceedings*, Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., Apr. 2016, pp. 42–47. doi: 10.1109/ICCVE.2015.7.

[8] J. Nagy and I. Lakatos, "The Past, the Present and the Future of Online Road



Vehicle Diagnosis from Car and Scan Tool Communication Perspective,” 2023. doi: 10.3233/ATDE230419.

[9] J. Pavlopoulos *et al.*, “Automotive fault nowcasting with machine learning and natural language processing,” *Mach Learn*, vol. 113, no. 2, pp. 843–861, Feb. 2024, doi: 10.1007/s10994-023-06398-7.

[10] A. Theissler, “Detecting known and unknown faults in automotive systems using ensemble-based anomaly detection,” *Knowl Based Syst*, vol. 123, pp. 163–173, May 2017, doi: 10.1016/j.knosys.2017.02.023.

[11] A. Rick and B. Sisk, “A Simulation Based Analysis of 12V and 48V Microhybrid Systems Across Vehicle Segments and Drive Cycles,” Apr. 2015. doi: 10.4271/2015-01-1151.

[12] S. Meckel, J. Zenkert, C. Weber, R. Obermaisser, M. Fathi, and R. Sadat, *Optimized Automotive Fault-Diagnosis based on Knowledge Extraction from Web Resources*. 2019.

[13] D. Georgiev and D. Georgiev, “Real Time Diagnostics in the Automotive Industry over the Internet,” *IEEE*, pp. 1–3, 2018.

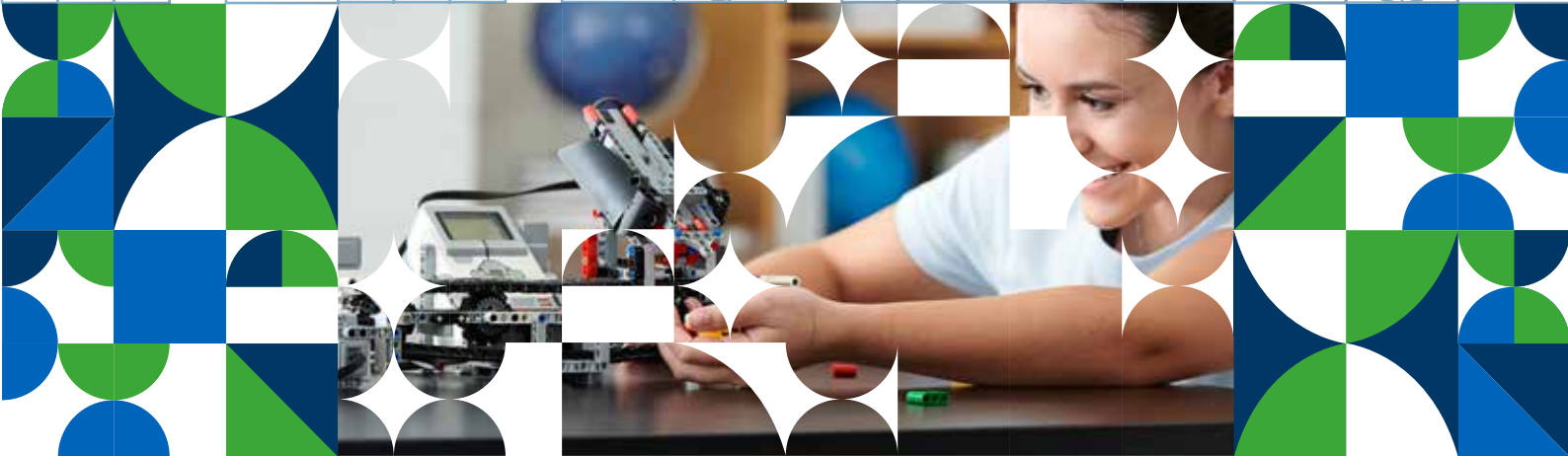
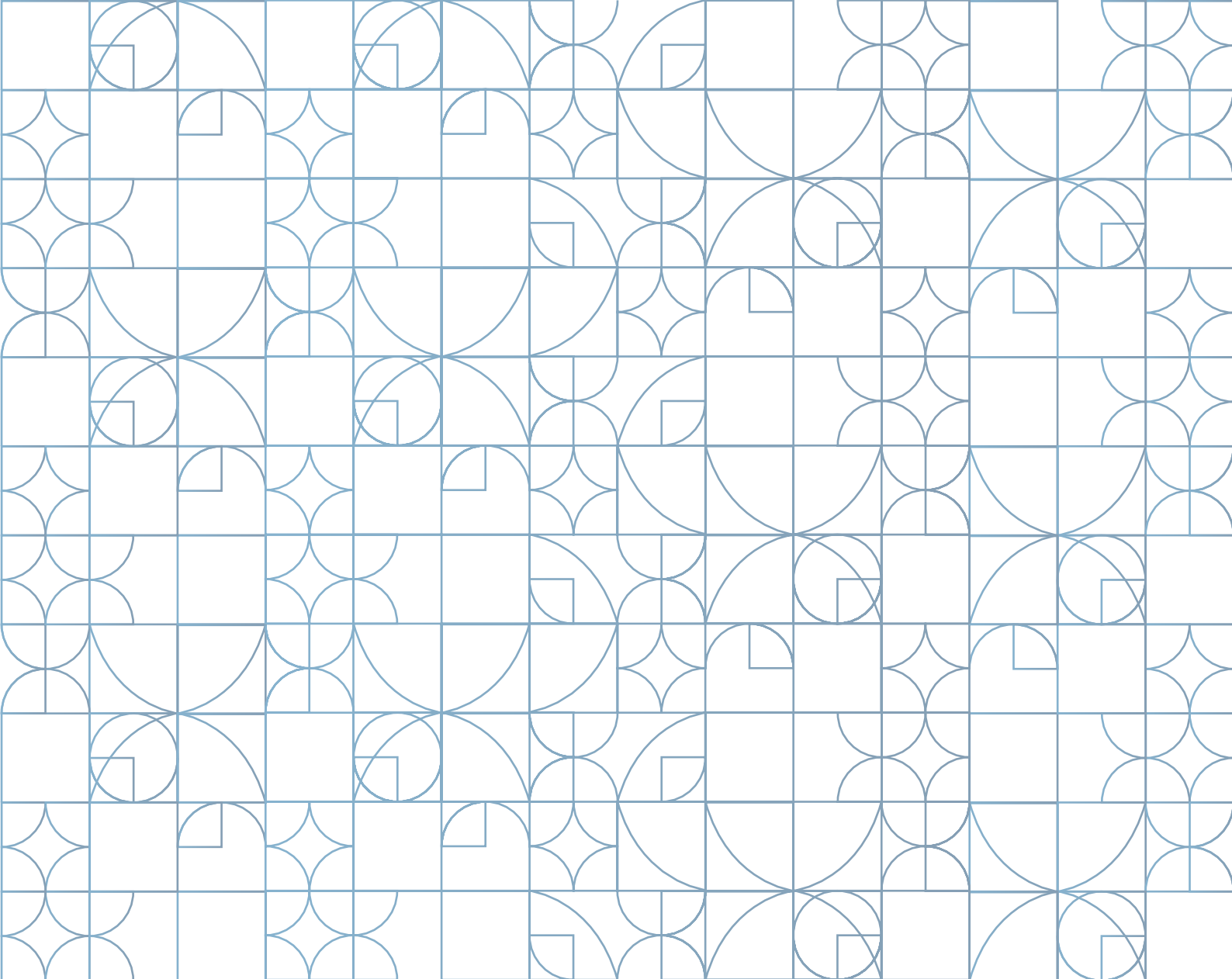
[14] A. Mallak, C. Weber, M. Fathi, and A. Holland, “Active diagnosis automotive ontology for distributed embedded systems,” in *2017 IEEE European Technology and Engineering Management Summit (E-TEMS)*, IEEE, Oct. 2017, pp. 1–6. doi: 10.1109/E-TEMS.2017.8244219.

[15] P. Kadekar and A. Wakankar, “Automated Test Environment for On-Board Diagnostics Counters for an Automotive On-Road Application,” in *2018 2nd International Conference on Trends in Electronics and Informatics (ICOEI)*, IEEE, May 2018, pp. 409–413. doi: 10.1109/ICOEI.2018.8553704.

[16] K. Yeon and D. Lee, “Fault detection and diagnostic coverage for the domain control units of vehicle E/E systems on functional safety,” in *2017 20th International Conference on Electrical Machines and Systems (ICEMS)*, IEEE, Aug. 2017, pp. 1–4. doi: 10.1109/ICEMS.2017.8056361.

[17] M. Rumez, J. Lin, T. FuchB, R. Kriesten, and E. Sax, “Anomaly Detection for Automotive Diagnostic Applications Based on N-Grams,” in *2020 IEEE 44th Annual Computers, Software, and Applications Conference (COMPSAC)*, IEEE, Jul. 2020, pp. 1423–1429. doi: 10.1109/COMPSAC48688.2020.00-56.

[18] X. Zhou, S. Feng, C. Li, and Z. Yan, “Analysis and design of synchronous-rectified LLC DC–DC converter for LDC of electric vehicles,” *IET Power Electronics*, vol. 17, no. 10, pp. 1176–1188, Aug. 2024, doi: 10.1049/pel2.12541.



**MINDSTORMS EV3 COMO HERRAMIENTA EDUCATIVA PARA
MEJORAR EL PENSAMIENTO LÓGICO-MATEMÁTICO EN LA
PRIMERA INFANCIA**

**LEGO MINDSTORMS EV3 AS AN EDUCATIONAL TOOL TO
IMPROVE LOGICAL-MATHEMATICAL THINKING IN EARLY
CHILDHOOD**

MINDSTORMS EV3 COMO HERRAMIENTA EDUCATIVA PARA MEJORAR EL PENSAMIENTO LÓGICO-MATEMÁTICO EN LA PRIMERA INFANCIA

LEGO MINDSTORMS EV3 AS AN EDUCATIONAL TOOL TO IMPROVE LOGICAL-MATHEMATICAL THINKING IN EARLY CHILDHOOD

**Fiallos Velasco Cristian Guillermo¹,
Cruz Calderón Adriana Elizabeth²,
Sani Domínguez Jenny Edith³,**

¹ Instituto Superior Universitario Carlos Cisneros, Ecuador, cristian.fiallosv@istcarloscisneros.edu.ec

² Instituto Superior Universitario Carlos Cisneros, Ecuador, adriana.cruz@istcarloscisneros.edu.ec

³ Instituto Superior Universitario Carlos Cisneros, Ecuador, jenny.sani@istcarloscisneros.edu.ec

RESUMEN

La primera infancia es crucial para el desarrollo cognitivo, y la robótica educativa, como los robots LEGO MINDSTORMS EV3, ofrece un enfoque innovador para fortalecer el razonamiento lógico-matemático en niños de tres años. Este estudio, desarrollado en el Centro Infantil Francisco Chiriboga de Riobamba, Ecuador, analiza su eficacia como método educativo atractivo y efectivo para fomentar habilidades esenciales desde edades tempranas.

El objetivo principal fue evaluar el impacto de usar robots en el aprendizaje de figuras geométricas y colores en niños de tres años. La metodología consistió en actividades estructuradas durante tres semanas, donde los niños interactuaron con robots en pistas de aprendizaje para identificar figuras y colores específicos, con actividades evaluadas semanalmente mediante rúbricas para medir el progreso de los niños.

Los resultados mostraron una mejora significativa en el razonamiento lógico de los niños, con una media del Pre Test de 4.44 y una media del Post Test de 8.52. El análisis estadístico usando T-Student, con un valor p de 0.0043, indicó una diferencia significativa entre las puntuaciones antes y después de la intervención, rechazando la hipótesis nula.

En conclusión, se demuestra que la robótica educativa en la primera infancia mejora significativamente el razonamiento lógico-matemático. La investigación sugiere que la integración de tecnologías en la educación facilita la adquisición de conocimientos específicos y fomenta habilidades como la coordinación motora, el trabajo en equipo y la resolución de problemas. Estos resultados apoyan la implementación de programas similares en otros contextos educativos para promover un aprendizaje interactivo y atractivo desde una edad temprana.

Palabras clave: Robótica, lógica-matemática, Lego Mindstorms EV3, educación de la primera infancia, aprendizaje interactivo.



ABSTRACT

Early childhood is crucial for cognitive development, and educational robotics, such as LEGO MINDSTORMS EV3 robots, provides an innovative approach to strengthening logical-mathematical reasoning in three-year-old children. This study, conducted at the Francisco Chiriboga Child Development Center in Riobamba, Ecuador, examines its effectiveness as an engaging and effective educational method to foster essential skills from an early age.

The main objective was to evaluate the impact of using robots on the learning of geometric shapes and colors in three-year-old children. The methodology consisted of structured activities over three weeks, where children interacted with robots on learning tracks to identify specific shapes and colors. The activities were evaluated weekly using rubrics to measure the children's progress.

The results showed a significant improvement in the children's logical reasoning, with a Pre-Test mean score of 4.44 and a Post-Test mean score of 8.52. Statistical analysis, with a p -value of 0.0043, indicated a significant difference between the scores before and after the intervention, rejecting the null hypothesis.

In conclusion, it is demonstrated that educational robotics in early childhood significantly improves logical-mathematical reasoning. The research suggests that integrating technologies in education facilitates the acquisition of specific knowledge and fosters skills such as motor coordination, teamwork, and problem-solving. These results support the implementation of similar programs in other educational contexts to promote interactive and engaging learning from an early age.

Keywords: *Robotics, logical-mathematical, Lego Mindstorms EV3, early childhood education, interactive learning*

Recibido: Agosto 2024
Received: August 2024

Aceptado: Diciembre 2024
Accepted: December 2024

1. INTRODUCCIÓN

Con el avance de la tecnología, su influencia en diferentes áreas se ha visto potenciada, por lo que en educación ha sido importante reconfigurarse considerando aspectos como las TIC y la robótica. El proyecto de Integración de la robótica educativa en Educación Primaria analiza la percepción de los docentes, familias y estudiantes de segundo de primaria sobre la robótica educativa, la programación y las habilidades digitales relacionadas en la etapa de Educación Primaria. Realizando un taller en el que trabajaron por primera vez con recursos y materiales de robótica educativa: Lego WeDo 2.0 y Blue-Bot. Concluyendo que el uso pedagógico y la capacitación al profesorado en robótica educativa son oportunidades que permiten afrontar desafíos de la sociedad actual [1].

En educación se abordan tendencias que permiten adquirir aprendizajes de formas diversas, siendo la robótica educativa una de ellas, convirtiéndose en una herramienta versátil que potencia el rendimiento de los estudiantes y el pensamiento matemático en todas sus etapas de aprendizaje. La revisión documental realizada en el estudio: La Robótica Educativa, Potenciando el Pensamiento Matemático y Habilidades Sociales en el Aprendizaje; permitió establecer, que la manipulación y uso de robots desarrolla mejoras significativas en su comprensión de las matemáticas, observando también el incremento de habilidades socioemocionales [2].

La educación en la primera infancia es un período crítico para el desarrollo cognitivo y el establecimiento de habilidades fundamentales en los niños. En este contexto, la robótica educativa ha emergido como una herramienta innovadora que puede potenciar el aprendizaje y el desarrollo del razonamiento lógico y matemático. Este estudio se ha realizado con el propósito de explorar cómo el uso de los robots LEGO MINDSTORMS EV3 puede influir positivamente en el razonamiento lógico matemático de niños de tres años. La investigación pretende abordar el problema de la necesidad de métodos educativos efectivos y atractivos que promuevan habilidades cognitivas esenciales desde una edad temprana.

El principal objetivo de este artículo es evaluar el impacto de la robótica educativa en el desarrollo del

razonamiento lógico matemático en niños pequeños, utilizando robots LEGO MINDSTORMS EV3 como herramienta pedagógica. A través de esta investigación, se busca proporcionar evidencia sobre la efectividad de la robótica educativa para mejorar habilidades cognitivas clave en la primera infancia.

El uso de tecnologías avanzadas en la educación ha sido objeto de numerosos estudios que destacan sus beneficios en el aprendizaje y desarrollo de diversas habilidades. Papert (1980) introdujo el concepto de "mindstorms" para describir cómo los niños pueden aprender conceptos complejos a través de la manipulación de robots programables [3]. Este enfoque se ha expandido considerablemente, con estudios recientes que demuestran que la robótica educativa puede mejorar significativamente el pensamiento crítico, la resolución de problemas y el razonamiento lógico en niños [4].

En particular, los robots LEGO MINDSTORMS EV3 han sido ampliamente utilizados en entornos educativos debido a su versatilidad y capacidad para involucrar a los niños en actividades prácticas y colaborativas. Alimisis (2013) destacó la capacidad de los robots educativos para proporcionar un entorno de aprendizaje interactivo y estimulante, lo cual es especialmente beneficioso para los estudiantes más jóvenes. Estos estudios sugieren que la robótica educativa no solo es efectiva para enseñar conceptos STEM (ciencia, tecnología, ingeniería y matemáticas), sino que también puede ser una herramienta poderosa para el desarrollo integral del niño [5].

