EL FUTURO HOY

CÓMO LA INNOVACIÓN TECNOLÓGICA TRANSFORMA VIDAS Y ABRE OPORTUNIDADES

COORDINADORES

VICENTE ENRIQUE CAVAZOS ARIZPE
RAÚL ALBERTO LÓPEZ MERAZ
JOSÉ ANTONIO LEÓN BORGES

RED IBEROAMERICANA DE ACADEMIAS DE INVESTIGACIÓN A.C.
RED IBAI

ISBN: 978-607-5893-57-0

9 786075 893570

EL FUTURO HOY

CÓMO LA INNOVACIÓN TECNOLÓGICA
TRANSFORMA VIDAS Y ABRE OPORTUNIDADES

COORDINADORES

Vicente Enrique Cacazos Arizpe, Raúl Alberto López Meraz, José Antonio León Borges

AUTORES

Adlen Airam Becerra Herrera, Alma Vázquez Ojeda, Ana Roselyn Pérez Méndez, Belén Buccio Mendoza, Benito Samuel López Razo, Cirilo Nolasco Hipolito, Cynthia Ivette Velázquez Bustos, David Antonio García Reyes, Flor Virginia León, Hazaribagh García Candelaria, Hortensia Eliseo Dantés, Iris Cristel Pérez Pérez, Jesús Carrillo Ahumada, Jóse Alfredo Garcidueñas Paz, José Israel Campero Domínguez, Juana Mora Rojas, Julia Rivera Moreno, Leonardo Estrada Tijerina, Liria Pozos Pineda, Marco Antonio Godínez Ruiz, Marco Antonio Gómez León, María de Jesús García Gómez, María de los Angeles Camacho Morales, Mario Díaz González, Mario Hernández Vargas, Mario Pérez Acosta, Monica Rivera Rivera, Nicolas Trejo de la Cruz, Olaya Pirene Castellanos Onorio, Oscar Núñez Gaona, Pablo Alberto Victoria Castillo, Rebeca Gloria Tejeda, Rosario Castro García, Rubí Rivas Gutiérrez, Sergio Hernández Mejía, Víctor Hugo de la O Martínez, Yamilet Salomón Ruiz

©RED IBEROAMERICANA DE ACADEMIAS DE INVESTIGACIÓN A.C. 2025

EDITA: RED IBEROAMERICANA DE ACADEMIAS DE INVESTIGACIÓN A.C
DUBLÍN 34, FRACCIONAMIENTO MONTE MAGNO
C.P. 91190. XALAPA, VERACRUZ, MÉXICO.
CEL 2282386072
www.redibai.org
redibai@hotmail.com

Sello editorial: Red Iberoamericana de Academias de Investigación, A.C. (978-607-5893)
Primera Edición, Xalapa, Veracruz, México.
No. de ejemplares: 2
Presentación en medio electrónico digital
Formato PDF 8 MB
Fecha de aparición 28/11/2025
ISBN 978-607-5893-57-0

ISBN: 978-607-5893-57-0

Derechos Reservados © Prohibida la reproducción total o parcial de este libro en cualquier forma o medio sin permiso escrito de la editorial.

Xalapa, Veracruz. México a 13 de noviembre de 2025

DICTAMEN EDITORIAL

La presente obra fue arbitrada y dictaminada en dos procesos; el primero, fue realizado por el **COMITÉ EDITORIAL RED IBEROAMERICANA DE ACADEMIAS DE INVESTIGACIÓN A.C.** con sede en México; que sometió a los capítulos incluidos en la obra a un proceso de dictaminación a doble ciego para constatar de forma exhaustiva la temática, pertinencia y calidad de los textos en relación a los fines y criterios académicos de la misma, cumpliendo así con la primera etapa del proceso editorial. El segundo proceso de dictaminación estuvo a cargo del **COMITÉ CIENTÍFICO RED IBEROAMERICANA DE ACADEMIAS DE INVESTIGACIÓN A.C.;** donde se seleccionaron expertos en el tema para la evaluación de los capítulos de la obra y se procedió con el sistema de dictaminación a doble ciego. Cabe señalar que previo al envío a los dictaminadores, todo trabajo fue sometido a una prueba de detección de plagio. Una vez concluido el arbitraje de forma ética y responsable y por acuerdo del Comité Editorial y Científico de la Red Iberoamericana de Academias de Investigación A.C. (REDIBAI), se dictamina que la obra **"EL FUTURO HOY. CÓMO LA INNOVACIÓN TECNOLÓGICA TRANSFORMA VIDAS Y ABRE OPORTUNIDADES"** cumple con la relevancia y originalidad temática, la contribución teórica y aportación científica, rigurosidad y calidad metodológica, actualidad de las fuentes que emplea, redacción, ortografía y calidad expositiva.

Dr. Daniel Armando Olivera Gómez
Director Editorial
Sello Editorial: Red Iberoamericana de Academias de Investigación, A.C.
(978-607-5893)
Dublín 34, Residencial Monte Magno
C.P. 91190. Xalapa, Veracruz, México.
Cel 2282386072

Xalapa, Veracruz. México a 28 de noviembre de 2025

CERTIFICACIÓN EDITORIAL

RED IBEROAMERICANA DE ACADEMIAS DE INVESTIGACIÓN A.C. (REDIBAI) con sello editorial **No. 978-607-5893** otorgado por la Agencia Mexicana de ISBN, hace constar que el libro **""“EL FUTURO HOY. CÓMO LA INNOVACIÓN TECNOLÓGICA TRANSFORMA VIDAS Y ABRE OPORTUNIDADES”** registrado con el **ISBN 978-607-5893-57-0** fue publicado por nuestro sello editorial con fecha de aparición del 28 de noviembre de 2025 cumpliendo con todos los requisitos de calidad científica y normalización que exige nuestra politica editorial.

Fue evaluado por pares académicos externos y aprobado por nuestro Comité Editorial y Científico.

Todos los soportes concernientes a los procesos editoriales y de evaluación se encuentran bajo el poder Editorial de **RED IBEROAMERICANA DE ACADEMIAS DE INVESTIGACIÓN A.C. (REDIBAI),** los cuales están a disposición de la comunidad académica interna y externa en el momento que se requieran.

La normativa editorial y repositorio se encuentran disponibles en la página **http://www.redibai-myd.org**

Doy fe.
Dr. Daniel Armando Olivera Gómez
Director Editorial
Sello Editorial: Red Iberoamericana de Academias de Investigación, A.C.
(978-607-5893)
Dublín 34, Residencial Monte Magno
C.P. 91190. Xalapa, Veracruz, México.
Cel 2282386072

EL FUTURO HOY

Prólogo

Los cambios ya no es una excepción, sino una constante. La tecnología, en sus múltiples formas, ha transformado radicalmente la manera en que vivimos, trabajamos, nos comunicamos y aprendemos. Lo que ayer parecía ciencia ficción, hoy es parte de nuestra realidad cotidiana.

Es importante explorar ese fascinante territorio donde la creatividad humana se une con el potencial tecnológico para resolver problemas, mejorar vidas y abrir caminos que antes parecían imposibles. La innovación tecnológica no es solo el resultado de grandes inventos o descubrimientos disruptivos; es también el reflejo de una mentalidad que busca mejorar continuamente, cuestionar el statu quo y atreverse a imaginar un futuro distinto.

A lo largo de estas páginas, el lector encontrará ideas, casos, reflexiones y herramientas que no solo explican el qué y el cómo de la innovación, sino que también invitan a pensar en el por qué. En un mundo donde los avances se producen a velocidad exponencial, comprender el impacto ético, social y económico de nuestras decisiones tecnológicas se vuelve tan crucial como la tecnología misma.

Este libro está dirigido a estudiantes, profesionales, emprendedores y a todos aquellos que creen que el futuro se construye con visión, colaboración y audacia. Porque, al final, la verdadera innovación no ocurre en los laboratorios ni en las grandes corporaciones: ocurre cuando una persona se atreve a hacer las cosas de forma diferente.

Que estas páginas sirvan como inspiración y guía para quienes están listos para ser parte activa de esa transformación.

ÍNDICE

DISEÑO DE UN SISTEMA DE MEDICIÓN DE ESTRÉS TÉRMICO
Rosario Castro García
Ana Roselyn Pérez Méndez
Mario Pérez Acosta 1

ESTUDIO PRELIMINAR DE LA EXTRACCIÓN DE ANTIOXIDANTES A PARTIR DEL RASTROJO DE AMARANTO
Juana Mora Rojas
Cirilo Nolasco Hipolito
María de Jesús García Gómez 15

HIDRÓLISIS ENZIMÁTICA DEL XILANO DEL RASTROJO DE AMARANTO PARA LA OBTENCIÓN DE XOS
Alma Vazquez Ojeda
María de Jesús García Gómez
José Alfredo Garcidueñas Paz 32

SOCIAL BOTS DETECTION IN TWITTER / X USING DEEP LEARNING
Benito Samuel López Razo
José Israel Campero Domínguez
Víctor Hugo de la O Martínez
Nicolas Trejo de la Cruz 42

¿DE QUE MANERA LA INDUSTRIA TURÍSTICA DEL CARNAVAL DE VERACRUZ AFECTA LA FAUNA Y FLORA MARINA DEL PUERTO DEBIDO A LA GENERACIÓN DE MICRO PLÁSTICOS?
JAdlen Airam Becerra Herrera
Flor Virginia León
Marco Antonio Gómez León 51

LA IMPORTANCIA DE LA IMPLEMENTACIÓN DE LAS TIC'S EN LAS MIPyME'S
Rubí Rivas Gutiérrez
Julia Rivera Moreno
María de los Ángeles Camacho Morales 67

ANÁLISIS DEL SISTEMA DE ILUMINACIÓN Y EFICIENCIA ENERGÉTICA DE LA UNIDAD ADMINISTRATIVA DE SALUD DE SAN ANDRÉS TUXTLA, VERACRUZ
Belén Buccio Mendoza
Olaya Pirene Castellanos Onorio
Mario Díaz González
Pablo Alberto Victoria Castillo 77

ÍNDICE

ANÁLISIS FISICOQUÍMICO COMPARATIVO ENTRE UNA GALLETA LIBRE DE GLUTEN ADICIONADA CON FIBRA DE LA CÁSCARA DE PIÑA (PREBIÓTICO) Y UNA GALLETA COMERCIAL
Mónica Rivera Rivera
Marco Antonio Godinez Ruiz
Rebeca Gloria Tejeda..... 88

IMPLEMENTACIÓN DE DISPOSITIVO AÉREO NO TRIPULADO CONTROLADO A DISTANCIA PARA OPTIMIZAR LA INSPECCIÓN Y MANTENIMIENTO DE LAS LÍNEAS DE ALTA TENSIÓN DEL DEPARTAMENTO DE LÍNEAS DE SUBTRANSMISIÓN EN LA DIVISIÓN ORIENTE DE LA ZONA DEL PAPALOAPAN DE EMPRESA GENERADORA Y DISTRIBUIDORA DE ENERGÍA ELÉCTRICA
Yamilet Salomón Ruiz
Leonardo Estrada Tijerina
Cynthia Ivette Velázquez Bustos..... 101

OBTENCIÓN DE XILOOLIGOSACÁRIDOS POR FERMENTACIÓN SÓLIDA DEL RASTROJO DE AMARANTO (Amaranthus hypochondriacus)
Hazaribagh García Candelaria
María de Jesús García Gómez
Oscar Núñez Gaona..... 112

COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL RASTROJO DE AMARANTO (Amaranthus hypochondriacus) COMO FUENTE DE BIOMÓLECULAS
Hazaribagh García Candelaria
José Alfredo Garcidueñas Paz
María de Jesús García Gómez..... 128

LA ALFABETIZACIÓN ENERGÉTICA EN ESTUDIANTES DE NIVEL MEDIO SUPERIOR: UN ANÁLISIS DE DIFERENCIA POR GÉNERO
Sergio Hernández Mejía
Mario Hernández Vargas..... 146

XILANASAS FÚNGICAS PRODUCIDAS POR FERMENTACIÓN SÓLIDA DEL RASTROJO DE AMARANTO
José Alfredo Garcidueñas Paz
Jesús Carillo Ahumada
María de Jesús García Gómez..... 161

DISEÑO DE UN SISTEMA DE MEDICIÓN DE ESTRÉS TÉRMICO

Rosario Castro García[1]
Ana Roselyn Pérez Méndez[2]
Mario Pérez Acosta [3]

RESUMEN

El Sistema de Medición de Estrés Térmico (SMET) permite evaluar condiciones laborales en relación con ambientes calurosos, con el propósito de proteger la salud de los trabajadores. Su objetivo es medir y monitorear el estrés térmico mediante el diseño de un aparato de medición (MX/u/2024/000349), el cual utiliza sensores para registrar la temperatura ambiental (en los tres puntos que establece la NOM-015-STPS-2001) e indicadores fisiológicos como la temperatura basal y el ritmo cardiaco. También se propone un método de medición basado en triangulación, que consiste en ubicar el equipo de medición en tres puntos estratégicos cercanos a la fuente de calor, permitiendo mediciones precisas de la temperatura.

Este enfoque integral de medición permite un monitoreo constante y adaptado a las condiciones térmicas del lugar de trabajo. Los datos obtenidos facilitan la toma de decisiones en tiempo real sobre la seguridad y el bienestar de los trabajadores, optimizando tanto su salud como la productividad en ambientes de trabajo demandantes. El sistema de medición fundamenta la toma de decisiones para la implementación de medidas de protección efectivas, que permitan minimizar los riesgos de golpes de calor y otros trastornos relacionados con el estrés térmico en la salud de los trabajadores.

Palabras clave: Seguridad ocupacional, Medioambiente, Estrés térmico, Instrumentación y control.

ABSTRACT

The Thermal Stress Measurement System (SMET) allows for the evaluation of working conditions in hot environments, with the aim of protecting workers' health. Its objective is to measure and monitor thermal stress through the design of a measuring device (MX/u/2024/000349), which uses sensors to record ambient temperature (at the three points established by NOM-015-STPS-2001) and physiological indicators such as basal temperature and heart rate. A triangulation-based

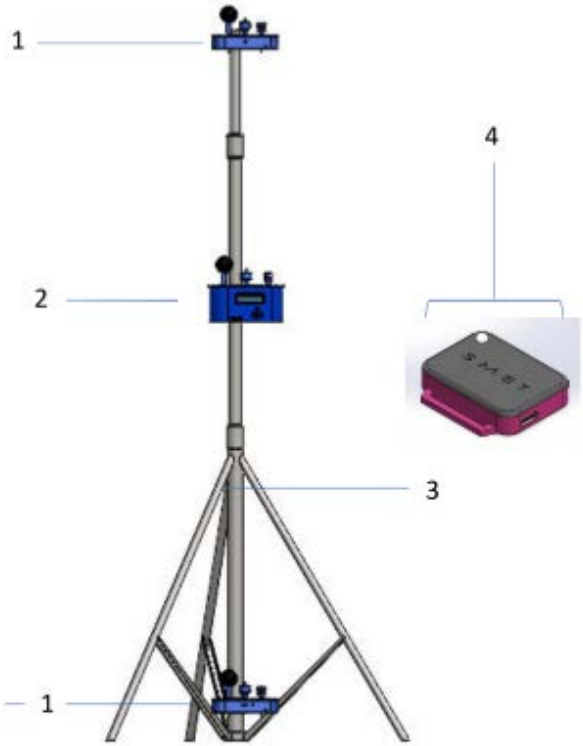
[1] Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico Superior de Misantla. rcastrog@itsm.edu.mx
[2] Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico Superior de Misantla. arperezm@itsm.edu.mx
[3] Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico Superior de Misantla. marioperez@itsm.edu.mx

measurement method is also proposed, which involves placing the measuring equipment at three strategic points near the heat source, allowing for precise temperature measurements.
This comprehensive measurement approach enables continuous monitoring adapted to the thermal conditions of the workplace. The data obtained facilitates real-time decision-making regarding worker safety and well-being, optimizing both their health and productivity in demanding work environments. The measurement system provides the basis for decision-making regarding the implementation of effective protective measures, minimizing the risks of heat stroke and other heat-related health problems for workers.
Keywords: Occupational safety, Environment, Heat stress, Instrumentation and control.

INTRODUCCIÓN

La gestión del estrés térmico en el entorno laboral representa un factor fundamental para prevenir alteraciones fisiológicas en los trabajadores y asegurar niveles óptimos de productividad. Con el propósito de cumplir con los lineamientos establecidos en la **NOM-015-STPS-2001**, relativos a la exposición a condiciones térmicas extremas, se diseña un **Sistema de Medición de Estrés Térmico (SMET)** que combina tecnología de instrumentación ambiental y monitoreo fisiológico en tiempo real.
El sistema contempla integrar tres módulos de medición ambiental, cada uno equipado con sensores digitales para registrar temperatura de globo (Tg), bulbo húmedo (Tbh) y bulbo seco (Tbs). Estos módulos se montan en un soporte ajustable que permite realizar lecturas simultáneas a tres alturas normalizadas, conforme a los criterios ergonómicos establecidos en la normativa. Paralelamente, se consideró, incorporar un brazalete con sensores biométricos para medir temperatura basal y frecuencia cardiaca del trabajador, con el fin de registrar su respuesta fisiológica ante el calor ambiental. Todos los datos recopilados serán procesados por un microcontrolador **ESP32**, con capacidad de transmitir la información a una aplicación móvil para su visualización y análisis en tiempo real.

Figura 1: Instrumento de medición SME



Medidor de estrés térmico (MET), este sistema de medición cuenta con sus tres módulos (uno principal y dos secundarios), cada módulo tiene tres termómetros y el brazalete para indicadores fisiológicos.

(1) Vista frontal de los Módulos Secundarios, ubicados en dos alturas, superior e inferior.

(2) Vista frontal del Módulo Principal.

(3) Vista frontal del soporte metálico ajustable.

(4) Vista frontal del brazalete

Fuente: Propia.T

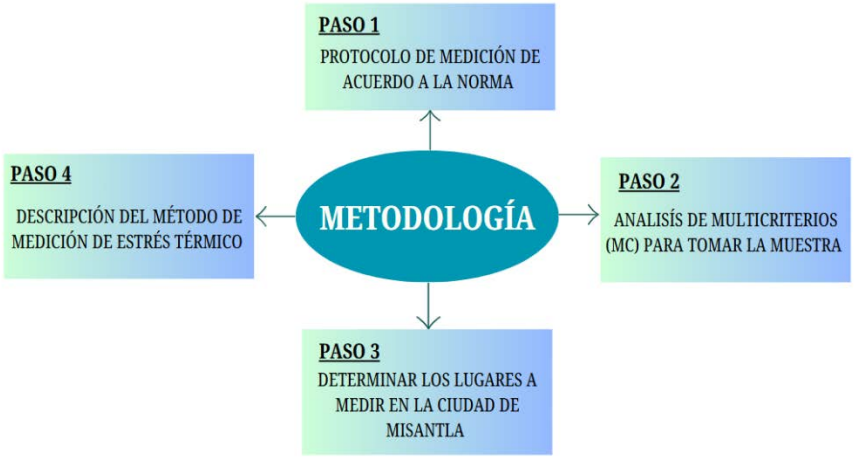
Para optimizar la precisión y representatividad espacial de las mediciones térmicas, se propone aplicar una técnica de triangulación, la cual consiste en ubicar los módulos del MET en tres puntos estratégicos alrededor de la fuente de calor: posición central, lateral e intersección de flujos térmicos. Esta configuración permite caracterizar de manera integral la exposición térmica en el área de trabajo, conforme a los procedimientos de reconocimiento, evaluación y control estipulados en la NOM.

Adicionalmente, se busca emplear este enfoque metodológico para identificar con prontitud las zonas críticas de exposición térmica, a fin de implementar medidas correctivas y preventivas como ventilación forzada, pausas supervisadas y utilización de equipos de protección personal. El objetivo final consiste en garantizar condiciones laborales más seguras, reducir el riesgo de afecciones térmicas y mejorar el desempeño de los trabajadores en ambientes calurosos.

MATERIALES Y MÉTODOS

La metodología propuesta para evaluar el estrés térmico en entornos laborales expuestos a ambientes calurosos se estructura en cuatro fases interrelacionadas:

Figura 2: Metodología para la medición del estrés térmico.



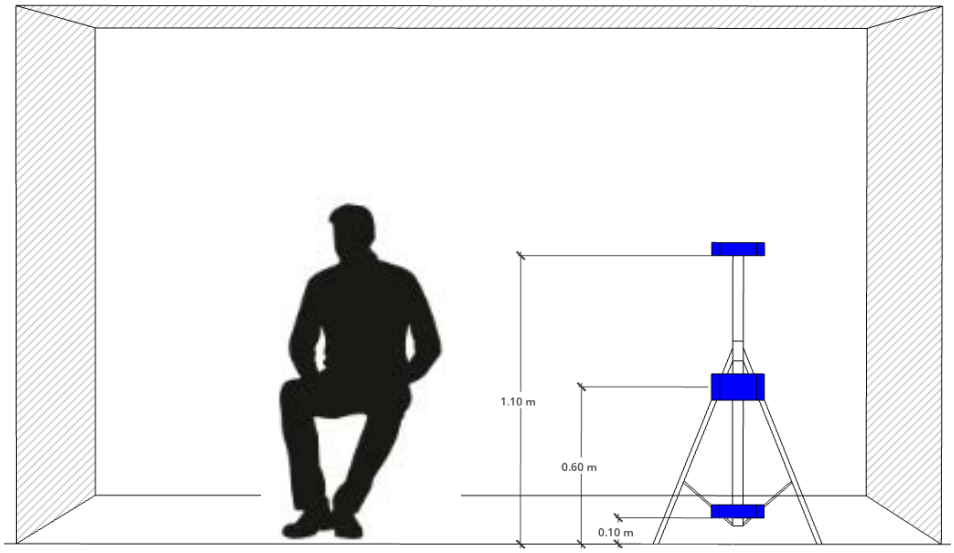
Fuente: Propia.

Paso 1. Protocolo de medición de acuerdo con la norma.

Se inicia con el diseño de un protocolo riguroso que cumpla con los requerimientos de la NOM-015-STPS-2001. Este protocolo define los parámetros ambientales a medir (temperatura de globo, bulbo húmedo y bulbo seco), las alturas normalizadas para la toma de datos, la frecuencia de muestreo y los criterios de calibración de los sensores. De este modo, se garantiza que todas las mediciones se realicen con consistencia y validez, estableciendo las bases para un análisis comparativo fiable.

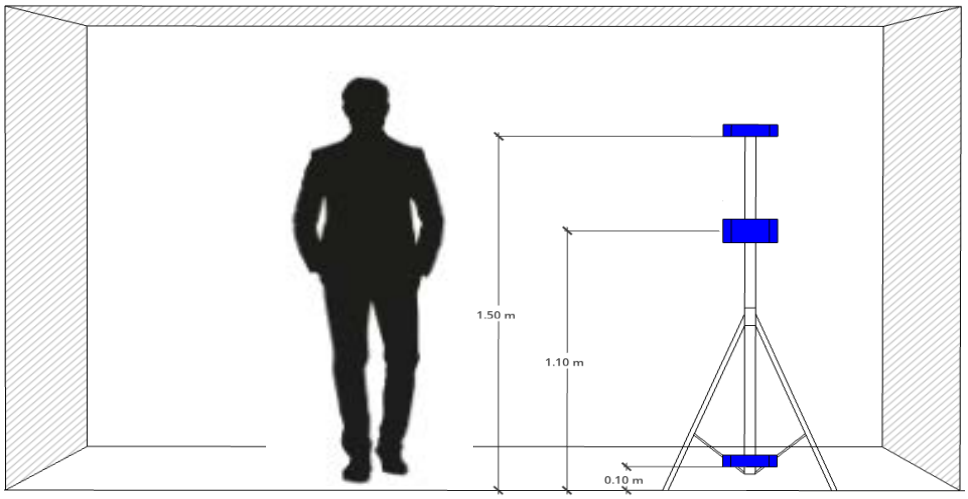
El diseño de este sistema de medición consistió en estructurar un modelo de observación cuantitativa no probabilística, orientado a registrar datos ambientales y fisiológicos de forma simultánea en tres alturas normadas: 0.1 m, 1.1 m y 1.5 m donde el trabajador se encuentra de pie, y 0.1 m, 0.6 m y 1.1 m cuando su actividad laboral es sentado, lo cual permitió caracterizar la carga térmica a nivel de extremidades inferiores, zona torácica y cabeza del trabajador. Para ello, se decidió implementar tres módulos de medición ambiental, cada uno equipado con sensores digitales de temperatura de globo (Tg), bulbo húmedo (Tbh) y bulbo seco (Tbs), montados en un soporte ajustable. Además, se consideró utilizar un brazalete con sensores biométricos, diseñado para registrar la temperatura basal y la frecuencia cardiaca del sujeto expuesto

Figura 3: Representación del ajuste de la altura del SMET en posición sentado.



Fuente: Propia.

Figura 4: Representación del ajuste de la altura del SMET en posición de pie.



Fuente: Propia.

Se optó por emplear un microcontrolador **ESP32** para centralizar la lectura de todos los sensores y transmitir los datos en tiempo real a una aplicación móvil, desarrollada con el fin de visualizar, almacenar y respaldar la información recolectada. Para garantizar la representatividad espacial de las mediciones térmicas, se decidió aplicar una técnica de triangulación que consistió en ubicar los tres módulos en puntos estratégicos respecto a la fuente de calor (posición central, lateral e intersección), asegurando una cobertura térmica completa del área de estudio.

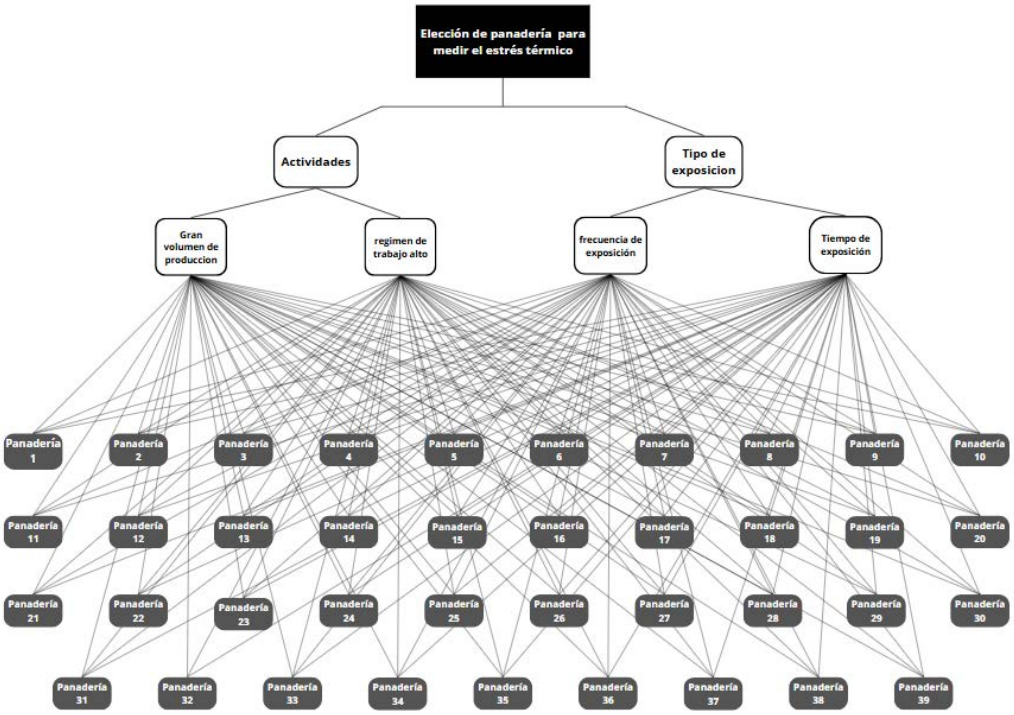
El procedimiento experimental incluyó instalar el sistema, calibrar los sensores, colocar el brazalete al sujeto, activar el sistema durante un periodo de observación definido (por ejemplo, 30 minutos), registrar los datos ambientales y fisiológicos con una frecuencia de muestreo de 10 segundos, y respaldar la información automáticamente en la base de datos vinculada a la aplicación.

Paso 2. Análisis de multicriterio (MC) para tomar la muestra.

A continuación, se aplica un análisis de multicriterio para seleccionar de forma objetiva los puestos de trabajo o áreas más representativas. Se ponderan variables como la intensidad de la carga térmica, la densidad de ocupación, la exposición al sol o a fuentes de calor, y las condiciones de ventilación. Este proceso de decisión asegura que la muestra de medición capte la mayor diversidad de situaciones y concentre los recursos en los puntos de mayor riesgo.

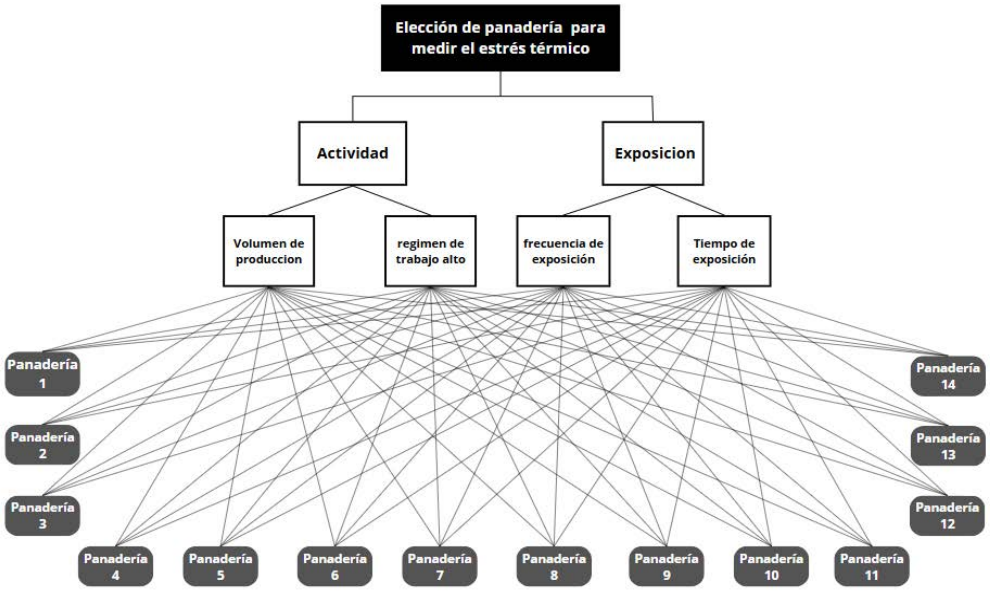
Para el análisis de datos los casos en que se realizarán mediciones fisiológicas en campo, se deberán seleccionar sujetos humanos voluntarios, específicamente trabajadores del sector panadero, de esta ciudad de Misantla. La selección para el experimento se realizó mediante un análisis multicriterio que contemplara variables como el volumen de producción, el régimen de trabajo (jornada continua o por turnos), el porcentaje de frecuencia de exposición al calor y el porcentaje de tiempo efectivo de exposición durante la jornada laboral. Estas variables permitirán identificar los entornos laborales más representativos para evaluar el estrés térmico en condiciones reales y priorizar aquellos escenarios con mayor nivel de riesgo térmico acumulado.

Figura 5: Planteamiento del análisis multicriterio para la elección de panaderías



Fuente: Propia.

Figura 6: Elección de panaderías derivado del análisis multicriterios.



Fuente: Propia.

Paso 3. Determinar los lugares a medir en la ciudad de Misantla.

Con los resultados del análisis MC, se delimita la ubicación exacta de cada estación de medición en Misantla. Se consideran factores geográficos y logísticos: accesibilidad, proximidad a procesos industriales o actividades de calor intenso, y representatividad climatológica. El mapeo previo de estos lugares facilita la planificación del recorrido de medición y la asignación de equipos y personal.

El análisis desarrollado por medio del software SuperDecisions, arrojó como resultados, cinco establecimientos (D' Orduña, El Bolillo, El Volován, Peralta y Sara), ver figura 7, estas son las variables con los índices más altos y que se consideran de más alta importancia,

Figura 7: Fundamentación para la elección de las cinco panaderías elegidas.

Name	Graphic	Ideals	Normals	Raw
Alfonso		0.577416	0.066307	0.022102
Bimbo		0.562269	0.064567	0.021522
Cafe y Reposteria Arellano		0.400524	0.045993	0.015331
D' Orduña		1.000000	0.114833	0.038278
Don Pepe		0.346485	0.039788	0.013263
El Bolillo		0.989734	0.113654	0.037885
El Volovan		0.989734	0.113654	0.037885
Juquila		0.346485	0.039788	0.013263
Ney		0.354040	0.040656	0.013552
Panaderia dos Hermanos		0.400524	0.045993	0.015331
Peralta		0.989734	0.113654	0.037885
Quetzaly		0.368014	0.042260	0.014087
Sara		0.988464	0.113508	0.037836
Zayas		0.394864	0.045343	0.015114

Fuente: Propia.