Este estudio se basa en estos antecedentes y se enfoca en un grupo específico de niños de tres años del Centro de Desarrollo Infantil Francisco Chiriboga en Riobamba, Ecuador. Al implementar una serie de actividades estructuradas utilizando los robots LEGO MINDSTORMS EV3, se busca medir y analizar el impacto de esta intervención en el razonamiento lógico matemático de los participantes, contribuyendo así al campo de la educación infantil y a la implementación de tecnologías innovadoras en el aula.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Para el desarrollo de este estudio se estableció el consentimiento informado de los padres y

representantes de los niños para participar en el estudio, además se garantiza que los datos recolectados serán tratados de manera confidencial sin identificar a los participantes en los resultados

El estudio propuesto utiliza un enfoque cuantitativo con un diseño pre-experimental. Siendo el enfoque cuantitativo útil para medir de manera objetiva y estadística (T Student), los cambios en las habilidades lógico-matemáticas de los niños antes y después de la intervención. Para el desarrollo del estudio se seleccionó una muestra específica de niños y se utilizó instrumentos para recolectar datos numéricos los cuales permitieron evaluar la hipótesis planteada. Además, el objetivo de la aplicación del diseño pre-experimental fue evaluar si existe un cambio significativo después de aplicar el estímulo (uso de Mindstorms EV3), mediante la observación y medición de los cambios dentro de un único grupo. En este contexto, se evidencia la ausencia de variables controladas por lo se compensa mediante la comparación directa entre el pre-test y el pos-test, midiendo exclusivamente la evolución en el grupo analizado. Este diseño permitió realizar las siguientes actividades:

- Evaluación inicial (**pre-test**) para determinar el nivel base de habilidades lógico-matemáticas.
- Intervención educativa con Mindstorms EV3
- Evaluación final (**pos-test**) para medir cambios en las habilidades.

2.1. Diseño del Estudio

El diseño pre-experimental empleado en este estudio consistió en la evaluación del impacto de la robótica educativa utilizando robots LEGO MINDSTORMS EV3 en el razonamiento lógico matemático de niños de tres años, mediante una intervención planificada y la comparación de resultados pre y post intervención.

La investigación se realizó en el Centro de Desarrollo Infantil Francisco Chiriboga, ubicado en la ciudad de Riobamba, Ecuador. Los CDI ofrecen atención integral a niños de 1 a 3 años, bajo la supervisión y ejecución del Ministerio de Inclusión Económica y Social (MIES).

2.2. Población y Muestra

La población objetivo del estudio fueron los niños del tercer grupo etario (34-35 meses) del CDI Francisco Chiriboga. La muestra estuvo constituida

por 9 niños seleccionados mediante un muestreo no probabilístico por conveniencia.

2.3. Instrumentos de Recolección de Datos

Se utilizaron las siguientes herramientas para la recolección de datos:

Pruebas Pre Test y Post Test: Evaluaciones diseñadas para medir el razonamiento lógico matemático de los niños antes y después de la intervención.

La evaluación del Pre Test se realizó con el objetivo de obtener información diagnóstica sobre las nociones y conocimientos de los niños al inicio del proyecto en relación a los colores y figuras. Para ello, se utilizó una rúbrica:

Anexo 1. Rúbrica del Pre Test



Figura 1. Aplicación de la evaluación de diagnóstico

El Post Test permitió evaluar el conocimiento adquirido después de la implementación del proyecto utilizando los robots LEGO MINDSTORMS EV3. Estos robots se presentaron en diversas formas para captar la atención de los niños y hacer su aprendizaje más lúdico.

Anexo 2. Rúbrica del Post Test



Figura 2. Aplicación del Post Test



Rúbricas de Evaluación Semanal: Herramientas de evaluación que permitieron medir el progreso semanal de los niños en la identificación de figuras geométricas y colores.

Anexo 2. Rúbrica de evaluación semanal

La intervención se llevó a cabo en un periodo de tres semanas, con actividades planificadas de acuerdo a la siguiente estructura:

Tabla 1. Primera semana

Objetivo	Actividades	Evaluación
Aprender la figura del círculo y el color amarillo.	Juego con Lego Mindstorms EV3. Identificación de la figura del círculo y el color amarillo en las tarjetas. El robot avanza al acertar, completando el circuito en equipo.	Aplicación de la rúbrica de evaluación al finalizar la semana.

En la primera semana, se llevaron a cabo una serie de actividades diseñadas para que los niños aprendan de manera efectiva el color amarillo y la figura del círculo utilizando herramientas interactivas y tecnológicas. El proceso incluyó el uso de una pista de aprendizaje especialmente configurada, el robot Lego y una programación específica que guiaba a los niños en su exploración y reconocimiento de estas formas y colores. Las actividades comenzaban con la colocación del robot en la pista, seguido de instrucciones precisas para identificar las tarjetas que mostraban la figura del círculo y el color amarillo. Cada vez que un niño identificaba correctamente una tarjeta, el robot avanzaba, proporcionando una retroalimentación inmediata y motivadora. Este método no solo facilitó la adquisición de conocimientos, sino que también fomentó el trabajo en equipo y la participación activa, ya que los niños colaboraban para completar el circuito en equipo. El enfoque lúdico y tecnológico ayudó a mantener el interés y la atención de los niños, haciendo que el aprendizaje fuera una experiencia divertida y enriquecedora.



Figura 3. Semana uno

Tabla 2. Segunda semana

Objetivo	Actividades	Evaluación
Aprender la figura del cuadrado y el color azul.	Juego con Lego Mindstorms EV3. Identificación del cuadrado y el color azul en las tarjetas. El robot avanza al acertar, completando el circuito en equipo.	Aplicación de la rúbrica de evaluación al finalizar la semana.

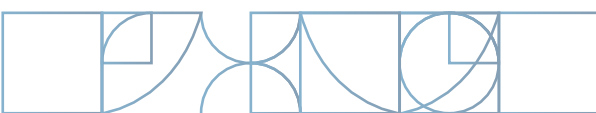
Durante la segunda semana, se estructuraron actividades para que los niños aprendieran eficientemente el color azul y la figura del cuadrado, utilizando una pista de aprendizaje, el robot LEGO MINDSTORMS EV3 programado específicamente para guiarlos a través de varios desafíos educativos. Los niños colocaban el robot en la pista, cumpliendo instrucciones claras para identificar las tarjetas con el cuadrado y el color azul, haciendo que el robot avanzara cada vez que acertaban, lo que incentivó su participación constante. Estas actividades no solo facilitaron la adquisición de estos conceptos, sino que también promovieron habilidades adicionales como la coordinación motora, el seguimiento de instrucciones y la resolución de problemas, fomentando el trabajo en equipo. El uso de tecnología hizo que el aprendizaje fuera más atractivo y dinámico, adaptándose al ritmo de cada niño y reforzando su comprensión de los conceptos enseñados.



Figura 4. Semana dos

Tabla 3. Tercera semana

Objetivo	Actividades	Evaluación
Aprender la figura del triángulo y el color rojo.	Juego con el robot LEGO MINDSTORMS EV3. Colocación del robot en la pista de aprendizaje. Identificación del triángulo y el color rojo en las tarjetas.	Aplicación de la rúbrica de evaluación al finalizar la semana.



rojo. El robot avanza al acertar, la semana completando el circuito en equipo.

La tercera semana se implementaron actividades para la enseñanza del color rojo y la figura del triángulo mediante el uso de una pista con esta forma, y el robot con la programación acorde. Los niños recibieron instrucciones para identificar las tarjetas con estas características, el robot avanzaba con cada respuesta correcta, aportando una respuesta acertada. Estas actividades no solo facilitaron el aprendizaje, sino que también fomentaron la coordinación y el cumplimiento de instrucciones.



Figura 5. Semana tres

2.4. Análisis de Datos

El uso de la prueba t de Student para muestras pareadas en este contexto se basa en los principios de la estadística inferencial y la teoría de comparación de medias en situaciones donde se tiene un diseño pre-post con el mismo grupo de sujetos. Este tipo de prueba estadística permite evaluar si la aplicación de Robótica Educativa tuvo un efecto significativo sobre el razonamiento lógico de los estudiantes.

La prueba t de Student es adecuada para estudios en los que se mide el mismo grupo de sujetos en dos momentos (pre y post), lo cual elimina la variabilidad individual entre los sujetos y permite detectar cambios a nivel intraindividual. Específicamente, se utiliza para comprobar si las diferencias observadas entre las puntuaciones del Pre Test y el Post Test son estadísticamente significativas, o si podrían deberse al azar [6].

En la investigación “Evaluación de la eficacia de la robótica educativa en la mejora del aprendizaje de números irracionales en estudiantes de educación secundaria”, se adoptó un diseño cuasi-experimental, trabajando con 120 estudiantes divididos aleatoriamente en grupos de control y experimental. La intervención incluyó actividades prácticas con interfaces de control, diseñadas para facilitar la comprensión de operaciones con números irracionales. Se aplicaron pruebas pretest y postest a ambos grupos para medir el nivel de aprendizaje antes y después de la intervención. El análisis de los resultados, realizado mediante la prueba t de Student, evidenció que el 53% de los estudiantes del grupo experimental alcanzaron el dominio de los aprendizajes requeridos [7].

En el estudio “¿Aprender con robótica en Educación Primaria? Un medio de estimular el pensamiento computacional” se aplicó la prueba t de Student sobre los datos recolectados en el postest para ambos grupos, experimental y control. Los resultados establecieron la existencia de diferencias significativas en los valores calculados para cada una de las dimensiones de la variable explorada y en la prueba completa. En todos los casos la significación asintótica presenta valores inferiores al valor de referencia, es decir, una $p < ,05$. Por otro lado, el tamaño del efecto aporta un gran valor cuando se efectúan análisis en muestras de tamaño pequeño [8].

El uso de la prueba t de Student en el presente estudio está fundamentado en la necesidad de evaluar el impacto de la intervención educativa con robots LEGO Mindstorms EV3 mediante la comparación de los resultados pretest y postest en un mismo grupo de sujetos. Este enfoque es adecuado para estudios donde se busca identificar cambios significativos en variables dependientes, eliminando la variabilidad individual al medir los mismos sujetos antes y después de la intervención. La prueba es particularmente útil en muestras pequeñas, como en este caso, ya que permite detectar diferencias estadísticas relevantes incluso con tamaños limitados.

Para el análisis de los datos obtenidos, se utilizó el método estadístico t-Student para muestras pareadas, comparando las puntuaciones del Pre Test y Post Test. Este análisis permitió determinar la significancia de las diferencias observadas antes y después de la intervención. Los pasos específicos fueron:

Cálculo de la diferencia: Entre las puntuaciones del Post Test y el Pre Test para cada niño.

Cálculo de la media y desviación estándar: De las diferencias.

Prueba t para muestras pareadas: Para determinar la significancia estadística de las diferencias observadas.

Las Hipótesis establecidas para la aplicación del método t-Student fueron:

Hipótesis Nula (H_0): No hay diferencia en las puntuaciones medias del razonamiento lógico de los niños antes y después de utilizar la aplicación de la Robótica Educativa. Es decir, cualquier diferencia observada es debida al azar.

Hipótesis Alternativa (H_1): Existe una diferencia significativa en las puntuaciones medias del razonamiento lógico de los niños después de utilizar la aplicación de la Robótica Educativa. Esto sugiere que la intervención tuvo un efecto observable en la mejora del razonamiento lógico.

Los datos se recogieron de las puntuaciones obtenidas por los niños en un test de razonamiento lógico administrado antes de la intervención (Pre Test) y después de la intervención (Post Test). En este caso, tenemos las puntuaciones de 9 estudiantes.

Para cada niño, se calcula la diferencia entre la puntuación del Post Test y la del Pre Test. Estas diferencias son las que se analizaron para determinar si hay un cambio significativo.

Tabla 4. Tabla de diferencia Pre y Post Test

Niño	Pre Test	Post Test	d
1	5,00	9,17	4,17
2	1,67	9,17	7,50
3	5,00	10,00	5,00
4	8,33	8,33	0,00
5	3,33	10,00	6,67
6	10,00	10,00	0,00
7	0,00	1,67	1,67
8	5,00	8,33	3,33
9	1,67	10,00	8,33

Se calcula la media y la desviación estándar de las diferencias. Utilizando estos valores, se calcula el estadístico t y su correspondiente valor p.

2.5. Recursos Utilizados

Robots LEGO MINDSTORMS EV3: Los robots fueron utilizados como herramientas interactivas para enseñar a los niños conceptos básicos de razonamiento lógico-matemático, incluyendo la identificación de figuras geométricas (círculo, cuadrado y triángulo) y colores (amarillo, azul y rojo). Estos robots, programables y controlables, permitieron una interacción dinámica con los niños, facilitando un aprendizaje lúdico y participativo.



Figura 5. Robots LEGO MINDSTORMS EV3

Pistas de aprendizaje: Las pistas de aprendizaje fueron superficies diseñadas específicamente para guiar el movimiento de los robots, estaban marcadas con puntos de referencia y caminos que los robots debían seguir al recibir instrucciones correctas de los niños. El diseño visual y atractivo de las pistas captó la atención de los niños y los mantuvo comprometidos con las actividades.



Figura 6. Pistas de aprendizaje

Tarjetas con figuras y colores: Las tarjetas fueron diseñadas de manera clara y sencilla para ser fácilmente reconocibles por los niños, asegurando que pudieran identificar las figuras y colores sin confusión. Los niños utilizaron estas tarjetas para identificar y relacionar los conceptos enseñados durante las actividades con los robots.



Figura 7. Tarjetas

El uso combinado de los robots LEGO MINDSTORMS EV3, las pistas de aprendizaje y las tarjetas con figuras y colores creó un entorno de aprendizaje integral que no solo facilitó la enseñanza de conceptos específicos, sino que también promovió el desarrollo de habilidades cognitivas y motoras en los niños. Estos recursos interactivos y lúdicos aumentaron significativamente la motivación y el compromiso de los estudiantes, contribuyendo a un aprendizaje más efectivo y duradero.

3. RESULTADOS

La prueba t para muestras pareadas es especialmente adecuada en este estudio porque se está tratando con dos conjuntos de datos que están emparejados de manera natural: las puntuaciones de los mismos elementos de estudio en dos momentos distintos (antes y después de la intervención).

Tabla 5. Tabla de diferencia Pre y Post Test

	Post Test	Pre Test
Media	8,518518519	4,444444444
Varianza	7,079475309	10,41666667
Observaciones	9	9
Coefficiente de correlación de Pearson	0,458247659	
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	8	
Estadístico t	3,939421033	
$P(T \leq t)$ una cola	0,002149696	
Valor crítico de t (una	1,859548038	

cola)

 $P(T \leq t)$ dos colas 0,004299391Valor crítico de t (dos

colas) 2,306004135

La comparación de las puntuaciones obtenidas en el Pre Test y el Post Test revela una mejora significativa en el razonamiento lógico de los participantes del proyecto. Los resultados se detallan a continuación:

Media Pre Test: 4.44

Media Post Test: 8.52

Estadístico t : 3.94Valor p : 0.0043

Interpretación de la Media:

La media de las puntuaciones en el Pre Test fue de 4.44, lo que indica el nivel inicial de razonamiento lógico de la población de estudio antes de la intervención educativa con los robots LEGO MINDSTORMS EV3.

La media en el Post Test, en cambio, fue de 8.52, reflejando una mejora considerable en las habilidades de razonamiento lógico después de la intervención.

El estadístico t obtenido fue de 3.94. Este valor indica la magnitud del cambio entre las puntuaciones del Pre Test y el Post Test.

El valor p asociado a este estadístico t fue de 0.0043, que es menor que el umbral comúnmente aceptado de 0.05.

Significancia Estadística: El hecho de que el valor p sea menor a 0.05 permite rechazar la hipótesis nula (H_0), que postulaba que no hay diferencia significativa en las puntuaciones medias del razonamiento lógico de los niños objeto de estudio antes y después de la intervención.

Rechazar la hipótesis nula implica que la diferencia observada en las puntuaciones no es debida al azar, sino que es estadísticamente significativa.

La mejora significativa en las puntuaciones del Post Test en comparación con las del Pre Test sugiere que la intervención educativa con los robots LEGO MINDSTORMS EV3 tuvo un efecto positivo y observable en el desarrollo del razonamiento lógico- matemático de los niños.

Estos resultados validan la eficacia del uso de la robótica educativa en la primera infancia para fomentar habilidades cognitivas fundamentales.

4. DISCUSIÓN

El valor p de 0.0043, al ser significativamente menor que el umbral comúnmente aceptado de 0.05, proporciona evidencia sólida de que la intervención educativa con robots LEGO MINDSTORMS EV3 tiene un efecto positivo y significativo en el desarrollo del razonamiento lógico-matemático en niños de la primera infancia, sugiriendo su potencial utilidad y efectividad en contextos educativos.

La significativa mejora en las puntuaciones post intervención respalda el uso de tecnologías avanzadas como los robots LEGO MINDSTORMS EV3 en la educación infantil.

Estas herramientas pueden ser particularmente útiles para enseñar conceptos abstractos de manera tangible y atractiva, aumentando la motivación y el interés de los niños por el aprendizaje.

Los resultados positivos obtenidos sugieren la necesidad de realizar estudios adicionales con muestras más grandes y en diferentes contextos educativos para confirmar y expandir estos hallazgos.

Futuras investigaciones podrían explorar la aplicación de la robótica educativa en otros dominios del conocimiento, así como su impacto a largo plazo en el desarrollo cognitivo de los niños.

Este estudio examina el impacto de los robots LEGO Mindstorms EV3 en el razonamiento lógico de niños de tres años en un entorno físico, obteniendo mejoras significativas en las puntuaciones tras la intervención. Por otro lado, la investigación de Robótica Educativa como herramienta para la enseñanza-aprendizaje de las matemáticas en la formación universitaria de profesores de educación básica en tiempos de COVID-19 utiliza un ambiente simulado para explorar la comprensión de conceptos de robótica aplicada a la enseñanza matemática, mostrando que los participantes cambiaron su percepción y desarrollaron actividades didácticas para promover la resolución de problemas. Ambos estudios destacan el potencial de la robótica educativa, pero

adaptada a las características y objetivos de cada grupo [9].

De acuerdo con el estudio de revisión de literatura científica “La Robótica en el Área de Matemáticas en Educación Primaria. Una Revisión Sistemática”, los resultados sugieren que la robótica educativa generalmente actúa como un elemento de mejora en el aprendizaje, perfeccionando sus habilidades de pensamiento computacional, resolución de problemas y sus habilidades espaciales. No obstante, este no es siempre el caso, debido al hecho de que existen estudios que informan de situaciones en las cuales no existe mejora en el aprendizaje. Dichos resultados se discuten en términos de sus implicaciones para investigaciones futuras y, a su vez, pueden proporcionar información útil e interesante para educadores, profesionales del sector e investigadores [10].

5. CONCLUSIONES

La intervención educativa utilizando los robots LEGO MINDSTORMS EV3 demostró una mejora significativa en el razonamiento lógico matemático de los niños participantes. Esto se evidencia en el incremento de la media de las puntuaciones de 4.44 en el Pre Test a 8.52 en el Post Test, junto con un valor p de 0.0043, indicando que la diferencia observada es estadísticamente significativa. Por lo tanto, se puede concluir que la robótica educativa es una herramienta eficaz para fomentar el desarrollo cognitivo en la primera infancia.

El uso de tecnología educativa interactiva, como los robots LEGO MINDSTORMS EV3, resultó ser altamente efectivo en la enseñanza de conceptos abstractos como figuras geométricas y colores. Las actividades estructuradas y la retroalimentación inmediata proporcionada por los robots motivaron a los niños y facilitaron un aprendizaje más dinámico y atractivo. Esta conclusión respalda la integración de tecnologías avanzadas en los programas educativos para mejorar la experiencia de aprendizaje de los estudiantes.

Los resultados obtenidos sugieren que la robótica educativa no solo mejora habilidades específicas como el razonamiento lógico, sino que también puede complementar y enriquecer las metodologías educativas tradicionales. Al trabajar en equipo y resolver problemas utilizando los robots, los niños desarrollaron adicionalmente habilidades sociales y

de colaboración, destacando la importancia de considerar la robótica educativa como una herramienta integral en la educación infantil, capaz de abordar múltiples dimensiones del desarrollo del niño.

[10] Ruiz, I. (2023). La Robótica en el Área de Matemáticas en Educación Primaria. Una Revisión Sistemática. EDUTEC. Revista Electrónica de Tecnología Educativa. 84(288).

6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] Vivas, L., & Sáez J. (2019). Integración de la robótica educativa en Educación Primaria. Revista Latinoamericana de Tecnología Educativa, 18(1), 107-128.

[2] Rosero, O. (2024). La Robótica Educativa: Potenciando el Pensamiento Matemático y Habilidades Sociales en el Aprendizaje. Emerging Trends in Education, 7(13), 129-142.

[3] Papert, S. (1980). Mindstorms: Children, Computers, and Powerful Ideas. Basic Books.

[4] Martínez, C., & Pacheco, M. (2017). LEGO MINDSTORMS EV3 como herramienta didáctica para el desarrollo del pensamiento lógico. Innovación Educativa.

[5] Alimisis, D. (2013). Educational robotics: Open questions and new challenges. Themes in Science and Technology Education, 6(1), 63-71.

[6] R. A. Fisher, Statistical Methods for Research Workers, 14th ed. Edinburgh, UK: Oliver & Boyd, 1970.

[7] Castillo, D. (2024). Evaluación de la eficacia de la robótica educativa en la mejora del aprendizaje de números irracionales en estudiantes de educación secundaria. Dialnet, 9(1), 1024-1040.

[8] Caballero, Y., & García, A. (2020). ¿Aprender con robótica en Educación Primaria? Un medio de estimular el pensamiento computacional. Education in the Knowledge Society, 21(10).

[9] Castro, A., Aguilera, C. & Chávez D. (2022). Robótica educativa como herramienta para la enseñanza-aprendizaje de las matemáticas en la formación universitaria de profesores de educación básica en tiempos de COVID-19, Formación Universitaria, vol. 15(2), 151-162.





ANEXO 1. Rúbrica del Pre Test

Nº	Identifica el colores									Identifica la figuras								
	AMARILLO			AZUL			ROJO			CÍRCULO			CUADRADO			TRIÁNGULO		
	I	EP	A	I	EP	A	I	EP	A	I	EP	A	I	EP	A	I	EP	A
1	X			X			X					X			X			X
2	X			X					X	X			X			X		
3			X	X			X					X			X	X		
4			X			X			X			X			X	X		
5			X	X					X	X			X			X		
6			X			X			X			X			X			X
7	X			X			X			X			X			X		
8	X			X			X					X			X			X
9			X	X			X			X			X			X		
RECURSOS	Pinturas amarillo azul y rojo. Papel crepé amarillo, azul y rojo												EQUIVALENCIAS DE ESCALA DE EVALUACIÓN					
ACTIVIDAD	Prueba de diagnóstico: - Pintar el círculo de color amarillo. - Pegar en el cuadrado el pape azul. - Pegar en triángulo en el papel rojo.												I	Iniciada				
													EP	En Proceso				
													A	Adquirida				

ANEXO 2. Rúbrica del Post Test

AMBITOS DE APRENDIZAJE		RÚBRICA DE EVALUACIÓN FINAL																	
DESTREZAS	N. ESTUDIANTE	Identifica el colores									Identifica la figuras								
		AMARILLO			AZUL			ROJO			CÍRCULO			CUADRADO			TRIÁNGULO		
		I	EP	A	I	EP	A	I	EP	A	I	EP	A	I	EP	A	I	EP	A
	1			X			X			X			X			X		X	
	2			X			X			X			X			X		X	
	3			X			X			X			X			X			X
	4			X			X			X			X		X			X	
	5			X			X			X			X			X			X
	6			X			X			X			X			X			X
	7	X			X			X			X			X		X	X		
	8			X			X			X			X		X			X	
	9			X			X			X			X			X			X
RECURSOS		Robots Lego Mindstorms EV3 Pista de aprendizaje Tarjetas con figuras de colores.												EQUIVALENCIAS DE ESCALA DE EVALUACIÓN					
ACTIVIDADES		JUEGO CON EL ROBOT LEGO MINDSTORMS EV3 - Colocar el robot en la posición en la pista de aprendizaje. - Identificar en las tarjetas el círculo de color amarillo, el cuadrado de color azul y el triángulo de color rojo. - Al acertar, el robot avanza al carril del color correspondiente. - El desafío es hacer que los tres robots lleguen a la meta												I	Iniciada				
														EP	En Proceso				
														A	Adquirida				





ANEXO 3. Rúbrica de evaluación semanal

AMBITOS DE APRENDIZAJE	RELACION LOGICO MATEMATICAS - RÚBRICA SEMANAL																	
DESTREZAS	Identifica el color amarillo			Identifica la figura del círculo			Identifica el color azul			Identifica la figura del cuadrado			Identifica el color rojo			Identifica la figura del triángulo		
N. ESTUDIANTE	I	EP	A	I	EP	A	I	EP	A	I	EP	A	I	EP	A	I	EP	A
1			X			X			X			X			X			X
2		X		X					X			X		X				X
3	X				X				X			X		X				X
4			X			X			X			X			X			X
5			X			X			X			X			X			X
6			X			X			X			X			X			X
7			X			X			X			X		X				X
8		X				X			X		X				X		X	
9			X			X		X			X				X			X
RECURSOS	Robots Lego Mindstorms EV3 Pista de aprendizaje Tarjetas con figuras de colores.						Robots Lego Mindstorms EV3 Pista de aprendizaje Tarjetas con figuras de colores.						Robots Lego Mindstorms EV3 Pista de aprendizaje Tarjetas con figuras de colores.					
ACTIVIDADES	JUEGO CON EL ROBOT LEGO MINDSTORMS EV3 - Colocar el robot en la posición en la pista de aprendizaje. - Identificar en las tarjetas la figura de color amarillo. - Al acertar, el robot avanza a la siguiente posición. - El desafío es completar todo el circuito en equipo.						JUEGO CON EL ROBOT LEGO MINDSTORMS EV3 - Colocar el robot en la posición en la pista de aprendizaje. - Identificar en las tarjetas el cuadrado de color azul. - Al acertar, el robot avanza a la siguiente posición. - El desafío es completar todo el circuito en equipo.						JUEGO CON EL ROBOT LEGO MINDSTORMS EV3 - Colocar el robot en la posición en la pista de aprendizaje. - Identificar en las tarjetas el triángulo de color rojo. - Al acertar, el robot avanza a la siguiente posición. - El desafío es completar todo el circuito en equipo.					





**ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO DINÁMICO DE LOS
CIRCUITOS MEMRISTIVOS Y SU SINCRONIZACIÓN A
TRAVÉS DE LA SIMULACIÓN NUMÉRICA USANDO PYTHON**

STUDY OF THE DYNAMIC BEHAVIOR OF MEMRISTIVE
CIRCUITS AND THEIR SYNCHRONIZATION THROUGH
NUMERICAL SIMULATION USING PYTHON



ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO DINÁMICO DE LOS CIRCUITOS MEMRISTIVOS Y SU SINCRONIZACIÓN A TRAVÉS DE LA SIMULACIÓN NUMÉRICA USANDO PYTHON

STUDY OF THE DYNAMIC BEHAVIOR OF MEMRISTIVE CIRCUITS AND THEIR SYNCHRONIZATION THROUGH NUMERICAL SIMULATION USING PYTHON

Ilbay - Paca, Juan¹;
Rentería - Bustamante, Leonardo²

¹Universidad Nacional de Chimborazo, Ecuador, joilbay.felc@unach.edu.ec

²Universidad Nacional de Chimborazo, Ecuador, leonardo.renteria@unah.edu.ec

RESUMEN

Este estudio investiga el comportamiento dinámico y las propiedades de sincronización de los circuitos memristivos mediante simulaciones numéricas utilizando Python. Los circuitos memristivos, conocidos por sus características no lineales y dependientes de la memoria, son de gran interés para aplicaciones en computación neuromórfica y comunicaciones seguras. La investigación empleó modelos matemáticos de memristores y utilizó las bibliotecas computacionales de Python para simular la dinámica de los circuitos y analizar los mecanismos de sincronización en sistemas acoplados. La metodología incluyó la construcción de modelos basados en ecuaciones diferenciales, su resolución numérica mediante el método de Runge-Kutta y la visualización de los resultados. Se observaron y analizaron comportamientos clave, como oscilaciones periódicas y estados caóticos, y se estudiaron las propiedades de sincronización simulando circuitos acoplados. Se exploraron tres modelos representativos: Chua-Stanford, Memductor y un modelo experimental basado en Chua. Los resultados indican que los memristores inducen un comportamiento de histéresis que amplifica la complejidad dinámica y facilita la sincronización de sistemas inicialmente no sincronizados a través de un factor de acoplamiento. Con el tiempo, los circuitos evolucionan hacia un comportamiento coherente, demostrando cómo el caos puede ser controlado y sincronizado. Finalmente, este estudio demuestra la utilidad de las simulaciones basadas en Python para avanzar en la comprensión del comportamiento de los circuitos memristivos y sus posibles aplicaciones en sistemas electrónicos y computacionales.

Palabras clave: Circuitos de Chua, Memristores, Python, Sincronización, Histéresis, Memductor.



ABSTRACT

This study investigates the dynamic behavior and synchronization properties of memristive circuits through numerical simulations using Python. Memristive circuits, known for their non-linear and memory-dependent characteristics, are of significant interest for applications in neuromorphic computing and secure communications. The research employed mathematical models of memristors and used Python's computational libraries to simulate circuit dynamics and analyze synchronization mechanisms in coupled systems. The methodology involved constructing differential equation-based models, solving them numerically using the Runge-Kutta method, and visualizing the results. Key behaviors such as periodic oscillations, and chaotic states were observed and analyzed, and synchronization properties were studied by simulating coupled circuits. Three representative models are explored: Chua-Stanford, Memductor, and an experimental Chua-based model. The results indicate that memristors induce hysteresis behavior, which amplifies dynamic complexity and facilitates synchronization of initially unsynchronized systems through a coupling factor. Over time, the circuits evolve towards coherent behavior, demonstrating how chaos can be controlled and synchronized. Finally, this study demonstrates the utility of Python-based simulations in advancing the understanding of memristive circuit behavior and their potential applications in electronic and computational systems.

Keywords: Chua circuits, Memristors, Synchronization, Hysteresis, Memductor, Python.

Recibido: Agosto 2024
Received: August 2024

Aceptado: Diciembre 2024
Accepted: December 2024



1. INTRODUCCIÓN

Los circuitos memristivos han surgido como un área crucial de estudio dentro de la electrónica moderna debido a sus propiedades únicas y aplicaciones potenciales en campos como la computación neuromórfica, el almacenamiento de memoria y la computación analógica. El memristor, conceptualizado originalmente por Leon Chua en 1971, es un elemento de circuito pasivo no lineal que vincula la carga eléctrica y el flujo magnético [1], Fig.1.

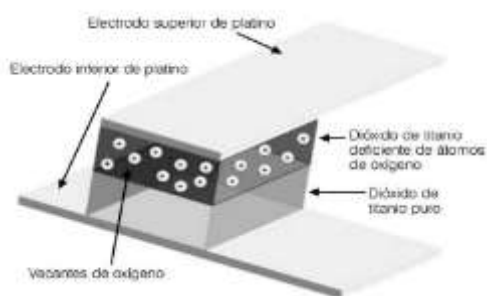


Fig. 1: Estructura del memristor [2].

A diferencia de los elementos de un circuito tradicionales (resistencias, condensadores e inductores), los memristores exhiben un comportamiento dependiente de la memoria, lo que les permite "recordar" sus estados anteriores cuando se corta la energía. Esta característica los hace particularmente prometedores para crear circuitos que pueden imitar redes neuronales biológicas y sistemas complejos [3].

A este comportamiento se lo denomina histéresis Fig.2, presenta una forma de lazo cerrado y muestra la relación entre el voltaje aplicado (eje x) y la corriente resultante (eje y). A medida que el voltaje cambia de dirección, la curva no sigue la misma trayectoria evidenciando que la resistencia cambia en función de la carga acumulada, y la corriente no retorna a su posición original al invertir el voltaje [1].

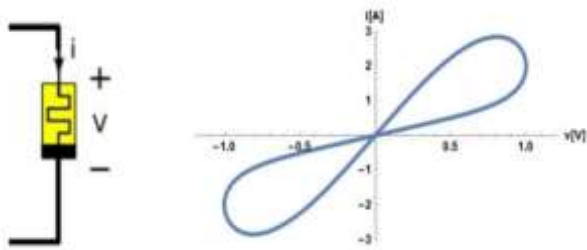


Fig. 2: Histéresis clásica del memristor

El comportamiento dinámico de los circuitos memristivos involucra interacciones intrincadas influenciadas por sus propiedades no lineales, lo que resulta en dinámicas ricas y complejas [4]. Estas dinámicas pueden exhibir comportamientos como oscilaciones, bifurcaciones y respuestas caóticas, lo que hace que su estudio sea crucial para avanzar en el conocimiento de los fenómenos de sincronización y el diseño de sistemas electrónicos robustos. Para crear un circuito memristivo caótico, basta con reemplazar el diodo de Chua en un circuito de Chua por un memristor, Fig. 3.

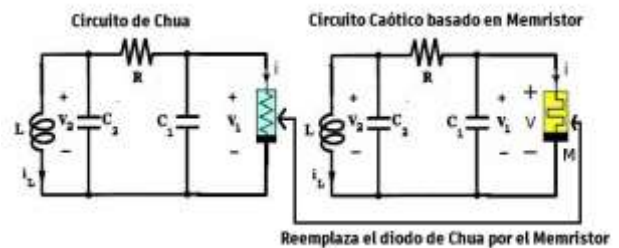


Fig. 3: Circuito de Chua con memristor [5].

Por otro lado, la sincronización, es un fenómeno en el que dos o más sistemas alinean su dinámica a través del acoplamiento o la interacción. Esta desempeña un papel esencial en campos que van desde las comunicaciones seguras hasta la sincronización neuronal en la actividad cerebral [6]. La sincronización de circuitos caóticos memristivos o no, se da lugar cuando se interconecta dos o más circuitos idénticos a través de una resistencia de acoplamiento Fig.4.

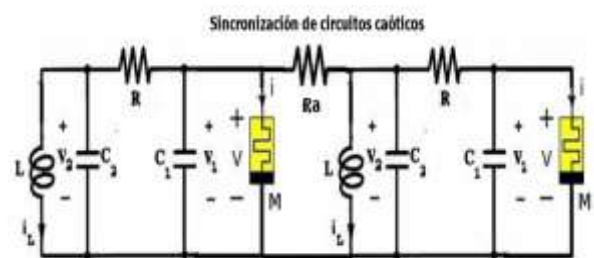


Fig. 4: Circuitos caóticos sincronizados

Dado el creciente interés en las aplicaciones de circuitos memristivos para comprender mejor su comportamiento, el objetivo de este artículo es examinar la dinámica de los circuitos memristivos, identificar los mecanismos de sincronización y demostrar cómo las simulaciones numéricas pueden ofrecer información sobre su funcionalidad. En este

estudio se utilizó el lenguaje de programación Python que con sus bibliotecas versátiles como NumPy, SciPy y Matplotlib, proporciona una plataforma poderosa para modelar, analizar y visualizar sistemas complejos [7].

2. TRABAJOS RELACIONADOS

La exploración de circuitos memristivos ha ganado considerable atención en los últimos años debido a sus potenciales aplicaciones en áreas como la ingeniería neuromórfica, la comunicación basada en el caos y el modelado de sistemas complejos. Varios investigadores han profundizado en las propiedades dinámicas y los comportamientos de sincronización de estos circuitos, contribuyendo al creciente cuerpo de conocimientos.