Los resultados preliminares revelaron que el panadero no permanece en un punto fijo durante su jornada, sino que se desplaza continuamente por distintas áreas de la panadería (mesones, hornos, área de fermentación), exponiéndose a variaciones significativas de temperatura y humedad. En varias mediciones se registró un índice WBGT de hasta 27.99 °C, acompañado de una humedad relativa de 66.9 % y una temperatura basal promedio de 38.9 °C. Esta dinámica de movimiento, junto con las corrientes de aire y los cambios de radiación térmica, impidieron obtener mediciones representativas con un único punto de muestreo. ya que las corrientes de aire y los cambios de radiación térmica alteraban los valores registrados. Por ello, se propuso la técnica de triangulación: al colocar el MET en tres posiciones estratégicas (central, lateral e intersección) alrededor de las fuentes de calor y a diferentes alturas, es posible cubrir todo el ambiente de trabajo y captar fielmente la variabilidad térmica a la que está sujeto el panadero en cada fase de su labor.

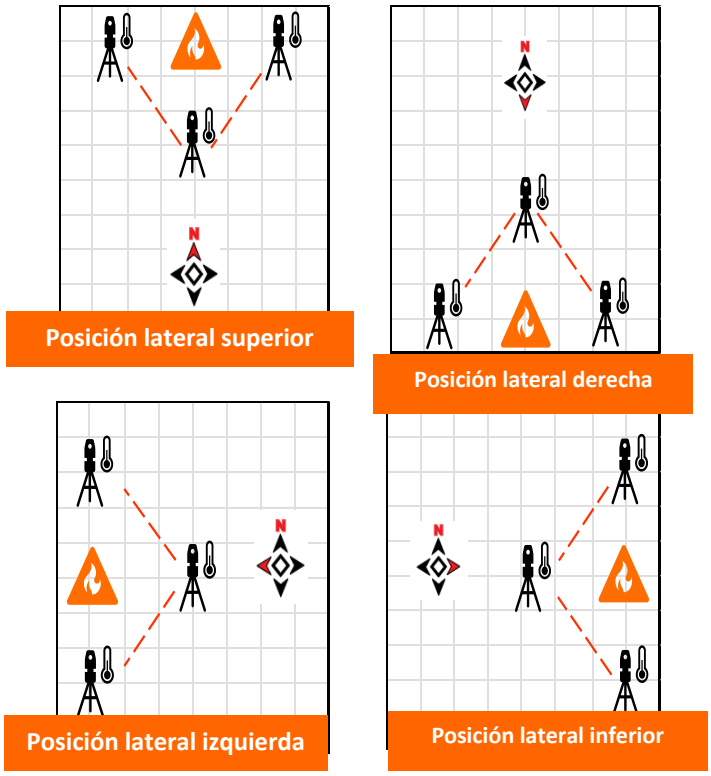
Paso 4. Descripción del método de medición de estrés térmico.

Finalmente, se detalla el procedimiento operativo: montaje del sistema de medición (tres módulos y brazalete fisiológico), ajuste de alturas según el protocolo, calibración in situ de los sensores, y ejecución de ciclos de triangulación alrededor de las fuentes de calor (central, lateral e intersección). Se especifica la forma de registrar y procesar datos ambientales y fisiológicos para el cálculo del WBGT y comparación con límites normativos. Con esta descripción, cualquier equipo de trabajo puede reproducir el método y generar información fiable para la prevención del estrés térmico.

Para analizar los datos recolectados, se procedió a calcular el **Índice de Estrés Térmico (WBGT)** utilizando la fórmula especificada por la norma correspondiente.

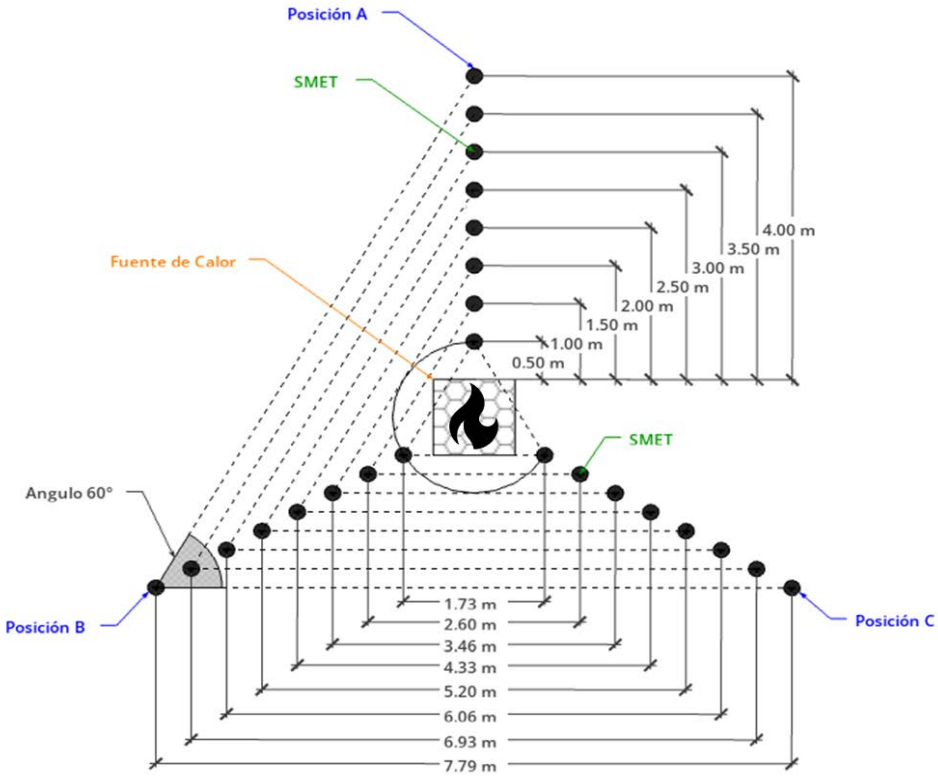
Esta metodología permitió desarrollar un modelo replicable de monitoreo térmico que, mediante la técnica de triangulación, abarca la totalidad del entorno laboral. Así, se cuantifica con mayor precisión la exposición del trabajador al estrés térmico y al incremento del gasto metabólico asociado, factores que pueden desencadenar diversos trastornos fisiológicos por calor. Su diseño modular y adaptable facilita su aplicación en distintos sectores industriales, proporcionando datos fiables que respaldan la toma de decisiones preventivas para salvaguardar la salud y la seguridad del personal.

Figura 8: Protocolo para el posicionamiento del MET



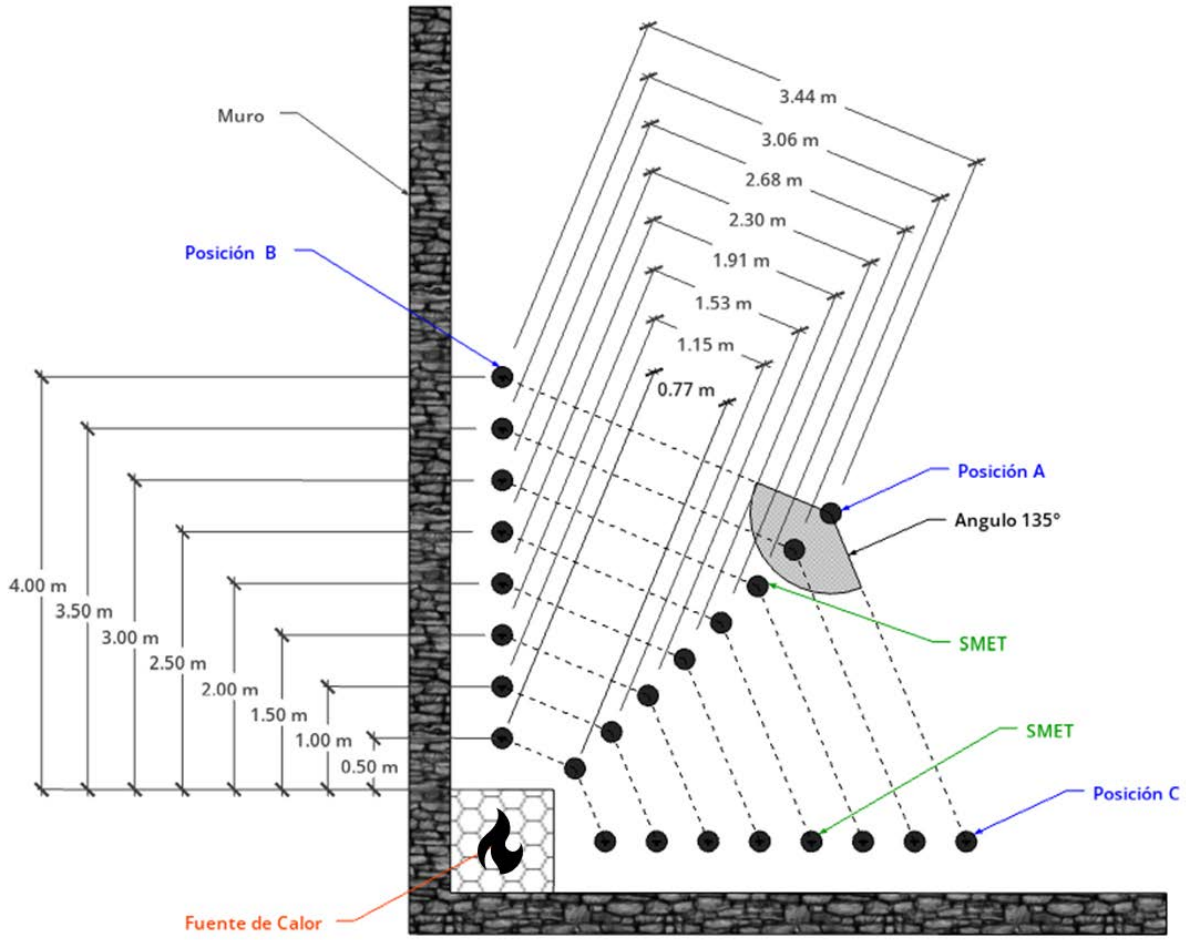
Fuente: Propia

Figura 9: Mapa de puntos de medición con la fuente de calor al centro del área de trabajo.



Fuente: Propia.

Figura 10: Mapa de puntos de medición con la fuente de calor en esquina del área de trabajo.



Fuente: Propia.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A continuación, se exponen los resultados clave que esta propuesta de Sistema de Medición de Estrés Térmico (SMET) pretende alcanzar:

Precisión de las mediciones ambientales.

El SMET realiza lecturas simultáneas de temperatura de globo (T_9), bulbo húmedo (T bh) y bulbo seco (T db) mediante tres módulos provistos con nueve termómetros digitales, lo que resulta en una significativa disminución de la variabilidad al tomar la muestra. A diferencia del procedimiento convencional, que limita la medición a un único punto y puede verse afectado por corrientes de aire o cambios climáticos, nuestra técnica de triangulación (en configuraciones central, lateral e intersección) cubre un área mayor de irradiación térmica. De este modo, se obtienen valores de WBGT más representativos de las condiciones ambientales y se identifican claramente las zonas críticas que requieren intervención.

Mediciones fisiológicas.

El brazalete integrado al sistema registra continuamente la frecuencia cardiaca y la temperatura basal de los trabajadores durante turnos de dos horas. Estos datos permiten comprobar si se superan los límites recomendados en la norma UNE-EN ISO 9886 y, al mismo tiempo, evaluar con exactitud la carga de trabajo térmico a la que está expuesto el personal, facilitando la toma de decisiones para garantizar su seguridad y bienestar.

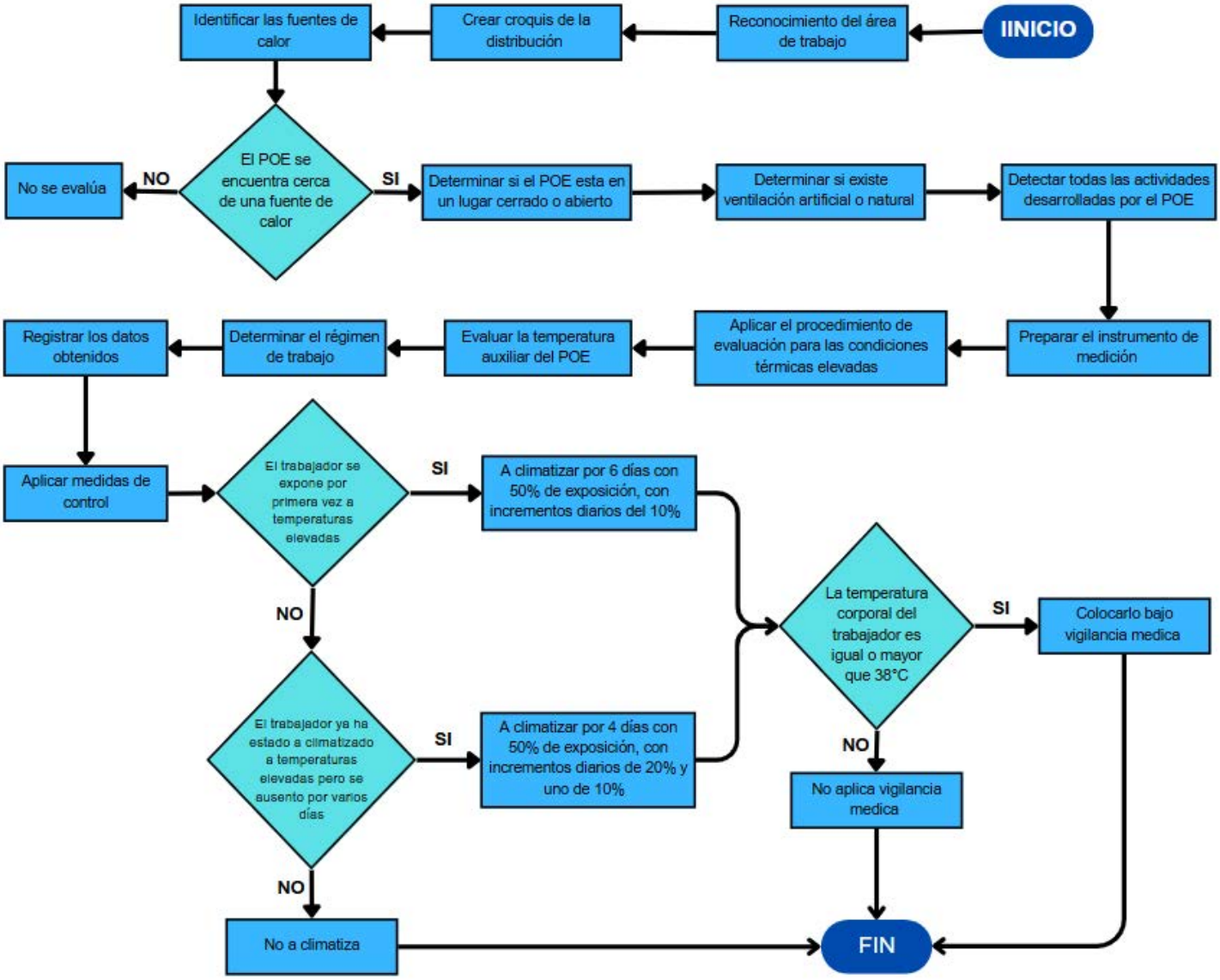
La adopción de la técnica de triangulación para la medición del WBGT en entornos laborales críticos ha demostrado ser más eficaz que la metodología de punto único establecida por la norma ISO 7243 y la NOM-015-STPS-2001. Mientras que estos estándares sugieren una única lectura del índice en un punto representativo del área, diversos estudios han señalado que esta práctica puede subestimar la heterogeneidad térmica de espacios amplios o con múltiples fuentes de calor (González et al., 2017; Martínez y Pérez, 2019). Al posicionar el MET en tres ubicaciones estratégicas (central, lateral e intersección) se logra una cobertura de medición de hasta 20 m², lo que permite captar variaciones locales de hasta 5.7 °C en WBGT durante un mismo ciclo. Este rango supera con creces la variabilidad detectada con mediciones convencionales, favoreciendo una evaluación más representativa y fiable de las condiciones reales de trabajo.

Comparando nuestros resultados con los límites de exposición de UNE-EN ISO 9886, observamos que la triangulación anticipa con mayor precisión los episodios de sobrecarga térmica fisiológica, ya que correlaciona puntos de alta irradiación con aumentos de frecuencia cardiaca y temperatura basal por encima de los umbrales de seguridad. Esta congruencia refuerza la validez del método propuesto y sus fortalezas frente a las lecturas aisladas, que pueden dejar zonas críticas sin detectar.

Desde la perspectiva normativa, nuestro enfoque no contradice los métodos existentes, sino que las complementa, aportando un procedimiento sistemático para implementar múltiples puntos de medición sin incurrir en errores por corrientes de aire o cambios bruscos de clima. No obstante, se reconocen limitaciones prácticas: la necesidad de entrenamiento del personal para el montaje preciso de módulos y la mayor complejidad logística al realizar triangulaciones en áreas de trabajo activas. Futuras investigaciones podrían optimizar la automatización del posicionamiento mediante sensores inalámbricos y algoritmos de autocalibración.

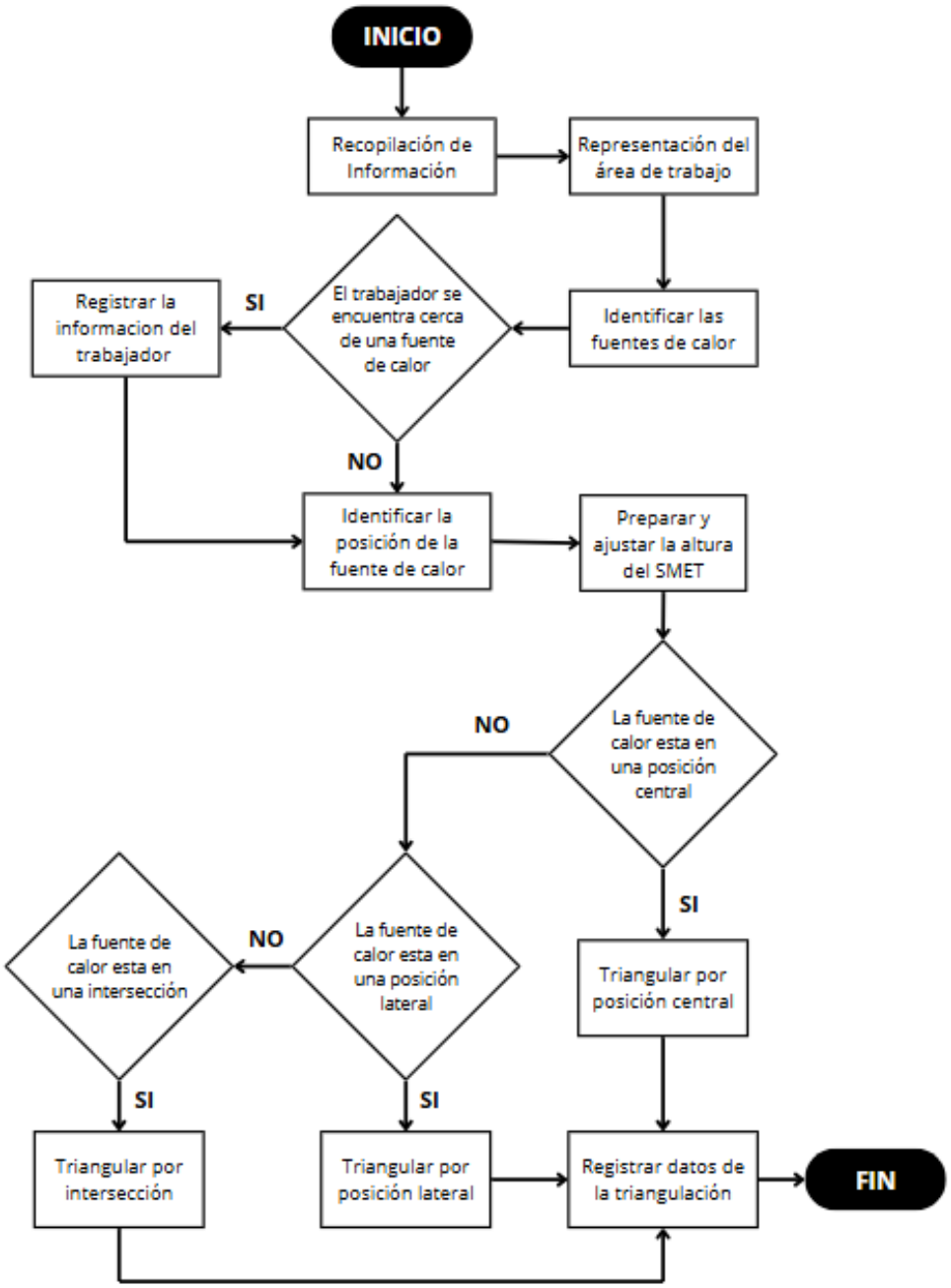
En conjunto, la triangulación propuesta amplía el conocimiento en el campo del estrés térmico ocupacional, contribuyendo a mejorar las estrategias de prevención y protección del trabajador, estableciendo así un puente metodológico entre las recomendaciones normativas y las mejores prácticas de instrumentación.

Figura 11: Protocolo de medición normado por la NOM-015-STPS-2001



Fuente: Propia

Figura 12: Protocolo de medición diseñado en el SMET.



Fuente: Propia.

CONCLUSIÓN

El método propuesto de triangulación para el Sistema de Medición de Estrés Térmico (SMET) promete mejorar significativamente la representatividad de las mediciones ambientales, al ubicar simultáneamente tres módulos con sensores de globo, bulbo húmedo y bulbo seco en posiciones central, lateral e intersección. Se espera cubrir áreas de hasta 20 m² y capturar variaciones locales de

WBGT que podrían oscilar entre 28.5 °C y 34.2 °C, facilitando la identificación de zonas críticas que requieran intervención. De igual forma, la integración de un brazalete para el registro de frecuencia cardíaca y temperatura basal permitirá evaluar la carga térmica fisiológica conforme a los criterios de UNE-EN ISO 9886 y los límites de la NOM-015-STPS-2001.

Las principales aportaciones de esta propuesta radican en su capacidad para disminuir la variabilidad propia de las mediciones puntuales, ofrecer una cobertura espacial ampliada del calor en el área de trabajo y combinar datos ambientales con parámetros fisiológicos en tiempo real. Este enfoque metodológico, aunque aún por validar experimentalmente, establece un marco robusto para diseñar futuros estudios y estrategias de prevención del estrés térmico, contribuyendo al conocimiento y las buenas prácticas en seguridad y salud ocupacional en entornos de altas temperaturas.

REFERENCIAS

Asociación Española de Normalización. (2004). UNE-EN ISO 9886:2004. Ergonomía — Evaluación de la sobrecarga térmica mediante mediciones fisiológicas. AENOR.

González, A., Ramírez, L., & Ruiz, J. (2017). Variabilidad térmica en ambientes de trabajo industriales. Revista de Salud Ocupacional, 23(2), 45–53.

International Organization for Standardization. (1982). ISO 7243:1982. Ergonomics of the thermal environment — Assessment of heat stress using the WBGT index. ISO.

Martínez, R., & Pérez, L. (2019). Limitaciones de la medición puntual del WBGT en espacios amplios. Ingeniería y Prevención, 12(4), 15–22.

Peñafiel Villarreal, F. M. (2013). Gestión del riesgo asociado al estrés térmico en el proceso de vaciado de pocetas sanitarias de fábrica EDESA (Tesis de maestría). Escuela Politécnica Nacional.

Secretaría del Trabajo y Previsión Social. (2001). NOM-015-STPS-2001: Condiciones de seguridad e higiene para la prevención de riesgos por trabajo en calor extremo o abatido. Diario Oficial de la Federación.

United States Department of Labor, Occupational Safety and Health Administration. (2019). Prevención de enfermedades y lesiones relacionadas con el calor en entornos de trabajo interiores y al aire libre [Documento en español]. OSHA.

World Health Organization. (2015). Heat regulatory framework [Marco regulatorio sobre calor extremo; versión en español]. OMS.

ESTUDIO PRELIMINAR DE LA EXTRACCIÓN DE ANTIOXIDANTES A PARTIR DEL RASTROJO DE AMARANTO

Juana Mora Rojas[1]
Cirilo Nolasco Hipolito[2]
María De Jesús García Gómez[3]

RESUMEN

El amaranto (Amaranthus hypochondriacus) es una planta prehispánica cultivada en México, que genera grandes volúmenes de residuos agrícolas tras la cosecha, conocidos como rastrojo. Estos residuos son comúnmente subutilizados o quemados, lo que representa un problema ambiental. No obstante, el rastrojo es un material lignocelulósico rico en celulosa, hemicelulosa y lignina, que puede contener compuestos bioactivos como los polifenoles, con reconocida actividad antioxidante. Este estudio tiene como objetivo valorizar dicho rastrojo mediante la extracción físico-química de compuestos fenólicos, tanto libres como ligados a la matriz vegetal. La metodología considera la recolección, secado, molienda y tamizado del rastrojo, seguido de un análisis químico proximal. Se aplicarán dos métodos de extracción: uno acuoso para recuperar polifenoles libres, y otro basado en hidrólisis ácida para obtener los compuestos ligados. La concentración de fenoles se determinará con el reactivo de Folin-Ciocalteu, y la actividad antioxidante se evaluará con ensayos DPPH y ABTS. Se espera obtener extractos ricos en antioxidantes con potencial aplicación en las industrias alimentaria, farmacéutica y cosmética. En conclusión, este estudio busca demostrar que el rastrojo de amaranto puede ser aprovechado como fuente sostenible de antioxidantes, promoviendo el uso integral de recursos agroindustriales y reduciendo el impacto ambiental.

Palabras clave: rastrojo de amaranto, polifenoles, extracción físico-química, actividad antioxidante.

ABSTRACT

Amaranth (Amaranthus hypochondriacus) is a pre-Hispanic plant cultivated in Mexico, which generates large volumes of agricultural residue after harvest, known as stubble. This residue is commonly underutilized or burned, posing an environmental problem. However, stubble is a lignocellulosic material rich in cellulose, hemicellulose, and lignin, which may contain bioactive compounds such as

[1] Universidad del Papaloapan. juanitarojas320@gmail.com
[2] Universidad del Papaloapan. cnolasco@unpa.edu.mx @gmail.com
[3] Universidad del Papaloapan. unpal7@gmail.com

polyphenols, with recognized antioxidant activity. This study aims to valorize this stubble through the physicochemical extraction of phenolic compounds, both free and bound to the plant matrix. The methodology involves the collection, drying, grinding, and sieving of the stubble, followed by proximate chemical analysis. Two extraction methods will be applied: an aqueous method to recover free polyphenols, and another based on acid hydrolysis to obtain bound compounds. The concentration of phenols will be determined using the Folin-Ciocalteu reagent, and the antioxidant activity will be evaluated with DPPH and ABTS assays. The aim is to obtain antioxidant-rich extracts with potential applications in the food, pharmaceutical, and cosmetic industries. In conclusion, this study seeks to demonstrate that amaranth stubble can be used as a sustainable source of antioxidants, promoting the comprehensive use of agro-industrial resources and reducing environmental impact.
Keywords: amaranth stubble, polyphenols, physicochemical extraction, antioxidant activity.

INTRODUCCIÓN

El amaranto (Amaranthus *hypochondriacus*) es un cultivo prehispánico de México, su rendimiento aproximado por hectárea es de 1.1 a 6 toneladas de grano, y 3.8 a 4.1 toneladas de hoja lo que genera anualmente alrededor de 271,100 toneladas de residuos agrícolas llamados “rastrojo de amaranto” (Moyer 2022). El uso del rastrojo de amaranto es muy limitado, se abandona en el campo como abono vegetal, se usa como forraje para animales y en la mayoría de las veces es quemado (Soriano-Santos et al., 2004), representando un problema de contaminación. El rastrojo de amaranto es un material lignocelulósico compuesto principalmente de celulosa, hemicelulosas y lignina, representando una importante fuente de moléculas con aplicación biotecnológica. Actualmente, no existe un estudio integral del rastrojo de amaranto, por lo que el objetivo de este trabajo es valorizar este material lignocelulósico obteniendo compuestos biofuncionales como: fibra dietética, antioxidantes y prebióticos (Akin et al., 1993)

MARCO TEÓRICO

Amaranto

El amaranto es una planta que se denomina pseudocereal, puesto que produce granos tipo cereal. Es una planta de crecimiento rápido. El amaranto puede crecer en climas calientes y templados donde el suministro de agua es limitado; es tolerante a condiciones áridas y suelos pobres, condiciones que son altamente adversas para el cultivo de cereales.

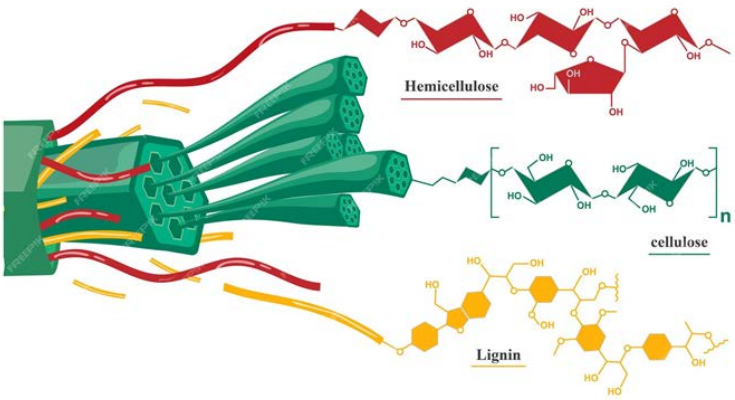
En la república mexicana, las zonas de producción y cultivo de amaranto son las mismas de la época precolombina, es decir, Ciudad de México, Jalisco, Estado de México, Morelos, Oaxaca, Puebla y Tlaxcala.

Las especies de amaranto tienen usos múltiples y son hortalizas ampliamente aclimatadas a diferentes tipos de estrés abiótico, incluidas la sequía y la salinidad. *A. hypochondriacus* Tiene una gran diversidad y plasticidad fenotípica. Sus hojas jóvenes de sabor suave y los tallos comestibles y jugosos de *A. hypochondriacus* se utilizan popularmente como verduras de hoja en la India, Bangladesh, Asia y África debido a sus valores nutritivos y su sabor. *A.hypochondriacus* contiene taninos que le proporcionan un sabor astringente. Tradicionalmente, se utiliza internamente para el tratamiento de la diarrea, la menstruación excesiva, para hacer gárgaras para aliviar la inflamación de la faringe, mejorar la curación de las úlceras bucales y externamente para las hemorragias nasales y las heridas (Soriano-García & Aguirre-Díaz, 2019).

Componentes estructurales del material lignocelulósico

Los materiales lignocelulósicos, incluyen productos de origen agrícola y forestal, están constituidos por tres polímeros estructurales; celulosa, hemicelulosas y lignina (Fig. 1); además compuestos de bajo peso molecular solubles en agua (fracción hidrosoluble) o solventes orgánicos (los denominados extraíbles). También presentan concentraciones bajas de proteínas, lípidos y sales minerales (Vegas et al., 2004)

Fig. 1 Esquema de la pared celular vegetal



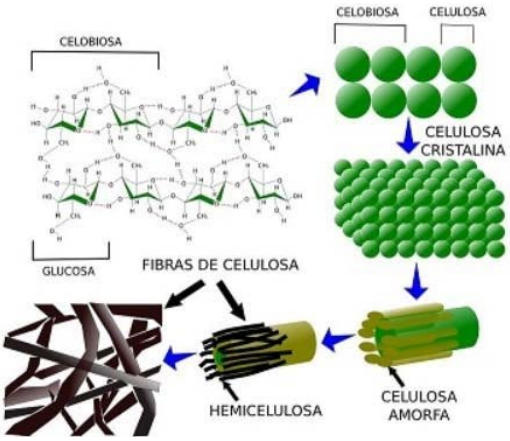
Fuente: Tomado de (Rodney, 2023)

a) Celulosa

Es uno de los biopolímeros más abundantes en la Naturaleza, constituye uno de los componentes estructurales de la pared celular de las células vegetales. Es un polímero lineal, cuya unidad básica

es la D-glucosa que se polimeriza mediante un enlace glucosídico en la configuración -(1-4) (Fig. 2). En la pared celular, las cadenas de celulosa se agregan formando microfibrillas que constituyen el elemento base de los materiales celulósico (Vegas *et al*., 2004 y Ferreira, *et al*., 1993).