Ali et al. [8] realizaron un estudio exhaustivo sobre el modelado basado en memristores para aplicaciones neuromórficas. Esta investigación enfatizó la capacidad del memristor para emular la plasticidad sináptica, una característica esencial para desarrollar redes neuronales artificiales energéticamente eficientes. Los autores utilizaron técnicas de simulación para demostrar cómo se podían integrar elementos memristivos en sistemas neuromórficos, destacando su potencial para reducir el consumo de energía y mejorar la adaptabilidad en las implementaciones de hardware. Este trabajo sentó las bases de cómo se podían aprovechar los memristores para crear sistemas computacionales inspirados en el cerebro.

Batista et al. [9] se centró en la sincronización de circuitos memristivos caóticos, empleando simulaciones numéricas para investigar cómo los mecanismos de acoplamiento podrían alinear el comportamiento de los componentes individuales. El estudio reveló que estrategias de acoplamiento específicas, como la retroalimentación lineal y no lineal, fueron efectivas para lograr la sincronización entre sistemas caóticos. Esta investigación proporcionó información crítica para diseñar circuitos con estabilidad y rendimiento mejorados, particularmente relevante para aplicaciones donde se necesita una actividad coordinada entre circuitos, como en el procesamiento distribuido y la transmisión segura de datos.

Bao et al. [10] ampliaron la comprensión del comportamiento dinámico de los circuitos memristivos mediante el análisis de sus propiedades caóticas. Los investigadores utilizaron simulaciones

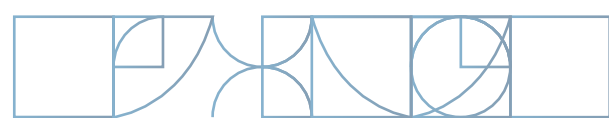
numéricas para explorar la influencia de las condiciones iniciales variables y los cambios de parámetros en el comportamiento del circuito. El estudio demostró que los circuitos memristivos podrían exhibir patrones caóticos complejos, que podrían aprovecharse para aplicaciones prácticas como la generación de números aleatorios, algoritmos de cifrado y sistemas de comunicación seguros. Esta investigación subrayó la importancia de comprender y controlar el comportamiento caótico para aprovechar las capacidades únicas de los circuitos memristivos.

Muthuswamy y Chua [5] contribuyeron con una exploración fundamental de la dinámica no lineal presente en circuitos basados en memristores, particularmente sistemas oscilatorios. Su investigación ilustró cómo estos circuitos podrían exhibir fenómenos como bifurcaciones y caos, que son características de los sistemas dinámicos complejos. Al simular estos comportamientos, el estudio proporcionó información crucial sobre las condiciones bajo las cuales los circuitos memristivos podrían pasar de estados oscilatorios estables a regímenes caóticos. Esta comprensión es esencial para diseñar circuitos que puedan evitar o aprovechar el comportamiento caótico, según la aplicación prevista.

Estudios adicionales han explorado las aplicaciones y el control de la dinámica de los memristores en contextos más amplios. Por ejemplo, los investigadores han demostrado cómo se pueden incorporar los memristores al hardware para tareas que requieren aprendizaje adaptativo y procesamiento en tiempo real. Se ha demostrado que la naturaleza dependiente de la memoria del memristor facilita el comportamiento dependiente del estado, lo que lo hace adecuado para aplicaciones en filtros adaptativos y almacenamiento de memoria no volátil.

En conjunto, estos estudios subrayan la naturaleza multifacética de la investigación de circuitos memristivos, desde sus propiedades fundamentales hasta sus aplicaciones prácticas. Los hallazgos destacan que la sincronización y el análisis del comportamiento dinámico son áreas clave de enfoque que continúan inspirando más investigaciones.

Estos trabajos proporcionan una base sólida para el presente estudio que busca ampliar la comprensión del comportamiento y la sincronización de circuitos memristivos a través de simulaciones numéricas



avanzadas utilizando Python. Este enfoque permite una exploración detallada de la dinámica de circuitos, ofreciendo conocimientos prácticos para el diseño y desarrollo de sistemas electrónicos y computacionales innovadores.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

Este trabajo tuvo como objetivo explorar el comportamiento dinámico y las propiedades de sincronización de circuitos memristivos a través de simulaciones numéricas utilizando Python. La metodología abarca procedimientos detallados, materiales y un diseño experimental para garantizar la reproducibilidad de los resultados.

3.1 Procedimiento

El estudio se llevó a cabo en una serie de pasos estructurados, como se describe a continuación:

Modelado de circuitos: Los modelos de circuitos memristivos se construyeron en función de representaciones matemáticas previamente validadas de memristores, específicamente utilizando las ecuaciones diferenciales no lineales que describen su relación voltaje-corriente, las cuales se introducen en el circuito de Leon Chua para estudiar cómo afectan las propiedades caóticas.

- **Circuito de Chua**

El circuito de Chua es un sistema no lineal que genera un comportamiento caótico, y su dinámica está gobernada por un conjunto de ecuaciones diferenciales adimensionales, que describen el voltaje del primer condensador x , del segundo condensador y y la corriente z del inductor, como se muestra a continuación:

$$\begin{aligned}\frac{dx}{dt} &= \alpha (y - x - f(x)) \\ \frac{dy}{dt} &= x - y + z \\ \frac{dz}{dt} &= -\beta y\end{aligned}\quad (1)$$

Además de la función no lineal $f(x)$

$$f(x) = b \cdot x + 0.5 \cdot (a - b) \cdot (|x + 1| - |x - 1|) \quad (2)$$

Donde α, β, a y b son constantes que dependen de los valores específicos del circuito.

Las ecuaciones descritas capturan cómo los voltajes y corrientes en el circuito evolucionan con el tiempo, y la presencia de no linealidades hace que el sistema muestre un comportamiento caótico para ciertos valores de los parámetros [5].

Configuración de simulación numérica: Se eligió Python como el software principal debido a sus amplias bibliotecas para el cálculo numérico y la visualización, así como por su naturaleza libre y abierta. Se emplearon bibliotecas como NumPy, SciPy y Matplotlib para realizar cálculos, resolver ecuaciones diferenciales y representar gráficamente los resultados.

Configuración de parámetros iniciales: Las condiciones iniciales y los valores de los parámetros (por ejemplo, rango de resistencia, estado inicial de memristividad y voltaje de entrada) se definieron cuidadosamente en función de la literatura para reflejar escenarios típicos del mundo real.

Ejecución de la simulación: Las ecuaciones diferenciales que describen los circuitos memristivos se resolvieron utilizando métodos de integración numérica, como el método Runge-Kutta, implementado a través de la función `odeint` en SciPy. Esto permitió la simulación del comportamiento del circuito durante un período de tiempo determinado.

Análisis de sincronización: Se simularon circuitos acoplados para evaluar las propiedades de sincronización. Se analizó el bloqueo de fase y frecuencia entre circuitos mediante la representación gráfica de la evolución temporal de los estados memristivos.

Registro y análisis de datos: Se registraron y analizaron los datos de salida para identificar comportamientos como oscilaciones periódicas y estados caóticos. Se generaron gráficos y métricas numéricas para visualización e interpretación.

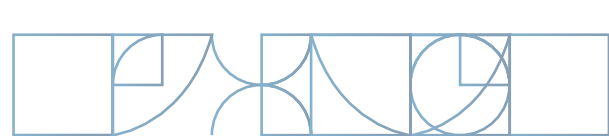
3.2 Materiales

El estudio utilizó los siguientes materiales:

Software: Python (versión 3.9+): para codificar y ejecutar simulaciones.

Bibliotecas: NumPy (para operaciones numéricas), SciPy (para solucionadores de ecuaciones diferenciales), Matplotlib (para visualización de datos) y Seaborn (para mejorar los gráficos).

Hardware: Una estación de trabajo estándar equipada con un procesador Intel i7, 16 GB de RAM y un SSD de 1 TB para el almacenamiento y procesamiento de datos.



3.3 Diseño experimental

El diseño experimental incluyó los siguientes componentes:

Modelo de simulación: El estudio involucró modelos de circuito único y de circuitos acoplados. Se llevaron a cabo simulaciones de circuito único para comprender el comportamiento independiente, mientras que se utilizaron modelos acoplados para investigar las propiedades de sincronización.

Selección de parámetros: Los principales parámetros en el experimento incluyeron la forma de onda del voltaje de entrada (entrada sinusoidal o de paso periódico), las condiciones iniciales de memristancia y la fuerza de acoplamiento entre circuitos en modelos sincronizados.

Métricas de salida: Las métricas principales incluyeron histéresis del memristor, la evolución de la memristancia, voltajes y corrientes a lo largo del tiempo y la sincronización, según el tipo de análisis. El diseño experimental se estructuró para replicar las condiciones del mundo real lo más fielmente posible, manteniendo al mismo tiempo un entorno controlado para observar respuestas específicas de los circuitos memristantes.

Siguiendo el procedimiento descrito, utilizando los materiales especificados y adhiriendo al diseño experimental, este estudio tuvo como objetivo analizar y documentar exhaustivamente el comportamiento dinámico y los mecanismos de sincronización de los circuitos memristivos utilizando Python.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En esta sección se muestran los modelos que se derivan de la aplicación de las leyes de Kirchhoff al circuito original de Chua, reemplazando el diodo no lineal por un memristor. Este cambio introduce ecuaciones diferenciales que describen cómo evolucionan los voltajes y corrientes, incorporando la dinámica no lineal del memristor. Las ecuaciones incluyen términos de acoplamiento dinámico para estudiar la sincronización entre sistemas inicialmente desincronizados, manteniendo las propiedades caóticas del diseño original. A continuación, se presentan los resultados obtenidos a partir de tres modelos diferentes: Stanford, Memristico-Chua y Memductor.

Modelo de Stanford

Representa la dinámica de memristores basada en la evolución del gap físico en un filamento, con una dependencia no lineal del voltaje y parámetros térmicos, su histéresis, Fig.5, muestra una transición suave en la relación corriente-voltaje.

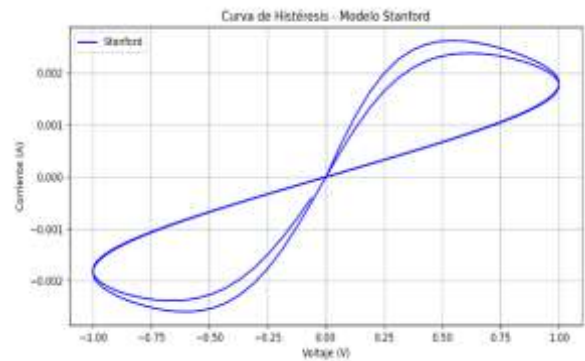


Fig. 5: Histéresis del memristor - modelo de Stanford. $R_{on}=100$, $R_{off}=1600$, $\alpha=0.03$ y $\beta=0.9$ $v(t)=A\sin(2\pi f t)$, $A=1$, $f=1\text{Hz}$.

El sistema de ecuaciones que describe el modelo de Stanford es el siguiente [11]:

$$\begin{aligned} \frac{dx}{dt} &= \alpha (y - x - f(x)) \\ \frac{dy}{dt} &= x - y + z \\ \frac{dz}{dt} &= -\beta y \\ \frac{dg}{dt} &= -e \left(-\frac{q \cdot E_a \cdot g}{k \cdot T_0} \right) \cdot e \left(-\frac{q \cdot a_0 \cdot \gamma_0}{l \cdot k \cdot T_0} \cdot x \right) \end{aligned} \quad (3)$$

$$f(x) = b \cdot x + 0.5 \cdot (a - b) \cdot (|x + 1| - |x - 1|) \quad (4)$$

El atractor caótico del modelo presenta una estructura compleja Fig.6 y refleja la interacción entre el voltaje aplicado y el gap físico del memristor. A medida que varía el campo eléctrico, el atractor muestra una trayectoria no lineal que oscila de manera irregular, con un comportamiento impredecible y una dependencia marcada de las condiciones iniciales: $[x, y, z, g] = [0.1, 0, 0, 0.5e - 9]$.

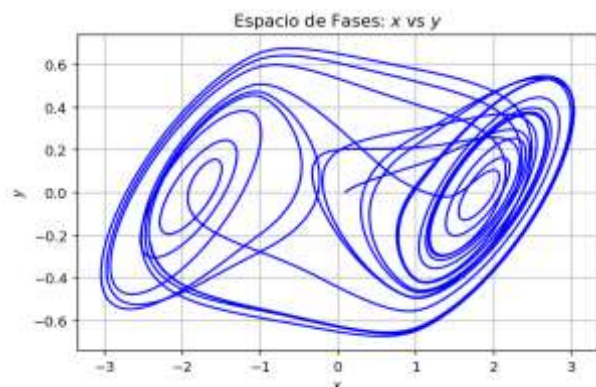


Fig. 6: Atrector caótico del modelo Chua-Stanford. $\alpha = 10$, $\beta = 15$, $q = 1.6e^{-19}$, $T_0 = 300$, $E_\alpha = 0.8$, $a_0 = 1e^{-10}$, $l = 10e^{-9}$, $\gamma_0 = 2.5$, $k = 1.38e^{-23}$, $g_1 = 0.5e^{-9}$, $g_2 = 6e^{-9}$, $a = -1.27$, $b = -0.68$.

Para corroborar el comportamiento caótico de la sincronización del modelo de Stanford, se plantean diferentes condiciones iniciales para dos circuitos idénticos conectados entre sí, Fig.7, asegurando que comiencen desde estados distintos y, mediante un acoplamiento adecuado, logren sincronizarse con el tiempo.

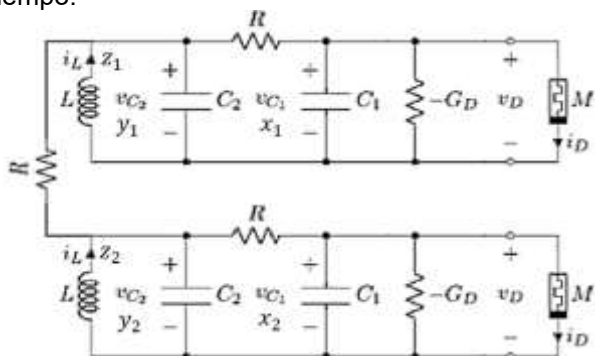


Fig. 7: Sincronización de dos circuitos – modelo de Stanford

Las condiciones iniciales son:

$$[x_1, y_1, z_1, g_1] = [0.1, -0.1, 0.1, -0.1]$$

$$[x_2, y_2, z_2, g_2] = [-0.5, 0.2, -0.2, 0.1]$$

Y las ecuaciones para la sincronización de sistemas caóticos son:

Sistema 1

$$\begin{aligned} \frac{dx_1}{dt} &= \alpha (y_1 - x_1 - f(x_1)) \\ \frac{dy_1}{dt} &= x_1 - y_1 + z_1 \\ \frac{dz_1}{dt} &= -\beta y_1 \end{aligned} \quad (5)$$

$$\frac{dg_1}{dt} = -e \left(-\frac{q \cdot E_a \cdot dg_1}{k \cdot T_0} \right) \cdot e \left(-\frac{q \cdot a_0 \cdot \gamma_0}{l \cdot k \cdot T_0} \cdot x_1 \right)$$

Sistema 2

$$\begin{aligned} \frac{dx_2}{dt} &= \alpha (y_2 - x_2 - f(x_2)) \\ \frac{dy_2}{dt} &= x_2 - y_2 + z_2 \\ \frac{dz_2}{dt} &= -\beta y_2 + K(z_1 - z_2) \end{aligned} \quad (6)$$

$$\frac{dg_2}{dt} = -e \left(-\frac{q \cdot E_a \cdot dg_2}{k \cdot T_0} \right) \cdot e \left(-\frac{q \cdot a_0 \cdot \gamma_0}{l \cdot k \cdot T_0} \cdot x_2 \right)$$

Para la sincronización, se emplea un factor de acoplamiento basado en la resistencia y ajustando la evolución del gap físico, se observa cómo ambos sistemas, aunque inicialmente diferentes, logran sincronizarse y seguir trayectorias comunes Fig.8.

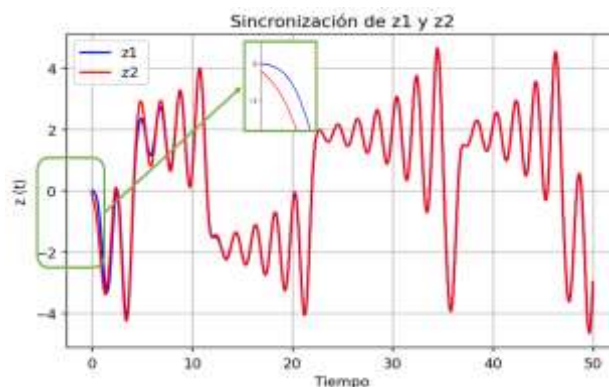


Fig. 8: Señales sincronizadas partiendo de condiciones iniciales distintas, modelo de Stanford con factor de acoplamiento $K=1.1$.

Modelo memristivo de Chua

Describe sistemas electrónicos no lineales con memoria y caos, destacando una característica función que introduce múltiples estados de equilibrio

y trayectorias complejas. Es el modelo conceptual base para los memristores, su histéresis Fig.9, refleja una dinámica caótica, con múltiples puntos de equilibrio y una dependencia fuerte de las características no lineales del sistema, el cálculo de la histéresis utiliza los mismos parámetros descritos en el modelo de Stanford.

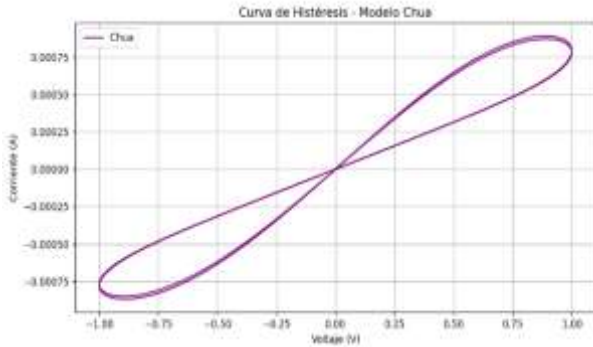


Fig. 9: Histéresis del memristor - modelo de Chua

Sistema de ecuaciones del modelo memristivo de Chua [12]:

$$\begin{aligned} \frac{d\phi}{dt} &= \frac{v_1}{\zeta} \\ \frac{dv_1}{dt} &= \frac{1}{C_1} \left(\frac{v_2 - v_1}{R} - W(\phi) \cdot v_1 \right) \\ \frac{dv_2}{dt} &= \frac{1}{C_2} \left(\frac{v_1 - v_2}{R} - i_L \right) \\ \frac{di_L}{dt} &= \frac{v_2}{L} \end{aligned} \quad (7)$$

$$W(\phi) = \alpha + 3\beta\phi^2 \quad (8)$$

El atractor caótico Fig.10, muestra una trayectoria compleja y oscilatoria, que cambia de forma impredecible debido a su alta sensibilidad a las condiciones iniciales $[\phi, v_1, v_2, i_L] = [0, 0.1, 0.1, 0]$. Representa el comportamiento caótico del sistema, caracterizado por patrones irregulares y no repetitivos.

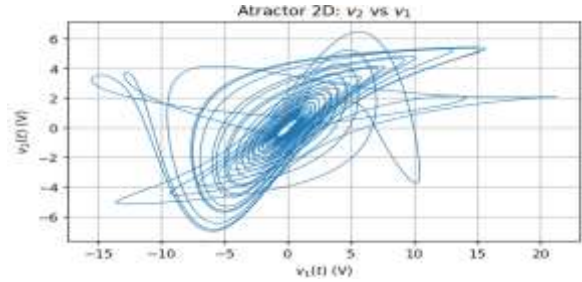


Fig. 10: Atractor caótico del modelo de Chua. $C_1 = C_2 = 6.98$, $L = 18e^{-3}$, $R = 2000$, $\zeta = 3.854e^{-4}$, $\alpha = -0.667e^{-3}$, $\beta = 0.029e^{-3}$.

Sincronización de dos sistemas caóticos.

Se considera la sincronización como una herramienta para validar el estado caótico del sistema Fig.11; partiendo de condiciones iniciales diferentes, se emplea una interacción entre los sistemas controlada por un término de acoplamiento en las ecuaciones diferenciales. Este proceso asegura que, a pesar de la complejidad y la naturaleza caótica de los atractores, ambos sistemas pueden converger hacia trayectorias sincronizadas con el tiempo, evidenciando la estabilidad relativa en un contexto de caos.

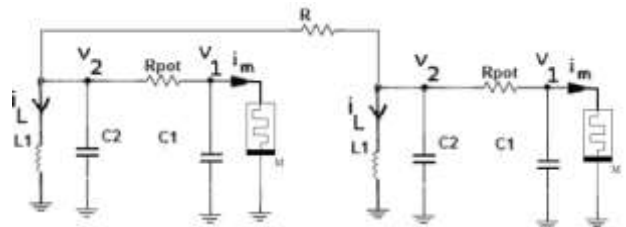


Fig. 11: Sincronización de dos circuitos - modelo de Chua.

Ecuaciones para la sincronización de sistemas caóticos

Condiciones iniciales:

$$[\phi_1, v_{1,1}, v_{2,1}, i_{L1}] = [0, 0.1, 0.1, 0]$$

$$[\phi_2, v_{1,2}, v_{2,2}, i_{L2}] = [0, -0.1, -0.1, 0]$$

Sistema 1

$$\begin{aligned}\frac{d\phi_1}{dt} &= -\frac{v_{1,1}}{\zeta} \\ \frac{dv_{1,1}}{dt} &= \frac{1}{C_1} \left(\frac{v_{2,1} - v_{1,1}}{R} - W(\phi_1) \cdot v_{1,1} \right) \\ \frac{dv_{2,1}}{dt} &= \frac{1}{C_2} \left(\frac{v_{1,1} - v_{2,1}}{R} - i_{L1} \right) \\ \frac{di_{L1}}{dt} &= \frac{v_{2,1}}{L}\end{aligned}\quad (9)$$

Sistema 2

$$\begin{aligned}\frac{d\phi_2}{dt} &= -\frac{v_{1,2}}{\zeta} \\ \frac{dv_{1,2}}{dt} &= \frac{1}{C_1} \left(\frac{v_{2,2} - v_{1,2}}{R} - W(\phi_2) \cdot v_{1,2} \right) \\ \frac{dv_{2,2}}{dt} &= \frac{1}{C_2} \left(\frac{v_{1,2} - v_{2,2}}{R} - i_{L2} \right) \\ &\quad + k(v_{2,1} - v_{2,2}) \\ \frac{di_{L2}}{dt} &= \frac{v_{2,2}}{L}\end{aligned}\quad (10)$$

La sincronización en el modelo de Chua Fig.12, se logra mediante un factor de acoplamiento que fuerza a dos sistemas a seguir trayectorias similares, incluso con condiciones iniciales diferentes. Esto permite que ambos sistemas se alineen con el tiempo, superando su comportamiento caótico.

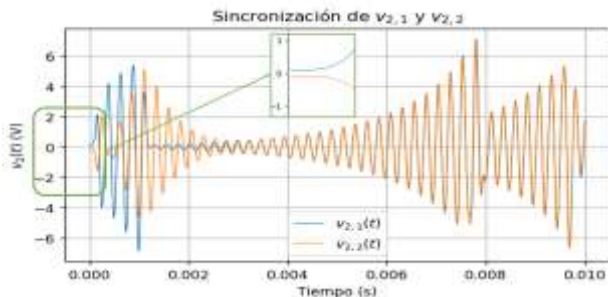


Fig. 12: Señales sincronizadas partiendo de condiciones iniciales distintas-modelo de Chua. $K=0.55e^4$.

Modelo Memductor

Es un modelo general de memristor que enfatiza la memoria intrínseca basada en la integración de carga o flujo, con una respuesta lineal local y un comportamiento dinámico ajustable según la señal aplicada, su histéresis muestra un bucle más estrecho y una fuerte dependencia del historial del

sistema, con una memoria que modula la relación voltaje-corriente de manera distintiva Fig.13. Igualmente, para el cálculo de la histéresis se utilizan los parámetros descritos en el modelo de Stanford.

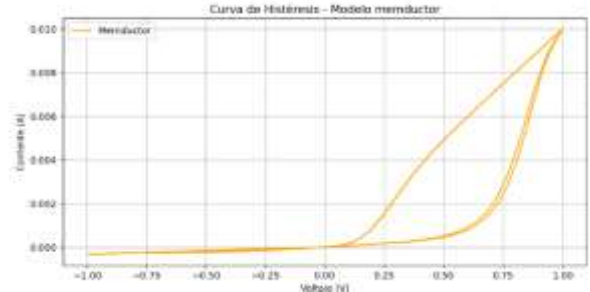


Fig. 13: Histéresis del memristor - modelo de memductor

El sistema de ecuaciones del modelo Memductor es el siguiente [13]:

$$\begin{aligned}\dot{x} &= 4x + 16y + 0.1u - 2xu^2 \\ \dot{y} &= x - y + z \\ \dot{z} &= -15y - 0.5z \\ \dot{u} &= -x\end{aligned}\quad (11)$$

El atractor caótico del Memductor es más impredecible comparado con los otros dos modelos Fig.14, pero sigue mostrando un comportamiento no lineal y dependiente de la memoria del sistema. Su forma refleja la evolución controlada por la carga o flujo, con trayectorias complejas que se adaptan a las condiciones impuestas por el acoplamiento.

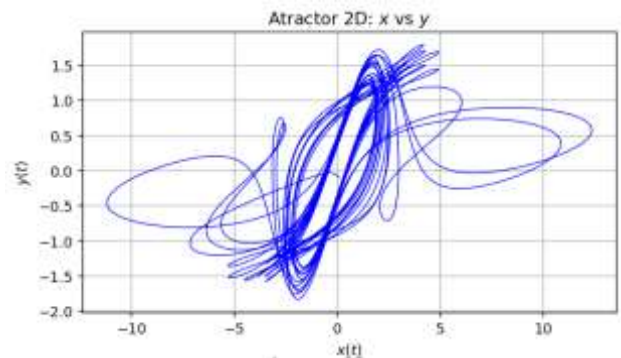


Fig. 14: Atractor caótico del modelo de memristor. $a = 4$, $b = 16$, $c = 0.1$, $d = -2$, $e = -15$, $f = -0.5$ y $g = 3$.

Sincronización de dos sistemas caóticos

Para el Memductor, la sincronización se plantea iniciando ambos sistemas desde estados iniciales diferentes y permitiéndoles interactuar mediante un acoplamiento proporcional a la memoria intrínseca

del sistema. Este enfoque demuestra cómo, incluso en sistemas que dependen fuertemente de su historial, las trayectorias pueden alinearse en función del tiempo Fig.15.

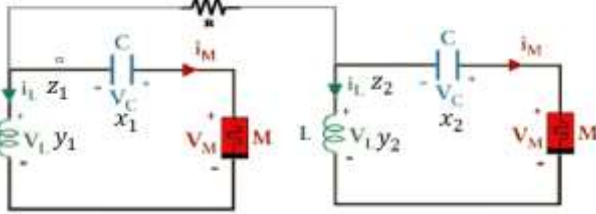


Fig. 15: Sincronización de dos circuitos – modelo de memristor.

Ecuaciones para la sincronización de sistemas caóticos.

Condiciones iniciales:

$$[x_1, y_1, z_1, u_1] = [0.1, 0, 0, 0.5e - 9]$$

$$[x_2, y_2, z_2, u_2] = [0.2, 0.1, -0.1, 6e - 9]$$

Sistema 1

$$\begin{aligned} \dot{x}_1 &= 4x_1 + 16y_1 + 0.1u_1 - 2x_1u_1^2 \\ \dot{y}_1 &= x_1 - y_1 + z_1 \\ \dot{z}_1 &= 15y_1 - 0.5z_1 \\ \dot{u}_1 &= -x_1 \end{aligned} \quad (12)$$

Sistema 2

$$\begin{aligned} \dot{x}_2 &= 4x_2 + 16y_2 + 0.1u_2 - 2x_2u_2^2 \\ \dot{y}_2 &= x_2 - y_2 + z_2 \\ \dot{z}_2 &= -15y_2 - 0.5z_2 + 3(z_1 - z_2) \\ \dot{u}_2 &= -x_2 \end{aligned} \quad (13)$$

Para sincronizar el modelo se aplica un factor de acoplamiento basado en la memoria intrínseca del sistema, ambos atractores logran sincronizarse a lo largo del tiempo Fig.16, independientemente de sus condiciones iniciales, mostrando que el sistema puede estabilizarse con el acoplamiento adecuado.

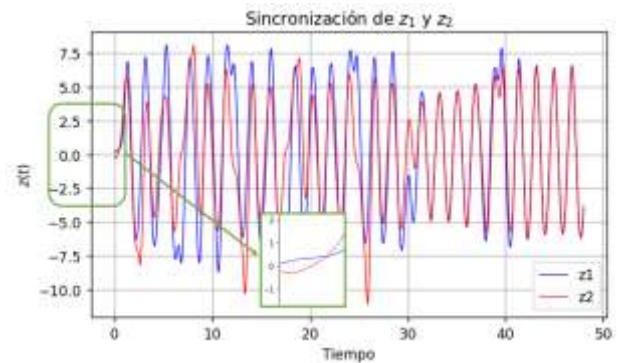


Fig. 16: Señales sincronizadas partiendo de condiciones iniciales distintas-modelo de Memristor. $K=3$.

DISCUSIÓN

Las simulaciones de los modelos estudiados evidencian la presencia de atractores caóticos en las proyecciones bidimensionales, destacando la complejidad de sus dinámicas. En todos los casos, se observó la sincronización de las trayectorias en de las variables tras un periodo transitorio gracias al término de acoplamiento dinámico, asegurando coherencia en el estado sincronizado. Las gráficas bidimensionales resaltan la estructura compleja de los atractores y validan la efectividad del diseño, al comparar sistemas acoplados y no acoplados.

Modelo Chua-Stanford:

La sincronización de los atractores caóticos logrado mediante un factor de acoplamiento, confirma la viabilidad de estabilizar sistemas caóticos con memristores. Este hallazgo es consistente con estudios previos, como los de Di Marco et al., y expande el conocimiento sobre la aplicación de sistemas memristivos en fenómenos no lineales.

Modelo Experimental Basado en Chua:

La sincronización observada en atractores complejos es consistente con los trabajos de Muthuswamy y Chua, demostrando la viabilidad experimental de estos sistemas en entornos reales. La sincronización eficaz entre los atractores destaca la capacidad de los memristores para estabilizar dinámicas caóticas.

Modelo Memductor:

El memductor demuestra su capacidad para generar atractores bidimensionales y curvas de histéresis, con la sincronización de los atractores mostrando la viabilidad de controlar el caos mediante acoplamientos basados en memoria. Estos

resultados respaldan hallazgos previos y amplían su aplicación en sistemas controlados.

5. CONCLUSIÓN

Los modelos estudiados resaltan la capacidad de Python como herramienta clave para el análisis y desarrollo de sistemas dinámicos complejos, destacando su utilidad en la implementación de simulaciones numéricas, la resolución de ecuaciones diferenciales y la visualización de atractores caóticos mediante bibliotecas como NumPy, Matplotlib y SciPy. Estas herramientas permitieron abordar las dinámicas no lineales introducidas por los memristores y estudiar la sincronización de variables específicas en sistemas caóticos, abriendo potenciales aplicaciones en criptografía, comunicaciones seguras y análisis de redes neuronales. Python no solo facilitó el manejo eficiente de estos modelos, sino que también evidenció su potencial como plataforma esencial en la investigación científica de sistemas no lineales. Como trabajos futuros, se propone desarrollar bibliotecas personalizadas que automaticen el análisis de modelos dinámicos y explorar la integración de Python con tecnologías como inteligencia artificial y computación simbólica para optimizar la resolución de problemas matemáticos complejos, posicionando a Python como una herramienta interdisciplinaria en matemáticas avanzadas y modelado computacional.

6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] L. Chua, "Memristor-The missing circuit element," *IEEE Transactions on Circuit Theory*, vol. 18, no. 5, pp. 507–519, 1971, doi: 10.1109/TCT.1971.1083337.
- [2] C. O. Marambio, K. C. Valenzuela, and A. R. Estay, "Memristor. Una perspectiva general," *Interiencia*, vol. 39, no. 7, pp. 458–467, Jul. 2014.
- [3] D. B. Strukov, G. S. Snider, D. R. Stewart, and R. S. Williams, "The missing memristor found," *Nature*, vol. 453, no. 7191, pp. 80–83, May 2008, doi: 10.1038/nature06932.
- [4] A. Adamatzky and L. Chua, Eds., *Memristor Networks*. Cham: Springer International Publishing, 2014. doi: 10.1007/978-3-319-02630-5.
- [5] B. MUTHUSWAMY and L. O. CHUA, "SIMPLEST CHAOTIC CIRCUIT," *International Journal of Bifurcation and Chaos*, vol. 20, no. 05, pp. 1567–1580, May 2010, doi: 10.1142/S0218127410027076.
- [6] Y. V. Pershin and M. Di Ventra, "Memory effects in complex materials and nanoscale systems," *Adv Phys*, vol. 60, no. 2, pp. 145–227, Apr. 2011, doi: 10.1080/00018732.2010.544961.
- [7] E. Miranda and J. Suñé, "Memristors for Neuromorphic Circuits and Artificial Intelligence Applications," *Materials*, vol. 13, no. 4, p. 938, Feb. 2020, doi: 10.3390/ma13040938.
- [8] M. Mayacela, L. Rentería, L. Contreras, and S. Medina, "Comparative Analysis of Reconfigurable Platforms for Memristor Emulation," *Materials*, vol. 15, no. 13, p. 4487, Jun. 2022, doi: 10.3390/ma15134487.
- [9] L. Rentería, M. Mayacela, K. Torres, W. Ramírez, R. Donoso, and R. Acosta, "FPGA-Based Numerical Simulation of the Chaotic Synchronization of Chua Circuits," *Computation*, vol. 12, no. 9, p. 174, Aug. 2024, doi: 10.3390/computation12090174.
- [10] E. Bilotta, F. Chiaravalloti, and P. Pantano, "Spontaneous Synchronization in Two Mutually Coupled Memristor-Based Chua's Circuits: Numerical Investigations," *Math Probl Eng*, vol. 2014, pp. 1–15, 2014, doi: 10.1155/2014/594962.
- [11] M. Di Marco, M. Forti, G. Innocenti, and A. Tesi, "Harmonic Balance Design of Oscillatory Circuits Based on Stanford Memristor Model," *IEEE Access*, vol. 11, pp. 127431–127445, 2023, doi: 10.1109/ACCESS.2023.3331107.
- [12] L. Xiong, X. Zhang, S. Teng, L. Qi, and P. Zhang, "Detecting Weak Signals by Using Memristor-Involved Chua's Circuit and Verification in Experimental Platform," *International Journal of Bifurcation and Chaos*, vol. 30, no. 13, p. 2050193, Oct. 2020, doi: 10.1142/S021812742050193X.
- [13] B. MUTHUSWAMY, "IMPLEMENTING MEMRISTOR BASED CHAOTIC CIRCUITS," *International Journal of Bifurcation and Chaos*, vol. 20, no. 05, pp. 1335–1350, May 2010, doi: 10.1142/S0218127410026514.