Fig. 2 Esquema de la estructura de la celulosa



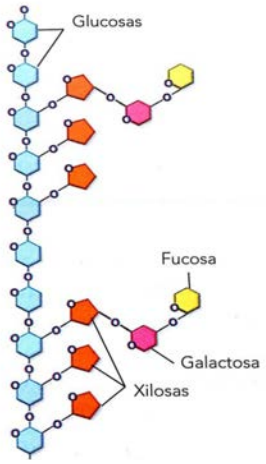
Fuente: Tomado de (*Química Orgánica Industrial*, s. f.)

b) Hemicelulosa

Son polisacáridos químicamente heterogéneos, constituidos por diferentes unidades de monosacáridos incluyendo pentosas (xilosa y arabinosa), hexosas (glucosa, manosa y galactosa) y ácidos urónicos, enlazados entre sí por enlaces glicosídicos (Fig. 3), formando estructuras ramificadas y en general amorfas. Algunas hemicelulosas están asociadas a la porción celulósica, mientras que otras lo están con la lignina. Actúan como matriz soporte para las microfibrillas de celulosa en la pared celular, y son de menor masa molecular, accesibles, fácilmente degradables y fáciles de disolver que la celulosa. Las hemicelulosas tienen una considerable variación, especialmente entre las coníferas y las latifoliadas. En el caso de la madera de coníferas se suele apreciar una mayor cantidad de manosa y galactosa mientras que la xilosa y los grupos acetilos son más abundantes en las latifoliadas (vegas et al.,2004).

La hemicelulosa es fuente de xilooligosacáridos, cuya actividad prebiótica se observa en el tracto digestivo humano coadyuvando en el crecimiento de bifidobacterias; y xilosa que por fermentación es útil para la obtención de xilitol, que es un edulcorante bajo en calorías (Vegas et al., 2004).

Fig. 3 Esquema de la estructura de la hemicelulosa

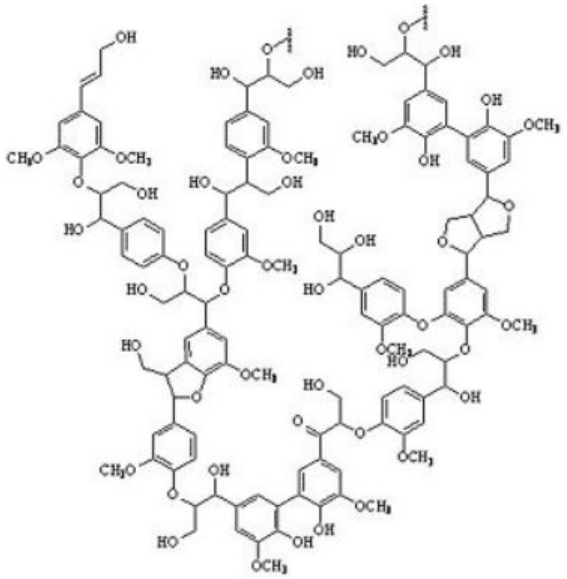


Fuente: Tomado de (Hemicelulosa, 2016)

c) Lignina

Es un polímero aromático formado por la condensación oxidativa de precursores fenólicos, ramificado y amorfo. La lignina es un componente característico de la pared celular de las plantas y su función principal es actuar como material incrustante en las paredes de las fibras y como cemento en la lámina media. De esta forma protege a la celulosa del ataque microbiano y confiere estructura, resistencia e impermeabilidad a los materiales lignificados. La lignina se forma por polimerización oxidativa de tres alcoholes p-hidroxicinamílicos, p-cumarílico (4-hidroxicinamílico), coniferílico (4-hidroxi-3-metoxicinamílico) y sinapílico (4-hidroxi-3,5-dimetoxicinamílico) , dando lugar a una red tridimensional con diferentes tipos de enlaces (Fig. 4) (Vegas *et al*., 2004).

Fig. 4 Esquema de la estructura de la lignina



Fuente: Tomado de (Maceda et al., 2021)

d) Compuestos minoritarios

Los compuestos minoritarios representan una fracción pequeña del peso total del material lignocelulósico. En general, se clasifican en compuestos extraíbles, proteínas y cenizas (principalmente metales). Aunque están presentes en concentración baja, desempeñan funciones fisiológicas de vital importancia.

Los compuestos extraíbles, son compuestos de bajo peso molecular en comparación con los otros constituyentes de la pared celular (biopolímeros); se clasifican según su solubilidad en compuestos lipofílicos (lípidos y derivados) y compuestos hidrofílicos (hidrosolubles).

Los lípidos determinan en muchas plantas el olor, color y gusto. Además, son importante en la defensa contra patógenos.

Los compuestos fenólicos libres, también conocidos como fenoles libres, son moléculas que contienen uno o más grupos hidroxilo (-OH) unidos a un anillo aromático (como el benceno), y son importantes por sus propiedades antioxidantes y su papel en la salud. Se pueden clasificar en diferentes grupos, como ácidos fenólicos, flavonoides, taninos, estilbenos y Lignanos (Albuquerque et al., 2020).

Los extraíbles lipofílicos consisten principalmente en ácidos y alcoholes grasos libres, ácidos resínicos, hidrocarburos, terpenoides, esteroides (sitosteroles libres y esterificados con ácidos grasos y compuestos glicosídicos), glicéridos libres y esterificados y ceras). Mientras que los extraíbles hidrosolubles son más polares como los compuestos fenólicos libres, el estilbeno, lignanos (oligolignoles y derivados), taninos, flavonoides, etc.

Los compuestos fenólicos son las principales sustancias que se forman en el metabolismo secundario de las plantas. Son responsables de la pigmentación y la astringencia, y también actúan como agentes protectores contra la luz ultravioleta, además de proteger a las plantas de parásitos e insectos. Estos compuestos se encuentran en una gran diversidad de matrices, como frutas y verduras, entre otras (Moyer, 2022). Además, los compuestos fenólicos destacan por su potente actividad antioxidante, ya que actúan neutralizando radicales libres y previniendo el daño oxidativo en células vegetales y animales, lo que los convierte en aliados clave tanto en la defensa de las plantas como en la promoción de la salud humana.

Complejos de lignina-carbohidratos (LCC)

El entrecruzamiento hace que no se puede tratar las fibras lignocelulósicas como fracciones separadas de celulosa, hemicelulosa y lignina. Estás fracciones se encuentran en complejos presentes en la pared primaria y secundaria (Ishii, 1997). Parte de la lignina está presente en complejos con carbohidratos, los denominados LCC (´lignin-carbohydrate complexes´). Ligninas extraídas, por ejemplo, con dioxano: agua según Björkman (1956), no son puras. Contienen inevitablemente una

fracción residual de carbohidratos. La presencia de los biopolímeros de la pared celular en dichos complejos limita el aprovechamiento de celulosa como en la producción de papel y en hidrólisis (enzimática) y fermentaciones para convertir la celulosa. El fraccionamiento eficiente es un reto en los procesos de refinería, no sólo en cuanto a rendimiento de producto sino también en cuanto a la pureza para optimizar la conversión en productos.

Para fraccionar estos complejos se usan técnicas específicas dependiendo de la estructura de la lignina según el tipo de especie, la parte anatómica y la madurez de la planta (Akin *et al.*, 1993).

Despolimerización de la lignina

Para transformar la lignina se han desarrollado procedimientos químicos y biológicos que la despolimerizan de forma selectiva y gradual (Domínguez-González *et al*., 2018).

1) Método biológico

Se utilizan microorganismos ligninolíticos, como bacterias y hongos, que secretan enzimas que rompen los enlaces químicos de la lignina, liberando compuestos más pequeños y accesibles. Las enzimas clave en este proceso son la lignino peroxidasa, el manganeso peroxidasa y la lacasa. Los hongos basidiomicetos de podredumbre blanca y otros microorganismos como *Aspergillus* y *Penicillium* son ejemplos de organismos que pueden llevar a cabo la despolimerización de la lignina (Baltierra-Trejo *et al*., 2015). Este método es una alternativa más sostenible a los métodos químicos tradicionales para la degradación de la lignina, que pueden ser perjudiciales para el medio ambiente (Suárez y Bullon, 2020).

2)Métodos químicos

a) Proceso Kraft: En este proceso, la madera se trata con una solución alcalina a altas temperaturas y presiones, lo que conduce a la despolimerización de la lignina (Tanis et al., 2023)

b) Proceso Organosolv: En este proceso, la lignina se extrae del tejido vegetal utilizando solventes orgánicos, lo que permite obtener una lignina más pura y de menor peso molecular (Suárez y Bullon, 2020).

c) Acidólisis

La despolimerización de la lignina en medio ácido implica la ruptura de los enlaces que unen las unidades de lignina, formando compuestos más pequeños y solubles. Este proceso, también conocido como acidólisis, es un método común para obtener derivados de la lignina (Chávez-Sifontes y Domine, 2013). La acidólisis, o despolimerización en medio ácido, es un método efectivo para romper los enlaces de la lignina, especialmente los enlaces β-O-4, que son comunes en la estructura de la lignina (Saavedra *et al*., 2017). Los ácidos catalizan la hidrólisis de los enlaces éter, que son comunes en la estructura de la lignina, lo que conduce a la formación de productos más pequeños y solubles.

Los productos de la despolimerización de la lignina en medio ácido pueden incluir monómeros, dímeros y otros compuestos aromáticos, dependiendo de las condiciones del proceso. La lignina despolimerizada puede ser utilizada para la producción de compuestos de alto valor añadido, como combustibles, aditivos y materiales (García-Rollán *et al*., 2023).

- Ventajas de la despolimerización en medio ácido:

  Eficiencia: La acidólisis es un método relativamente eficiente para romper los enlaces de la lignina.

  Versatilidad: La lignina despolimerizada puede ser utilizada para una variedad de aplicaciones.
- Desventajas de la despolimerización en medio ácido:

  Corrosión: El uso de ácidos puede causar corrosión en el equipo y requiere medidas de seguridad.

Generalidades de los antioxidantes naturales

Los antioxidantes son sustancias que, a bajas concentraciones, en comparación con el sustrato oxidable, retrasa o inhibe significativamente la oxidación de dicho sustrato. En el cuerpo un mecanismo de acción de los antioxidantes es aquel en que la molécula de antioxidante, al colisionar con un radical libre de oxígeno, le cede un electrón, que se oxida a su vez y se transforma en un radical libre de oxígeno débil no tóxico (Halliwell, 1990).

No todos los antioxidantes actúan de esta manera, los llamados enzimáticos (superóxido dismutasa, catalasa, glutatión peroxidasa, etc.) catalizan o aceleran reacciones químicas que utilizan sustratos que a su vez reaccionan con los radicales libres.

Estructura de algunos antioxidantes

Los fenólicos simples abarcan a su vez tres grupos de relevancia: los fenilpropanoides simples, las cumarinas y los derivados del ácido benzoico.

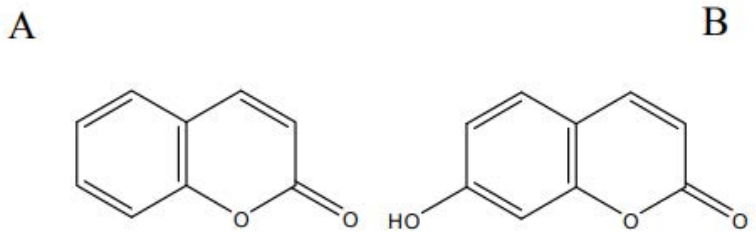
Los fenilpropanoides simples comparten la estructura fundamental fenilpropanoide, portando una cadena lateral, lineal, de tres átomos de carbono que se encuentra unida al anillo fenilo constituido por seis carbonos (Figura 5). Los fenilpropanoides representan las unidades centrales que componen a prácticamente todos los compuestos fenólicos. Algunos ejemplos comprendidos dentro de este grupo corresponden a los ácidos: cinámico, p-cumárico, cafeico, ferúlico y sinápico (Strack, 1997).

Cumarinas e hidroxicumarinas

Este grupo de compuestos fenólicos simples también presentan el esqueleto básico fenilpropanoide, pero difieren de los fenilpropanoides simples en que la cadena lateral forma una estructura cíclica, un anillo. Corresponden a lactonas6 fenilpropanoides. Algunos ejemplos que pueden mencionarse incluyen a la cumarina, la umbeliferona (7-hidroxicumarina) (Figura 5 A y B), la esculetina (6,7-

dihidroxicumarina) y la escopoletina (7-hidroxi-6-metoxicumarina). Se ha mencionado que los dos últimos compuestos se originarían por adición de sustituyentes oxigenados al anillo aromático de la umbeliferona (Viña et al., 2013)

Figura 5. Estructura química de la cumarina (A) y de la 7-hidroxicumarina o umbeliferona (B)

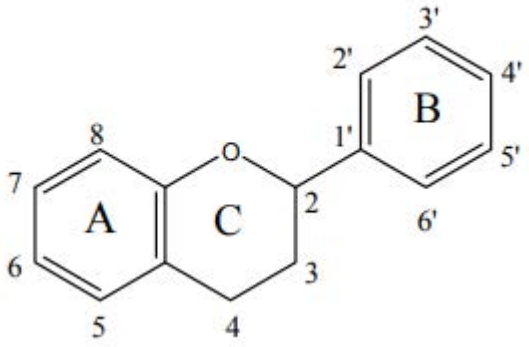


Fuente: Tomado de CymitQuimica (2019)

Flavonoides

Los flavonoides son un grupo muy diverso de compuestos fenólicos, de los cuales se conocen más de 6.000 estructuras diferentes. El esqueleto común a todos los integrantes del grupo consta de dos anillos de seis átomos de carbono (designados con las letras A y B) unidos mediante un puente de tres átomos de carbono que por lo común forma un tercer ciclo (anillo C) (Figura 6).

Figura 6. Estructura general de los compuestos flavonoides



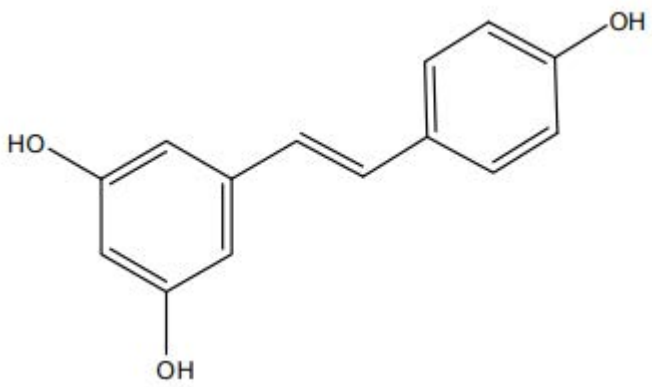
Fuente: Tomado de CymitQuimica (2019)

Estilbenos

Se trata de un grupo de compuestos estrechamente relacionados con los flavonoides, por compartir precursores en común durante su proceso de biosíntesis e incluso por presentar ciertas propiedades similares (Ververidis et al 2007).

La estructura de los estilbenos está representada por dos anillos fenilo unidos entre sí mediante un puente de dos átomos de carbono (puente eteno).

Figura 7. Estructura química del resveratrol, perteneciente al grupo de los estilbenos



Fuente: Tomado de CymitQuimica (2019)

Fuentes de antioxidantes

Los alimentos vegetales son fuentes ricas de antioxidantes. Son más abundantes en frutas y verduras, así como en otros alimentos como frutos secos, cereales integrales etc. (Zehiroglu & Sarikaya, 2019)

Estabilidad de los antioxidantes

Muchos factores como la concentración de antioxidantes, la temperatura, el pH y el tratamiento de procesamiento influyen en la actividad antioxidante (Taghvaei & Jafari, 2013).

Un antioxidante natural debe satisfacer varios requisitos antes de ser aceptado para su aplicación en productos alimenticios. El antioxidante debe ser efectivo durante al menos 1 año a una temperatura de entre 25 y 30 °C; debe ser estable al procesamiento térmico y proteger el producto terminado antioxidante (Taghvaei & Jafari, 2013).

La presencia de humedad en los alimentos, oxígeno atmosférico y altas temperaturas podría causar varios cambios químicos y pérdida de antioxidantes, como la destilación al vapor de antioxidantes, la oxidación de compuestos fenólicos, la disminución de su actividad prooxidativa debido a la reacción con materiales fritos y la polimerización. Los antioxidantes sintéticos como BHA (butilhidroxianiso) y BHT (butilhidroxitolueno) son más susceptibles a la destilación al vapor (CR et al., 1986).

Las pérdidas de antioxidantes naturales son pequeñas ya que su volatilidad es mucho menor que la de los antioxidantes sintéticos comunes.

Aplicaciones de los antioxidantes

Los antioxidantes tienen una amplia gama de aplicaciones en distintos campos debido a su capacidad para neutralizar radicales libres y prevenir el daño oxidativo. En el ámbito de la salud humana, su función principal es la prevención de enfermedades crónicas como las cardiovasculares, neurodegenerativas (como el Alzheimer y el Parkinson), la diabetes tipo 2 y diversos tipos de cáncer.

También ayudan a retrasar el envejecimiento celular, ya que protegen las estructuras celulares, como las membranas y el ADN, del deterioro provocado por el estrés oxidativo. Además, refuerzan el sistema inmunológico y reducen procesos inflamatorios, lo que mejora la respuesta del organismo ante agresiones externas.

En la industria alimentaria, los antioxidantes son fundamentales para conservar los alimentos, ya que previenen la oxidación de grasas y aceites, evitando el enranciamiento y prolongando así la vida útil de los productos. También ayudan a mantener el color, sabor y valor nutricional de los alimentos procesados.

En el sector cosmético, los antioxidantes se utilizan ampliamente en productos para el cuidado de la piel debido a sus propiedades antienvejecimiento. Se incorporan en cremas, sérums y lociones para prevenir arrugas, proteger la piel de los efectos nocivos de la radiación ultravioleta y la contaminación ambiental, y mantener su elasticidad y firmeza. Entre los más utilizados en esta industria destacan la vitamina C, la vitamina E, la coenzima Q10, el ácido ferúlico y los extractos de té verde.

Asimismo, en la industria farmacéutica, los antioxidantes forman parte de suplementos alimenticios destinados a mejorar la salud general y reforzar las defensas naturales del organismo. También se están investigando como posibles coadyuvantes en tratamientos contra enfermedades inflamatorias, degenerativas y cáncer, debido a su capacidad para modular procesos celulares implicados en el daño oxidativo.

Finalmente, en el campo de la biotecnología e investigación, los antioxidantes se emplean como herramientas para estudiar el estrés oxidativo en cultivos celulares y modelos experimentales. También se usan como base para el diseño de nuevos fármacos con propiedades terapéuticas, gracias a su potencial protector a nivel molecular (Lü et al., 2009).

Como se determina la actividad antioxidante

La mayor parte de los ensayos empleados para la determinación de la actividad antioxidante de un alimento se basan en la medición de: (1) la capacidad que tienen los compuestos antioxidantes para reaccionar con un radical libre o ROS (especies reactivas del oxígeno) determinado, o (2) el potencial que tales compuestos tendrían para reducir un complejo formado entre iones Fe (III) y el reactivo TPTZ (2,4,6-tripiridil-s-triazina) (Benítez-Estrada et al., 2020).

Entre los ensayos que se basan en la medición de la capacidad de los antioxidantes para reaccionar con un radical libre, destacan los siguientes:

– Ensayo ORAC (Oxygen Radical Absorbance Capacity, o Capacidad de Absorción de Radicales de Oxígeno). Es un procedimiento reconocido para evaluar la presencia de antioxidantes, midiendo la capacidad de los compuestos para retrasar la oxidación de la fluoresceína al reaccionar con especies

reactivas de oxígeno (ROS). Este ensayo ayuda a determinar la capacidad antioxidante de las sustancias comparándolas con un compuesto de referencia como Trolox. (Carvalho et al., 2023)

– Ensayo TEAC (Trolox Equivalent Antioxidant Capacity, o Capacidad Antioxidante como Equivalentes Trolox). Mide la capacidad antioxidante total de biomoléculas de diversas muestras mediante un mecanismo SET (transferencia de un solo electrón) o HAT (transferencia de un átomo de hidrógeno). En presencia de antioxidantes, el radical ABTS oxidado se reduce a ABTS en función de la concentración. La actividad de las muestras se compara con la de Trolox, un análogo hidrosoluble de la vitamina E. (Kedare & Singh, 2011)

– Ensayo DPPH (2,2-Difenil-1-picrilhidrazil). Es un método utilizado para determinar la actividad antioxidante de una sustancia. Se basa en la reacción entre el radical libre DPPH, que tiene un color violeta intenso, y una sustancia antioxidante, que puede donar un átomo de hidrógeno, cambiando el color del DPPH a amarillo. (Alam, et al. 2013)

ANTECEDENTES

Se han llevado a cabo considerables investigaciones durante los últimos años sobre el perfil de compuestos fenólicos de las semillas de amaranto y sus propiedades funcionales y bioactivas, Sin embargo, hallazgos recientes confirmaron que las hojas y otras partes aéreas de *Amaranthus* también son fuentes importantes de compuestos. Los compuestos fenólicos son bien conocidos como antioxidantes. Si bien los perfiles de compuestos fenólicos y betacianinas de las distintas partes botánicas del amaranto, así como su potencial antioxidante, son bien conocidos, la información sobre los efectos del ciclo de crecimiento en estos fitoquímicos y su actividad aún es escasa. Es importante identificar los cambios en la actividad antioxidante y la composición de compuestos fenólicos según la etapa de crecimiento del amaranto (Karamać et al., 2019).

Algunos estudios han reportado capacidad antioxidante in vitro en flores de *Amaranthus lividus*. (Álvarez-Jubete et al. 2009) reportan la presencia de polifenoles en semillas de *Amaranthus caudatus*. Otros estudios reportan compuestos fenólicos y antocianinas en semillas de *Amaranthus cruentus*. Sin embargo, las posibles propiedades funcionales de este material residual, proveniente del procesamiento de semilla, no han sido estudiadas con el fin de identificar sus usos potenciales.

Diferentes estudios han evidenciado el potencial de los compuestos fenólicos como agentes contra las enfermedades crónicas asociadas al estrés oxidativo mediante una serie de acciones que incluyen actividades antioxidante, antinflamatoria, antihipertensiva y anti-esclerótica. Varios estudios han identificado la presencia de polifenoles en especies de *Amaranthus*, encontrándose taninos, antocianinas, ácidos fenólicos (ácido protocatecuico, vanílico, 4-hydroxibenzóico, siríngico, p-

cumárico, caféico y ferúlico) y flavonoides (rutina, isoquercetina y nicotiflorina) (Czerwinski y col, 2004 y Kraujalis, 2013). Los ácidos fenólicos son los compuestos más abundantes encontrados en el grano de amaranto y se encuentran en forma libre y ligada. Las formas libres de los fenólicos ácidos representan del 7 % a 61 % de la cantidad total de los compuestos fenólicos del grano.

En conclusión, el rastrojo de amaranto, tradicionalmente considerado un desecho agrícola, representa una fuente valiosa de compuestos antioxidantes con alto potencial funcional. Su contenido de polifenoles, flavonoides y ácidos fenólicos lo posiciona como un recurso prometedor para el desarrollo de productos con beneficios para la salud, especialmente en la prevención de enfermedades relacionadas con el estrés oxidativo.

JUSTIFICACIÓN

El rastrojo de amaranto obtenido como subproducto de la cosecha del cultivo de amaranto puede someterse a procesos físicos, químicos, biológicos o combinados para su aprovechamiento.

Por otro lado, algunos compuestos antioxidantes de origen vegetal se pueden obtener mediante extracción sólido-líquido (fase sólida y fase acuosa). Sin embargo, con este método de extracción los residuos sólidos que se generan vuelven a representar un foco de contaminación, ya que su estructura lignocelulósica se mantiene intacta.

Otras familias de antioxidantes que se encuentran en la pared celular de las células vegetales; tal es el caso de los polifenoles que se encuentran ligados a la matriz lignocelulósica.

En general, los antioxidantes son compuestos con alta demanda en diferentes sectores de la industria; por lo que la obtención de éstos a partir de un residuo agroindustrial, como el rastrojo de amaranto, supondría un beneficio ecológico y la posibilidad de darle a este residuo un valor añadido.

HIPÓTESIS

El rastrojo de amaranto contiene compuestos libres y asociados a los carbohidratos, que pueden ser extraídos mediante métodos físico-químicos (extracción acuosa e hidrolisis ácida), con actividad antioxidante que podrían tener diversas aplicaciones

OBJETIVOS

General

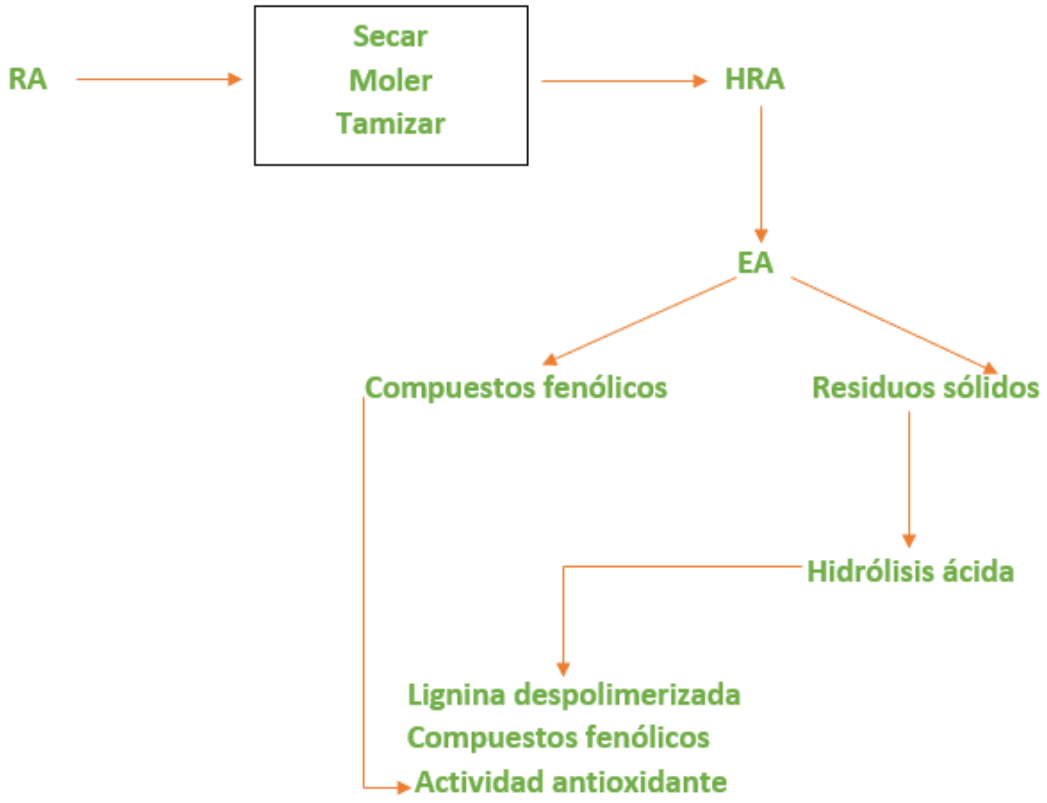
Realizar la extracción físico-química de compuestos biofuncionales con actividad antioxidante a partir del rastrojo de amaranto

Específicos

1. Determinar la composición químico proximal del rastrojo de amaranto.
2. Realizar el extracto acuoso y la hidrólisis acida del rastrojo de amaranto
3. Cuantificar la actividad antioxidante de los extractos acuoso y de la hidrólisis acida del rastrojo de amaranto.

METODOLOGÍA

1) Recolección y preparación de la materia prima.
2) Análisis químico proximal.
3) Extracción acuosa de polifenoles libres.
4) Determinación de lignina en residuos sólidos.
5) Hidrólisis ácida y extracción de compuestos ligados.
6) Cuantificación de compuestos fenólicos con Folin-Ciocalteu.
7) Ensayos de actividad antioxidante (DPPH, ABTS).
8) Análisis estadístico con Minitab.



Resultados esperados

Se espera que el rastrojo de amaranto presente un alto contenido de carbohidratos estructurales, lignina y polifenoles. La extracción acuosa permitirá obtener fenoles libres, mientras que la hidrólisis ácida liberará compuestos ligados, incrementando la actividad antioxidante. Los ensayos DPPH y ABTS mostrarán una inhibición significativa

Con ello, se espera evidenciar el potencial de este subproducto agrícola, comúnmente considerado un desecho, como fuente alternativa de antioxidantes de interés para la industria alimentaria, farmacéutica y nutracéutica, contribuyendo así a su valorización y al aprovechamiento sostenible de los residuos agroindustriales en el marco de una economía circular.

Los resultados esperados sugieren que el rastrojo de amaranto es una fuente prometedora de antioxidantes naturales. La hidrólisis ácida parece ser más eficiente en la liberación de compuestos fenólicos ligados, lo que se refleja en una mayor actividad antioxidante. Esto refuerza la importancia de optimizar los métodos de extracción para maximizar el aprovechamiento de este residuo agrícola.

Finalmente, se espera que los resultados obtenidos sienten las bases para futuras investigaciones orientadas a la optimización de los procesos de extracción, la purificación e identificación estructural de los compuestos presentes, así como la evaluación de sus posibles aplicaciones en el desarrollo de productos con valor agregado.

REFERENCIAS

Akin, D. E., Himmelsbach, D. S., Carl, R. T., Hanna, W. W., & Barton, F. E. (1993). Mid-Infrared Microspectroscopy to Assess Lignin in Plant Tissues Related to Digestibility. *Agronomy Journal*, *85*(1), 171-175.

Alam, MN; Bristi, NJ; Rafiquzzaman, M. (2013). Revisión de la evaluación de la actividad antioxidante mediante métodos in vivo e in vitro. Revista farmacéutica saudí: SPJ: la publicación oficial de la Sociedad Farmacéutica Saudí, 21[2], pp. 143–52

Álvarez-Jubete, L., Arendt, E. K., & Gallagher, E. (2009). Polyphenol composition and in vitro antioxidant activity of amaranth, quinoa, buckwheat and wheat as affected by sprouting and baking. *Food Chemistry*, *119*(3), 770–778

Benítez-Estrada, A., Villanueva-Sánchez, J., González-Rosendo, G., Alcántar-Rodríguez, VE, Puga-Díaz, R., & Quintero-Gutiérrez, AG (2020). Determinación de la capacidad antioxidante total de alimentos y plasma humano por fotoquimioluminiscencia: Correlación con ensayos fluorométricos (ORAC) y espectrofotométricos (FRAP). *Consejo revista especializada en ciencias químico-biológicas* , *23*

Bjorkman, A. (1957). Lignin and lignin-carbohydrate complexes. Industrial & Engineering Chemistry, 49(9), 1395-1398.

Czerwiński, J., Bartnikowska, E., Leontowicz, H., Lange, E., Leontowicz, M., Katrich, E., & Gorinstein, S. (2004). Oat (Avena sativa L.) and amaranth (*Amaranthus hypochondriacus*) meals positively affect plasma lipid profile in rats fed cholesterol-containing diets. *Journal of Nutritional Biochemistry, 15*(10), 622–629

Halliwell, B. (1990). Cómo caracterizar un antioxidante biológico. *Free Radical Research Communications* , *9* (1), 1–32

Karamać, M., Gai, F., & Peiretti, P. (2020). Effect of the Growth Stage of False Flax (Camelina sativa L.) on the Phenolic Compound Content and Antioxidant Potential of the Aerial Part of the Plant. *Polish Journal Of Food And Nutrition Sciences*

Kedare, S. B., & Singh, R. P. (2011). Genesis and development of DPPH method of antioxidant assay. Journal Of Food Science And Technology, 48(4), 412-422.

Lü, J., Lin, P. H., Yao, Q., & Chen, C. (2009). Chemical and molecular mechanisms of antioxidants: experimental approaches and model systems. *Journal Of Cellular And Molecular Medicine*, *14*(4), 840-860.

Maceda, A., Soto-Hernández, M., Peña-Valdivia, C. B., Trejo, C., & Terrazas, T. (2021). Lignina: composición, síntesis y evolución. *Madera y Bosques*, *27*(2), e2722137.

Maestría Y Doctorado En Ciencias Químicas, P. (nd). *UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO* . Unam.Mx. Recuperado el 29 de agosto de 2025

Moyer, TB, Schug, WJ y Hicks, LM (2022). Semillas de Amaranthus hypochondriacus como fuente rica de péptidos bioactivos ricos en cisteína. *Química de los Alimentos*, *377* (131959), 131959

Saavedra, C. J., Fraile, J. M., Hormigón, Z., Mayoral, J. A., & Salvatella, L. (2017). *Estudio de despolimerización de modelos de lignina en medio ácido*

Soriano-García, M., & Saraid Aguirre-Díaz, I. (2020). Nutritional functional value and therapeutic utilization of amaranth. In V. Y. Waisundara (Ed.), *Nutritional Value of Amaranth*. IntechOpen

Soriano-Santos, J., Malpica-Sánchez, F.P., Ramírez-Romero, M.A.G. y Escamilla-Hurtado, M.L. (2004). Análisis granulométrico de una harina de hoja de amaranto deshidratada, para la elaboración de una bebida de fibra dietética. Tecnología de Alimentos, 39(01): 7-12

Suarez, a., y bullon, j. (2020). cuaderno firp s315-b. lignina: generalidades, métodos de obtención y aplicaciones. laboratorio de formulación, interfases. universidad de los andes.

Taghvaei, M., & Jafari, S. M. (2013). Application and stability of natural antioxidants in edible oils in order to substitute synthetic additives. Journal Of Food Science And Technology, 52(3), 1272-1282.

Tanis, M. H., Wallberg, O., Galbe, M., & Al-Rudainy, B. (2023). Lignin Extraction by Using Two-Step Fractionation: A Review. Molecules,

Torres Aquino, M. (2021). Crecimiento, acumulación y distribución de materia seca en dos variedades de amaranto (Amaranthus hypochondriacus y A. cruentus) bajo fertigación. *Biotecnia* , *23* (3), 14–21

Vegas, R., Alonso, J. L., Domínguez, H., & Parajó, J. C. (2004). Processing of rice husk autohydrolysis liquors for obtaining food ingredients. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, *52*(24), 7311–7317

Ververidis, F., Trantas, E., Douglas, C., Vollmer, G., Kretzschmar, G., & Panopoulos, N. (2007). Biotechnology of flavonoids and other phenylpropanoid-derived natural products. Part I: Chemical diversity, impacts on plant biology and human health. *Biotechnology Journal*, *2*(10), 1214–1234

Viña, S. Z. (2013). Compuestos Fenólicos. In *Viña, Sonia Zulma; Compuestos Fenólicos; Universidad Nacional de La Plata. Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales* (Vol. 91, p. 150). Universidad Nacional de La Plata. Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales

Zehiroglu, C., & Sarikaya, S. B. O. (2019). The importance of antioxidants and place in today's scientific and technological studies. *Journal Of Food Science And Technology*

HIDRÓLISIS ENZIMÁTICA DEL XILANO DEL RASTROJO DE AMARANTO PARA LA OBTENCIÓN DE XOS

Alma Vazquez Ojeda[1]
María de Jesús García Gómez[2]
José Alfredo Garcidueñas Paz[3]

RESUMEN

La biomasa lignocelulósica, como el rastrojo de amaranto, es una fuente prometedora para producir compuestos de valor agregado y fortalecer la economía circular. Este estudio tiene como objetivo producir xilooligosacáridos (XOS) mediante hidrólisis enzimática de xilano extraído del rastrojo de Amaranthus hypochondriacus. La metodología incluye recolección y molienda del rastrojo, análisis químico proximal, extracción alcalina del xilano y caracterización por espectroscopía infrarroja y difracción de rayos X. Posteriormente, se realiza la hidrólisis enzimática controlada con xilanasa a 40 °C, pH 5.3 y agitación, evaluando el grado de polimerización por HPLC. Se espera obtener XOS con bajo grado de polimerización (2–6), ideales como prebióticos que estimulen el crecimiento de bifidobacterias y Lactobacillus, mejorando la salud intestinal. Los resultados previstos buscan demostrar la viabilidad técnica y biotecnológica de aprovechar el rastrojo de amaranto, un residuo agroindustrial poco utilizado, como materia prima para generar ingredientes funcionales, reduciendo impactos ambientales y promoviendo alternativas sostenibles. En conclusión, esta investigación ofrece una estrategia innovadora y respetuosa con el ambiente para valorizar residuos agrícolas y fomentar la producción de compuestos con potencial beneficio en la industria alimentaria, farmacéutica y de la salud, contribuyendo al desarrollo de productos con aplicaciones funcionales y sustentables.

Palabras clave: Biomasa lignocelulósica, xilano, xilooligosacáridos, hidrólisis enzimática.

ABSTRACT

ignocellulosic biomass, such as amaranth stubble, is a promising source for producing value-added compounds and strengthening the circular economy. This study aims to produce xylooligosaccharides (XOS) through the enzymatic hydrolysis of xylan extracted from Amaranthus hypochondriacus stubble. The methodology includes stubble collection and milling, proximate chemical analysis,

[1] Universidad del Papaloapan. ojeda200293al@gmail.com
[2] Universidad del Papaloapan. unpal7@gmail.com
[3] Universidad del Papaloapan. jagarciduenaspaz@gmail.com

alkaline xylan extraction, and characterization by infrared spectroscopy and X-ray diffraction. Subsequently, controlled enzymatic hydrolysis is performed with xylanase at 40 °C, pH 5.3, and agitation, evaluating the degree of polymerization by HPLC. XOS with a low degree of polymerization (2–6) is expected, ideal as prebiotics that stimulate the growth of Bifidobacteria and Lactobacillus, improving gut health. The expected results aim to demonstrate the technical and biotechnological feasibility of utilizing amaranth stubble, an underutilized agro-industrial residue, as a raw material for generating functional ingredients, reducing environmental impacts and promoting sustainable alternatives. In conclusion, this research offers an innovative and environmentally friendly strategy for valorizing agricultural waste and fostering the production of compounds with potential benefits in the food, pharmaceutical, and health industries, contributing to the development of products with functional and sustainable applications.

Keywords: Lignocellulosic biomass, xylan, xylooligosaccharides, enzymatic hydrolysis.

INTRODUCCIÓN

Actualmente, la biomasa lignocelulósica proveniente de residuos agrícolas no tiene una disposición final adecuada, y la mayoría termina siendo quemada o se descompone en el suelo agrícola, conduciendo a la liberación de gases de efecto invernadero. Sin embargo, debido a su composición, el uso de materiales lignocelulósicos derivados de actividades agrícolas ofrece una alternativa considerable; sin embargo, el proceso de conversión es complejo y las tecnologías aplicadas son específicas para el tipo y composición de esta, así como el producto que se quiera obtener. Por lo tanto, la investigación actual se ha centrado en encontrar alternativas para la eliminación de estos residuos mediante su utilización en la producción de sustancias industriales valiosas a partir de sus componentes, principalmente: celulosa, hemicelulosa y lignina. Estas macromoléculas son de gran importancia para diversos sectores de la industria, por ejemplo: en la papelera, alimenticia, farmacéutica, energética entre otras; dando productos de valor agregado tales como: alcoholes, biocombustibles, en mayor cantidad, y en menor proporción metabolitos como; enzimas, fibra dietética, compuestos fenólicos y biopolímeros como el xilano (Saval, 2012).

El xilano es uno de los polímeros renovables atractivos que ha tomado relevancia en los últimos años; debido a que posee diversas funcionalidades para el desarrollo de nuevos materiales como son: los xilooligosacáridos (Sedlmeyer, 2011). Se ha demostrado que los XOS con un bajo grado de polimerización tienen efectos prebióticos mejorados que confieren beneficios para la salud a humanos y animales (Capetti et al., 2021).

En México, el amaranto es una planta utilizada y cultivada desde hace más de 4000 años, con una gran tradición por su uso en aspectos religiosos, alimentación y ofrendas en las culturas prehispánicas. En los últimos años la superficie sembrada y el volumen de producción de amaranto en México registraron durante el periodo de 1982 a 2010, tasas de crecimiento media anual de 8.17 y 15.34b%. El grano es el principal producto del cultivo de amaranto que se usa para producir 79.9 % de productos a base de grano reventado, 17.2 % a base de harina y 2.9 % a base de extruido.

El aprovechamiento de este rastrojo es de interés y actualmente las investigaciones para su uso se enfocan en el desarrollo de tecnologías limpias y sistemas cerrados que permitan conservar el medio ambiente y que empleen estos residuos lignocelulósicos como materia prima en la extracción de productos de valor agregado como: enzimas, metabolitos, macromoléculas y otros productos de interés biotecnológico (Devi et al., 2022).

ANTECEDENTES Y ESTADO DEL ARTE

En general, la biomasa lignocelulósica es un material vegetal derivado de plantas comunes, como las maderas blandas, las maderas duras y las gramíneas. Está compuesta principalmente por tres polímeros: lignina, celulosa y hemicelulosa; en menor proporción, dependiendo del origen vegetal y edad de la planta, pueden estar presentes pectina, proteínas, cera y extractos-

Diversos estudios han reportado la producción de xilooligosacáridos (XOS) a partir de la hidrólisis enzimática de residuos lignocelulósicos empleando diferentes microorganismos y sustratos. Por ejemplo, Aspergillus oryzae MTCC-5154, mediante una endoxilanasa, permitió obtener fracciones purificadas de XOS con grados de polimerización de X2 a X7, utilizando polvo de mazorca de maíz como sustrato. Este proceso se destacó por el valor agregado que confiere a la mazorca, al permitir la producción y caracterización de los oligómeros del complejo lignina-sacárido pretratado de forma alcalina(Aachary & Prapulla, 2009)

Por otra parte, el uso de xilanasas comerciales en bagazo de caña de azúcar mostró una conversión máxima de XOS a 40 °C, pH 4 y un tiempo de reacción de 8 horas, destacando el potencial de este residuo agroindustrial como materia prima para la producción de compuestos con aplicaciones funcionales (Jayapal et al., 2013).

De manera similar, se ha empleado la mazorca de maíz como sustrato en procesos con Aspergillus foetidus MTCC-4898, donde el rendimiento máximo de XOS fue de 6.73 ± 0.23 mg/mL tras 8 horas de reacción a 45 °C, empleando 20 U de xilanasas. En este caso, se resaltó la utilidad de los XOS producidos como probióticos, evidenciando la aplicación biotecnológica de hongos en la valorización de residuos agrícolas (Chapla et al., 2012).

Asimismo, la acción de una endoxilanasa termoestable de Streptomyces thermoviolaceus TISTR1948 sobre mazorca de maíz permitió optimizar la producción de XOS a un tiempo de reacción de 12 horas, logrando una concentración de 129.43 U/g de sustrato a 53.8 °C y pH 6.17. Este hallazgo resalta la importancia del uso de enzimas termoestables en la obtención de compuestos prebióticos (Boonchuay et al., 2014).

En otro estudio, el mismo microorganismo fue utilizado tras un pretratamiento alcalino (KOH) de la mazorca de maíz, alcanzándose grados de polimerización de X2, X3 y X5, además de X4 en menor proporción. Se reportó también la purificación, caracterización y clonación molecular de la enzima, así como su aplicación en la producción de XOS (Boonchuay et al., 2016).

Por su parte, las xilanasas comerciales fueron probadas en residuos de mazorca de maíz, confirmándose mediante HPLC-UV la presencia de XOS con grados de polimerización de X2 a X6, lo cual permitió desarrollar y validar un método cromatográfico para su análisis y cuantificación (Pu et al., 2016).

Finalmente, la cepa Aspergillus oryzae LC1 se utilizó en la hidrólisis enzimática de bagazo de caña de azúcar, paja de trigo y salvado de trigo. Los productos obtenidos fueron analizados por HPLC, detectándose picos correspondientes a X2 (0.68 mg/g), X3 (2.47 mg/g) y X4 (2.29 mg/g), con tiempos de retención entre 2.3 y 7.4 minutos. Este estudio permitió la purificación y caracterización de una xilanasa termoalcalina y su aplicación en la producción de XOS a partir de residuos agrícolas lignocelulósicos (Bhardwaj et al., 2019)

Estos antecedentes muestran el potencial de distintos residuos agrícolas, pero también dejan espacio para explorar nuevas materias primas como el rastrojo de amaranto, poco estudiado en este contexto.

INNOVACIÓN TECNOLÓGICA Y ORIGINALIDAD

La propuesta se distingue por:

- introducir el rastrojo de amaranto como fuente alternativa de xilano, contribuyendo a la valorización de un residuo agrícola subutilizado.
- Ajustar parámetros de extracción y secado para mejorar la pureza del xilano, como el tiempo de precipitación y las condiciones de neutralización.
- Enfatizar el control en la hidrólisis enzimática para maximizar la fracción de oligómeros de bajo GP (2-6), reduciendo la formación de xilosa como subproducto indeseado.

Proyectar el proceso hacia el escalamiento industrial y su integración en cadenas de valor de la agroindustria y la industria de alimentos funcionales.

JUSTIFICACIÓN

Actualmente, los residuos agroindustriales no tienen una disposición final adecuada, y la mayoría termina siendo quemada o dejada en los campos lo que conduce a la liberación de gases de efecto invernadero. Por lo tanto, la investigación actual se ha centrado en encontrar alternativas para la eliminación de estos residuos mediante su utilización en la producción de sustancias industriales de valor agregado. Un residuo de este tipo es el rastrojo de amaranto, que al ser cultivado en regiones conurbadas contribuye a la contaminación ambiental en ciudades como Tlaxcala, Puebla, Ciudad y Estado de México.

Los componentes del rastrojo de amaranto podrían actuar como precursores de biorefinería para la producción de una amplia variedad de productos bioquímicos. Específicamente, la hemicelulosa, es un componente importante de los residuos de biomasa lignocelulósica, que ofrece muchas aplicaciones potenciales, como la generación de sustancias químicas con aplicaciones en agricultura, cosméticos, biomateriales, medicamentos, piensos y alimentos.

Por otro lado, la creciente demanda de nuevos productos alimenticios para problemas de bienestar y relacionados con la edad, junto con el aumento del gasto en atención médica, ha atraído la atención mundial hacia los prebióticos. En este sentido, los xilooligosacáridos (XOS) son una clase de oligosacáridos funcionales que han demostrado tener actividad prebiótica durante varias décadas. Los XOS tienen varias ventajas en relación con otras moléculas de oligosacáridos, como promover el desarrollo de las raíces como regulador de las plantas, como suplemento de azúcar para las personas y como prebióticos para promover la motilidad intestinal mejorando la salud.

Considerando lo antes mencionado, esta investigación se centra en explorar la obtención de XOS a partir de la hidrólisis enzimática del xilano extraído del rastrojo de amaranto, contribuyendo a la sostenibilidad del cultivo y con proyección a la activación de la economía circular en las comunidades que cultivan esta planta ancestral.

ESTRATEGIA EXPERIMENTAL

METODOLOGÍAS

1) Materia prima

Se recolectará el rastrojo de amaranto en parcelas ubicadas en el municipio de Santa Apolonia Teacalco (19º13’48.7N¨98º18’12.8¨W) en el estado de Tlaxcala, México. Las hojas y tallo de la planta se colectarán después del proceso del trillado en costales y se pondrán a secar al sol. Posteriormente el material se molerá en un molino agrícola No. 20 (Marca Swissmex turbo), la harina del rastrojo de

amaranto (HRA) se depositará en bolsas negras de plástico. Está se tamizará con una malla del No.40 para homogenizar el tamaño de partícula.

2) Análisis químico proximal

La composición química proximal de la harina de RA se determinará de acuerdo con la metodología de la NORMA OFICIAL MEXICANA: Humedad (NMX-116 SSA1-1994), cenizas (MMX-F-607-NORMEX-2013), proteínas (NOM-155-SCFI-2012), extracto etéreo (NOM-086-SSA1-1994), finalmente los carbohidratos totales se determinarán por diferencia.

3) Extracción de xilano

Se realizará una suspensión 1:10 p/v (harina/NaOH al 14 %), se colocará en una autoclave a una temperatura de 120°C y una presión de 15lbs durante 60 min. Posteriormente, se filtrará para desechar el material sólido, y recuperar el sobrenadante aplicando vacío con papel filtro número 1. Después se neutralizará el pH a 5.5 con ácido acético glacial, a continuación, el sobrenadante se le añadirán dos volúmenes de etanol frio al 85% para su precipitación, se dejará sedimentar por 20 min a una temperatura de 4°C, se decantará para eliminar el exceso de líquido, y se le añadirán otros dos volúmenes de etanol frio al 85% , para la recuperación del xilano se centrifugará a 4000 rpm por 25 min a 4°C, se decantará el sobrenadante, para obtener así el sedimento, el cual se secará en un horno a 50°C por 12 horas (Ramírez-Rodríguez, 2018)

4) Caracterización química del xilano extraído.

- Difracción de rayos X

Se utilizará el difractómetro de la marca rigaku modelo miniflex 600 con un tubo de rayos X con radiación de CuKα= (λ= 1.54 Aº) con foco lineal, con 40 kV y 15 mA. En el haz incidente se colocará una rendija soler con filtro de Ni de 0.5 mm. En la óptica difractada se utilizará un detector Dtex ultra de alta velocidad para obtener los patrones de difracción de alta calidad en menos tiempo (Ramírez-Rodríguez, 2019).

Se realizarán mediciones en geometría simétrica o polvos (θ-2θ) realizando el barrido de 2 a 60 grados con un tamaño de paso de 0.01 y una velocidad de 3 grados/min. Esta metodología se aplicará para el análisis de la cristalinidad de las muestras de xilano. Los resultados se presentarán en difractogramas, que expresan gráficamente el comportamiento cristalino de las muestras (Ramírez-Rodríguez, 2018)

- Espectroscopía infrarroja con transformada de Fourier (FTIR).

Las muestras obtenidas de xilano se analizarán con el espectrómetro Shimadzu, modelo IRAffinity-1, que cuenta con el software IRsolution y la metodología de transformadas de Fourier, que ofrece la relación/señal ruido para convertir las vibraciones en espectros. Se trabajarán con los siguientes

parámetros: 2 mg de muestra para leer la absorbancia entre 4000 y 500 cm-1, modo de medida: % de Transmitancia, NO de Scans 85, resolución de 4 cm-1, esta evaluación permitirá comparar el xilano extraído en este trabajo con lo reportado en la literatura.

5) Hidrólisis enzimática del xilano

Para esta metodología se suspendieron 0.4 g de xilano en 20 mL de tampón citrato de 50 mmol/L, pH 5.5, se inició la hidrolisis del sustrato añadiendo 2 mL de preparación de xilanasa comercial de 4.1 U/mL, esto se incubará a 40°C y se tomará 1 mL de muestra a intervalos regulares de tiempo, se hará una calentamiento de la muestra a 100°C durante 5 min, esto permitirá detener la actividad enzimática antes de procederé con el análisis de azúcares, asegurando que los resultados reflejen solo el efecto del tiempo de reacción establecido (Akpinar et al., 2010).

6) Grado de polimerización de los xilooligosacáridos

La caracterización química y cuantificación de los oligómeros obtenidos de la hidrólisis del xilano se realizará con detector de índice de refracción (IR) en un cromatógrafo Jasco equipado con una columna Metacarb 87H (30097.8 mm, Varian, USA) bajo las siguientes condiciones: fase móvil 0.005 M H_2SO_4, velocidad de flujo 0.7 ml/min y temperatura de columna 60°C (Michele Michelin, 2012).

RESULTADOS TEÓRICOS

Con esta investigación esperamos obtener rendimientos similares de xilano a los reportados en la literatura y una producción de XOS (X2-X6) que nos darán una efecto prebiótico

DISCUSIÓN

Los parámetros de hidrólisis son críticos para controlar el GP de los XOS. Estudios previos han demostrado que enzimas con baja actividad exo-xilanasa favorecen la producción de oligómeros en lugar de monosacáridos(Samanta et al., 2015). En este trabajo, se proyecta que el ajuste de pH y la reducción de tiempos de incubación disminuyan la acumulación de xilosa, mejorando la calidad del biomaterial funcional.

La comparación con residuos como bagazo de caña o maíz resalta que el amaranto puede alcanzar rendimientos similares, con la ventaja de ser un subproducto abundante y disponible en regiones productoras de México (Aachary & Prapulla, 2009; Bhardwaj et al., 2019; Boonchuay et al., 2014, 2016; Chapla et al., 2012; Jayapal et al., 2013; Pu et al., 2016).

APLICACIONES E IMPACTOS

Los XOS producidos a partir de RA pueden incorporarse en formulaciones de alimentos funcionales, suplementos prebióticos o nutracéuticos. Además, su producción contribuye a la economía circular mediante la valorización de residuos agrícolas, lo cual impacta positivamente en el medio ambiente y en la generación de valor económico para comunidades productoras.

CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS

- El rastrojo de amaranto se presenta como una materia prima prometedora para la obtención de XOS.
- La metodología propuesta integra extracción, caracterización y síntesis enzimática, sentando bases para innovaciones en materiales funcionales.
- Los resultados esperados sugieren que es posible obtener XOS con GP 2–6 en condiciones controladas.
- El trabajo futuro incluirá la validación experimental, optimización del proceso y pruebas de bioactividad in vitro.

REFERENCIAS

Aachary, A. A., & Prapulla, S. G. (2009). Value addition to corncob: production and characterization of xylooligosaccharides from alkali pretreated lignin-saccharide complex using Aspergillus oryzae MTCC 5154. Bioresource Technology, 100(2), 991–995. https://doi.org/10.1016/J.BIORTECH.2008.06.050

Akpinar, O., Erdogan, K., Bakir, U., & Yilmaz, L. (2010). Comparison of acid and enzymatic hydrolysis of tobacco stalk xylan for preparation of xylooligosaccharides. LWT, 43(1), 119–125. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2009.06.025

Bhardwaj, N., Kumar, B., Agarwal, K., Chaturvedi, V., & Verma, P. (2019). Purification and characterization of a thermo-acid/alkali stable xylanases from Aspergillus oryzae LC1 and its application in Xylo-oligosaccharides production from lignocellulosic agricultural wastes. International Journal of Biological Macromolecules, 122, 1191–1202. https://doi.org/10.1016/J.IJBIOMAC.2018.09.070

Boonchuay, P., Takenaka, S., Kuntiya, A., Techapun, C., Leksawasdi, N., Seesuriyachan, P., & Chaiyaso, T. (2016). Purification, characterization, and molecular cloning of the xylanase from Streptomyces thermovulgaris TISTR1948 and its application to xylooligosaccharide production.

Journal of Molecular Catalysis B: Enzymatic, 129, 61–68. https://doi.org/10.1016/J.MOLCATB.2016.03.014

Boonchuay, P., Techapun, C., Seesuriyachan, P., & Chaiyaso, T. (2014). Production of xylooligosaccharides from corncob using a crude thermostable endo-xylanase from Streptomyces thermovulgaris TISTR1948 and prebiotic properties. Food Science and Biotechnology, 23(5), 1515–1523. https://doi.org/10.1007/s10068-014-0207-0

Capetti, C. C. de M., Vacilotto, M. M., Dabul, A. N. G., Sepulchro, A. G. V., Pellegrini, V. O. A., & Polikarpov, I. (2021). Recent advances in the enzymatic production and applications of xylooligosaccharides. World Journal of Microbiology & Biotechnology, 37(10). https://doi.org/10.1007/S11274-021-03139-7

Chapla, D., Pandit, P., & Shah, A. (2012). Production of xylooligosaccharides from corncob xylan by fungal xylanase and their utilization by probiotics. Bioresource Technology, 115, 215–221. https://doi.org/10.1016/J.BIORTECH.2011.10.083

Devi, A., Bajar, S., Kour, H., Kothari, R., Pant, D., & Singh, A. (2022). Lignocellulosic Biomass Valorization for Bioethanol Production: a Circular Bioeconomy Approach. Bioenergy Research, 15(4), 1820–1841. https://doi.org/10.1007/S12155-022-10401-9

Jayapal, N., Samanta, A. K., Kolte, A. P., Senani, S., Sridhar, M., Suresh, K. P., & Sampath, K. T. (2013). Value addition to sugarcane bagasse: Xylan extraction and its process optimization for xylooligosaccharides production. Industrial Crops and Products, 42(1), 14–24. https://doi.org/10.1016/J.INDCROP.2012.05.019

Pu, J., Zhao, X., Wang, Q., Wang, Y., & Zhou, H. (2016). Development and validation of a HPLC method for determination of degree of polymerization of xylo-oligosaccharides. Food Chemistry, 213, 654–659. https://doi.org/10.1016/J.FOODCHEM.2016.07.014

Ramírez-Rodríguez, L. F. *; P.-P. L. ; G.-G. M. J. (2018). Extracción y caracterización de xilano del forraje de amaranto. Coloquio de Investigación Multidisciplinaria , 6, 1452–1457. https://cimorizaba.wixsite.com/home/cim2018-1

Samanta, A. K., Jayapal, N., Jayaram, C., Roy, S., Kolte, A. P., Senani, S., & Sridhar, M. (2015). Xylooligosaccharides as prebiotics from agricultural by-products: Production and applications. In Bioactive Carbohydrates and Dietary Fibre (Vol. 5, Issue 1, pp. 62–71). Elsevier Ltd. https://doi.org/10.1016/j.bcdf.2014.12.003

Saval, S. (2012). Aprovechamiento de Residuos Agroindustriales: Pasado, Presente y Futuro (Vol. 16, Issue 2).

Sedlmeyer, F. B. (2011). Xylan as by-product of biorefineries: Characteristics and potential use for food applications. Food Hydrocolloids, 25(8), 1891–1898. https://doi.org/10.1016/J.FOODHYD.2011.04.005

SOCIAL BOTS DETECTION IN TWITTER / X USING DEEP LEARNING

Benito Samuel López Razo[1]
José Israel Campero Domínguez[2]
Víctor Hugo de la O Martínez[3]
Nicolas Trejo de la Cruz[4]

RESUMEN

En los últimos años, los bots sociales han tenido un impacto creciente en las plataformas en línea, difundiendo desinformación e influyendo en la opinión pública. Este estudio se centra en la detección de bots en la red social Twitter/X mediante un enfoque basado en aprendizaje automático. Para ello, se obtuvo un conjunto de datos específicamente diseñado para la detección de bots que incluye diversas métricas de comportamiento e interacción de los usuarios.

Nuestra metodología incorpora tres algoritmos de aprendizaje supervisado: Redes Neuronales (RNN) Backpropagation, clasificador Random Forest y Máquinas de Vectores de Soporte (SVMs), cada uno optimizado para mejorar la precisión y la generalización de la clasificación. A través de rigurosos experimentos, se analizó y comparó la efectividad de estos algoritmos en la distinción entre usuarios humanos y bots sociales. Los resultados indican que el conjunto de datos propuesto y los algoritmos empleados proporcionan un marco confiable para la detección de bots sociales, alcanzando métricas de rendimiento competitivas. Estos hallazgos contribuyen al avance de métodos de detección automatizada para mejorar la integridad y confiabilidad de las redes sociales.

Palabras clave: Bot Detection, machine learning, análisis de características, algoritmos

ABSTRACT

In recent years, social bots have increasingly impacted online platforms, spreading misinformation and influencing public opinion. This study focuses on detecting social bots on the social network X by leveraging a machine learning-based approach. To achieve this, we developed a novel dataset tailored specifically for social bot detection, which includes various user behavior and interaction metrics. Our methodology incorporates three supervised learning algorithms: Backpropagation Neural Networks

[1] Tecnológico Nacional de México / Tecnológico de Estudios Superiores del Oriente del Estado de México. b.samuellopez7@gmail.com
[2] Tecnológico Nacional de México / Tecnológico de Estudios Superiores del Oriente del Estado de México. direccion@tesoem.edu.mx
[3] Tecnológico Nacional de México / Tecnológico de Estudios Superiores del Oriente del Estado de México. Victor.delao@tesoem.edu.mx
[4] Tecnológico Nacional de México / Tecnológico de Estudios Superiores de Chimalhuacán. m.nicolas.trejo@hotmail.com

(RNN), Random Forest Classifier, and Support Vector Machines (SVMs), each optimized to enhance classification accuracy and generalizability. Through rigorous experimentation, we analyze and compare the effectiveness of these algorithms in distinguishing between human users and social bots. Results indicate that the proposed dataset and algorithms provide a reliable framework for social bot detection, achieving competitive performance metrics. These findings contribute to advancing automated detection methods for enhancing the integrity and reliability of social networks.

Key Words: Bot Detection, Machine Learning, Characteristics Analysis, Algorithms

Introducción

Las redes sociales se han convertido en un canal de comunicación de suma importancia ya que en tan solo unos pocos segundos la información se encuentra disponible en internet. Equis antes Twitter es una red de microblogging creada en el 2006 y ha sido una de las tecnologías que abrió la brecha en comunicación en redes sociales e impulso crecimiento de internet.

Los mensajes publicados en X constituyen un material de gran interés para detectar tendencias de opinión entre los usuarios al hacer públicas las ideas que propician una cierta asimilación a una conversación informal. En el contexto de la comunicación, el análisis de contenido y los estudios cuantitativos de los mensajes de X permiten identificar patrones de comportamiento entre los usuarios y puntos de inflexión en las corrientes de opinión [1].

Los bots son tecnologías programadas y automatizadas. Estos, comparten información tendenciosa. Dicha información, tiene la finalidad de distorsionar, segmentar y dirigir el comportamiento de los usuarios en las redes sociales. Por lo cual, las redes sociales son la plataforma ideal para implementar estas tecnologías.

Según [2], además de las actividades mencionadas, se pueden usar para incrementar el número de seguidores para una cuenta especifica. El número de seguidores determina la influencia porque a mayor número de seguidores, mayor alcance de la publicación.

Autores como [3] sugieren que los bots suponen una amenaza potencial para la salud pública, ya que las personas tienden a obtener consejos médicos de Internet y los bots se emplean para promocionar productos y participar en debates.

En 2016, durante las elecciones presidenciales de Estados Unidos se produjo un ataque de bots. Alrededor de una quinta parte de las conversaciones en Twitter fueron producidas por bots [4] y más de 5000 bots fueron suspendidos por Twitter [5].

Dada esta problemática, múltiples estudios se han centrado en la detección de bots utilizando enfoques de aprendizaje automático, que se han mostrado prometedores en esta área. En particular,

técnicas como las Redes Neuronales, los algoritmos de Random Forest y las Máquinas de Vectores de Soporte (SVM) han sido ampliamente exploradas debido a su capacidad para aprender patrones complejos de comportamiento y características de los usuarios en línea. No obstante, estos estudios presentan limitaciones en cuanto a la disponibilidad de datos etiquetados, la generalización de los modelos a diferentes plataformas y la precisión de los resultados.

El presente estudio busca contribuir al avance en la detección de bots sociales mediante el desarrollo de un dataset adaptado a las características de X y la implementación de un enfoque basado en tres algoritmos supervisados: Redes Neuronales Backpropagation, Clasificador Random Forest y Maquinas de Soporte Vectorial. A través de la comparación exhaustiva de estos modelos, nuestro objetivo es identificar el algoritmo que ofrezca el mejor rendimiento para distinguir entre usuarios humanos y bots en la red social X. Los resultados de esta investigación ofrecen un marco confiable para la detección temprana de bots, lo que permite a los usuarios y a los administradores de plataformas tomar decisiones informadas y fortalecer la integridad de las redes sociales.

Trabajos relacionados - Related Works

Diversas investigaciones y proyectos han tomado como premisa principal el estudio, análisis y detección de cuentas automatizadas y perfiles. Los proyectos mencionados utilizan aproximaciones de aprendizaje automático supervisado y no supervisado.

De acuerdo con [6], Los métodos de detección de bots basados en aprendizaje supervisado requieren una gran cantidad de datos etiquetados y no consideran las características de otros usuarios. Por tanto, se presenta un buscador de correlaciones entre millones de usuarios usando técnicas de hasheo sensibles al retardo para agrupar cuentas de usuario en conjuntos correlacionados. De forma empírica se establece una precisión del 94% siendo capaz identificar bots que otros métodos no pueden.

Trabajos como (Sandoval Prado & Palma Muñoz, 2017) describen el uso de herramientas automatizadas (tweetpy) para obtener el Dataset tomando como base Botometter. Se utiliza un algoritmo Random Forest y un set de datos para entrenamiento y prueba, sin embargo, los autores concluyen que no se presentó un set de validación adecuado.

Otra aproximación a las técnicas de clasificación de bots es propuesta por [7], establece una metodología de recolección y almacenamiento de datos utilizando bases de datos no relacionales como NoSQL y gestores como Neo4j. Además, se utiliza un algoritmo de clasificación de vecinos más cercanos y un Perceptrón Multicapa alcanzando una precisión del 92%..

De acuerdo con [8] La identificación de bots sociales plantea un reto importante debido a su gran parecido con las cuentas humanas legítimas. Sin embargo, [9] presenta un enfoque multilingüe capaz de identificar cuentas sospechosas de Twitter basándose en un conjunto de características

independientemente del idioma de la cuenta. Se implementan Transformers para Clasificación Binaria y un modelo de red Densa compuesta de 2 capas ocultas y 256 neuronas en la ultima capa teniendo como resultados un modelo hibrido con 77% de precisión.