ANEXO:

Anexo 1: Código histéresis del memristor – Modelo Stanford

```
import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt

# Parámetros
R_on = 100 # Resistencia en estado "on"
R_off = 1600 # Resistencia en estado "off"
alpha = 0.03 # Velocidad de cambio de la resistencia
beta = 0.9 # Trayectoria de histéresis

# Tiempo y voltaje senoidal
tiempo = np.arange(0, 2, 0.01)
voltaje_senoidal = np.sin(2 * np.pi * 1 * tiempo)

# Inicialización de corriente y carga
corriente = np.zeros_like(voltaje_senoidal)
q = 0

# Función de resistencia
def calcular_resistencia_stanford(q, R_on, R_off, beta):
    return R_on + (R_off - R_on) * (1 - np.exp(-beta * np.abs(q)))

# Simulación
for i, V in enumerate(voltaje_senoidal):
    q += alpha * V * (1 - beta * np.abs(q)) # carga
    R = calcular_resistencia_stanford(q, R_on, R_off, beta)
    corriente[i] = V / R

# Gráfica
plt.figure(figsize=(10, 5))
plt.plot(voltaje_senoidal, corriente, label="Stanford", color="blue")
plt.xlabel("Voltaje (V)")
plt.ylabel("Corriente (A)")
plt.title("Curva de Histéresis - Modelo Stanford")
plt.grid(True)
plt.legend()
plt.show()
```



Anexo 2: Código sincronización de dos circuitos caóticos – Modelo Stanford

```

import numpy as np
from scipy.integrate import solve_ivp
import matplotlib.pyplot as plt
from mpl_toolkits.mplot3d import Axes3D

# Parámetros del sistema
alpha = 10
beta = 15
a = -1.27
b = -0.68
q = 1.6e-19
k = 1.38e-23
T0 = 300
Ea_g = 0.8
a0 = 1e-10
l = 10e-9
gamma0 = 2.5
g_min = 0.5e-9
g_max = 6.0e-9
V0 = 1.0

# Constante de acoplamiento
coupling_strength = 1.1

# Función no lineal
def f(x):
    return b * x + 0.5 * (a - b) * (np.abs(x + 1) - np.abs(x - 1))

# Sincronización
def synchronized_system(t, state):
    x1, y1, z1, g1, x2, y2, z2, g2 = state

    # gaps
    g1 = np.clip(g1, g_min, g_max)
    g2 = np.clip(g2, g_min, g_max)

    # Sistema 1
    dx1_dt = alpha * (y1 - x1 - f(x1))
    dy1_dt = x1 - y1 + z1
    dz1_dt = -beta * y1
    dg1_dt = -np.exp(-q * Ea_g * g1 / (k * T0)) * np.exp(q * a0 * gamma0 / (l * k * T0) * x1)

    # Sistema 2
    dx2_dt = alpha * (y2 - x2 - f(x2))
    dy2_dt = x2 - y2 + z2
    dz2_dt = -beta * y2 + coupling_strength * (z1 - z2)
    dg2_dt = -np.exp(-q * Ea_g * g2 / (k * T0)) * np.exp(q * a0 * gamma0 / (l * k * T0) * x2)

    return [dx1_dt, dy1_dt, dz1_dt, dg1_dt, dx2_dt, dy2_dt, dz2_dt, dg2_dt]

# Condiciones iniciales
x0_m, y0_m, z0_m, g0_m = 0.1, 0, 0, g_min
x0_s, y0_s, z0_s, g0_s = 0.2, 0.1, -0.1, g_max
initial_conditions = [x0_m, y0_m, z0_m, g0_m, x0_s, y0_s, z0_s, g0_s]

```



```
# Parámetros
t_span = (0, 50)
t_eval = np.linspace(t_span[0], t_span[1], 5000)

# Resolución
solution = solve_ivp(
    synchronized_system,
    t_span,
    initial_conditions,
    t_eval=t_eval,
    method="RK45"
)
t = solution.t
x1, y1, z1, g1, x2, y2, z2, g2 = solution.y

# Gráficas
plt.figure(figsize=(12, 10))
# Maestro-esclavo (x1 vs x2 y x2 vs x1)
plt.subplot(2, 2, 1)
plt.plot(x1, y1, 'b', label="x1")
plt.plot(x2, y2, 'r', label="x2 ")
plt.xlabel('x1')
plt.ylabel('x2')
plt.title('Espacio de fases (x1 vs x2)')
plt.legend()
plt.grid(True)
# Sincronización
plt.subplot(2, 2, 2)
plt.plot(t, z1, 'b', label="z1")
plt.plot(t, z2, 'r', label="z2 ")
plt.xlabel('Tiempo')
plt.ylabel('z (t)')
plt.title('Sincronización de z1 y z2')
plt.legend()
plt.grid(True)

# Gap
plt.subplot(2, 2, 3)
plt.plot(t, g1, 'b', label="g1")
plt.plot(t, g2, 'r', label="g2 ")
plt.xlabel('Tiempo (s)')
plt.ylabel('g')
plt.title('Evolución del gap (g)')
plt.legend()
plt.grid(True)

# Atractores 3D
ax = plt.subplot(2, 2, 4, projection='3d')
ax.plot(x1, y1, z1, 'b', label="x1")
ax.plot(x2, y2, z2, 'r', label="x2")
ax.set_xlabel('x1')
ax.set_ylabel('x2')
ax.set_zlabel('z')
ax.set_title('Atractores 3D')
ax.legend()
ax.grid(True)

plt.tight_layout()
plt.show()
```



Anexo 3: Código histéresis del memristor – Modelo Chua

```
import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt

# Parámetros
R_on = 100 # Resistencia en estado "on"
R_off = 1600 # Resistencia en estado "off"
alpha = 0.03 # Controla la velocidad de cambio de la resistencia
beta = 0.9 # Trayectoria de histéresis

# Tiempo y voltaje senoidal
tiempo = np.arange(0, 2, 0.01)
voltaje_senoidal = np.sin(2 * np.pi * 1 * tiempo)

# Inicialización de corriente y carga
corriente = np.zeros_like(voltaje_senoidal)
q = 0

# Función de resistencia
def calcular_resistencia_chua(q, R_on, R_off):
    return R_on + (R_off - R_on) * (1 - q**2)

# Simulación
corriente_chua = np.zeros_like(voltaje_senoidal)
q = 0

for i, V in enumerate(voltaje_senoidal):
    q += alpha * V * (1 - beta * q**2)
    R = calcular_resistencia_chua(q, R_on, R_off)
    corriente_chua[i] = V / R

# Gráfica
plt.figure(figsize=(10, 5))
plt.plot(voltaje_senoidal, corriente_chua, label="Chua", color="purple")
plt.xlabel("Voltaje (V)")
plt.ylabel("Corriente (A)")
plt.title("Curva de Histéresis - Modelo Chua")
plt.grid(True)
plt.legend()
plt.show()
```

Anexo 4: Código sincronización de dos circuitos caóticos – Modelo Chua

```
import numpy as np
from scipy.integrate import solve_ivp
import matplotlib.pyplot as plt
from mpl_toolkits.mplot3d import Axes3D

# Parámetros
alpha = -0.667e-3
beta = 0.029e-3
zeta = 8200 * 47e-9
C1 = 6.8e-9
C2 = 68e-9
L = 18e-3
R = 2000

# Función de memductancia
def W(phi):
    return alpha + 3 * beta * phi**2

# Sistema sincronizado
def synchronized_system(t, state):
    phi1, v1_1, v2_1, iL1, phi2, v1_2, v2_2, iL2 = state

    # Sistema 1
    dphi1_dt = -v1_1 / zeta
    dv1_1_dt = (1 / C1) * ((v2_1 - v1_1) / R - W(phi1) * v1_1)
    dv2_1_dt = (1 / C2) * ((v1_1 - v2_1) / R - iL1)
    diL1_dt = v2_1 / L

    # Sistema 2
    dphi2_dt = -v1_2 / zeta
    dv1_2_dt = (1 / C1) * ((v2_2 - v1_2) / R - W(phi2) * v1_2)
    dv2_2_dt = (1 / C2) * ((v1_2 - v2_2) / R - iL2)
    diL2_dt = v2_2 / L

    # Acoplamiento
    coupling_strength = 0.55e4
    dv2_2_dt += coupling_strength * (v2_1 - v2_2)

    return [dphi1_dt, dv1_1_dt, dv2_1_dt, diL1_dt, dphi2_dt, dv1_2_dt, dv2_2_dt, diL2_dt]

# Condiciones iniciales
initial_conditions = [0, 0.1, 0.1, 0, 0, -0.1, -0.1, 0]

# Tiempo
t_span = (0, 0.01)
t_eval = np.linspace(t_span[0], t_span[1], 5000)

# Sistema sincronizado
solution = solve_ivp(synchronized_system, t_span, initial_conditions, t_eval=t_eval,
method='RK45')
t = solution.t
phi1, v1_1, v2_1, iL1, phi2, v1_2, v2_2, iL2 = solution.y

# Gráficas
plt.figure(figsize=(12, 10))
```

```
# Gráfico 2D: v2_1 vs v1_1 y v2_2 vs v1_2
plt.subplot(2, 2, 1)
plt.plot(v1_1, v2_1, label='Sistema 1', linewidth=0.8)
plt.plot(v1_2, v2_2, label='Sistema 2', linewidth=0.8)
plt.xlabel(r'$v_1(t)$ (V)')
plt.ylabel(r'$v_2(t)$ (V)')
plt.title('Atractor 2D: $v_2$ vs $v_1$')
plt.legend()
plt.grid(True)

# Gráfico 2D: Sincronización de v2_1 y v2_2
plt.subplot(2, 2, 2)
plt.plot(t, v2_1, label='$v_{2,1}(t)$', linewidth=0.8)
plt.plot(t, v2_2, label='$v_{2,2}(t)$', linewidth=0.8)
plt.xlabel('Tiempo (s)')
plt.ylabel(r'$v_2(t)$ (V)')
plt.title('Sincronización de $v_{2,1}$ y $v_{2,2}$')
plt.legend()
plt.grid(True)

# Gráfico 2D: phi1 vs iL1 y phi2 vs iL2
plt.subplot(2, 2, 3)
plt.plot(phi1, iL1, label='Sistema 1', linewidth=0.8)
plt.plot(phi2, iL2, label='Sistema 2', linewidth=0.8)
plt.xlabel(r'$\phi(t)$ (Wb)')
plt.ylabel(r'$i_L(t)$ (A)')
plt.title('Atractor 2D: $i_L$ vs $\phi$')
plt.legend()
plt.grid(True)

# Gráfico 3D: v1_1, v2_1, phi1 y v1_2, v2_2, phi2
ax = plt.subplot(2, 2, 4, projection='3d')
ax.plot(v1_1, v2_1, phi1, color='blue', linewidth=0.5, label='Sistema 1')
ax.plot(v1_2, v2_2, phi2, color='red', linewidth=0.5, label='Sistema 2')
ax.set_xlabel(r'$v_1(t)$ (V)')
ax.set_ylabel(r'$v_2(t)$ (V)')
ax.set_zlabel(r'$\phi(t)$ (Wb)')
ax.set_title('Atractores 3D')
ax.legend()
ax.grid(True)

# Título
plt.suptitle('Sincronización de Sistemas Memristivos', fontsize=14)
plt.tight_layout(rect=[0, 0.03, 1, 0.95])
plt.show()
```

Anexo 5: Código histéresis del memristor – Modelo Memductor

```

import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt

# Parámetros
R_on = 100 # Resistencia en estado "on"
R_off = 1600 # Resistencia en estado "off"
alpha = 0.03 # Controla la velocidad de cambio de la resistencia
beta = 0.9 # Trayectoria de histéresis

# Tiempo y voltaje senoidal
tiempo = np.arange(0, 2, 0.01)
voltaje_senoidal = np.sin(2 * np.pi * 1 * tiempo)

# Inicialización de corriente y carga
corriente = np.zeros_like(voltaje_senoidal)
q = 0

# Función de resistencia
def calcular_resistencia_memductor(q, V, R_on, R_off):
    return R_on + (R_off - R_on) * (1 - np.tanh(10 * V * q))

# Simulación
corriente_memductor = np.zeros_like(voltaje_senoidal)
q = 0

for i, V in enumerate(voltaje_senoidal):
    q += alpha * V * (1 - beta * q**2)
    R = calcular_resistencia_memductor(q, V, R_on, R_off)
    corriente_memductor[i] = V / R

# Gráfica
plt.figure(figsize=(10, 5))
plt.plot(voltaje_senoidal, corriente_memductor, label="Memductor", color="orange")
plt.xlabel("Voltaje (V)")
plt.ylabel("Corriente (A)")
plt.title("Curva de Histéresis - Modelo memductor")
plt.grid(True)
plt.legend()
plt.show()

```


Anexo 6: Código sincronización de dos circuitos caóticos – Modelo Memductor

```
import numpy as np
from scipy.integrate import solve_ivp
import matplotlib.pyplot as plt
from mpl_toolkits.mplot3d import Axes3D

# Sistema de ecuaciones diferenciales
def chaotic_system(t, state):
    x, y, z, u = state
    dx_dt = 4 * x + 16 * y + 0.1 * u - 2 * x * u**2
    dy_dt = x - y + z
    dz_dt = -15 * y - 0.5 * z
    du_dt = -x
    return [dx_dt, dy_dt, dz_dt, du_dt]

# Sincronización:
def synchronized_system(t, state):
    x1, y1, z1, u1, x2, y2, z2, u2 = state

    # Sistema 1
    dx1_dt = 4 * x1 + 16 * y1 + 0.1 * u1 - 2 * x1 * u1**2
    dy1_dt = x1 - y1 + z1
    dz1_dt = -15 * y1 - 0.5 * z1
    du1_dt = -x1

    # Sistema 2
    dx2_dt = 4 * x2 + 16 * y2 + 0.1 * u2 - 2 * x2 * u2**2
    dy2_dt = x2 - y2 + z2
    dz2_dt = -15 * y2 - 0.5 * z2 + 3 * (z1 - z2)
    du2_dt = -x2

    return [dx1_dt, dy1_dt, dz1_dt, du1_dt, dx2_dt, dy2_dt, dz2_dt, du2_dt]

# Parámetros
t_span = (0, 48)
t_eval = np.linspace(t_span[0], t_span[1], 5000)

# Condiciones iniciales
initial_conditions = [0.1, -0.1, 0.1, -0.1, -0.5, 0.2, -0.2, 0.1]

# Solucion
solution = solve_ivp(
    synchronized_system,
    t_span,
    initial_conditions,
    t_eval=t_eval,
    method="RK45"
)

# Solucion
t = solution.t
x1, y1, z1, u1, x2, y2, z2, u2 = solution.y

# Graficas
plt.figure(figsize=(12, 10))
```