Para complementar, (Vyas, Muzumdar, & Chennamaneni, 2024) afirman que estudios existentes se han centrado en la detección de bots en Twitter utilizando aprendizaje automático y aprendizaje profundo usando Weka pero no han hecho hincapié en la importancia de las características de la cuenta de Twitter.

Autores - Año	Métodos	Técnica	Resultados
Chavoski , Hammoni, & Mueen 2016	Buscador de Warped Correlation	Técnicas de Hasheo sensibles al retardo	De forma empírica se establece 94% de precisión
Prado, Palma, Allende 2017	Implementación de algoritmo Random Forest	Random Forest	No se presenta información.
Braker, Shiaeles, Bendiab, Savage 2020	Red Neuronal Perceptron Multicapa PLN	Deep Learning, RRN y KNN	Modelo Evaluado con 92% de precisión
Martin-Gutiérrez, Hernández-Peñaloza, Belmonte Hernández, & Lozano-Diez, 2021	Transformers para Clasficicación Binaria- RNN	Validación Binary Cross Entropy	Modelo hibrido con 77% de precision

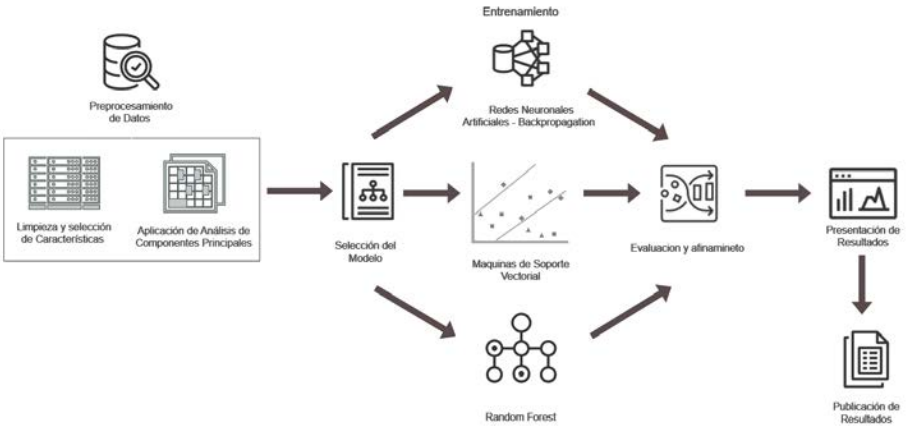
Tabla 1 *Estado del Arte Fuente: Elaboración Propia*

Las principales aproximaciones descritas utilizan diversos algoritmos de Machine Learning. Para el desarrollo del presente proyecto se implementan métodos basados en análisis de características y se comparan los resultados con métodos revisados.

MÉTODOS

La metodología desarrollada para la detección de bots sociales en la red X consta de varias etapas, desde la recolección y procesamiento de datos hasta la selección, entrenamiento y evaluación de modelos. A continuación, se describe en detalle cada una de estas fases. (ver Figura 1).

Figura 1 Metodología para el desarrollo del proyecto



Fuente: Elaboración Propia

A. Preprocesamiento de datos

Para esta investigación, se desarrolló un dataset propio adaptado a las necesidades específicas del problema. Ante las restricciones de uso de la API de Twitter, utilizamos una muestra adaptada del dataset TwittBot22 (Feng, Tan, Wan, & Wang, TwiBot-22: Towards Graph-Based Twitter Bot Detection, 2023), el cual contiene alrededor de 1 millón de registros.

El dataset inicial fue sometido a un riguroso proceso de limpieza, eliminando registros incompletos y valores nulos. Además, se aplicaron técnicas estadísticas para detectar y eliminar valores atípicos que pudieran afectar el entrenamiento de los modelos (eliminación de outliers).

Las variables relacionadas con la fecha y hora fueron convertidas en formatos utilizables, y se generaron nuevas características (estimadores) como la relación followers_following_ratio.

Para mejorar la precisión de los algoritmos, los datos fueron normalizados en un rango [0, 1], y se codificaron las variables categóricas usando métodos de codificación como *one-hot encoding*, asegurando compatibilidad con los modelos de machine learning seleccionados.

Dado el desbalance entre cuentas etiquetadas como bots y humanos, se aplicó un balanceo de clases mediante *Random Under-sampling,* logrando un dataset final de 1800 registros balanceados (50% bots y 50% humanos)

Finalmente, para identificar las características más relevantes, se empleó Análisis de Componentes Principales (PCA), reduciendo la dimensionalidad y manteniendo solo aquellas variables que maximizaron la varianza explicada. Esto no solo reduce el tiempo de procesamiento, sino que mejora la precisión de los modelos al eliminar ruido. El dataset final se describe a continuación (ver tabla 1).

Característica	Descripción
_id, id	Son identificadores únicos en formato de texto.
created_year, created_month, created_day, created_hour, created_minute, created_second, created_day_week	Datos relacionados con la fecha y hora de creación
word_count_description, protected, followers_count, following_count, tweet_count, listed_count, verified	Datos numéricos relacionados con la actividad y características del usuario.
Followers_following_ratio Credentials_null Creation_date	Estimadores estadísticos que describen la importancia de datos nulos y valores que establecen una relación estadística con respecto a sus propias variables
Label	Columna de etiquetas que parece ser el objetivo o clase

Tabla 1 *Descripción de los metadatos del Dataset*

Fuente: Creación Propia con datos tomados de (Feng, Tan, Wan, & Wang, TwiBot-22: Towards Graph-Based Twitter Bot Detection, 2023)

B. Selección del Modelo:

Después de revisar el estado del arte, se seleccionaron tres algoritmos de aprendizaje supervisado en base a su rendimiento en tareas similares y su capacidad para identificar patrones complejos:

Redes Neuronales con Retropropagación: Se empleó una arquitectura de red de capas ocultas con funciones de activación ReLU y Sigmoid.

Random Forest: Un clasificador de árboles de decisión que permite manejar conjuntos de datos grandes y variados, reduciendo el sobreajuste mediante la agregación de múltiples árboles.

Máquinas de Vectores de Soporte (SVM): Se probaron 4 kernels: lineales, RBF (Radial Basis Function), Poly y sigmoidal para evaluar su impacto en la precisión del modelo. Sin embargo, solo se presentan los kernels con mejor resultado.

C. Entrenamiento del Modelo:

Se crearon los conjuntos de 60% entrenamiento, 20% prueba y 20% validación. Se optimizaron los parámetros del modelo para obtener el mejor rendimiento. Para el desarrollo del proyecto se implementaron algoritmos mencionados usando la librería TensorFlow, pandas, numpy y matplotlib de Python.

Para cada modelo, se realizó una optimización de hiperparámetros utilizando para seleccionar los valores que maximizan el rendimiento. Los hiperparámetros ajustados incluyen para redes Neuronales el número de capas ocultas, tasa de aprendizaje y número de neuronas por capa. Para Random Forest el número de árboles, profundidad máxima y criterio de división y para SVM el Tipo de kernel y parámetros de regularización (C y gamma).

D. Evaluación y métricas de rendimiento:

Después del entrenamiento y prueba se obtuvo una matriz de confusión para identificar falsos positivos, falsos negativos y clasificaciones correctas para la clase 1 (Bots) y 0 (Usuarios Humanos) e identificar los valores de accuracy, precisión, recall y f1. Los resultados obtenidos se muestran a continuación.

DISCUSIÓN Y RESULTADOS

Los resultados obtenidos de la implementación de los algoritmos se muestran en la siguiente tabla 2, los valores son consistentes ya que los resultados muestran una precisión entre 88% y 91%.

Parámetro	Red Neuronal Backpropagation (RNN)	Maquina de Soporte Vectorial (SVM)		Random Forest (RF)
Precisión	Clase 0: 88% Clase 1: 89%	Kernel: Lineal Clase 0: 88% Clase 1: 87%	Kernel: rfb Clase 0: 88% Clase 1: 83%	Clase 0: 88% Clase 1: 95%
Recall	Clase 0: 89%	Clase 0: 89%	Clase 0: 84%	Clase 0: 96%

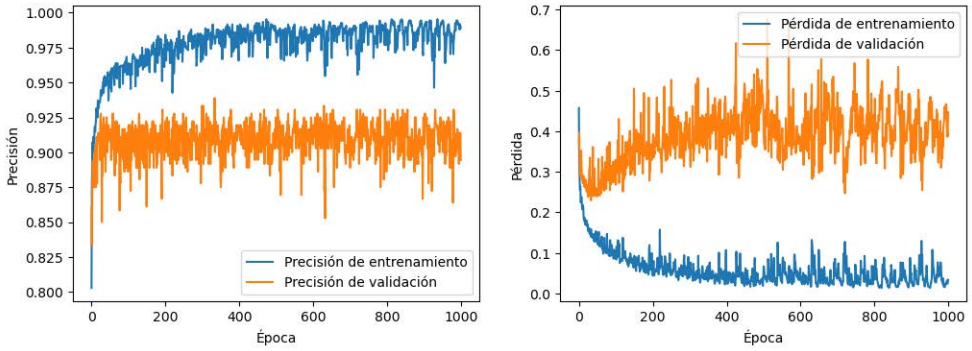
	Clase 1: 88%	Clase 1: 86%	Clase 1: 87%	Clase 1: 86%
F1-score	Clase 0: 89% Clase 1: 88%	Clase 0: 88% Clase 1: 86%	Clase 0: 8% Clase 1: 85%	Clase 0: 92% Clase 1: 90%
accuracy	88%	87%	85%	91%

Tabla 2 *Tabla de resultados RNN, SVM Y RF*

Fuente: Creación Propia

Para evaluar el rendimiento de la red neuronal a través de las épocas de entrenamiento y validación se crearon gráficos que detallan el comportamiento de la precisión y pérdida. La figura 2a muestra la precisión de entrenamiento arriba del 97% y validación aproximada de 90%, la figura 2b presenta el comportamiento de la función de perdida en la prueba y validación.

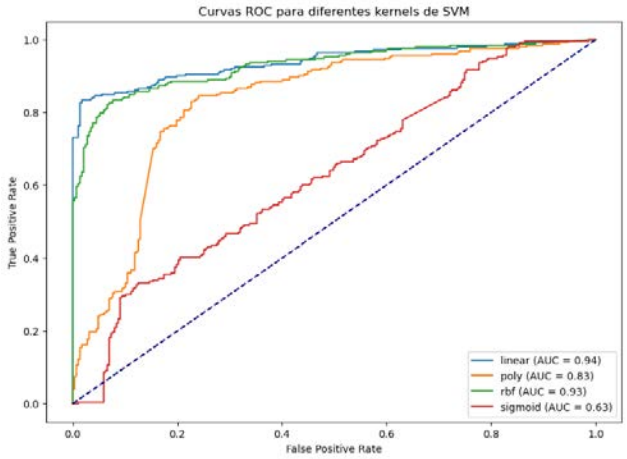
Figura 2 a) Precisión de entrenamiento y validación b) Pérdida de entrenamiento y validación RNN



Fuente: Creación Propia

Se generaron curvas ROC para cada kernel de SVM, las cuales permiten evaluar su desempeño en términos de la tasa de verdaderos positivos y falsos positivos para cada clase.

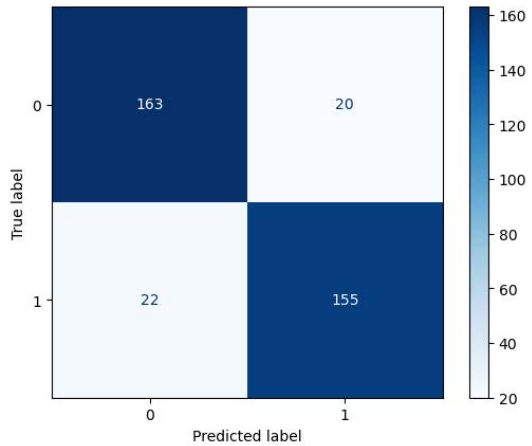
Figura 3 Curva ROC para diferentes Kernels de SVM



Fuente: Creación Propia

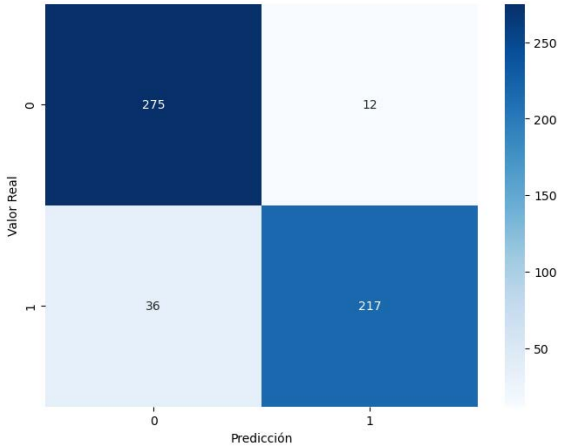
Para evaluar en detalle los errores de clasificación, se generaron matrices de confusión para cada modelo. A continuación, se presenta la matriz de confusión de los mejores modelos (Random Forest y Redes Neuronales)

Figura 4 Matriz de Confusión RNN



Fuente: Creación Propia

Figura 5 Matriz de Confusión Random Forest



Fuente: Creación Propia

La matriz de confusión del modelo Random Forest muestra un alto número de verdaderos positivos y verdaderos negativos, con pocos falsos positivos y falsos negativos. Esto indica que el modelo es efectivo tanto en la detección de usuarios humanos como de bots

CONCLUSIONES

Los resultados muestran que el modelo Random Forest tiene el mejor rendimiento global en cuanto a precisión y F1-score, superando tanto a las Redes Neuronales como a SVM. Esto sugiere que el enfoque de múltiples árboles de decisión puede capturar de forma más efectiva las características diferenciadoras entre usuarios humanos y bots. Las aproximaciones presentan resultados aceptables ya que superan los resultados de investigaciones descritas anteriormente.

REFERENCIAS

A. Jungher, Analyzing Political Communication with Digital Trace Data: The Role of Twitter Messages in Social Science Research., Switzerland: Springer, 2015.

S. Cresi, R. Di Pietro, M. Petrocchi, A. Spognardi y M. Tesconi, «Fame for sale: Efficient detection of fake Twitter followers,» *Decision Support Systems,* vol. 80, nº 1, pp. 56-71, 10 Nov 2015.

A. Deb, A. Majmundar, S. Seo y A. Matsui, «Social Bots for Online Public Health Interventions,» de *International Conference on Advances in Social Networks Analysis and Mining (ASONAM)*, Barcelona, Spain, 2018.

P. G. Efthimion, S. Payne y N. Proferes, «Supervised Machine Learning Bot Detection Techniques to,» *SMU Data Science,* vol. 1, nº 5, pp. 2-20, 2018.

A. Bessi y E. Ferrara, «Social Bots Distort the 2016 US Presidential Election Online Discussion,» *Peer Reviewed Journal on the internet,* vol. 21, nº 11, pp. 1-14, 7 Nov 2016.

N. Chavoski , H. Hammoni y A. Mueen, «DeBot: Twitter Bot Detection via Warped Correlation,» de *16th International Conference on Data Mining (ICDM)*, Barcelona, Spain, 2016.

C. Braker, S. Shiaeles, G. Bendiab, N. Savage y K. Limniotis, «BotSpot: Deep Learning Classification of Bot Accounts Within Twitter,» de *ecture Notes in Computer Science()*, 2020.

D. I., G. Dialektakis y A. Vakali, «CALEB: A Conditional Adversarial Learning Framework to enhace Data,» *Data & Knowledge Enginnering,* Enero 2023.

D. Martin-Gutíerrez, G. Hernandez-Peñaloza, A. Belmonte Hernández y A. Lozano-Diez, «A Deep Learning Approach for Robust Detection of Bots in Twitter Using Transformers,» *IEEE Access,* vol. 9, pp. 54591-54601, 14 Febrero 2021.

S. Feng, . Z. Tan, H. Wan y N. Wang, «TwiBot-22: Towards Graph-Based Twitter Bot Detection,» *arvix,* 12 Feb 2023.

T. Sandoval Prado y W. Palma Muñoz , «Detección Automática de Bots en Twitter,» Pontificia Universidad Católica de Valparaíso , Valparaíso, Chile, 2017.

G. Vyas, P. Muzumdar y A. Chennamaneni, «Extracting and Analyzing Factors to Identify the Malicious Conversational AI Bots on Twitter,» *Wiley Online Library, University of California,* pp. 71-81, 2024.

¿DE QUE MANERA LA INDUSTRIA TURÍSTICA DEL CARNAVAL DE VERACRUZ AFECTA LA FAUNA Y FLORA MARINA DEL PUERTO DEBIDO A LA GENERACIÓN DE MICRO PLÁSTICOS?

Adlen Airam Becerra Herrera[1]
Flor Virginia León[2]
Marco Antonio Gómez León[3]

RESUMEN

Este estudio trata sobre el impacto de los micro plásticos en la vida marina, la economía y la salud humana, especialmente en las costas del puerto de Veracruz. Respondiendo a la pregunta de investigación ¿De qué manera la industria turística afecta la fauna y flora marina del puerto de Veracruz debido a la generación de micro plásticos: carnaval anual?

En Veracruz, se ha encontrado una concentración significativa de micro plásticos en playas, por eventos como el Carnaval, que aumentan la generación de residuos. La investigación propuesta busca analizar cómo la industria turística afecta la flora y fauna marina de Veracruz, centrándose en el impacto del Carnaval. Los objetivos incluyen entender la relación entre el turismo y la contaminación por micro plásticos, conocer la flora y fauna marina local, y cómo los micro plásticos afectan estos ecosistemas.

El estudio busca explicar la necesidad de comprender este problema ambiental y su efecto en la economía local y en la biodiversidad. El propósito final es generar conciencia sobre los impactos negativos del turismo en los ecosistemas marinos y proponer soluciones prácticas para reducir la contaminación por plásticos.

Tiene un enfoque cuantitativo, no experimental y descriptivo ya que no pretende explicar la causa de la contaminación sino solo mostrar los daños al ecosistema.

Se realiza una tabla de análisis de contenido e una matriz de Excel en la cual se categorizan los materiales que se utilizan durante el carnaval de Veracruz. En esta tabla se explica de que materiales está hecho, como afecta a la flora y fauna, su costo, tiempo en degradarse y el principal químico contaminante. Finalmente se realizan conclusiones pares cada categoría donde se señalan cuáles son los materiales que más afectan al entorno.

[1] Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de Veracruz. L21020112@veracruz.tecnm.mx
[2] Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de Veracruz. flor.l@veracruz.tecnm.mx
[3] Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de Veracruz. tony.gole@hotmail.com

Al término del estudio se puede llegar a la conclusión de que sin regulaciones claras que limiten el uso de estos materiales en eventos masivos, millones de fragmentos de plástico seguirán acumulándose en el lecho marino, afectando la reproducción, alimentación y supervivencia de numerosas especies

Palabras clave: Micro plásticos, vida marina, industria turística, Puerto de Veracruz, Carnaval, flora y fauna marina, contaminación por plásticos, impacto ambiental, biodiversidad, impacto económico, ecosistemas marinos, generación de residuos

ABSTRACT

The following research protocol addresses the impact of microplastics on marine life, the economy, and human health, especially along the coasts of the port of Veracruz. It addresses the research question: How does the tourism industry affect the marine fauna and flora of the port of Veracruz due to the generation of microplastics during the annual Carnival?

In Veracruz, a significant concentration of microplastics has been found on beaches due to events such as Carnival, which increase waste generation. The proposed research seeks to analyze how the tourism industry affects the marine flora and fauna of Veracruz, focusing on the impact of Carnival. The objectives include understanding the relationship between tourism and microplastic pollution, understanding the local marine flora and fauna, and how microplastics affect these ecosystems.

The study seeks to explain the need to understand this environmental problem and its effect on the local economy and biodiversity. The ultimate goal is to raise awareness about the negative impacts of tourism on marine ecosystems and propose practical solutions to reduce plastic pollution. The study uses a quantitative, non-experimental, and descriptive approach, as it does not aim to explain the cause of pollution but only to show the damage to the ecosystem.

A content analysis table is created in an Excel matrix, categorizing the materials used during the Veracruz Carnival. This table explains the materials used, how they affect flora and fauna, their cost, degradation time, and the main polluting chemical. Finally, conclusions are drawn for each category, indicating which materials are most harmful to the environment.

At the end of the study, it can be concluded that without clear regulations limiting the use of these materials in mass events, millions of plastic fragments will continue to accumulate on the seabed, affecting the reproduction, feeding, and survival of numerous species.

Keywords: Microplastics, marine life, tourism industry, Port of Veracruz, Carnival, marine flora and fauna, plastic pollution, environmental impact, biodiversity, economic impact, marine ecosystems, waste generation.

INTRODUCCIÓN

En las últimas décadas el uso excesivo de los plásticos ha provocado una contaminación bastante inquietante si bien la contaminación nos afecta en algo visible como bien sabemos la cantidad de plásticos en calles, avenidas y demás crean inundaciones o los plásticos en lugares secos y calurosos pueden provocar incendios y demás casos que se nos han presentado nos dan una idea de lo malo que es la contaminación con plásticos y demás pero si te dijera que lo que vemos es en realidad es una cuarta parte de la verdadera contaminación que generan los plásticos y el cómo nos afecta en nuestro día a día siendo tan contaminantes de manera no visible, si te dijera que algo que no puedes ver te esta contaminando diariamente…

Bueno el día de hoy les presentaremos una investigación realizada para buscar la manera o las maneras que los plásticos nos afectan y no solo a nosotros directamente si no también al entorno que no rodea estudiando no solo el cómo nos afecta si no también el cómo se genera y que lo genera.

La estructura de este proyecto se organizó de la siguiente manera:

En un principio se presentan los preliminares, para pasar a un segundo capítulo donde se encuentran los objetivos del proyecto y una tercera parte donde se incluye la metodología.

DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

Los micro plásticos son un tema muy investigado y dada la importancia que se merece en estos últimos años por la gran contaminación que tenemos son motivo de investigación constante en nuestro día a día, pero para empezar ¿Qué son los micro plásticos?

Los micro plásticos son las partículas generadas por los plásticos que desechamos en nuestro día a día que generalmente son menores a 5mm esto proveniente de la degradación de plásticos grandes o residuos de éstos que ocupamos tanto a nivel personal, industrial, etc.

Estos micro plásticos afectan la vida marina de nuestros ecosistemas provocando la extinción de ellos o a veces contaminando especies debido a la confusión de dichas partículas con especies tales como tortugas, peces y aves que ingieren micro plásticos afectando la cadena alimenticia no solo contaminando una especie si no toda una cadena de especies que se consumen entre si debido a su parte dentro de la cadena alimenticia también considerándonos a nosotros como parte de esta cadena.

Así mismo, como ejemplo Veracruz siendo una de sus principales actividades económicas el turismo nacional e internacional.

Tal es el caso del Carnaval que se lleva a cabo una vez cada año, siendo una de las fiestas más importantes del Estado. El Puerto de Veracruz desarrolla esta actividad turística, en la que se incrementa la afluencia de personas de toda la República y algunos extranjeros. Incluye también la

llegada de vehículos tanto particulares como de carga. Se organiza un desfile de carros alegóricos armados de unicel, plásticos, brillantinas, papel escarchado, globos, papel, y todo tipo de elementos artísticos pero que giran alrededor del plástico en sus diferentes manifestaciones., incluyendo baños públicos,

Participan también las comparsas de las diferentes empresas y colonias del puerto, cuyos trajes están elaborados también de los mismos materiales.

Se instalan docenas de puestos de comida, bebida, adornos, decoraciones, confeti, juguetes, espejos, lentes, accesorios para la fiesta carnestolendas, etc. Por estas fechas las playas son totalmente abarrotadas por turistas locales y nacionales durmiendo y pernoctando durante una semana en las playas y generando basura de todo tipo, principalmente plástica.

En fin, se generan toneladas de basura plástica durante esta temporada, desde las coronaciones hasta la quema de Juan Carnaval.

Toda esta presencia de materiales afecta las playas, de manera directa e indirecta siendo así que se generan micro plásticos derivados de esta gran fiesta cultural. Social y económica del puerto.

Y dejando un poco de lado lo antes comentado al afectar de manera primaria a los seres vivos como peces, aves y demás animales, a si mismo sirven de transporte para llegar a nosotros como metales pesados, pesticidas o compuestos orgánicos que pueden viajar mediante el ingerir alimentos como peces y demás animales preparados para el alimento humano aunque los efectos en humanos todavía se estudian, algunos estudios sugieren que los micro plásticos pueden desencadenar reacciones inflamatorias y estrés oxidativo en tejidos animales. Esto implica un riesgo potencial para la salud humana si los micro plásticos logran penetrar barreras biológicas. Los micro plásticos también viajan por el aire que respira la población porque concentraciones significativas de micro plásticos en las playas, provenientes de diversas fuentes como la descomposición de plásticos más grandes y el vertido directo de residuos al mar.

“Se estima que más de 8 millones de toneladas de plástico entran a los océanos cada año, y una parte significativa de este plástico se desintegra en micro plásticos. Según estudios recientes, los micro plásticos pueden constituir hasta el 94% de todos los fragmentos plásticos en el océano.”- Galloway, T. S. (2015).

“Un estudio realizado por la organización *Orb Media* en 2017 reveló que el 83% de las muestras de agua potable de 14 países contenían micro plásticos. Se encontraron, en promedio, 4,34 partículas de micro plásticos por litro de agua, lo que pone en evidencia la ubicuidad de estos contaminantes.” -*Orb Media*. (2017). Micro plásticos en el agua potable: El problema global.

"Según la *Administración Nacional Oceánica y Atmosférica* (NOAA), más de 260 especies de fauna marina se han visto afectadas por la ingestión de micro plásticos, desde invertebrados hasta grandes mamíferos marinos, como ballenas y tortugas."- NOAA Marine Debris Program. (2020). *El impacto de los desechos marinos en la vida marina*.

"Los micro plásticos también se han detectado en productos alimenticios como pescado, mariscos y sal. Un informe de 2020 indicó que las personas que consumen mariscos y pescado podrían estar ingiriendo micro plásticos con una frecuencia significativa, lo que plantea preocupaciones sobre sus posibles efectos en la salud humana."- Lusher, A. L., & McHugh, M. (2020). *Micro plásticos en los mariscos: Una revisión crítica*.

"Greenpeace ha documentado exhaustivamente la contaminación por micro plásticos en las playas del Puerto de Veracruz. En un estudio conjunto con la Alianza México sin Plásticos (AMSP), se identificó que los plásticos de un solo uso constituyen el principal contaminante de las playas mexicanas, incluyendo las de Veracruz. La investigación reveló que el 47.9% de los fragmentos de basura encontrados eran plásticos, seguidos por colillas de cigarro con un 16.4%.

En particular, en las playas del Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano (PNSAV), se registró la presencia de 180 piezas plásticas, con una densidad promedio de 4.5 piezas por metro cuadrado. Las playas de El Sendero y Chachalacas presentaron las mayores concentraciones. Los tipos de plásticos más comunes fueron polietileno de alta y baja densidad, y polipropileno.

Además, un estudio realizado en 2018 analizó el contenido estomacal de 755 peces de 66 especies comerciales en Veracruz, La Paz y Puerto Morelos. Los resultados mostraron que el 54% de los peces contenían micro plásticos, siendo Veracruz la región con mayor concentración, con 1,865 piezas encontradas. La forma predominante de los micro plásticos fue en fibras, representando el 98% de los casos.

Estos hallazgos subrayan la urgencia de abordar la contaminación por plásticos en las costas veracruzanas y la necesidad de implementar políticas públicas más estrictas para regular los plásticos de un solo uso. Greenpeace y la AMSP han abogado por la creación de leyes como la Ley General de Economía Circular y reformas a la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de Residuos, aunque han señalado que algunos aspectos de estas legislaciones no abordan adecuadamente la problemática." Greenpeace. (2018). *Amenaza plástica: un problema en las costas veracruzanas*.

PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN

¿De qué manera la industria turística del carnaval de Veracruz afecta la fauna y flora marina del puerto debido a la generación de micro plásticos?

OBJETIVO GENERAL

Analizar de qué manera la industria turística del carnaval de Veracruz afecta la fauna y flora marina del puerto debido a la generación de micro plásticos.

OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Conocer la planeación y desarrollo del carnaval de Veracruz.
- Conocer que es la industria turística.
- Conocer la flora y fauna marina del puerto de Veracruz.
- Conocer cómo se generan los micro plásticos y como afectan la flora y fauna marina.
- Conocer los principales contaminantes pasticos

JUSTIFICACIÒN

La elección de este tema para la investigación responde a la necesidad de comprender cómo la industria turística, en particular eventos de gran escala como el Carnaval de Veracruz, contribuye a la generación de micro plásticos y, por ende, al daño ambiental que afecta la vida marina. Además, de que es importante entender cómo estos micro plásticos no solo impactan a los ecosistemas, sino también la economía local, ya que la pérdida de biodiversidad marina puede influir negativamente en el atractivo turístico de la región. Además, los micro plásticos sirven de "vehículo" para transportar otros contaminantes, como pesticidas o metales pesados, lo que amplía aún más su impacto negativo. Este problema se intensifica en áreas costeras turísticas como Veracruz, donde la presencia masiva de personas durante eventos como el Carnaval puede aumentar la generación de residuos plásticos, aumentando así la contaminación de la flora y fauna marina.

Por lo tanto, el propósito de este trabajo es investigar en profundidad cómo la actividad turística en Veracruz está relacionada con la contaminación por micro plásticos, particularmente durante eventos masivos como el Carnaval, y cómo esta contaminación afecta tanto a la flora y fauna marina como a la salud humana. A través de este estudio, se busca generar conciencia sobre el impacto ambiental del turismo y proponer soluciones prácticas para disminuir o eliminar los efectos negativos de los plásticos en los ecosistemas marinos. Al igual que se busca proponer nuevas mejoras y prácticas que beneficien a todo el entorno, acerca de la gestión de residuos sólidos, tomando como referente el plástico PET.

El siguiente proyecto está relacionado con el ODS 14, el cual hace referencia al Objetivo de Desarrollo Sostenible número 14 de las Naciones Unidas, que se centra en la vida submarina. Este objetivo busca conservar y utilizar sosteniblemente los océanos, mares y recursos marinos para el desarrollo

sostenible. Es un componente clave para abordar los desafíos ambientales que enfrentan los ecosistemas marinos y costeros.

ODS 14: Conservar y utilizar sosteniblemente los océanos, mares y recursos marinos para el desarrollo sostenible

El ODS 14 tiene varias metas y objetivos específicos que buscan preservar la biodiversidad marina, reducir la contaminación y proteger los ecosistemas marinos esenciales para la vida en la Tierra. Algunas de las metas más destacadas son:

Metas de ODS 14:

1. Reducir la contaminación marina:
    - Prevenir y reducir significativamente la contaminación marina de todo tipo, especialmente la que proviene de plásticos, productos químicos y fertilizantes.
    - Esto incluye iniciativas para reducir el vertido de micro plásticos en los océanos y mejorar la gestión de residuos en áreas costeras.
2. Gestionar y proteger los ecosistemas marinos:
    - Conservar al menos 10% de las zonas costeras y marinas mediante la creación de áreas protegidas y la gestión sostenible de los ecosistemas marinos.
- Promover la pesca sostenible que no afecte negativamente la biodiversidad marina.

MARCO TEORICO

a) **M*arco histórico:***

“Los micro plásticos son pequeñas partículas de plástico con un tamaño inferior a 5 milímetros. Su historia comienza en la década de 1970, cuando los científicos comenzaron a identificar plásticos flotando en los océanos. Desde entonces, la preocupación por la contaminación plástica ha crecido progresivamente. A lo largo de los años 80 y 90, los plásticos fueron reconocidos por su durabilidad y su incapacidad para descomponerse rápidamente en el ambiente, lo que llevó a una acumulación creciente en los ecosistemas marinos.

Fue a principios del siglo XXI cuando el término "micro plástico" comenzó a usarse para describir partículas plásticas de tamaño reducido. Aunque los plásticos en general eran una preocupación desde mucho antes, no fue hasta 2008 cuando los primeros estudios a gran escala comenzaron a identificar la prevalencia de micro plásticos en los océanos y en especies marinas. Desde entonces, los micro plásticos se han convertido en un tema de estudio crucial, ya que se ha comprobado que afectan no solo a la fauna marina, sino también a la salud humana debido a su capacidad de ingresar a la cadena

alimentaria." *Cózar, A., Echevarría, F., González-Gordillo, J. I., Irigoien, X., Úbeda, B., & Fernández-de-Puelles, M. L. (2014).*

"El Carnaval de Veracruz es uno de los eventos más antiguos y representativos de México, con una historia que se remonta a más de 400 años. Su origen se encuentra en la época colonial, cuando se celebraba como una fiesta pagana con influencias españolas y africanas, que incorporaban bailes, música y disfraces. A lo largo de los siglos, el Carnaval de Veracruz fue evolucionando y adquiriendo una identidad propia, convirtiéndose en una manifestación cultural con elementos de la tradición africana, europea y local.

En el siglo XIX, el Carnaval de Veracruz comenzó a tomar la forma que conocemos hoy, con desfiles, comparsas y la participación masiva de la comunidad. Durante la década de 1920, se establecieron muchas de las tradiciones actuales, como la coronación de la Reina del Carnaval, el "Baile de los 100 años" y la popular "Quema del Mal Humor". A lo largo del tiempo, el Carnaval ha crecido en tamaño y relevancia, atrayendo a miles de turistas nacionales e internacionales.

El evento no solo es famoso por sus desfiles, sino también por su música, como la salsa y la música tropical, que inundan las calles de Veracruz. Hoy en día, el Carnaval de Veracruz es considerado uno de los más importantes de México y ha sido reconocido como Patrimonio Cultural Intangible de la Humanidad por la UNESCO." *López, C. (2020). Historia y evolución del Carnaval de Veracruz.*

b) Marco Legal

A nivel mundial, la legislación sobre el uso de plásticos ha ido evolucionando a medida que se ha identificado el impacto ambiental negativo de estos materiales. En 2015, la Asamblea General de las Naciones Unidas adoptó la resolución 70/1, que establece la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible, en la que se promueve la reducción del uso de plásticos y la protección de los océanos. En este contexto, el ODS 14 ("Vida submarina") aboga por la reducción de la contaminación marina y la mejora de la gestión de los desechos plásticos. A nivel global, la lucha contra la contaminación plástica también ha sido impulsada por iniciativas como la "Resolución de la Asamblea de las Naciones Unidas sobre la Contaminación por Plásticos" en 2017.

"La **ISO 14001** es una norma internacional que establece los criterios para un sistema de gestión ambiental (SGA). Fue publicada por primera vez en 1996 y revisada en 2004, con la versión más reciente publicada en 2015. Esta norma ayuda a las organizaciones a mejorar su desempeño ambiental mediante el uso más eficiente de los recursos y la reducción de residuos. También promueve el cumplimiento de las leyes ambientales aplicables y la mejora continua en la gestión de los aspectos ambientales de una organización. Aunque la norma en sí no se enfoca específicamente en la contaminación por plásticos o la contaminación de los mares, promueve la identificación y el manejo

de los impactos ambientales significativos de las organizaciones, lo que incluiría la contaminación por plásticos en ambientes marinos.

Evaluación de aspectos ambientales (sección 6.1.2)

- **Evaluar sus impactos ambientales**: Identificar actividades, productos o servicios que puedan causar contaminación, incluida la contaminación marina por plásticos.
- **Prevenir la contaminación**: Adoptar estrategias y prácticas para reducir la generación de residuos plásticos, mejorar la eficiencia de recursos y evitar que los plásticos lleguen al mar.
- **Cumplir con la legislación ambiental**: Asegurarse de que las actividades de la organización cumplan con las leyes y regulaciones locales, nacionales e internacionales relacionadas con la contaminación por plásticos." *ISO. (2015). ISO 14001:2015*

"**Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos (LGPGIR)**

Aunque esta es una ley federal, su aplicación es crucial para Veracruz y otros estados del país. Establece las bases para la prevención y gestión adecuada de los residuos, incluidos los plásticos, y promueve la minimización de desechos en cuerpos de agua como el mar. Esta ley exige a las entidades públicas y privadas adoptar medidas para reducir la generación de residuos, incluyendo el reciclaje y la disposición adecuada de plásticos." *Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos. (2019).*

"**Ley del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente del Estado de Veracruz**

Esta es la ley estatal que regula los temas ambientales en Veracruz y establece diversas medidas para proteger los recursos naturales y el entorno marino. La ley tiene un enfoque general en la protección del ambiente" *Ley del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente del Estado de Veracruz. (2016).*

c) Marco Conceptual

VARIABLE	DEFINICIÓN	AUTOR	OPER.
INDUSTRIA TURISTICA	conjuntos de actividades económicas y servicios que están relacionados con el viaje y la estancia de personas fuera de su lugar habitual de residencia con fines de recreación	Smeral, E. (2006)	**ANÁLISIS DE CONTENIDO A TRAVES DE MATRIZ DE EXCEL**
CARNAVAL	fiesta popular que se caracteriza por la celebración de desfiles, danzas, música y disfraces, generalmente antes del periodo de la Cuaresma en la tradición cristiana	Bakhtin, M. (1965).	
MICRO PLASTICO	pequeñas partículas de plástico que miden menos de 5 milímetros de diámetro, y	Galloway, T. S.	

	pueden ser el resultado de la degradación de objetos plásticos más grandes		
FAUNA MARINA	animales que habitan en los océanos, mares, estuarios, y otras áreas marinas del planeta.	Pauly, D. (2006).	
FLORA MARINA	las plantas y organismos fotosintéticos que habitan en los ecosistemas marinos	Duarte, C. M. (2002).	
CONTAMINACIÓN	Introducción de sustancias o elementos nocivos en el medio ambiente que perjudican la salud de los seres vivos, alteran los ecosistemas y comprometen los recursos naturales.	Rachel Carson (1992)	

Tabla 1.- *CATEGORIZACIÓN DE LAS VARIABLES*

INSTRUMENTO DE RECOLECCIÓN DE DATOS

Este enfoque permite describir en detalle el fenómeno sin intervenir directamente, y extraer conclusiones acerca de los factores que contribuyen a la contaminación y sus efectos. De esta forma, el análisis de contenido nos sirve para recopilar y organizar información relevante que se integra en la parte descriptiva del estudio. El análisis de contenido se usa para describir y examinar cómo se presenta el problema de los micro plásticos en las fuentes de datos disponibles, sin modificar las condiciones del fenómeno observado, lo cual es coherente con el enfoque de un estudio descriptivo no experimental. El análisis de contenido permite describir y organizar de manera clara las tendencias y temas que surgen de la documentación existente, proporcionando una visión detallada de cómo se presenta el problema de la contaminación por micro plásticos. A través de este proceso, puedo ofrecer una interpretación más profunda del fenómeno, lo cual es fundamental para mi objetivo de comprender cómo la industria turística del carnaval contribuye a la generación de micro plásticos y, por ende, al daño de la flora y fauna marina en Veracruz.

PROCEDIMIENTO DE RECOLECCIÓN DE DATOS.

ANALISIS DE CONTENIDO A TRAVES DE MATRIZ DE EXCEL

https://docs.google.com/spreadsheets/d/16TwQZ-nw3_lgshTqV1e3YGhINrlDroU8/edit?usp=sharing&ouid=106329287168661909735&rtpof=true&sd=true

Categoría 1: Decoración de Carros Alegóricos

***Materiales que más tardan en desintegrarse*:**

En esta categoría, materiales como el plástico metálico (PET), las láminas de PVC, y la cinta plástica presentan tiempos de descomposición que oscilan entre los 100 y los 1,000 años. Estos elementos,

seleccionados por su brillo, flexibilidad y bajo costo, terminan dispersándose en pequeñas partículas que se integran al entorno terrestre y marino por generaciones. La fragmentación mecánica y la acción del sol los convierten en microplásticos persistentes.

Materiales que generan más daño en flora y fauna:

El PET y el PVC no sólo son duraderos, sino también altamente perjudiciales. En el suelo, afectan la salud de las plantas al obstruir la absorción de nutrientes y al modificar la estructura del sustrato. En el ambiente marino, los restos son confundidos por alimento por especies como peces, aves y tortugas, lo que desencadena intoxicaciones, bloqueos intestinales y alteraciones hormonales. Además, estos materiales actúan como vectores de químicos tóxicos como ftalatos y metales pesados.
En conclusión, las decoraciones utilizadas en los carros alegóricos, pensadas para impactar visualmente al espectador, están dejando una huella ecológica considerable. Cada adorno abandonado tras el desfile representa una amenaza latente para los ecosistemas circundantes, especialmente cuando son arrastrados por el viento o las lluvias hacia cuerpos de agua. Esta categoría evidencia cómo la elección de materiales poco sostenibles, motivada por el bajo costo y la estética, perpetúa un ciclo de contaminación difícil de revertir, donde la biodiversidad local es la más afectada.

Categoría 2: Vestuarios, Disfraces y Ornamentos

Materiales que más tardan en desintegrarse:

En los disfraces y accesorios usados por bailarines y participantes del carnaval predominan textiles sintéticos como el nylon, las lentejuelas plásticas, la fibra de vidrio y el unicel. Algunos de estos, como el nylon, pueden permanecer en el ambiente durante siglos. Las fibras sintéticas se desprenden fácilmente con el roce, el lavado o el uso, ingresando rápidamente a cuerpos de agua como microfibras. En esta categoría difícilmente puede seleccionarse un material que tarde más en desintegrases ya que en su mayoría, tardan hasta 500años en desintegrarse en el ambiente.

Materiales que generan más daño en flora y fauna:

Las microfibras sintéticas derivadas de telas como el satén y el nylon tienen la capacidad de infiltrarse en el suelo y el agua, alterando tanto microorganismos esenciales para la salud de las plantas como especies acuáticas pequeñas. El unicel y el fomy, al desintegrarse, liberan partículas que no solo afectan físicamente a la fauna cuando son ingeridas, sino que también liberan químicos que afectan su reproducción y longevidad. La pedrería y las lentejuelas aunque visualmente atractivas se desprenden fácilmente y terminan diseminadas en áreas naturales.
La industria del vestuario, lejos de ser inofensiva, se convierte en una fuente invisible pero constante de contaminación. Cada traje confeccionado con telas brillantes y materiales plásticos encierra un

potencial contaminante de largo plazo. El uso de estos productos, generalmente por pocas horas, contrasta radicalmente con su tiempo de permanencia en el ambiente.

Categoría 3: comercios y público en general.

Materiales que más tardan en desintegrarse:

Productos de un solo uso como vasos de unicel, botellas de PET, bolsas de plástico, y banners de poliéster con PVC tienen tiempos de degradación que varían desde los 150 hasta más de 500 años. Muchos de estos objetos están diseñados para usarse por minutos, pero permanecen siglos en el ambiente, especialmente cuando no son recolectados adecuadamente al final del evento. El unicel (EPS), en particular, tiene una estructura porosa que facilita su fragmentación en micro plásticos.

Materiales que generan más daño en flora y fauna:

Los residuos generados por comercios como popotes, cubiertos desechables, manteles plásticos y papel film, tienen formas y colores que fácilmente engañan a especies como tortugas, peces, aves marinas y mamíferos. Estos fragmentos no solo causan asfixia y obstrucción, sino que al ser ingeridos, liberan toxinas que afectan órganos internos y alteran ciclos reproductivos. Además, muchos productos contienen aditivos químicos que se acumulan en la cadena trófica.

Las actividades comerciales durante el Carnaval de Veracruz, aunque esenciales para el derrame económico del evento, representan una fuente significativa de contaminación micro plástica. A través de empaques, utensilios desechables y objetos promocionales, se introducen grandes volúmenes de plástico al entorno natural, la mayoría no reciclado ni gestionado adecuadamente. Este fenómeno convierte al carnaval en un foco de presión ambiental no solo visual, sino tóxica y prolongada. La vida silvestre en costas, manglares y zonas urbanas circundantes es la más afectada, absorbida por un ciclo de consumo efímero pero consecuencias ecológicas persistentes.

PROCESAMIENTO ESTADÍSTICO DE LOS DATOS.

Como investigadora, llego a la conclusión de que muchas de las personas que asisten al Carnaval de Veracruz no son conscientes del impacto ambiental que generan los desechos plásticos durante estos eventos. Esta falta de información y sensibilización contribuye a la acumulación de micro plásticos que afectan directamente la flora y fauna marina. Lo preocupante es que el carnaval no es la única actividad que se realiza en la costa del puerto; existe una diversidad de eventos y dinámicas comerciales que, en conjunto, están deteriorando progresivamente el entorno marino. Ante la ausencia de regulaciones específicas que limiten o controlen el uso de materiales plásticos en este tipo de celebraciones, es inevitable preguntarse: ¿cuántos carnavales más deberán pasar antes de que se tomen medidas concretas? ¿Dónde terminan realmente todos estos residuos? Este tipo de cuestionamientos surgen a lo largo de la investigación y evidencian la urgencia de darle mayor visibilidad al problema. Generar

conciencia y promover acciones preventivas no es solo deseable, sino necesario si queremos preservar los ecosistemas costeros que hoy enfrentan una amenaza constante y silenciosa.

ANEXOS

Figura 1.- Desfile nocturno carnaval de Veracruz.

Fuente: Imagen de Veracruz (2024)

Figura 2.-Comparsa del carnaval de Veracruz.

Fuente: Tripulante.mx (2020)

Figura 3.- Desfile matutino del carnaval de Veracruz.

Fuente: El imparcial (2024)

Figura 4.- Recolección de basura después del paseo del carnaval.

Fuente: e-consulta.com (2020)

Figura 5.- Acumulación de desechos en zona de desfile.

Fuente: XEU Veracruz (2020)

Figura 6.- Basura en el malecón después del carnaval.

Fuente: Crónica Veracruz (2020)

Figura 7.- Acumulación de plásticos en zona de playa.

Fuente: Ecología verde (2024)

Figura 8.- Micro plásticos encontrados dentro de Fauna marina

Fuente: Greenpeace (2020)

REFERENCIAS

Andrady, A. L. (2011). Microplastics in the marine environment. Marine Pollution Bulletin, 62(8), 1596–1605. https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2011.05.030

Cózar, A., Echevarría, F., González-Gordillo, J. I., Irigoien, X., Úbeda, B., & Fernández-de-Puelles, M. L. (2014). The Arctic Ocean as a major sink for microplastic debris. Science, 345(6200), 1322-1326. https://doi.org/10.1126/science.1254065

Duarte, C. M. (2002). The biology and ecology of seagrasses. In Marine Ecology Progress Series (Vol. 70, pp. 144–153). Springer. https://doi.org/10.3354/meps070144

Ecología Verde. (s.f.). ¿Cuánto tardan en degradarse los desechos? Recuperado de https://www.ecologiaverde.com/cuanto-tardan-en-degradarse-los-desechos-2466.html

FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). (2018). Microplásticos en los océanos y sus impactos en la pesca y la acuicultura. https://www.fao.org/3/ca3546es/ca3546es.pdf

Galloway, T. S. (2015). Micro- and nano-plastics and human health. Environmental Toxicology and Chemistry, 34(5), 1187–1192. https://doi.org/10.1002/etc.3065

GESAMP. (2015). Sources, fate and effects of microplastics in the marine environment: A global assessment (Rep. No. 90). https://www.gesamp.org/publications/microplastics-in-the-marine-environment

Greenpeace. (2018). Amenaza plástica: un problema en las costas veracruzanas. Recuperado de https://www.greenpeace.org/static/planet4-mexico-stateless/2018/12/a6ca2b8e-invasion-plastica-2.pdf

Greenpeace. (s.f.). ¿Sabías cuánto tarda en degradarse la basura que generas? Greenpeace México. Recuperado de https://www.greenpeace.org/mexico/

Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, M. (2014). Metodología de la investigación (6ª ed.). McGraw-Hill Education.

Ley del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente del Estado de Veracruz. (2016). Gobierno del Estado de Veracruz.

Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos. (2019). Diario Oficial de la Federación.

López, C. (2020). Historia y evolución del Carnaval de Veracruz. Secretaría de Turismo de Veracruz. Recuperado de https://www.veracruz.gob.mx/turismo/carnaval

Lusher, A. L., & McHugh, M. (2020). Microplásticos en los mariscos: Una revisión crítica. Environmental Pollution, 263, 114294. https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.114294

National Geographic. (2019). Plastic pollution. Recuperado de https://www.nationalgeographic.com/environment/article/plastic-pollution

Neuendorf, K. A. (2017). The content analysis guidebook (2nd ed.). Sage Publications.

NOAA Marine Debris Program. (2020). El impacto de los desechos marinos en la vida marina. National Oceanic and Atmospheric Administration. https://marinedebris.noaa.gov

Orb Media. (2017). Microplásticos en el agua potable: El problema global. Orb Media. https://orbmedia.org/stories/2017/10/22/plastics-water

Pauly, D. (2006). The diversity of marine life and its impact on ecosystems. Marine Ecology Progress Series, 329, 47–59. https://doi.org/10.3354/meps329047

PlasticsEurope. (2020). Plastics – the Facts 2020. An analysis of European plastics production, demand and waste data. https://plasticseurope.org/knowledge-hub/plastics-the-facts-2020/

Rochman, C. M., Browne, M. A., Halpern, B. S., Hentschel, B. T., Hoh, E., Karapanagioti, H. K., ... & Thompson, R. C. (2013). Policy: Classify plastic waste as hazardous. Nature, 494(7436), 169–171. https://doi.org/10.1038/494169a

Thompson, R. C., Swan, S. H., Moore, C. J., & vom Saal, F. S. (2009). Our plastic age. Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences, 364(1526), 1973–1976. https://doi.org/10.1098/rstb.2009.0054

UNEP (Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente). (2016). Marine plastic debris and microplastics: Global lessons and research to inspire action and guide policy change. https://www.unep.org/resources/report/marine-plastic-debris-and-microplastics

https://imagendeveracruz.mx/img/2025/06/12/20250612_125947685_Carnaval_de_Veracruz_2024x_asx_serx_el_show_de_Yuri_en_su_carro_alegxrico.jpg

https://www.elimparcial.com/resizer/v2/XTBSOMPR7NG3BJI7DYZ7G6P55A.jpg?auth=e017b6282d80689175b0b7fce7ccb895a127e2f30da9cdde2d606393abf0d99b&smart=true&width=1200&height=800&quality=70

https://e-veracruz.mx/_next/image?url=https%3A%2F%2Ffotos.e-veracruz.mx%2Fbasu_0.jpg&w=640&q=75

https://cronicaveracruz.com/images/notas/2020-02-24/1487_8.jpg

https://cdn0.ecologiaverde.com/es/posts/5/8/2/contaminacion_del_suelo_causas_consecuencias_y_soluciones_285_paso_15_orig.jpg

LA IMPORTANCIA DE LA IMPLEMENTACIÓN DE LAS TIC'S EN LAS MIPyME'S

Rubí Rivas Gutiérrez[1]
Julia Rivera Moreno[2]
María de los Ángeles Camacho Morales[3]

RESUMEN

Hoy en día las organizaciones hacen mayor uso de las Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC's) como herramienta importante para el control y la optimización en sus operaciones, por lo que el objetivo de este estudio es identificar la importancia de su implementación en las Micro, Pequeñas y Medianas Empresas (MIPyME'S). Para ello, mediante un enfoque cualitativo, se obtuvieron hallazgos relevantes de acuerdo a la recopilación y análisis de la información de fuentes secundarias. Estos descubrimientos hacen referencia a la importancia de la implementación de las TIC's en las MIPyME´S, para la verificación de los procesos, mejorando la comunicación, así como el incremento de sus ventas y utilidades. Por lo que se concluye que el uso de las TIC's en las MIPyME's impacta en la competitividad para permanecer en los mercados cada vez más complejos y demandantes, apoyando al ODS 9 *Industria, Innovación e Infraestructura* al invertir en tecnologías de la información, impulsando de este modo el desarrollo económico del país.

Palabra Clave: MIPyME's, tecnología, información, comunicación.

ABSTRACT

Today, organizations are increasingly using Information and Communication Technologies (ICT's) as an important tool for controlling and optimizing their operations. Therefore, the objective of this study is to identify the importance of their implementation in Micro, Small, and Medium-sized Enterprises (MS&ME's). To this end, through a qualitative approach, relevant findings were obtained based on the collection and analysis of information from secondary sources. These discoveries highlight the importance of implementing ICT's in MS&MEs for verifying processes, improving communication, and increasing sales and profits.

[1] Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de Veracruz. L20020528@veracruz.tecnm.mx
[2] Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de Veracruz. julia.rm@veracruz.tecnm.mx
[3] Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de Veracruz. maria.cm@veracruz.tecnm.mx

Therefore, it is concluded that the use of ICT's in MS&ME's impacts their competitiveness and helps them remain in increasingly complex and demanding markets. This supports SDG 9: Industry, Innovation, and Infrastructure by investing in information technologies, thereby driving the country's economic development

Keyword: MS&ME's, technology, information, communication.

INTRODUCCIÓN

Las MIPyME'S forman parte del día a día en México y se encuentran prácticamente en todos los rincones del país. Un ejemplo claro son las microempresas, aquellas que cuentan con un máximo de 10 empleados, y que suelen identificarse en negocios como tiendas de abarrotes, panaderías, talleres mecánicos o cafeterías, entre otros. Esta amplia presencia les otorga una influencia considerable en todos los ámbitos económicos, lo que a su vez contribuye significativamente a la generación de empleo. Motivo por el cual el objetivo de este estudio es analizar la importancia de implementar las TIC's en las MIPyME'S, para optimizar el rendimiento en las organizaciones y facilitar el acceso a la información digital, que contribuirá a la reducción de costos

La principal problemática a la que se enfrentan las MIPyME'S es la competencia con las grandes empresas transnacionales que acaparan el comercio, tomando de ejemplo algunos establecimientos como Súpers express o las tiendas de conveniencia con precios elevados al público, que afectan en la vida cotidiana y su sostenimiento a largo plazo. Tomando en cuenta esta problemática las MIPyME'S hoy en día necesitan actualizarse para mejorar su desempeño y competir frente a estas grandes empresas implementando las TIC's en una transformación digital.

METODOLOGIA Y MATERIAL

Esta investigación se desarrolló bajo un enfoque cualitativo - descriptivo, de tipo documental; la recopilación de datos se efectuó mediante la revisión de material en artículos especializados, informes de organismos nacionales e internacionales libros, artículos publicados, así como noticias relevantes sobre la situación actual en la implementación de TIC´s y las MIPyME'S ya establecida operando con las TIC´S atendiendo al público en general.

El objetivo general del presente estudio es analizar la importancia de la implementación de las TIC´s en las MIPyME´S, para alcanzarlo se desarrollaron los siguientes objetivos específicos:

- Identificar las características de las TIC's.
- Explicar el impacto de las TIC's en las organizaciones.
- Demostrar las diferentes TIC´s que se aplican en la MIPyME´S

MARCO TEORICO

TEORÍA KEYNESIANA DEL CICLO ECONÓMICO

Considera la volatilidad de las expectativas como la causa principal de las fluctuaciones económicas. Esta teoría se origina en la *Teoría general de la ocupación, el interés y el dinero* de Keynes, el impulso en la teoría Keynesiana del ciclo económico son las ventas y los beneficios futuros esperados. Un cambio de las ventas y los beneficios futuros esperados cambia la demanda de capital nuevo y cambia de nivel de inversión. (Parkin et al., Año 2007, p.365).

TEORÍA CUANTITATIVA CLÁSICA DEL DINERO

La ecuación cuantitativa M x V = P x Y que relaciona el nivel de precios y el nivel de producción con la cantidad de dinero. Se convirtió en la *teoría cuantitativa clásica del dinero,* cuando se afirmó que tanto V, la velocidad-renta como Y, el nivel de producción, eran fijos. Se consideró que la producción real era fija porque la economía se encontraba en el nivel de pleno empleo y se supuso que la velocidad no variaba mucho. Ninguno de estos dos supuestos se cumple en la realidad, pero *es* interesante ver dónde nos llevan *Si tanto V como Y son fijos, el nivel de precios es proporcional a la cantidad de dinero*. Por lo tanto, *la teoría cuantitativa clásica era una teoría de la inflación*. (Dornbusch et al., 2004, p.437- 438).

MARCO CONCEPTUAL

Para el adecuado entendimiento de este estudio a continuación se definen los principales términos del tema a desarrollar.

MIPyME'S:

"MIPyMES: Micro, pequeñas y medianas empresas, legalmente constituidas, con base en la estratificación establecida por la Secretaría, de común acuerdo con la Secretaría de Hacienda y Crédito Público y publicada en el Diario Oficial de la Federación" (LDCMPME, 2002, Art 3º, fr. III).

Tecnología:

El término tecnología proviene de las palabras griegas téchne (τε' χνη, "arte, técnica u oficio") y logía (λογι' α, "el estudio de algo"). Por tanto, la tecnología es el estudio de la técnica. Para ser más precisos, es el área del conocimiento que estudia la técnica, sus funciones, los materiales que usa, los medios que aplica, sus procesos de cambio y su interacción con el entorno social, cultural y natural. (Pineda, 2012, p. 25)

Comunicación:

Desde sus primeros estudios en Grecia, se puede definir a la comunicación como el proceso dinámico y dialéctico que permite la transmisión de un mensaje. Etimológicamente, proviene del latín *communis* que significa transmitir algo, hacerlo común, y del término griego *koinonia* que significa comunidad. Por lo tanto, comunicación es transmitir o compartir algo en comunidad. En definitiva, la comunicación es la actividad humana que nos permite relacionar entre dos o más personas y con el entorno, mediante el intercambio de ideas y pensamientos, lo que nos ha consentido, como humanidad, transmitir y trascender el conocimiento, las necesidades y los sentimientos. (Freire, 2018, p.19)

TIC's (Tecnologías de la Información y Comunicación):

De acuerdo a (Rosario, 2005; como se cita en Pacheco, 2012): Se denominan Tecnologías de la información y comunicación al conjunto de tecnologías que permiten la adquisición, producción, almacenamiento, tratamiento, comunicación, registro y presentación de informaciones, en forma de voz, imágenes y datos contenidos en señales de naturaleza acústica, óptica o electromagnética. Las TIC incluyen la electrónica como tecnología base que soporta el desarrollo de las telecomunicaciones, la informática y el audiovisual". (p.19).

MARCO LEGAL

CÓDIGO DE COMERCIO

Capítulo III De la Contabilidad Mercantil

Artículo 33. "El comerciante está obligado a llevar y mantener un sistema de contabilidad adecuado. Este sistema podrá llevarse mediante los instrumentos, recursos y sistemas de registro y procesamiento que mejor se acomoden a las características particulares del negocio**". (**Lara, 2017, p.19).

LEY DEL IMPUESTO SOBRE LA RENTA

TÍTULO II

Capítulo IX. De las obligaciones de las personas morales.

Artículo 76. "Los contribuyentes que obtengan ingresos de los señalados en este Título, además de las obligaciones establecidas en otros artículos de esta Ley, tendrán las siguientes:

I. Llevar la contabilidad de conformidad como el Código Fiscal de la Federación, su Reglamento y el Reglamento de esta Ley, y efectuar los registros de la misma.

II. Expedir los comprobantes fiscales por las actividades que realice". **(**Lara, 2017, p.19).

PROBLEMA A RESOLVER

- Problemas financieros: El no usar las TIC´s, en el uso de operaciones Bancarias y de facturación electrónica, complica la administración del dinero.
- Desventajas con los clientes: Actualmente, los consumidores esperan atención rápida por WhatsApp, redes sociales o chatbots.
- Procesos ineficientes: Muchos aún dependen de registros manuales (libretas o archivos físicos), lo que genera errores en inventarios, finanzas y control de ventas.
- Baja competitividad: Al no incorporar tecnologías digitales, las MIPyME´S no logran competir con empresas que sí automatizan sus procesos, usan comercio electrónico o implementan sistemas de gestión.
- Limitada presencia de la entidad corporativa al público: Por falta de páginas web, redes sociales o tiendas en línea restringe su visibilidad.

PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN

Tomando en cuenta la urgencia de una adaptación tecnológica por parte de estas empresas la pregunta de investigación es ¿Cuál es la importancia de implementar las TIC's en las MIPyME'S?

OBJETIVO DE LA INVESTIGACION

Analizar la importancia de implementar las TIC's en las MIPyME'S.

CONTENIDO Y DESARROLLO DE LA INVESTIGACION

1.- Se identificaron las Características de las TIC's

Las TIC's han sido utilizadas desde inicios del siglo XXI, es entonces cuando da inicio la transformación digital y poseen características específicas y universales, que se han desempeñado como apoyo para la interconexión en el mundo.

De acuerdo con la Universidad Internacional de Valencia, (VIU, 2013) a partir de lo planteado por (Martínez, 2019, pp13-14) las TIC's cuentan con diversas características y entre las más importantes se mencionan:

CARACTERISTICAS DE LAS TIC	
Inmaterialidad	Permite almacenar gran cantidad de información en dispositivos pequeños o en la nube, facilitando el acceso desde cualquier parte del mundo.
Interactividad	Las TIC's facilitan la comunicación bidireccional entre personas o grupos, sin importar su ubicación, mediante herramientas como videoconferencias, foros o correo electrónico.
Instantaneidad	Hace posible una comunicación rápida y el intercambio de información entre lugares distantes, superando las limitaciones de tiempo y espacio.
Diversidad	Esta característica tiene dos enfoques: el primero alude a la diversidad de herramientas existentes y a su utilidad para realizar diversas tareas; el segundo señala que son accesibles para cualquier persona, sin importar factores como edad, género o cultura, ya que pueden usarse en cualquier momento y lugar, al tratarse de recursos con alcance global.
Innovación	Las TIC's están en constante evolución y generan transformaciones en distintos aspectos de la vida al facilitar el acceso a nuevas ideas. No obstante, estos avances no implican rechazar tecnologías previas, sino aprender a integrarlas de manera complementaria para obtener mejores resultados.
Interconexión	Esta característica se refiere a la combinación de distintas tecnologías que permite el desarrollo de nuevas posibilidades tecnológicas.

Tabla 1. *Características de las TIC's*

Fuente: (Martínez, 2019 pp.13-14).

2.-Impacto de las TIC's en las Organizaciones

Las TIC's proporcionan beneficios que pueden convertirse en ventajas competitivas para las empresas, ya que permiten optimizar gastos, mejorar la difusión de sus productos o servicios y, en consecuencia, incrementar sus ventas. No obstante, es fundamental reconocer que la adopción de estas tecnologías no siempre genera efectos inmediatos en la competitividad, aunque sí abre posibilidades valiosas dentro del mercado. Por ello, resulta esencial que las empresas adquieran un mayor dominio y comprensión sobre el uso estratégico de estas herramientas. (Gimeno, 2010, p. 6)

Figura 1. Impacto de las TIC's en las Organizaciones

Fuente (Consoli, 2012 p.95)

La Figura 1 presenta el impacto que tienen las TIC's en las organizaciones, estos se dividen en cuatro grupos fundamentales para el crecimiento de cualquier organización. Como se puede observar la implementación de estas tecnologías puede dar como resultado la obtención de beneficios realmente significativos y que cambien el rumbo de las organizaciones para bien, siempre y cuando se utilicen de manera óptima.

3.- Se explican los diferentes medios de Implementación de las TIC's en las MiPyME'S

Páginas Web: El primer paso consiste en desarrollar un sitio web accesible desde cualquier lugar, sin embargo, esto no es suficiente, ya que los usuarios esperan encontrar una plataforma moderna y constantemente actualizada.

Plataformas de Comercio Electrónico: Explorar las plataformas de comercio electrónico no solo facilita la expansión en la venta de productos y servicios, sino que también brinda la oportunidad de obtener datos demográficos más detallados de los clientes y comprender mejor sus preferencias y requerimientos.

Herramientas de Marketing Digital - SEO: El posicionamiento en los primeros resultados de búsqueda en Internet se logra mediante la optimización de búsqueda SEO (Search Engine Optimization) y la publicidad pagada, lo cual incrementa las posibilidades de atraer a un mayor número de clientes.

ERP: Los Sistemas para la Planificación de Recursos Empresariales - ERP (Enterprise Resource Planning) son sistemas que simplifican procesos como la emisión de facturas, la gestión del inventario y la administración de la información tanto de clientes como de proveedores. Además, para conservar la satisfacción del cliente, es importante que las empresas mantengan al día el cumplimiento de sus obligaciones fiscales.

Productividad y Colaboración: Estas herramientas favorecen la organización del trabajo al permitir visualizar las tareas asignadas a cada integrante del equipo, así como establecer conexión y programar reuniones con clientes e inversionistas.

Ciberseguridad: Aunque una empresa cuente con un sistema de seguridad de alta calidad, el riesgo de ser víctima de un ataque cibernético persiste si los empleados no reciben la capacitación adecuada en ciberseguridad.

Estas son las principales herramientas digitales que toda pyme debería poseer, pero si bien es cierto, es necesario recalcar que no importa el tamaño de la empresa ya que la digitalización y el uso de las tecnologías de la información está al alcance de cualquier usuario que busque potencializar el desempeño de su empresa.