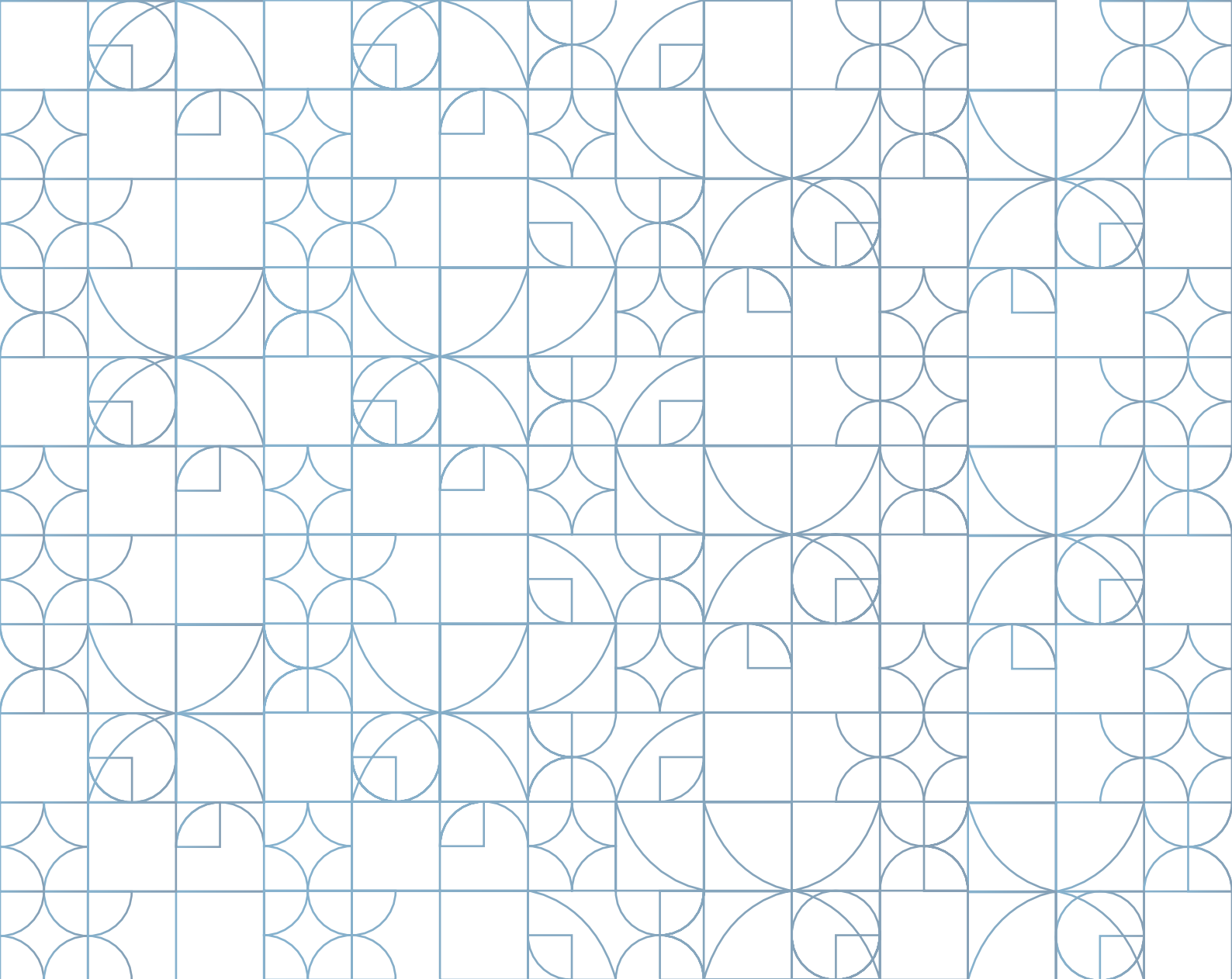
```
# Gráfico 2D:  $x_1$  vs  $y_1$  y  $x_2$  vs  $y_2$ 
plt.subplot(2, 2, 1)
plt.plot(x1, y1, 'b', linewidth=0.8, label="Sistema 1")
plt.plot(x2, y2, 'r', linewidth=0.8, label="Sistema 2")
plt.xlabel(r'$x(t)$')
plt.ylabel(r'$y(t)$')
plt.title(r'Atractor 2D:  $x$  vs  $y$ ')
plt.legend()
plt.grid(True)

# sincronización
plt.subplot(2, 2, 2)
plt.plot(t, z1, 'b', linewidth=0.8, label="z1")
plt.plot(t, z2, 'r', linewidth=0.8, label="z2")
plt.xlabel('Tiempo')
plt.ylabel(r'$z(t)$')
plt.title(r'Sincronización de  $z_1$  y  $z_2$ ')
plt.legend()
plt.grid(True)

# Gráfico 2D:  $y_1$  vs  $u_1$  y  $y_2$  vs  $u_2$ 
plt.subplot(2, 2, 3)
plt.plot(y1, u1, 'b', linewidth=0.8, label="Sistema 1")
plt.plot(y2, u2, 'r', linewidth=0.8, label="Sistema 2")
plt.xlabel(r'$y(t)$')
plt.ylabel(r'$u(t)$')
plt.title(r'Atractor 2D:  $y$  vs  $u$ ')
plt.legend()
plt.grid(True)

# Gráfico 3D:  $x_1$ ,  $y_1$ ,  $z_1$  y  $x_2$ ,  $y_2$ ,  $z_2$ 
ax = plt.subplot(2, 2, 4, projection='3d')
ax.plot(x1, y1, z1, color='blue', linewidth=0.5, label="Sistema 1")
ax.plot(x2, y2, z2, color='red', linewidth=0.5, label="Sistema 2")
ax.set_xlabel(r'$x(t)$')
ax.set_ylabel(r'$y(t)$')
ax.set_zlabel(r'$z(t)$')
ax.set_title('Atractores 3D')
ax.legend()
ax.grid(True)

# Título
plt.suptitle('Sincronización de Sistemas Caóticos', fontsize=14)
plt.tight_layout(rect=[0, 0.03, 1, 0.95])
plt.show()
```



**UTILIZACIÓN DE SENSORES MICROONDAS EN ANÁLISIS
DE SANGRE CON MÉTODOS NO INVASIVOS**

**USE OF MICROWAVE SENSORS IN BLOOD ANALYSIS WITH
NON-INVASIVE METHODS**

UTILIZACIÓN DE SENSORES MICROONDAS EN ANÁLISIS DE SANGRE CON MÉTODOS NO INVASIVOS

USE OF MICROWAVE SENSORS IN BLOOD ANALYSIS WITH NON-INVASIVE METHODS

Cristina Alejandra Orozco Cazco¹,
Roberto Alejandro Larrea Luzuriaga²,

¹ Instituto Superior Universitario Carlos Cisneros, Ecuador, cristina.orozco@istcarloscisneros.edu.ec

² Instituto Superior Universitario Carlos Cisneros, Ecuador, roberto.larrea@istcarloscisneros.edu.ec

RESUMEN

Este documento es una investigación bibliográfica acerca del estado del arte con respecto a estudios realizados sobre el campo de las microondas y su utilización para la implementación de sensores, enfocados al área biológica es decir biosensores que puedan detectar ciertos componentes biológicos como químicos, aplicando ciertas propiedades del electromagnetismo, mediante la obtención de datos de permitividad y permeabilidad al aplicar ondas electromagnéticas a una frecuencia y medirlas mediante técnicas de reflexión y/o transmisión, en materiales orgánicos, en este caso en específico en la sangre, de manera que aplicando una técnica no invasiva se pueda realizar análisis concluyentes o diagnósticos de posibles problemas, enfermedades o trastornos que un paciente pudiese tener y que la vía de su detección ordinaria sea a través de análisis clínicos de sangre.

Palabras clave: microondas; biosensor; sangre; permitividad; permeabilidad; métodos no-invasivos.

ABSTRACT

This document is a bibliographic research about the state of the art regarding studies on the field of microwaves and their use for the implementation of sensors, focused on the biological area, i.e. biosensors that can detect certain biological components such as chemicals, applying certain properties of electromagnetism, by obtaining data on permittivity and permeability by applying electromagnetic waves at a frequency and measuring them through reflection and/or transmission techniques, in organic materials, in this case specifically in blood, so that by applying a non-invasive technique, conclusive analysis or diagnosis of possible problems, diseases or disorders that a patient may have can be performed and that the ordinary way of detection is through clinical blood tests.

Keywords: microwave; biosensor; blood; permittivity; permeability; non-invasive methods.

Recibido: Agosto 2024
Received: August 2024

Aceptado: Diciembre 2024
Accepted: December 2024

1. INTRODUCCIÓN

La utilización de sensores de microondas en el análisis de sangre con métodos no invasivos representa un enfoque innovador en el diagnóstico médico, ya que aprovecha las ondas electromagnéticas de alta frecuencia para recabar información vital sobre la salud sin procedimientos invasivos. Esta tecnología destaca por su potencial para mejorar la comodidad y el cumplimiento terapéutico de los pacientes, transformando significativamente las técnicas tradicionales de análisis de sangre que suelen requerir dolorosas extracciones. Mediante el análisis de las interacciones de las microondas con los componentes de la sangre, los investigadores pretenden obtener biomarcadores críticos relacionados con las condiciones de salud, incluidos los niveles de glucosa y lactato, que son esenciales para la gestión de enfermedades crónicas y la medicina deportiva [1][2].

Los principios de funcionamiento de los sensores de microondas implican la emisión, reflexión y detección de ondas electromagnéticas, lo que permite realizar análisis precisos y en tiempo real.

Estos sensores destacan en la detección sin contacto, ya que ofrecen ventajas como una gran precisión, inmunidad ambiental y largos rangos de detección, lo que los hace adecuados para diversas aplicaciones tanto clínicas como domésticas [3][4]. Su capacidad para penetrar materiales facilita aún más la monitorización no invasiva, abordando las limitaciones asociadas a los métodos de diagnóstico convencionales [1][5].

Los sensores de microondas funcionan utilizando ondas electromagnéticas de alta frecuencia para detectar la presencia, el movimiento o la distancia de los objetos. Su funcionamiento se basa en varios principios fundamentales, como la emisión, la reflexión, la detección y el procesamiento de señales.

Emisión y propagación

Un sensor de microondas emite ondas electromagnéticas de alta frecuencia, normalmente dentro del espectro de microondas (300 MHz a 300 GHz), utilizando un oscilador y una antena.

Una vez generadas, estas ondas se propagan a través de diversos medios como aire, líquidos o sólidos a la velocidad de la luz [1][2].

Reflexión y detección

Cuando las ondas emitidas se encuentran con un objeto, una parte de la onda se refleja hacia el sensor. Las características de la onda reflejada, como su frecuencia

e intensidad, dependen del tamaño, la forma, el material y la distancia del objeto al sensor [1]. El receptor del sensor capta esta onda reflejada y la convierte en una señal eléctrica para su posterior procesamiento [2].

Procesamiento de la señal

La señal recibida es procesada por los circuitos electrónicos del sensor, que realizan cálculos para extraer la información deseada. Esto puede implicar filtrado, amplificación y diversas técnicas de procesamiento digital de la señal para determinar las características del objeto, como la distancia y la velocidad [1][3]. A menudo se emplea el principio del efecto Doppler, que permite al sensor detectar cambios de frecuencia debidos al movimiento relativo entre la fuente y el objeto.

El presente estudio analiza los principios y técnicas empleadas para la construcción de sensores biológicos de varios trabajos de investigación de los cuales se ha podido tener acceso, y que tienen como finalidad medir y comparar parámetros, de modo que puedan emitir un resultado. Se describen los principios de funcionamiento, es decir en qué parámetros se basan dichos estudios, y cuál es la comparativa o detonante del sensor, para determinar el resultado esperado.

Cada sensor implementado es ajustado para determinar, un solo parámetro, es decir existe un estudio previo con respecto a la respuesta que este debe experimentar en diferentes escenarios o en sustancias a medir.

Respecto a las técnicas, se describe el procedimiento general a seguir, en base a los cuales se ha obtenido los resultados de las diferentes investigaciones analizadas.

2. METODOLOGÍA Y MATERIALES

La presente investigación se desarrolló bajo un enfoque documental, caracterizado por un análisis bibliográfico, incluyendo artículos científicos, tesis, reportes técnicos y normas relacionadas con la implementación de biosensores para el análisis de sangre mediante técnicas no invasivas. Este enfoque permitió recopilar y sistematizar información relevante sobre las técnicas empleadas en la detección y monitoreo de variaciones en parámetros sanguíneos en función de las constantes dieléctricas.

Para el análisis, se seleccionó un conjunto representativo de casos de estudios que reportan el uso de señales de radiofrecuencia y el procesamiento de la onda reflejada como herramienta principal en la caracterización de modelos que permitan detectar variaciones en las propiedades dieléctricas de la sangre. Se establecieron



criterios de selección basados en la calidad metodológica, relevancia y novedad de las técnicas descritas, así como en la disponibilidad de datos comparables.

Posteriormente, se llevó a cabo un estudio comparativo que permitió identificar las estrategias utilizadas en la implementación de los biosensores. Dicho análisis incluyó aspectos como:

- Diseño del biosensor: materiales, configuración estructural y principios de funcionamiento.
- Frecuencia de operación: rangos de radiofrecuencia empleados y sus justificaciones.
- Métodos de procesamiento de datos: algoritmos y técnicas aplicadas para interpretar la onda reflejada.
- Precisión y sensibilidad: desempeño reportado en la detección de parámetros sanguíneos.
- Aplicaciones potenciales: ámbitos clínicos o de investigación abordados en los trabajos revisados.

Los datos obtenidos se sistematizaron en una matriz de comparación, la cual facilita la identificación de patrones comunes y diferencias significativas entre los enfoques metodológicos. Este análisis permitió determinar las técnicas más prometedoras para el desarrollo de soluciones innovadoras en el área de la biomédica, así como proponer líneas de investigación futura para optimizar el desempeño de los biosensores en estudios no invasivos de sangre.

Casos de Estudio:

A. Sensor de Frecuencia Microonda para la medición no invasiva de glucosa en la sangre. [1]

El principio de funcionamiento de esta investigación, corresponde a la medición de niveles de glucosa en la sangre en pacientes, que usualmente requieren de una pequeña muestra de sangre, método invasivo, para la detección o control de pacientes con diabetes.

La concentración normal de glucosa en la sangre es de 70 – 110 mg/dL, obteniéndose picos de hasta 180mg/dL después de haber comido, dicha concentración se normaliza en el transcurso de dos o tres horas, si toma más de tres horas, se diagnostica diabetes.

El sensor microondas propuesto en la investigación se basa en los cambios de la permitividad debido a las fluctuaciones de la glucosa. La sangre es un compuesto complejo de células, proteínas, hormonas, glucosa y otras partículas en agua. Su permitividad es dependiente de la frecuencia, influenciada por cada uno de sus componentes. Un sensor microonda que tenga una

respuesta característica multifrecuencia puede potencialmente aislar la respuesta de un parámetro en específico en un ambiente en el cual varios parámetros podrían cambiar.

El sensor construido en la investigación se basa en una línea de transmisión microstrip que termina en una espiral, siendo la salida del sensor una representación de magnitud logarítmica de la función de transferencia, que varía de acuerdo a los cambios en la permitividad en el espacio por encima de la espiral. Para medir el barrido de frecuencias de la respuesta del sensor han utilizado un analizador de redes vectoriales.

El experimento consistió en medir la salida del sensor en un individuo, en el cual se colocó el sensor en la parte inferior de su mano, y obtener muestras referenciales, inmediatamente después el individuo bebería una sustancia azucarada, y se seguirían obteniendo muestra por alrededor de una hora. Los cambios de permitividad fueron observados en el desfase de amplitud y frecuencia de las respuestas máximas y mínimas del sensor.

Las variaciones obtenidas de las muestras en el experimento se encuentran en el rango de frecuencias de 10Hz a 2GHz.

Con la repetición del experimento en varios individuos en un tiempo mayor, además de asegurar el contacto, se lo cambió la posición del sensor en el dedo pulgar tal como si fuera un medidor de glucosa comercial, esto para asegurar el contacto a los prolongados tiempos de exposición, con los resultados obtenidos se ajustaron parámetros para la predicción de cada individuo, en un programa computacional.

Los resultados preliminares de este experimento, muestran la factibilidad de crear un método no invasivo para la detección de niveles de glucosa en la sangre.

B. Análisis de reflexión microonda sobre vasos capilares de sangre [2]

La investigación se fundamenta bajo el principio de que, sobre imágenes de resonancia magnética de los vasos capilares de la sangre, que es obtenida por la reflexión de microondas sobre el tejido expuesto, se mejora la imagen de resonancia magnética si se resalta la distribución de agua libre junto al agua en el tejido humano, por lo que haciendo uso de esta distribución se puede obtener la permitividad compleja.

Las imágenes de resonancia magnética basadas en el modelo de reflexión de microondas son muy útiles para diagnosticar condiciones humanas como la cantidad de glucosa en la sangre.

El modelo del tejido humano en la región de las microondas es preparado por las imágenes de resonancia magnética, la permitividad compleja puede ser aplicada a este modelo calibrando los datos de la imagen en escala de grises, donde los datos también reflejarán la permitividad compleja de la concentración de la glucosa. La relativa constante dieléctrica cambia el 2% y las pérdidas del dieléctrico cambian -1.2% por cada 1% de cambio de concentración de glucosa.

En el experimento se construye un parche que sirve como aplicador para realizar las medidas, funcionando este como una antena alimentado por una guía de onda, con determinadas medidas de diseño. El aplicador se lo coloca en la punta del dedo, entre la guía de onda y el dedo.

La simulación que se desarrolla en el experimento utiliza el método TLM para obtener los coeficientes de reflexión.

Los resultados se observan en los cambios de los coeficientes de reflexión en la frecuencia de resonancia medida, como un cambio de nivel de glucosa en tiempo real.

C. Sistema Microonda para medir la perfusión de sangre de un tejido [3]

La investigación se fundamenta en la perfusión de sangre de un tejido, base para el transporte de oxígeno, nutrientes y componentes farmacéuticos.

Entre las aplicaciones clínicas relevantes para la medición de la perfusión son el diagnóstico de enfermedades, administración dirigida de fármacos, tratamiento de cáncer hipertermia, perfusión de la piel después de la cirugía plástica, y el manejo de las enfermedades vasculares periféricas.

El sistema que se propone se basa en un método de medición de perfusión térmica usando técnicas de microondas. En este método, la temperatura del tejido se eleva por calentamiento por microondas (900 MHz) a no más de un grado Celsius, y después de la interrupción de la señal de calentamiento por microondas, el decaimiento de temperatura se mide usando detección radiométrica de microondas (1-2 GHz), siendo este el indicativo de la velocidad de perfusión de la sangre.

D. Detección rápida de virus en la sangre utilizando una antena Microstrip biosensor [4]

La investigación se fundamenta en el diseño de un biosensor capaz de detectar virus altamente contagiosos, haciendo uso de técnicas altamente desarrolladas como es el caso de las cavidades resonantes.

Para la medición de la impedancia biológica de manera no invasiva, se requiere de una antena para acoplar electromagnéticamente la energía entre el dispositivo de monitoreo y el medio del tejido. El monitoreo de la impedancia biológica se lo realiza por la medición de la impedancia de entrada o del coeficiente de reflexión de la antena, siendo los cambios sensibles de esas medidas, lo que permite distinguir entre sangre normal y sangre infectada.

La antena requerida puede ser diseñada para operar en bandas de frecuencia de 2.4 y 5.2GHz, fabricando una antena microstrip con una superficie chapada en oro. La antena diseñada en la investigación se especifican sus dimensiones para el caso de uso de cada banda.

E. Medidor no invasivo de glucosa en la sangre a través de un resonador microondas [5]

En esta investigación el objetivo es muy similar a casos anteriores para diseñar un sensor microonda que permita medir el nivel de glucosa en la sangre mediante un método no invasivo.