4.- Se analiza la importancia de las TIC's en las MIPyME'S

La importancia de las TIC´s en las MIPYME´S radica en muchos beneficios, los principales son:

- Productividad, se logra los niveles de productividad que es la eficiencia en el uso de los recursos para producir bienes o servicios, relacionando la cantidad de productos con los insumos que se utilizan.
- Competitividad es la capacidad de las organizaciones para desarrollar ventajas competitivas con referencia a las empresas de su giro y así posicionarse en el mercado de manera sobresaliente.
- Innovación implementando nuevas ideas, procesos y prácticas que permitan alcanzar los objetivos de manera eficiente.
- Reducción de costos, control organizacional, atención al cliente.
- La toma de decisiones con el uso de las TIC´s facilita la información para diagnóstico y medición de los resultados obtenidos.
- Mejor comunicación interna y externa, ya que se mejora el intercambio de información, ideas y conocimientos entre los colaboradores de una organización y con esto se busca lograr el objetivo de la misión y visión de la empresa.

RESULTADOS

El resultado del presente estudio muestra que sí es muy importante el uso de las TIC's en las MIPYME'S ya que favorece la Productividad, la innovación, le permite la reducción de costos, la toma de decisiones y facilita la comunicación de las tareas dentro de las organizaciones, haciéndolas competitivas, permitiendo el crecimiento y desarrollo de sus actividades, para el logro de sus objetivos. La mayoría de las MIPyME´S han comenzado a implementar las TIC's (software de gestión, plataformas digitales, redes sociales, facturación electrónica), reportando mejoras en su eficiencia operativa; el uso de herramientas digitales permite la expansión de los mercados, la mejora en la atención hacia el público, persistiendo aun barreras como la falta de capacitación del personal, recursos económicos limitados y la resistencia al cambio por parte de los propietarios o empleados.

DISCUSIÓN

Se confirma que el uso de las TIC´s en las MIPyME´S no es solo un apoyo opcional, sino una urgente necesidad estratégica, ya que una relación directa entre el uso de la TIC ´s y la mejora en la productividad.

Las MIPyME´S que no aceptan adoptar las TIC's corren el riesgo de atrasarse su avance, enfrentando desventajas frente a otras organizaciones que operan con esas herramientas digitales, lo que implica que la implementación de las TIC's debe ir acompañada de programas de formación y estrategias de sensibilización.

CONCLUSIÓN

Respondiendo a la pregunta de investigación: ¿Cuál es la importancia de implementar las TIC's en las MIPyME´S?

La importancia de la implementación de las TIC's en las MIPyME´S radica en los beneficios que estas proporcionan a las organizaciones (sin importar su origen, tamaño, giro y/o actividades), los cuales se ven reflejados en la facilidad de los procesos internos, la obtención de resultados de acuerdo con el cumplimiento de metas u objetivos por parte de cada empresa y a su durabilidad en el sector empresarial. Es necesario que las empresas estén al tanto de las nuevas tendencias administrativas, así como de las tendencias tecnológicas vigentes, para no quedar en el rezago de la gestión de negocios.

Por lo que se concluye que el uso de las TIC's en las MIPyME'S impacta en la competitividad para permanecer en el mercado favoreciendo el incremento en las utilidades, los mercados son cada vez más complejos y demandantes, regidos por las necesidades cambiantes del consumidor de acuerdo con su entorno. De igual manera es de vital importancia aclarar que el ODS 9 *Industria, Innovación e Infraestructura* impacta en la presente investigación, así como en el impulso del desarrollo económico del país, al invertir en tecnologías de la información.

RECOMENDACIONES

- Diseñar estrategias digitales que se alineen con los objetivos de la organización, esto a través de la realización de un diagnóstico tecnológico.
- Proporcionar capacitación al personal en el desarrollo de competencias digitales
- Fomento de una cultura organizacional orientada a la innovación, que privilegie el aprendizaje continuo, la utilización de información basada en datos para la toma de decisiones y la prueba de nuevas herramientas.
- Implementación de procedimientos de seguridad digital, almacenamiento de respaldos en la nube y formación en prácticas seguras para la protección de la información.

REFERENCIAS

Consoli, D. (2012). Literature analysis on determinant factors and the impact of ICT in SMEs. Procedia-social and behavioral sciences, 62, 93-97.

Dornbusch R.,Fischer S., Startz R. (2004) *Macroeconomía*. Editorial Mc Graw hill/Interamericana de España, S.A.U. Novena edición, 437-438.

Freire, M. I., (2018). *Lenguaje y comunicación humana. Guía de Estudio.* Quito, Ecuador: Universidad Tecnológica Indoamérica. Recuperado de https://fliphtml5.com/dexpo/xgpm/LIBRO_LENGUAJE_Y_COMUNICACION-2/?utm_source=chatgpt.com

Gimeno, V. A. (2010). La influencia de las nuevas tecnologías de la información y las comunicaciones y su repercusión en las estrategias empresariales: la banca online y su aplicación en las cooperativas de crédito (Tesis doctoral, Universitat de València). Repositorio de la Universitat de València. https://acortar.link/KGPhZ5

Lara, E. (2017) *Primer Curso de Contabilidad*. Editorial Trillas 28ª ed. México

Ley para el Desarrollo de la Competitividad de la Micro, Pequeña y Mediana Empresa (30 de diciembre del 2002), Art. 3, fr. III. Última reforma publicada en el Diario Oficial de la Federación el 20 de octubre de 2023. Recuperado de https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LDCMPME.pdf

Martínez, J. (2019). Uso de las TIC'S en la gestión empresarial. Trabajo especial de grado de la Universidad de Jaén para optar al grado de Administración y Dirección de Empresas.

Pacheco, M. L., (2012). *Tecnología de la información y la comunicación (1era ed.)*. Secretaria de Educación Pública. Recuperado de: https://preparatoriaabiertapuebla.com.mx/librosmodular/6_Tecnologia_Informacion_comunicacion.pdf

Parkin M., Esquivel G., Muñoz M.,(2007) *Macroeconomía versión para Latinoamérica*. Pearson Educación, México, 2007.Séptima edición,

Pineda, R. E. (2012). *Tecnología 1(1era ed.)*. Editorial Santillana. Recuperado de https://fliphtml5.com/aufql/ntuu/libro_tecnologia_1%C2%B0/?utm_source=chatgpt.com

ANÁLISIS DEL SISTEMA DE ILUMINACIÓN Y EFICIENCIA ENERGÉTICA DE LA UNIDAD ADMINISTRATIVA DE SALUD DE SAN ANDRÉS TUXTLA, VERACRUZ

Belén Buccio Mendoza[1]
Olaya Pirene Castellanos Onorio[2]
Mario Díaz González[3]
Pablo Alberto Victoria Castillo[4]

RESUMEN

La iluminación representa un componente clave en el desempeño energético de los entornos construidos, especialmente en infraestructuras críticas como los centros de salud. Su adecuada implementación no solo garantiza condiciones óptimas de visibilidad y seguridad, sino que también influye directamente en el confort visual, el bienestar psicológico y la precisión en la atención médica. Una estrategia de iluminación eficiente se basa en maximizar el aprovechamiento de la iluminación natural (INat) y complementar con sistemas de iluminación artificial (IAr) de bajo consumo, gestionados de manera inteligente. El equilibrio entre ambas fuentes permite reducir significativamente la demanda energética, los costos operativos y la huella ambiental del edificio.

En este contexto, el presente estudio realiza un análisis integral del sistema de iluminación en un centro de atención médica, evaluando su desempeño en términos de eficiencia energética, calidad luminotécnica y potencial de optimización de la Unidad Administrativa de Salud (UAS) de San Andrés Tuxtla Veracruz. Los resultados obtenidos permiten identificar oportunidades de mejora orientadas hacia un diseño más sostenible, resiliente y compatible con los estándares de eficiencia energética aplicables al sector salud.

Palabras clave: Iluminación, eficiencia energética, salud pública.

ABSTRACT

Lighting represents a key component in the energy performance of built environments, especially in critical infrastructure such as healthcare facilities. Proper implementation not only ensures optimal visibility and safety conditions but also directly influences visual comfort, psychological well-being, and

[1] Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de Veracruz. M24023018@veracruz.tecnm.mx
[2] Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de Veracruz. olaya.co@veracruz.tecnm.mx
[3] Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de Veracruz. mario.dg@veracruz.tecnm.mx
[4] Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico Superior de Alvarado. pablo.vc@alvarado.tecnm.mx

the precision of medical care. An efficient lighting strategy is based on maximizing the use of natural light (NIL) and complementing it with energy-efficient, intelligently managed artificial lighting (AI) systems. The balance between both sources significantly reduces energy demand, operating costs, and the building's environmental footprint.

In this context, this study conducts a comprehensive analysis of the lighting system in a healthcare facility, evaluating its performance in terms of energy efficiency, lighting quality, and optimization potential at the San Andrés Tuxtla, Veracruz, Health Administrative Unit (UAS). The results identify opportunities for improvement aimed at a more sustainable and resilient design that complies with energy efficiency standards applicable to the healthcare sector.

Keywords: Lighting, energy efficiency, public health.

INTRODUCCIÓN

En México, el Programa Sectorial de Energía tiene como uno de sus principales objetivos alcanzar y mantener la autosuficiencia energética sostenible, con el fin de satisfacer la demanda nacional mediante producción energética de origen interno. Asimismo, busca incrementar los niveles de eficiencia y sustentabilidad tanto en la generación como en el uso de la energía en todo el territorio nacional. (Secretaría de Energía [SENER], 2020).

A nivel internacional, los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de las Naciones Unidas, y en particular el ODS 7: “Energía asequible y no contaminante”, promueven el acceso universal a servicios energéticos que sean económicamente accesibles, fiables, sostenibles y modernos para toda la población. (Naciones Unidas, 2015).

En este contexto, la iluminación energética eficiente se define como el uso de tecnologías y sistemas que permiten reducir al mínimo el consumo eléctrico sin comprometer la calidad luminosa requerida en los distintos espacios. Este enfoque integra el uso de luminarias de alta eficiencia, como los sistemas LED, junto con tecnologías de control inteligente, que ajustan automáticamente la iluminación en función de la ocupación, el horario y las necesidades específicas del entorno (Gómez, M., 2020).

Es fundamental destacar que, según estimaciones de la International Energy Agency (IEA), los sistemas de iluminación representan aproximadamente el 20% del consumo mundial de electricidad, lo que subraya la importancia de adoptar soluciones más eficientes y sostenibles en este ámbito (Cachimuel, Herrera & Ruiz, 2020; IEA, 2019).

En México, el sector salud representa una carga considerable dentro del consumo energético institucional, debido a la operación continua de hospitales, clínicas y centros de atención médica, que requieren condiciones ambientales estrictas para garantizar la seguridad, precisión médica y confort

de pacientes y personal. Este tipo de edificaciones presenta una alta intensidad energética, con un consumo promedio entre 200 y 400 kWh/m² al año, significativamente superior al de otros edificios públicos como oficinas o escuelas (CONUEE, 2021).

Los principales factores que contribuyen al consumo energético en estos establecimientos incluyen sistemas de climatización, iluminación, equipos médicos, bombeo de agua, y sistemas de refrigeración para medicamentos y muestras biológicas (INECC, 2020). A pesar de su importancia estratégica, muchos edificios de salud en México operan con infraestructura obsoleta o poco eficiente, lo que genera altos costos operativos, una mayor huella de carbono y riesgos de suministro energético inestable.

En este contexto, instituciones como la Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía (CONUEE) han impulsado auditorías energéticas y programas de modernización, incluyendo la implementación de luminarias LED, sistemas de control automatizado y mejores prácticas operativas (CONUEE, 2021). Además, se promueven normativas como la NOM-008-ENER-2001, que regula el aislamiento térmico de edificios, y la adopción de estándares internacionales como ASHRAE o certificaciones LEED, especialmente en nuevas construcciones.

Sin embargo, los avances son aún desiguales. La infraestructura hospitalaria en zonas rurales o con menor presupuesto presenta importantes rezagos en eficiencia energética, dificultando el cumplimiento de los objetivos de sostenibilidad establecidos en políticas nacionales y en los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), especialmente el ODS 7: Energía asequible y no contaminante (Naciones Unidas, 2015).

Por ello, el presente trabajo tiene como objetivo analizar el consumo energético en un centro de salud específico, evaluando el sistema de iluminación como componente clave del desempeño energético general, con el fin de proponer estrategias que contribuyan a una operación más eficiente y sustentable dirigidas al cumplimiento del ODS 7.

CONTENIDO, MATERIAL Y MÉTODOS

Selección área de estudio:

- Se identificaron aquellas áreas del centro de salud de atención ciudadana de uso diario de la Unidad Administrativa de Salud de la ciudad de San Andrés Tuxtla, Veracruz, que en base a su actividad demandan más consumo de energía, al igual que se procedió a la descripción de Área, Dimensiones del espacio y altura.

Levantamiento del área

- Para realizar el diagnóstico energético, se realizó el levantamiento e inventario de los equipos consumidores de energía basados en la NOM -14001-2015 se refiere a la versión en español de la norma internacional ISO 14001:2015, que establece los requisitos para un Sistema de Gestión Ambiental y que en su numeral 8.1, se asocia al procedimiento para el Control Operacional del Consumo de Energía Eléctrica. Para ello, se realizaron las siguientes actividades:

1. Identificar las áreas del centro que en base a su actividad demandan más consumo de energía y registrar datos referentes a la existencia de ventanales, luz natural, existencia de circuitos independientes, descripción del equipo de iluminación, potencia, cantidad de luminarias, operación en demanda máxima, turnos de trabajo, y tiempo de uso promedio h/día a la semana
2. Se recopila, se organiza y se registra por medio de formatos todos los equipos electrónicos conectados a la red eléctrica en un edificio o área específica (equipos de oficina, equipos de uso general, equipos de climatización y ventilación y electrodomésticos y servicios auxiliares).
3. Se registraron aquellos datos referentes a la existencia de ventanales, luz natural, existencia de circuitos independientes, descripción del equipo de iluminación, potencia, cantidad de luminarias, operación en demanda máxima, turnos de trabajo, y tiempo de uso promedio horas/día a la semana en áreas de estudio.
4. Recopilar y organizar la información por medio de los formatos descriptivos en tablas de cargas electrónicas que incluyen: EQUIPO/Total/Consumo EE (W/h)/Horas promedio operación/Total KW/h consumidos por día/Total KW/h consumo electrónico por día.

Variables de cálculo de eficiencia energética:

Para calcular la eficiencia energética se registraron las siguientes mediciones y datos:

- Consumo energético: Potencia en vatios de las luminarias actuales y su tiempo promedio de operación diaria.
- Características del espacio: Dimensiones de las áreas, colores de las paredes y tipo de mobiliario, que influyen en la reflectancia lumínica.
- Condiciones de luz natural: Horas de luz diurna disponibles y orientación del edificio (Souza, F., et al., 2021).

Estos datos servirán como base para evaluar el estado actual del sistema lumínico y establecer % eficiencia (Ec. 1).

$$\frac{\textbf{Energía de entrada}}{\textbf{Energía de salida}} \textbf{ X 100} = \textbf{\% Eficiencia} \qquad \textbf{Ec.1}$$

- Se evaluó la viabilidad técnica y económicamente las mediciones, con la finalidad de obtener un aprovechamiento eficiente de la energía.
- Se propone un plan de acción para la aplicación de las medidas.

RESULTADOS

En la tabla 1 se observa las dimensiones de las áreas de estudio de la UAS, como áreas comunes de los centros de salud, la luminosidad y ´dimensiones del área.

DIMENSIONES DE ÁREAS		
ÁREA	**Dimensiones (m2)**	**Altura (m)**
Consultorios 1-5	4x4	3
Laboratorio	5x4	3
Oficinas administrativas	4x3	3
Áreas comunes (pasillos, salas de espera)	10 x 8	3

Tabla 1. *Áreas de estudios*

En la Tabla 2 se observa que, dentro del diagnóstico energético de las áreas de estudio, el mayor consumo corresponde a los equipos de aire acondicionado, con un total de 135 kWh, lo que representa una proporción significativamente superior al resto de los equipos evaluados. Le siguen las computadoras con 16 kWh, el sistema de iluminación con 15.8 kWh, y en menor medida, el checador biométrico con 0.02 kWh.

Además, se identificó que diversos equipos continúan demandando energía incluso cuando están aparentemente apagados, lo que genera consumo residual o fugas eléctricas, contribuyendo de forma innecesaria al gasto energético total.

EQUIPOS ELÉCTRICOS Y ELECTRÓNICOS	NO. DE EQUIPOS	CONSUMO DE E E (W/h) POR APARATO	HORAS PROMEDIO DE OPERACIÓN	TOTAL kW/h CONSUMIDOS POR DIA	TOTAL kW/h POR DÍA POR TOTAL DE ELÉCTRICOS
COMPUTADORAS	10	100	16	1.6	16
IMPRESORAS	6	50	8	0.4	2.4
PROYECTORES	2	200	4	0.8	1.6

FOCOS 60 W	11	60	24	1.44	15.84
LÁMPARAS FLOURESCENTES	8	36	24	0.864	6.912
TELEVISIONES	1	70	8	0.56	0.56
COPIADORAS	1	400	4	1.6	1.6
VENTILADORES	3	60	16	0.96	2.88
CAFETERAS	2	900	6	5.4	10.8
REFRIGERADORES	1	125	24	3	3
LAPTOP	1	60	16	0.96	0.06
SCANER	3	20	4	0.08	0.24
TELEFONOS	2	5	15	0.075	0.15
CHECADOR	1	10	2	0.02	0.02
AIRE ACONDICIONADO	5	1500	18	27	135
HORNO DE MICRO 1500 W	1	1500	1	1.5	1.5
AUTO CLAVES 1500 W	2	1500	3	4.5	9
LICUADORA	1	500	1	0.5	0.5
BOCINA	2	10	4	0.04	0.08
REGULADOR	6	20	24	0.48	2.88
TOTAL				51.779	211.922
			TOTAL POR MES	1553.37	**6357.66**

Tabla 2. *Registro de lectura de consumos energéticos por equipo*

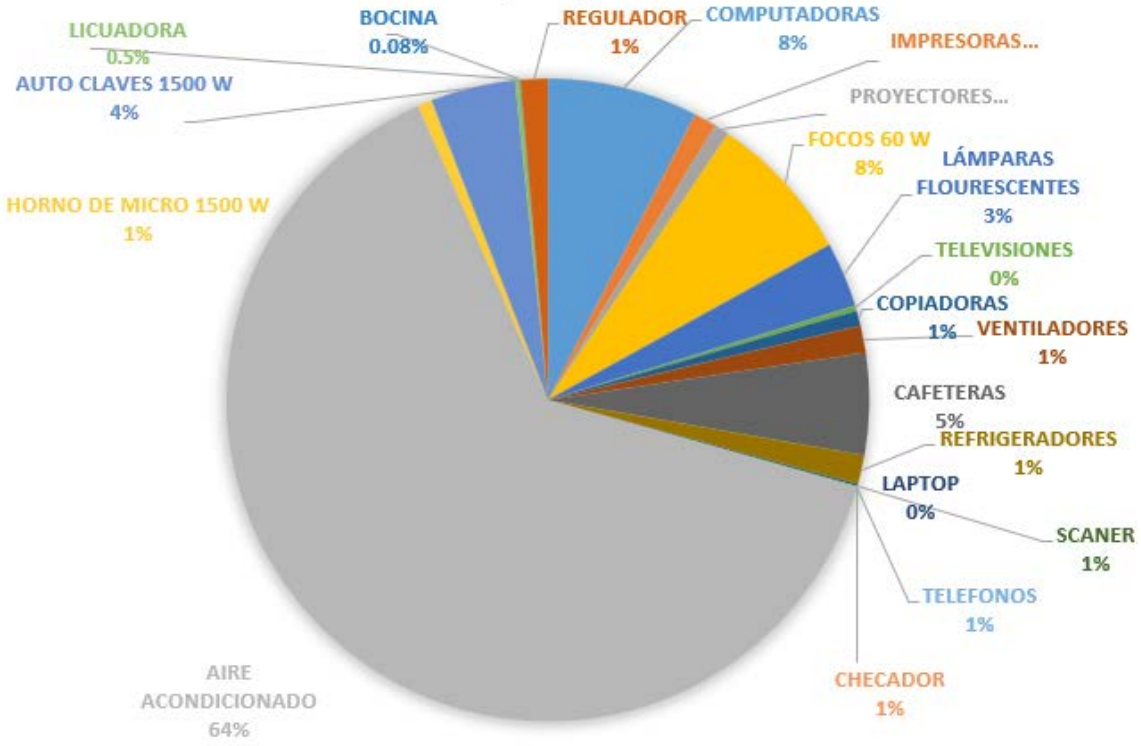
Aunque la CFE no establece una tarifa específica para centros de salud, estos generalmente se clasifican dentro de las categorías de Gran Demanda en Media Tensión Ordinaria (GDMTO) o Gran Demanda en Baja Tensión (GDBT), debido a su elevado consumo energético. Considerando el consumo estimado durante los meses de mayor demanda, como mayo de 2025, y una tarifa promedio de $2.8401 por kWh, el costo aproximado del servicio eléctrico sería de $18,056.39 pesos sin subsidio alguno.

Estas tarifas pueden consultarse en el sitio oficial de la Comisión Federal de Electricidad (CFE), en el apartado de tarifas aplicables: https://www.cfe.mx/tarifas/tarifas-electricas

El cálculo indirecto de gases de efecto invernadero (GEIs), se realizó a partir del consumo energético de 6.35766 MWh en las instalaciones de salud y usando el FACTOR DE EMISIÓN DEL SISTEMA ELÉCTRICO NACIONAL 2024 de la Comisión Reguladora de Energía de la Secretaría de Medio Ambiente por consumo de energía (0.444 tCO2e/MWh). Dicho aporte calculado fue de **2.82 tCO2e/MWh.**

La Figura 1. ilustra la distribución del consumo eléctrico total (en kWh) de los principales equipos electrónicos en las áreas del centro de salud. Dentro de los hallazgos más relevantes se destacan 5 bloques de aquellos equipos electrónicos consumidores: los de **muy bajo consumo** (0.2-0.56 kWh) como el checador, laptop, bocina, teléfonos, scanner, licuadora y televisiones; los **consumidores bajos** (1-3 kWh) como horno de microondas, copiadoras, proyectores, impresoras, ventiladores, regulador y refrigeradores; los consumidores **medios** (que van de 6.9 a 10.8 kWh) como las lámparas, autoclaves y cafeteras; los **altos consumidores** (15-20 kWh) como las computadoras y los focos de 60W y finalmente el que presenta un **super consumidor** energético de 135 kWh.

Figura 1. Distribución de consumo energético por tipo de equipos en área de estudio.



Aire acondicionado representa aproximadamente 80.4% del consumo total, con 135 kWh, esto indica que es el principal responsable de la carga energética, debido a su uso intensivo y alta demanda eléctrica, seguido están las Computadoras, que consumen 16 kWh, lo que equivale a cerca del 9.5% del total, aunque no tan alto como el aire acondicionado, sigue siendo una carga relevante por su uso constante; los equipos de iluminación tiene un consumo de 15.8 kWh, casi igual al de las computadoras, representando alrededor del 9.4%. Finalmente, el reloj checador muestra un consumo marginal de 0.02 kWh, lo que representa menos del 0.1%, por lo que su impacto en el consumo global es prácticamente nulo.

Respecto al potencial de iluminación (Lux), se consideraron los espacios descritos en la Tabla 1 y posteriormente se evaluó el tipo de luminaria por espacio, las horas de operación y el consumo total de kWh se consume por el total de luminarias en el espacio (Ver Tabla 3).

Área	Número de luminarias	Tipo	Consumo de EE por luminaria	Horas promedio de operación	Total de kWh consumidos por día	Total de kWh por día por total de luminarias usadas
Consultorios	5	Fluorescente	36	24	0.864	4.32
Laboratorio	2	Fluorescente	36	16	0.576	1.152
Oficinas administrativas	1	Fluorescente	36	16	0.576	0.576
Áreas comunes (pasillos, salas de espera)	11	Focos incandescentes	60	24	1.44	15.84

Tabla 3. Consumo de focos de 60 W y lámparas de 36 W

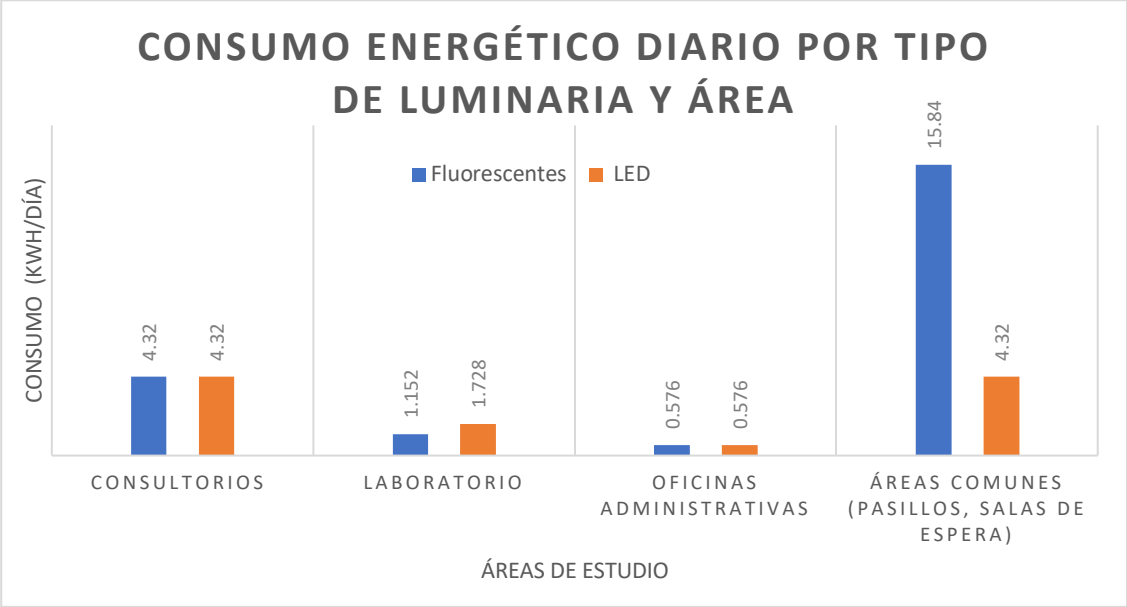
Al realizar la estimación del cambio de las lámparas fluorescentes y los focos incandescentes por aquella tecnología LED (Tabla 4), la diferencia de consumo total en pareas comunes se van significativamente influidos y disminuidos en el consumo energético.

Área	Número de luminarias	Tipo	Consumo de EE por luminaria	Horas promedio de operación	Total de kWh consumidos por día	Total de kWh por día por total de luminarias usadas
Consultorios	10	LED	18	24	0.432	4.32
Laboratorio	6	LED	18	16	0.288	1.728
Oficinas administrativas	2	LED	18	16	0.288	0.576
Áreas comunes (pasillos, salas de espera)	12	Focos LED	15	24	0.36	4.32

Tabla 4. Consumo de LED

La Figura 2, muestra el comparativo del consumo energético diario (en kWh) por tipo de luminaria (fluorescente vs LED) en las diferentes áreas de estudio, refleja que, en las **áreas comunes**, el cambio a luminarias LED reduce drásticamente el consumo: de 15.84 kWh/día a 4.32 kWh/día, siendo el mayor beneficio observado del uso de tecnología LED. Para los espacios de **consultorios y oficinas administrativas**, no se observó diferencia entre ambas tecnologías, lo que puede indicar uso de luminarias equivalentes o sin sustitución. Y finalmente, para los espacios de **laboratorios**, curiosamente, las luminarias LED consumen más energía que las fluorescentes (1.728 vs 1.152 kWh/día), esto podría deberse a mayor cantidad de luminarias instaladas o mayor uso horario.

Figura 2. Efecto sobre el consumo energético y el tipo de luminaria usada en áreas de estudio.



Con base en los datos de la Tabla 4, se estimaron los niveles de iluminancia (lux) y flujo luminoso (lúmenes) proporcionados por la tecnología LED, así como su grado de cumplimiento con los requisitos establecidos en la norma NOM-025-STPS-2008 (ver Tabla 5). Los resultados evidencian que esta tecnología permite una optimización significativa del consumo energético, a la vez que garantiza condiciones adecuadas de confort visual para los usuarios, especialmente al considerar variables como la edad y el tipo de actividad realizada en cada área.

Área	Tipo	Número de luminarias	Horas promedio de operación	Consumo Total de kWh por día	Lúmines totales	Lux estimado	Valores de referencia Niveles Mínimos de Iluminación (luxes)	Cumplimiento con la NOM-025-STPS-2008
Consultorios	LED 18W	10	24	4.32	19,800	330	100	✅
Laboratorio	LED 18W	6	16	1.728	11,880	654	500	✅
Oficinas administrativas	LED 18W	2	16	0.576	3,960	330	300	✅
Áreas comunes (pasillos, salas de espera)	Focos LED 15W	12	24	4.32	18,000	180	100	✅

Tabla 5*. Comparación con los valores recomendades por la NOM-025-STPS-2008*

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

El presente estudio proporciona un diagnóstico energético detallado del centro de salud, destacando como principal hallazgo el elevado consumo eléctrico del sistema de climatización, el cual representa más del 60% de la facturación bimestral. Este dato evidencia la necesidad urgente de centrar las

estrategias de eficiencia energética en la optimización de dicho sistema. No obstante, también se identificaron oportunidades relevantes de mejora en el uso de equipos de cómputo, sistemas de iluminación y aparatos de cocina como cafeteras.

Adicionalmente, se recomienda implementar acciones orientadas a la detección y mitigación de consumos ocultos en modo de espera (standby), especialmente en computadoras y unidades de aire acondicionado, ya que estos representan una carga eléctrica constante que suele pasar desapercibida.

Como resultado del análisis, se propone la creación de un Programa Interno de Ahorro Energético Sistemático, con líneas de acción prioritarias enfocadas en:

- La optimización y gestión eficiente del sistema de climatización.
- La sustitución progresiva del sistema de iluminación por tecnología LED de alto rendimiento.
- La implementación de buenas prácticas y tecnologías eficientes en el uso de equipos de oficina y cocina.

Estas acciones permitirían reducir significativamente el consumo energético institucional, con una consecuente disminución de la huella de carbono. En particular, se estima una reducción del orden de 2.82 tCO_2e/MWh al año, lo cual representa una contribución directa al Plan Nacional de Desarrollo 2025–2028, al Objetivo de Desarrollo Sostenible (ODS) 7 sobre energía asequible y no contaminante, y al cumplimiento de metas municipales de sostenibilidad.

Por otra parte, el estudio demuestra que la implementación de un sistema de iluminación basado en tecnología LED en este centro de salud de primer nivel garantiza el cumplimiento de los niveles de iluminancia exigidos por la norma NOM-025-STPS-2008 en las distintas áreas funcionales. Este cumplimiento asegura condiciones visuales óptimas para todo el personal operativo, incluyendo personal médico, vectores, brigadistas, verificadores, personal administrativo y directivo.

Finalmente, la propuesta de reemplazo del sistema de iluminación por tecnología LED permite alcanzar un ahorro energético estimado del 50% mensual respecto al consumo anterior con lámparas fluorescentes. Este cambio no solo impulsa el desempeño ambiental de la institución, sino que también genera beneficios económicos tangibles para el centro de salud y, por extensión, para el presupuesto municipal.

REFERENCIAS

C. Cachimuel, J. Segura-D´Rouville, and B. Remache-Vinueza, “La Reingeniería aplicada al sistema de iluminación en una organización industrial”, *CienciAmérica*, vol. 9, no. 4, pp. 51–58, Dec. 2020, doi: 10.33210/ca.v9i4.343.

Gómez, W. M. (2020). *Metodología de diseño, montaje y evaluación de sistemas fotovoltaicos integrados a la estructura de edificaciones* (Doctoral dissertation, Master's thesis, Instituto Tecnológico Metropolitano, Medellín).

Citaristi, I. (2022). International energy agency—iea. In *The Europa directory of international organizations 2022* (pp. 701-702). Routledge.

Garrido Velarde, J., Martín Gallardo, J., Naranjo Gomez, J. M., Vicente Rivera, V., Pascual Bellido, N. E., & Cabezas Fernández, J. (2023). Objetivos de Desarrollo Sostenible: caso de análisis el Objetivo 7 "Energía asequible y limpia". In *Geografía cambios, retos y adaptación: libro de actas. XVIII Congreso de la Asociación Española de Geografía, Logroño, 12 al 14 de septiembre de 2023*. Asociación Española de Geografía, Universidad de La Rioja.