El diseño implementado para el sensor consta de una línea de transmisión Microstrip en forma de espiral circular resonante, con dimensiones específicas. Se obtiene resultados parecidos a investigaciones anteriormente descritas para la medición de glucosa en la sangre, con la diferencia que, en esta investigación para ajustar los parámetros del experimento, primero se simulo con un tejido de varias capas, de modo que estos resultados pudieran ser utilizados en la función utilizada para la detección basada en la ecuación de Debye.

Los resultados de esta investigación prueban nuevamente la determinación de niveles de glucosa por medio de la variación de la constante dieléctrica, en la sangre.

3. RESULTADOS

De lo expuesto se puede observar que hay múltiples investigaciones en el desarrollo de sensores microondas, que emplean técnicas de medición basadas en las propiedades de permitividad y permeabilidad de los materiales, basados en estos parámetros se pueda diagnosticar o predecir un evento en específico debido a la variación de estas propiedades a una frecuencia o rango de frecuencias utilizado, tal como se observa en la figura 1. La utilización de estas técnicas establece un método no invasivo ya que no requiere estar en contacto directo con la muestra ni tampoco cambia las propiedades intrínsecas del material o sustancia expuesta, reflexión y transmisión de ondas.

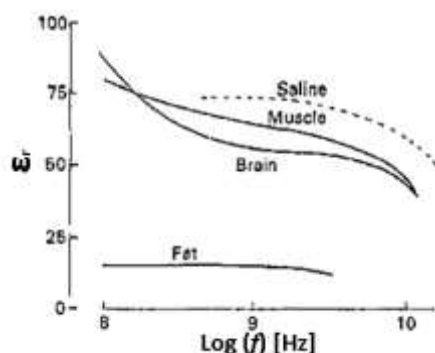


Fig.1.- Permitividad relativa en función de la frecuencia expuesta de tejido humano [6]

El empleo de sensores microondas en materiales biológicos, crea gran expectativa por sus características de funcionamiento, un método simple y limpio, que no requiere de reactivos, no obstante, el modelo de comparación y reacción de diferentes compuestos orgánicos a frecuencias microondas debe ser bien estudiado de modo que los algoritmos computacionales que procesen la información obtenida del sensor puedan ser lo suficientemente fiables, que los métodos tradicionales. [7]

La utilización de biosensores microondas en materiales orgánicos como la sangre, despiertan gran interés por su composición y reacción ante las microondas, de manera que se pueda distinguir cambios en su composición, al punto de aislar dichos componentes y estimar una proporción de ellos ante una medida de referencia, pudiendo emitir criterios basados en dichas mediciones.

Existe una fuerte concentración de investigación en métodos para estimar el nivel de glucosa en la sangre, todos convergen en la vía de aplicación de los sensores microondas, pero divergen en cómo obtener una medición fiable, la elaboración de algoritmos computacionales en base a muestras permite ajustar parámetros de observación y precisión de los sensores de modo que se mejore su estimación.

Existen prototipos y patentes de detectores de niveles de glucosa en la sangre por medio de sensores microondas, sin embargo, sus prestaciones no son 100% fiables.

Un aspecto importante en la implementación de sensores microonda, es el diseño del mismo, correspondiente al acoplamiento entre el emisor de microondas y la muestra.

La mayoría de sensores microonda investigados, utilizados para la detección de niveles de glucosa en la sangre, se basan en líneas de transmisión Microstrip, con diferentes terminaciones, espiral simple, doble, anillo

resonador, para irradiar las ondas sobre la muestra, y obtener las medidas en base a reflexión y/o transmisión.

La sensibilidad del sensor es determinada, en base a parámetros de su diseño, como medidas y elementos adecuados para su construcción y calibración de modo que se obtengan experimentalmente variaciones de las ondas recibidas, dependiendo del medio o material de exposición, por la variación de la permitividad y/o permeabilidad en dichos elementos.

Otro método relevante para la detección de glucosa en la sangre, mediante métodos no invasivos, utiliza las técnicas de imágenes de resonancia magnética de vasos capilares de la sangre obtenidas por métodos microonda, en las cuales para mejorar su resolución se representa la distribución de agua libre junto al agua del tejido, esta distribución permite obtener la permitividad compleja. Basando su principio en la concentración de glucosa en el agua del tejido, que también puede ser aislada y estimada. Variación de escala de grises de la imagen de resonancia magnética.

El método que basa su principio de funcionamiento en imágenes de resonancia magnética por microondas, establece que la concentración de glucosa en la sangre puede ser estimada por la variación de los coeficientes de reflexión aplicados sobre la muestra, en este caso el tejido o la punta del dedo del individuo.

Para la construcción del aplicador en el método basado en la variación de los coeficientes de reflexión, se diseña una antena de radiación con una cavidad rectangular de guía de onda en el un lado y al otro un punto de radiación circular. Dicho aplicador va entre la guía de onda y la muestra. De este modo se emitiría las ondas y se obtendrían las ondas reflejadas de la muestra. Este método resulta interesante por la comparativa y los resultados obtenidos en base a dicha experimentación, que estima porcentajes de variación de la permitividad en relación a porcentajes de concentración de glucosa.

Otros sensores investigados se fundamentan en la medición del flujo sanguíneo de la sangre a través de métodos no invasivos utilizando las microondas, esto resulta novedoso ya que los métodos tradicionales (como el medidor de flujo de laser Doppler entre otros) resultan tener costos elevados y no son portables.

El método de medición de flujo sanguíneo se fundamenta en la medición de la temperatura del flujo a través de técnicas de microondas. La elevación de la temperatura en el tejido de aproximadamente un 1° Celsius al aplicar una frecuencia microonda, y eliminando dicha aplicación para el decaimiento de la temperatura en el tejido, de modo que se detecte dicha disminución utilizando un

radiómetro microonda, esto indicaría la cantidad de flujo de sangre.

En otras investigaciones relacionadas se presentan biosensores para la detección de virus altamente contagiosos. Esta detección utiliza técnicas microondas altamente estudiadas y desarrolladas como las cavidades resonantes, en la cual basa su funcionamiento, utiliza también el diseño de una antena para el acoplamiento de la muestra y la cavidad.

El biosensor de detección de virus en la sangre puede determinar si una muestra de sangre o no porta el virus, utilizando las propiedades dieléctricas de la sangre y su variabilidad al estar contaminadas por un virus. La sensibilidad del detector depende de la frecuencia de operación, que en la investigación la establece para las bandas libres 2.4 y 5.2GHz.

Los sensores microondas en la actualidad son un gran mercado y su grado de aplicabilidad cada vez asocia más otras ramas como la medicina, donde se aprovecha las propiedades de los materiales y su fluctuación a un campo electromagnético aplicado a una frecuencia determinada, de manera que se pueda medir un parámetro específico asociado a un evento determinado.

4. DISCUSIÓN (O ANÁLISIS DE RESULTADOS)

Los cinco artículos analizados presentan innovaciones en el diseño y aplicación de biosensores basados en microondas para mediciones no invasivas de parámetros sanguíneos. Cada trabajo destaca configuraciones estructurales únicas y frecuencias de operación seleccionadas para maximizar la interacción de las microondas con tejidos biológicos. Se observa una diversidad en materiales, desde resonadores hasta antenas microstrip, con diferencias significativas en los métodos de procesamiento de señales, incluyendo algoritmos de análisis espectral y técnicas de calibración.

En términos de precisión y sensibilidad, los dispositivos muestran variaciones dependiendo de la técnica de acoplamiento y la tecnología empleada. Finalmente, las aplicaciones propuestas abarcan desde el monitoreo de glucosa hasta la detección de virus en sangre, resaltando la versatilidad clínica y de investigación de estos dispositivos, tal como se detalla en la Tabla 1.

5. CONCLUSIÓN

El análisis comparativo realizado sobre los biosensores basados en microondas para aplicaciones biomédicas ha permitido identificar fortalezas y limitaciones clave en sus diseños, frecuencias de operación, métodos de procesamiento de datos, precisión y sensibilidad, así

como sus aplicaciones potenciales. En términos generales, los resultados muestran que los biosensores diseñados para medir glucosa en sangre, como los propuestos por Jean et al. [6] y Kumar & Singh [10], destacan por su precisión y capacidad no invasiva, mientras que los dispositivos orientados a la detección de virus, como el de Elsheikh et al. [9], presentan alta sensibilidad y especificidad para análisis clínicos. Por otro lado, los diseños que exploran la perfusión tisular o la reflexión en capilares sanguíneos (Nikawa [7] y Tofighi et al. [8]) son relevantes para investigaciones básicas, pero requieren mejoras en su sensibilidad y métodos de calibración para aplicaciones más prácticas.

La frecuencia de operación seleccionada en cada diseño, mayoritariamente dentro de las bandas ISM (2.4 GHz y 5 GHz), proporciona un balance adecuado entre penetración y resolución, lo cual es crucial para optimizar las interacciones con los tejidos biológicos. Sin embargo, aún existen desafíos en la estandarización de los métodos de procesamiento de señales, lo que impacta directamente en la reproducibilidad de los resultados.

Como trabajo futuro, se plantea la posibilidad de desarrollar un biosensor no invasivo capaz de determinar el tipo de sangre mediante la interacción de microondas con características específicas de los eritrocitos. Este avance representaría un aporte significativo en la práctica clínica, al facilitar diagnósticos rápidos y seguros en entornos de emergencia y bancos de sangre.

6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Flex PCB, "Microwave Sensor: What It Is, Types, & The Working Principle," [Online]. Available: <https://flexpcb.org/microwave-sensor-what-it-is-types-the-working-principle/>.
- [2] Electronic Manufacturing Service, "Microwave Sensor: What It Is, Types, & The Working Principle," [Online]. Available: <https://electronicmanufacturingservice.org/microwave-sensor-what-it-is-types-the-working-principle/>.
- [3] Techie Science, "How Does a Microwave Sensor Work?," [Online]. Available: <https://techiescience.com/how-does-a-microwave-sensor-work/>.
- [4] Tosunlux, "The Complete Guide to Microwave Sensor," [Online]. Available: <https://www.tosunlux.eu/blog/the-complete-guide-to-microwave-sensor>.
- [5] A. R. Gómez et al., "Effect of microwave sensors on biosignal quality in physiological monitoring: A systematic

review," *PubMed*, [Online]. Available:
<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/34768449/>.

[6] Buford Randall Jean, Eric C. Green, and Melanie J. McClung, "A Microwave Frequency Sensor for Non-Invasive Blood-Glucose Measurement," IEEE Sensors Applications Symposium Atlanta, GA, February 12-14, 2008

[7] Yoshio Nikawa, "Analysis of Microwave Reflection from Capillary Blood Vessel," Proceedings of Asia-Pacific Microwave Conference 2010, 2010 IEICE

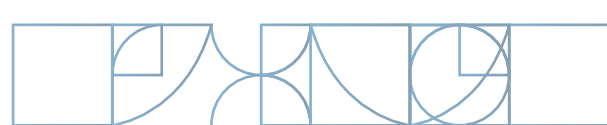
[8] Mohammad-Reza Tofighi and Charlie Tran Huynh, "A Microwave System for Blood Perfusion Measurements of Tissue; a Preliminary Stud," Pennsylvania State University, Harrisburg, Middletown, PA, 17057, USA

[9] Dalia M. Elsheikh, Hala A. Elsadek, Esmat A. Abdallah, Saad Atteya, and Waleed N. Elmazny, "Rapid Detection of Blood Enteroviruses Using Microstrip Antenna Biosensor," Proceedings of the 43rd European Microwave Conference.

[10] Shiv Kumar, Jaspal Singh, "Non Invasive Blood Glucose Measurement through Microwave Resonator," International Journal of Science and Research (IJSR), India Online May 2013 ISSN: 2319-7064

[11] R. Pethig, "Dielectric properties of body tissues," Clinical Physics and Physiological Measurement, vol. 8, pp. 5-12, 1987

[12] S. Gabriel, R.W. Lau and C. Gabriel, "The dielectric properties of biological tissues: III. Parametric models for the dielectric spectrum of tissues," Phys.Med.Biol., vol. 41, pp. 2271-2293, 1996.

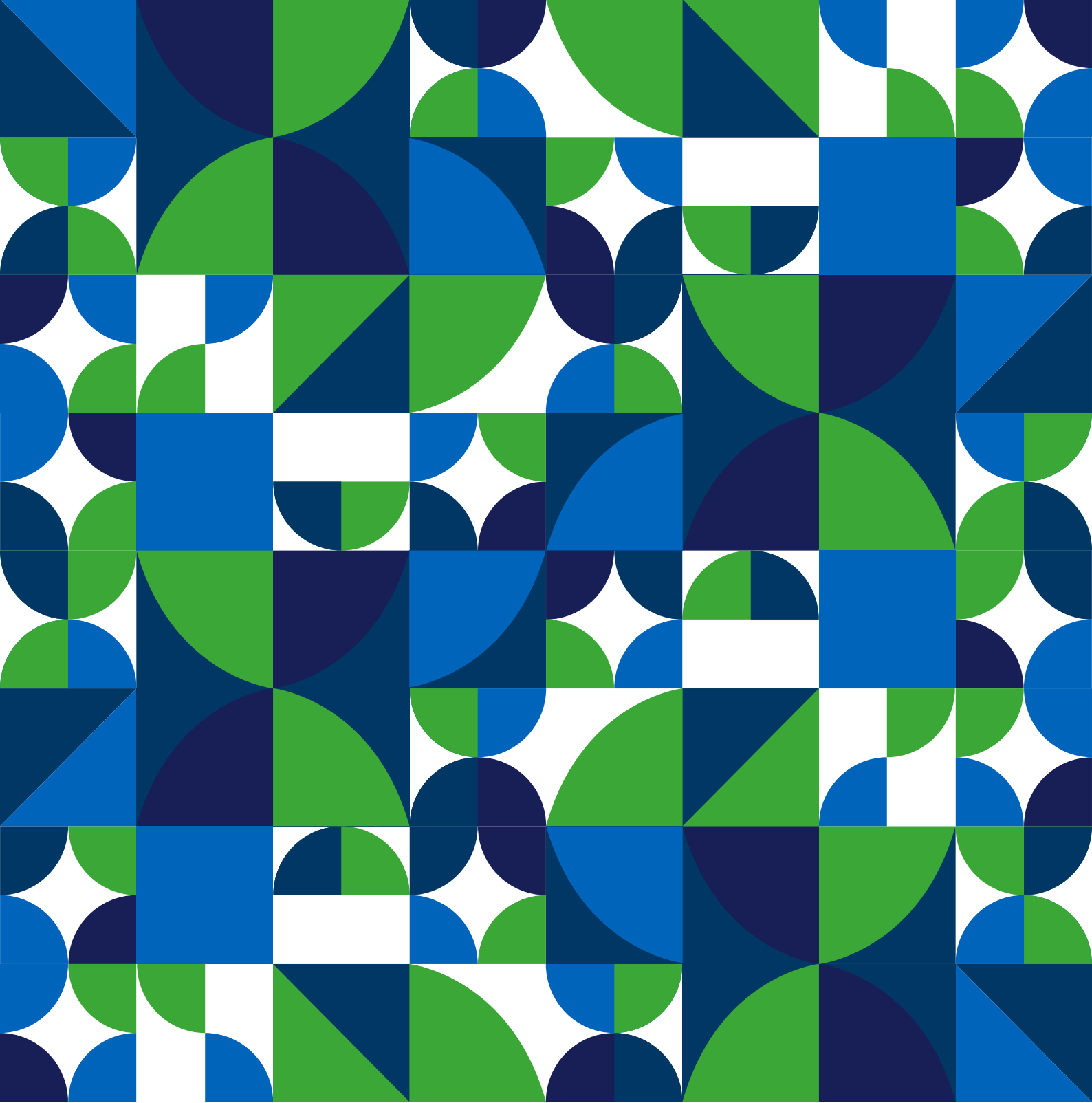


ANEXO

Tabla 1. Análisis comparativo de los casos de estudio de métodos no invasivos para el análisis de sangre

Parámetro	A [6]	B [7]	C [8]	D [9]	E [10]
Diseño del Biosensor	Resonador de microondas integrado, materiales dieléctricos.	Microondas reflejadas desde capilares sanguíneos.	Sistema basado en microondas para perfusión tisular.	Antena microstrip con propiedades bio-sensitivas.	Resonador coaxial de alta precisión.
Frecuencia de Operación	2.45 GHz, elegida por alta sensibilidad y baja interferencia.	Rango de 1-10 GHz, optimizado para análisis de tejidos.	Banda ISM de 2.4 GHz, seleccionada por disponibilidad y seguridad.	5-6 GHz, optimizada para alta resolución en tejidos.	2.45 GHz, seleccionada por balance entre sensibilidad y penetración.
Métodos de Procesamiento de Datos	Análisis espectral y algoritmos de filtrado.	Evaluación de coeficientes de reflexión mediante simulaciones.	Análisis de correlación entre perfusión y señal reflejada.	Procesamiento espectral y extracción de frecuencias específicas.	Métodos de calibración para variaciones individuales.
Precisión y Sensibilidad	Alta precisión para glucosa (± 10 mg/dL).	Sensibilidad media debido a dispersión en capilares.	Sensibilidad moderada para variaciones de perfusión.	Alta precisión en detección de virus (90%).	Precisión media-alta en glucosa (± 15 mg/dL).
Aplicaciones Potenciales	Monitoreo no invasivo de glucosa.	Estudios de circulación sanguínea y capilares.	Diagnóstico de perfusión tisular.	Detección rápida de virus en muestras clínicas.	Monitoreo rutinario de glucosa en sangre.





INSTITUTO SUPERIOR UNIVERSITARIO
CARLOS CISNEROS

TECH

• CARLOS CISNEROS •

ISSN 2737-6036