DOF. (2020). Programa Sectorial de Energía 2020–2024. *Diario Oficial de la Federación*. https://www.gob.mx/sener

Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía (CONUEE). (2021). Informe de eficiencia energética en edificios del sector salud. https://www.gob.mx/conuee

Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC). (2020). Consumo energético y eficiencia en el sector salud en México. https://www.gob.mx/inecc

Naciones Unidas. (2015). Objetivos de Desarrollo Sostenible. https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/energy/

Secretaría de Energía (SENER). (2020). Programa Sectorial de Energía 2020-2024. Gobierno de México. https://www.gob.mx/sener

DOF. (2001). NOM-008-ENER-2001. *Eficiencia energética en edificaciones, envolvente de edificios no residenciales.*

DOF. (2008). NOM-025-STPS. Condiciones de iluminación en los centros de trabajo. DOF. México. https://asinom.stps.gob.mx/upload/noms/Nom-025.pdf

ANÁLISIS FISICOQUÍMICO COMPARATIVO ENTRE UNA GALLETA LIBRE DE GLUTEN ADICIONADA CON FIBRA DE LA CÁSCARA DE PIÑA (PREBIÓTICO) Y UNA GALLETA COMERCIAL

Mónica Rivera Rivera[1]
Marco Antonio Godinez Ruiz[2]
Rebeca Gloria Tejeda[3]

RESUMEN

El objetivo de este proyecto fue realizar un análisis comparativo de las características fisicoquímicas y sensoriales entre una galleta comercial libre de gluten y una galleta elaborada con harinas no convencionales, como maíz y arroz en una proporción 60:40 respectivamente adicionando polvo de cáscara de piña como prebiótico. Los resultados se evaluaron mediante la prueba de rango múltiple, utilizando el método de Tukey, con un nivel de confianza del 95% (α=0.05). En cuanto a los parámetros fisicoquímicos se observaron algunas diferencias en los valores entre ambas galletas, esto debido a las materias primas utilizadas en su elaboración. Por otro lado, el valor energético obtenido en la galleta elaborada con fibra de piña fue de 486.44 Kcal, con respecto a la galleta comercial que es de 515.75 kcal. El análisis sensorial refleja un nivel alto de aceptabilidad de la galleta elaborada con respecto a la galleta comercial. Con los resultados obtenidos se pretende beneficiar a un sector de la población que son intolerantes al gluten, utilizando residuos agroindustriales, los cuales se pueden aprovechar y contribuir a la economía circular.

***Palabras claves**:* Gluten, galleta, prebiótico

ABSTRACT

The objective of this project was to perform a comparative analysis of the physicochemical and sensory characteristics between a commercial gluten-free cookie and a cookie made with non-conventional flours, such as corn and rice in a 60:40 ratio respectively, adding pineapple peel powder as a prebiotic. The results were evaluated using the multiple range test, using the Tukey method, with a 95% confidence level (α = 0.05). Regarding the physicochemical parameters, some differences were observed in the values between both cookies, this is due to the raw materials used in their elaboration.

[1] Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de Tuxtepec. monica_ri_ri@hotmail.com
[2] Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de Tuxtepec
[3] Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de Tuxtepec

On the other hand, the energy value obtained in the cookie made with pineapple fiber was 486.43 kcal, compared to the commercial cookie, which is 515.75 kcal. The sensory analysis reflects a high level of acceptability of the cookie made with respect to the commercial cookie. The results obtained are intended to benefit a segment of the population that is gluten intolerant, using agro-industrial waste, which can be reused and contribute to the circular economy.
***Keywords**:* Gluten, cookie, prebiotic

INTRODUCCIÓN

La enfermedad celiaca es una patología que afecta principalmente al intestino delgado provocando diferentes síntomas siendo los más comunes diarrea crónica y malnutrición. El tratamiento para contrarrestar dichos síntomas es eliminar el consumo de gluten de la alimentación de los celiacos. En México, se estima que 0.9% de la población, padece la enfermedad celiaca, un 0.7% tiene alergia al trigo y de 1 a 25% tiene sensibilidad al gluten no celiaca o padece de intestino irritable/dispepsia. (Cobos, 2017). Siendo necesario no solo la eliminación del gluten de alimentación sino también de prestar mucha atención a las comidas que se eligen, a los ingredientes que contienen y al contenido nutricional.

El término gluten está generalmente restringido para las prolaminas con la capacidad de desencadenar la inmunotoxicidad en ciertos grupos de pacientes con espectro sensible al gluten. El gluten representa entre el 80-85% del total proteico en el trigo y su función no es otra que la de actuar como proteína de reserva, como fuente de nitrógeno durante la germinación. Los prótidos presentes en el endospermo del trigo se pueden clasificar teniendo en cuenta su solubilidad de la siguiente forma: albúminas, solubles en agua; globulinas, solubles en soluciones salinas; gliadinas solubles en soluciones alcohólicas y gluteninas, insolubles en soluciones acuosas, salinas y alcohólicas. Estas dos últimas son las prolaminas (gliadinas y glutelinas). (Brugos 2019)

De acuerdo con la OMS y la FAO establece que la cantidad máxima de prolaminas tóxicas que debe de contener un producto libre de gluten es de 20mg/kg o 20 ppm (partes por millón). El segundo requisito es que no contengan ningún resto de cereales peligrosos para celiacos como el trigo, centeno, cebada, avena, kamut y triticale. La ingesta diaria de gluten para una persona es de 10-20g diarios en el caso de los celiacos 1 g es suficiente para causar un daño importante las mucosas intestinales. (Codex alimantarius)

Las galletas son un producto horneado con un bajo contenido en humedad (1-5%) y cuyos principales ingredientes son harina, azúcar y grasa, aunque también se pueden incluir otros ingredientes. La harina es el componente mayoritario y está constituida principalmente por almidón (entre 70 y 75%),

seguido de agua (alrededor del 14%) y proteína (cerca de 8-11%, en harinas de trigo blando), además de arabinoxilanos (de 1,5 a 2,5%) y lípidos (alrededor del 2%) en menor proporción. (Rodríguez 2015)

La elaboración de productos sin gluten necesita del uso de diferentes harinas libres de gluten, por lo que, a menudo, el sabor resultante no se parece a los clásicos productos con gluten. En los últimos años investigadores han trabajado en un enfoque distinto de los productos sin gluten, incluyendo el uso de almidones, productos lácteos, hidrocoloides, otras proteínas sin gluten, prebióticos y combinaciones, como alternativas al gluten, para mejorar la calidad de estos productos. La mayoría de los estudios sobre elaboración de galletas sin gluten utilizan distintas harinas de cereales sin gluten como arroz, maíz, soya etc.

La industria alimentaria se ha encargado de desarrollar métodos con el objetivo de imitar las propiedades organolépticas de los productos con gluten. Los productos sin gluten son más caros por el procesamiento y estandarización de las características sensoriales y morfológicas.

La dieta de los celiacos debe de basarse principalmente en lácteos, carne, pescado huevo, frutas verduras, legumbres, hortalizas y cereales sin gluten, sin embargo, diversos estudios reflejan que la dieta de los celiacos puede estar desbalanceada esto debido al consumo en exceso de alimentos procesados libres de gluten ricos en grasas saturadas y azúcares que si bien mejoran la apariencia y sabor de los alimentos pueden provocar estreñimiento por la falta de fibra o aumento de peso. (Sierra, 2020)

En el mercado actual los productos libres de gluten deben de cumplir las necesidades nutricionales para personas que son alérgicas o intolerantes al gluten. La demanda de productos alimenticios más saludables que cumplan las necesidades de este sector de consumidores va en aumento. Vásquez et. al en 2024, genero un producto libre de gluten a partir de harina de papa china y harina de soya los resultados indicaron que las seis formulaciones obtuvieron diferencias estadísticamente significativas con un contenido de proteína de 9.38 a 14.42%. Vargas et al en 2018 desarrollo una galletita sin gluten, de color atractivo, más saludable con mayor contenido en fibra alimentaria y sodio y agradable a niños de 4-13 años.

Uno de los retos en la industria alimentaria en lo que concierne a la elaboración de alimentos libres de gluten no es sencillo ni económico esto debido que el sustituir el gluten del trigo trae serios inconvenientes en el procesamiento, estructura y volumen. Aunado al riesgo de tener una contaminación cruzada por la utilización de líneas y equipos, ingredientes o aditivos en los cuales no se ha identificado o declarado a la presencia del gluten. (Villanueva, 2017)

El maíz (Zea mays. L) es el cultivo más representativo por su importancia económica, social y cultural, con un consumo per cápita al año de 196.4 kg de maíz blanco. Gran parte del territorio mexicano es propicio para su cultivo. La planta de maíz es robusta con tallo erecto puede alcanzar 4 metros de altura y no tiene ramificaciones ni entrenudos, se encuentra en forma de mazorca, el grano es una cariópside de forma aplastada. Presenta inflorescencias femeninas y masculinas separadas dentro de la misma planta. Su alto contenido en carbohidratos y proteínas lo hace un cereal ideal para todos los días. (SAGARPA, 2017)

Tomando como base 100g de harina de maíz se puede observar que aporta 343kcal de las cuales su mayoría proceden de los glúcidos (66,3g), en segundo lugar, de las proteínas (8,29g) y por último de los lípidos (2,8g). Es destacable que las proteínas de este cereal tienen bajo valor biológico, debido a la pequeña cantidad de lisina y triptófano que contiene. Es pobre en cuanto a minerales como el hierro, el sodio, el fósforo y el zinc, no obstante, presenta grandes cantidades de potasio, selenio y yodo. Además, es muy rico en vitamina A y carotenoides, cualidad única en este cereal. (Brugos, 2019)

El arroz científicamente denominado Oryza sativa L. pertenece a la familia de las gramíneas está constituido por 4 componentes principales: el germen, endospermo cutícula o polvillo y la cáscara o pajilla. (Sierra, 2009) Es el alimento básico predominante para varios países del mundo. Este cereal aporta 20 % del suministro de energía alimentaria del mundo, tiene alto valor nutricional y proporciona calorías, minerales y vitaminas. Este cereal es uno de los más protegidos del comercio mundial debido a que tiene que ver con la seguridad alimentaria y nutricional en el mundo. México fue autosuficiente en arroz hasta el ciclo 1985/1986, con una producción y un consumo de 498 y 436 mil t; sin embargo, En 2020, en México se observó un déficit de su producción importando 1.1 millones de t de arroz, provenientes de EUA, Paraguay, Uruguay, Brasil y Argentina. (Virgilio, 2024)

Tomando como base 100g harina de arroz aporta 350kcal con 74 g de glúcidos, 7,25 g de proteína y 2,2 g de lípidos de sus proteínas poseen mayor valor biológico que el maíz por sus mayores cantidades de lisina y triptófano, pero con mucho menor actividad antioxidante. (Brugos, 2019)

En contraposición al maíz, el arroz es una buena fuente de magnesio. Como hemos visto, estos dos cereales tienen características complementarias, por lo que la combinación de ambos cereales puede ayudar en la dieta de los celiacos.

La piña (Ananas Comosus L.). es una fruta tropical perenne, forma parte del grupo de las monocotiledóneas y pertenece a la familia “Bromeliaceae”. Es rica en vitamina C, fibra y antioxidantes, lo que la convierte en un alimento ideal para fortalecer el sistema inmunológico, mejorar la digestión y combatir la inflamación. (Gob de Mex,2024). Para 2030 se estima una producción potencial en México de 1033.91t

La cáscara de la piña actualmente es considera como un residuo sólido, sin embargo su caracterización fisicoquímica demuestra propiedades con un alto contenido de fibra, magnesio y bromelina enzima que ayuda digestión y a reducir la inflamación mediante la eliminación de toxinas en el cuerpo, funcionando, así como un diurético natural. (Mendoza, 2023)

METODOLOGÍA

Materiales

Harina de Maíz marca Maseca, Harina de arroz marca tres estrellas, Piña de la Productora y Comercializadora Agropecuaria (RENAGROTEC, S.P:R. DE R.I.) de Loma Bonita, Oaxaca, azúcar refinada (Ingenio Adolfo López Mateos, Tuxtepec, Oaxaca), margarina Iberia, vainilla como saborizante, polvo para hornear “Rexal”, chispas de chocolate.

Obtención de Harinas

Recepción de materia prima

La piña se trasladó al taller de alimentos del Instituto Tecnológico de Tuxtepec, para eliminar cualquier material extraño.

Lavado y secado de piña

Las piñas se lavaron con una solución clorada a 15 ppm, posteriormente se eliminaron las coronas y pelaron, teniendo cuidado en que toda la cáscara sea retirada de la pulpa, la cáscara obtenida se cortó en pequeños trozos de 2 cm x 2 cm, los cuales fueron sometidos a dos lavados prolongados con la solución a 15 ppm de cloro, posteriormente se exprimieron con ayuda de una mantilla para retirarle el exceso de humedad. Los pequeños trozos de cáscara de piña se secaron a una temperatura de 60ºC en charolas de aluminio en un secador de alimentos de configuración múltiple por 36 horas.

Molienda y Tamizado

Se pesaron las harinas de maíz y arroz, en una balanza granataria marca ROSA, modelo 700. La cáscara de piña ya seca se trituro con una licuadora marca *Oster* de 10 velocidades utilizando un vaso papillero chico de cristal, posteriormente la harina fue pasada por un tamiz malla número 40 para retirar las partículas gruesas a las cuales se les volvió a realizar la molienda las veces necesarias para poder pasar por el tamiz. Una vez concluida la molienda y el tamizado, se procedió a pesar la harina obtenida en una balanza granataria y se empaquetaron al vacío en bolsas de polietileno (footd sever).

Elaboración de galletas

Para elaborar la galleta se utilizó la formulación 60-40-8, que corresponden al porcentaje de harina de maíz harina de arroz y harina de cáscara de piña respectivamente. Se pesaron los ingredientes tomando la suma de las harinas de arroz, maíz y fibra de piña como el 100% para calcular el porcentaje de los demás ingredientes, que serán: azúcar el 50%, margarina 37%, polvo para hornear 2%, sal 0.2%, saborizante 0.8%, chispas de chocolate 10%.

En una mesa limpia desinfectada se incorporaron todos los ingredientes formando una mezcla homogénea, posteriormente se depositó la mezcla en moldes de 2 cm. de diámetro. Para su cocción se colocaron en charolas metálicas, las cuales se introdujeron a un horno donde permanecieron por 20 min a una temperatura de 180ºC. para después dejarlas enfriar y empaquetarlas al vacío en bolsas de polietileno (food sever).

Análisis comparativo

Se eligió una galleta libre de gluten comercial (Taifeld`s galletas veganas sin gluten con chispas sabor a chocolate) para realizar un análisis comparativo con la galleta libre de gluten desarrollada.

Tanto a la galleta desarrollada como a la galleta comercial seleccionada se les realizó un análisis químico proximal de acuerdo con los métodos de la Association of Official Analytical Chemists (AOAC, 2005). Determinándoles humedad, cenizas, carbohidratos, grasas y proteínas.

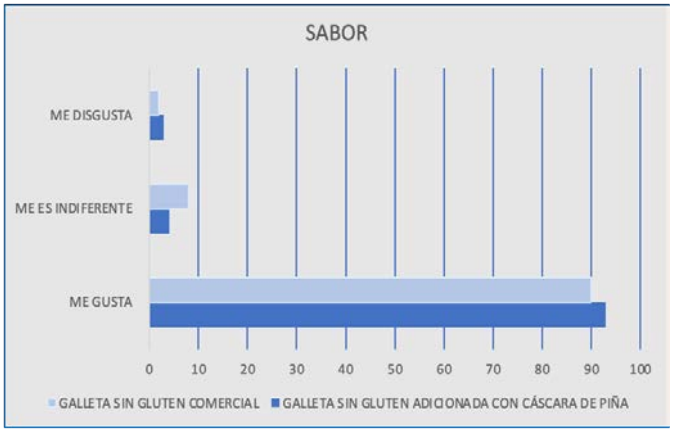
De igual manera se evaluó la aceptación de ambas galletas, mediante un análisis sensorial, utilizando una escala hedónica de nueve puntos, que va desde 1 = me disgusta muchísimo hasta 9 = me gusta muchísimo, donde se evaluaron los atributos: olor, textura, sabor y color. En el Instituto Tecnológico y otros espacios públicos de la ciudad de Tuxtepec Oaxaca se realizó la prueba hedónica, donde a 100 panelistas no entrenados se presentaron las muestras codificadas con las últimas letras del abecedario (Y,Z) y el orden de presentación fue al azar.

Análisis Estadístico

Todos los resultados se registraron como la media de tres repeticiones ± desviación estándar. Se analizaron mediante la prueba de rango múltiple, utilizando el método de tukey, con un nivel de confianza del 95% (α=0.05) analizados a partir de ANOVA, utilizando el software estadístico Minitab 22 (Minitab Inc., State College, PA, EE.UU.).

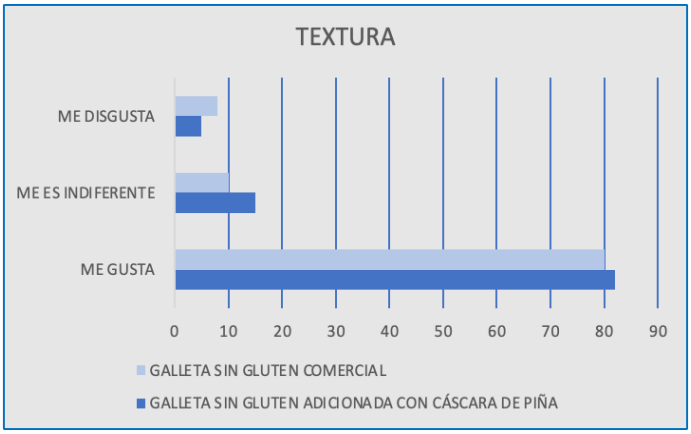
RESULTADOS Y ANÁLISIS

Los resultados obtenidos en el análisis sensorial son los siguientes:



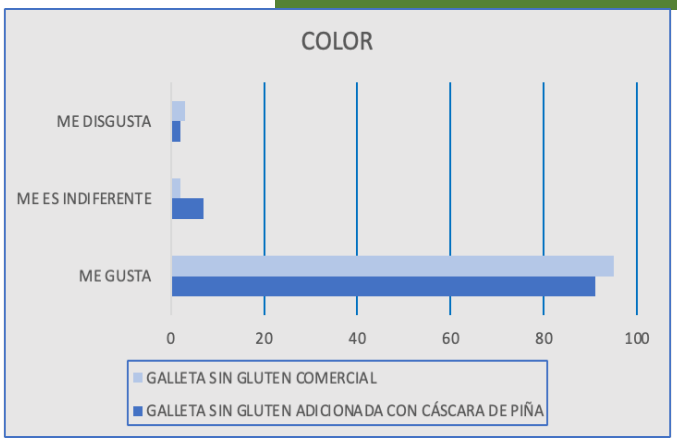
Gráfica 1. *Comparación de los valores de sabor de las galletas sin gluten comercial y la galleta a sin gluten desarrollada adicionada con cáscara de piña*

En la gráfica no. 1 se puede observar que el atributo que corresponde al sabor ambas galletas fueron del agrado de los panelistas no entrenados, la diferencia fue muy pequeña, la galleta sin gluten adicionada con cáscara de piña obtuvo el 93% de aceptación y la galleta comercial obtuvo el 90% de aceptación.



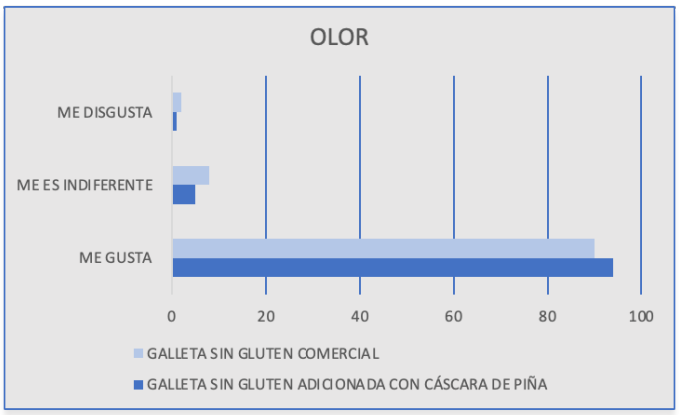
Gráfica 2. *Comparación de los valores de textura de las galletas sin gluten comercial y la galleta sin gluten desarrollada adicionada con cáscara de piña*

En la gráfica no. 2 se analizó el atributo de textura observando que los mejores resultados fueron para la galleta sin gluten adicionada con cáscara de piña, la cual gusto más su textura en un 82 % con respecto a la galleta sin gluten comercial, obteniendo esta última una preferencia del 80%, siendo la diferencia entre ambas galletas muy pequeña.



Gráfica 3. *Comparación de los valores de color de las galletas sin gluten comercial y la galleta sin gluten desarrollada adicionada con cáscara de piña*

En la gráfica no. 3 se observó que el atributo de color mostro mayor preferencia entre los evaluadores a la galleta sin gluten comercial en un 92 %, a diferencia de la galleta sin gluten adicionada con cáscara de piña la cual obtuvo el 85% de aceptación este resultado se pudo deber a que el color no es uniforme en la galleta sin gluten desarrollada.



Gráfica 4. *Comparación de los valores de olor de la galleta sin gluten comercial y la galleta sin gluten desarrollada adicionada con cáscara de piña*

En la gráfica no. 4 se observa que la evaluación que corresponde al atributo de olor, muestra que la galleta libre de gluten adicionada con fibra de piña tuvo el 94% de aceptación a diferencia de la galleta sin gluten comercial que solo obtuvo el 70% de aceptación, este resultado tal vez se debió a la harina de piña que se adiciona a la galleta sin gluten desarrollada.

Caracterización químico proximal de las harinas

Los resultados de la caracterización químico proximal de las harinas de Maíz marca Maseca, de arroz marca tres estrellas y harina de la cáscara de piña (*Ananas comosus*), se presentan en la siguiente tabla.

	Muestras		
Componente %	**Harina de maíz**	**Harina de arroz**	**Harina de cáscara de piña**
Humedad	10.49±0.11	9.79±0.33	5.77±0.13
Cenizas	1.25±0.016	1.43±0.24	1.52±0.23
Grasas	4.25±0.056	2.33±0.66	0.85±0.13
Proteínas	9.80±0.06	7.70±0.11	3.08±0.33

Tabla 1. *Químico proximal de diferentes harinas*

Valores promedio de tres repeticiones ± desviación estándar. Subíndices diferentes de una misma columna indican diferencias significativas ($p<0.05$)

En la tabla no.1 se reportan los químicos proximales de las tres harinas utilizadas en la elaboración de la galleta sin gluten adicionada con cáscara de piña, observándose que la humedad no rebaso el 15% de acuerdo a la Norma Oficial Mexicana

NOM147SSA1-1996. El contenido de proteinas en las diferentes harinas es diferente esto se debe principalmente al tipo de materia prima utilizada, de acuerdo a los resultados obtenidos el contenido de proteina en la harina de maíz fue de 9.80±0.06, valor muy semejante al reportado por Hernández en 2004 el cual fue de 9.07±0.176 para harina de maíz nixtamalizado. En el caso de la harina de cáscara de piña el contenido de proteina obtenido fue de 3.08±0.33, Espinosa reportó en 2016 el contenido de proteinas en la harina de cascara de piña de 1.72% y Carias reportó en 2015 el porcentaje de proteina base seca de harina alta en fibra con cáscara de piña de 9.09% existiendo una gran oscilación respecto al contenido de proteína pudiendose deber a factores climáticos, genéticos y ecológicos.

Componente %	Galletas sin gluten adicionada con cáscara de piña	Galletas sin gluten comercial
Humedad	5.68+0.11	7.03+0.09
Cenizas	1.71± 0.0.2	1.03+0.00
Grasas	23.2 ±0.45	24.65+0.20
Proteínas	9.66±0.85	4.72+0.17
Carbohidratos	59.75+0.42	62.57.0.24

Tabla 2. *Químico proximal de las galletas sin gluten*

Valores promedio de tres repeticiones ± desviación estándar. Subíndices diferentes de una misma columna indican diferencias significativas ($p<0.05$)

Los resultados obtenidos del análisis químico proximal realizado por triplicado a las galletas libre de gluten, se pueden apreciar en la tabla 2, las galletas libres de gluten cumplen de manera general con lo que establece la norma NMX-F-006-1983.

La humedad en la galleta libre de gluten comercial se obtuvo un valor por encima de lo que marca la norma NMX-F-006-1983 que tiene como máximo 6% esto se pudo deber al tipo de empaque y a la vida de anaquel. En general los valores de humedad están por encima de los resultados reportados por Rodríguez (2015), en la elaboración de galletas sin gluten con mezclas de harina de arroz, almidón y proteína, él cual obtuvo valores de 1.86% y el 3.86%.

El porcentaje de cenizas contenidas en ambas galletas, fue menor al valor máximo que reporta la NMX-F-006-1983 en galletas entrefinas que es del 2%. En relación al contenido de grasas en las galletas libre de gluten comercial fue del 24.65+0.20 y para galleta sin gluten adicionada con cáscara de piña fue de 23.2±0.45 estos resultados se pueden deber al agente aglutinante que se utiliza durante la elaboración de la galleta, en el caso de la galleta sin gluten adicionada con fibra de piña es la margarina. Fajardo- Criollo (2015), presentaron valores de grasas que oscilan de 21.68% y 25.94% de grasas en la sustitución de harina de trigo por harina integral de amaranto tostado para la elaboración de galletas en cinco distintos tratamientos.

El contenido de proteína en la galleta libre de gluten adicionada con fibra de piña fue del 9.66% y para la galleta libre de gluten comercial fue de 4.72% la cual se se encuentra ligeramente por debajo del 6% de lo que establece la norma NMX-F-006-1983.

El contenido de carbohidratos en ambas galletas sin gluten oscilaron entre 59.75% y el 67 .65 %, estos porcentajes de carbohidratos están por debajo a los reportados por González et al. (2015), con valores 70.03%- 71.41% en galletas de limón con harina de maíz.

Valor energético de las galletas sin gluten

Componentes	Galleta libre de gluten adicionada con cáscara de piña	Galleta libre de gluten comercial	Galleta libre de gluten comercial de acuerdo a los datos de empaque
Proteínas	38.64	18.88	19.84
Carbohidratos	239.00	250.28	274.95
Grasas	208.80	221.85	220.96
Total	**486.44 kcal**	**491.01 kcal**	**515.75 kcal**

***Tabla 3**. Valor energético de galletas libre de gluten por cada 100 g.*

En la tabla no. 3 se muestra el valor energético de las galletas,el cual se determinó del promedio de tres determinaciones obteniendo una energía de 486.44 Kcal y de los cuales 239.00 Kcal corresponden a los carbohidratos, seguido de los lípidos con 208.80 Kcal y 38.64 corresponden al contenido de proteínas.

Para el caso de la galleta comercial se puede observar que existen diferencias a los resultados obtenidos en el laboratorio, pudiendose deber a varios factores la vida de anaquel y a los equipos y técnicas utilizadas

CONCLUSIONES

La galleta sin gluten adicionada con cáscara de piña muestra que es más rica en proteína y minerales (cenizas). La concentración de carbohidratos y grasas es ligeramente menor a los datos que reporta el empaque de la galleta comercial, y la evaluada comercialmente, lo que hace atractiva la propuesta de la galleta libre de gluten adicionada con cáscara de piña. Además, que los resultados de la evaluación sensorial arrojaron una buena aceptación por parte de los panelistas.

El contenido energético de la galleta comercial es más alto esto se debio al contenido en carbohidratos y grasas. El valor de humedad que se obtuvo están por arriba del valor máximo que marca la norma NMX-F-006-1983, sin embargo esto pudo afectar la textura haciendo la galleta más blanda y su vida de anaquel. El nivel de aceptación por parte de los panelistas fue bastante aceptable.

REFERENCIAS

AOAC. (2005). Official Methods of Analysis of AOAC. 18th ed. Association of Official Analytical Chemists, Gathersburg, MD, USA

Brugos Aguado, E. (2019). El gluten: repercusión en la salud.

Carias Alvarado J. (2015). Elaboración harina de cáscara de piña (Ananas comosus L. Merr) para aplicación en una harina alta en fibra con su respectiva evaluación nutricional y organoléptica. Universidad de San Carlos Guatemala.

Cobos Quevedo O. et al (2017) Trastornos relacionados con el gluten: panorama actual. Med. interna. Mex. Vol.33. No.4

Codex Alimentarius

Espinosa Niño F. J. (2016). Obtención y caracterización de harina de piña (Ananas comosus L) con alto contenido de fibra dietética y su aplicación en un producto de planificación. Instituto tecnológico de Tuxtepec. México.

Gobierno de México. Secretaria de Agricultura y Desarrollo Rural. 2024.Un tesoro tropical.

González, J., Gallob, R. T., Correac, D. A., & Gallo-Garcíad, L. A. (2015). Evaluación instrumental de los parámetros de textura de galletas de limón. *Vector Manizales*, *10*, 14-25

Hernández Jiménez G.P. (2004). Análisis químico proximal de marcas comerciales de harina de maíz nixtamalizado. Universidad Autónoma de Querétaro.México.

Mendoza-Rojas, P. A., & Pardavé-Livia, W. (2023). Caracterización Físico-Químico de la cáscara de piña (*Ananas Comosus*) tipo perolera del departamento de Santander. Revista Politécnica, 19(38), 143-159.

NMX-F-006-1983. Alimentos. Galletas. Food. Cookie. Normas Mexicanas. Dirección General de Normas.

NORMA Oficial Mexicana NOM-247-SSA1-2008, Productos y Servicios. Cereales y sus productos. Cereales, harinas de cereales, sémolas o semolinas. Alimentos a base de: cereales, semillas comestibles, de harinas, sémolas o semolinas o sus mezclas. Productos de panificación. Disposiciones y especificaciones sanitarias y nutrimentales. Métodos de prueba.

NOM -F-006-1983. “ALIMENTOS – GALLETAS”

Rodríguez Carbajo, P. (2015). Elaboración de galletas sin gluten con mezclas de harina de arroz-almidón-proteína.

SAGARPA (2017). Maíz blanco y amarillo de México. Planeación Agrícola Nacional (2017-2030).

SAGARPA (2017). Piña de Mexicana. Planeación Agrícola Nacional (2017-2030)

Sierra Aguilar, J. (2009). Alternativas de aprovechamiento de la cascarilla de arroz en Colombia.

Sierra, M., Hernanz, N., & Alonso, I. G. y L. (2020). Enfermedad celiaca. Medicine -Programa de Formación Médica Continuada Acreditado, 13(1),15. doi:10.1016/j.med.2020.01.002 .

Vásquez Cortez L.H Durazno Delgado L.A. et al (2024) Elaboración de una galleta libre de gluten a base de harina de papa china y harina de soja. Journal of Science and Research.

Vargas, E, Weaver Monchablon L, Sance, M. (2018) Galletitas saludables libres de gluten elaboradas con piel de tomate para población infantil en edad escolar. Investigación y Universidad. Facultad de Ciencias Agrarias. Vol 2. No. 3

Villanueva-Flores, R. (2017). Productos libres de gluten: un reto para la industria de los alimentos. Ingeniería Industrial, 35(035), 183-194.

Virgilio-León, J., García-Salazar, J. A., Mora-Flores, J. S., García-Mata, R., & Ramírez-Jaspeado, R. (2023). Efectos de la política de precios de garantía sobre el mercado de arroz en México. Revista fitotecnia mexicana, 46(2), 195-20.

IMPLEMENTACIÓN DE DISPOSITIVO AÉREO NO TRIPULADO CONTROLADO A DISTANCIA PARA OPTIMIZAR LA INSPECCIÓN Y MANTENIMIENTO DE LAS LÍNEAS DE ALTA TENSIÓN DEL DEPARTAMENTO DE LÍNEAS DE SUBTRANSMISIÓN EN LA DIVISIÓN ORIENTE DE LA ZONA DEL PAPALOAPAN DE EMPRESA GENERADORA Y DISTRIBUIDORA DE ENERGÍA ELÉCTRICA

Yamilet Salomón Ruiz[1]
Leonardo Estrada Tijerina[2]
Cynthia Ivette Velázquez Bustos[3]

RESUMEN

En el ámbito de la supervisión de infraestructura eléctrica, se propone la implementación de un dispositivo aéreo no tripulado para optimizar la inspección y mantenimiento de las líneas de subtransmisión de Comisión Federal de Electricidad en la Zona del Papaloapan. Esta iniciativa surge de la necesidad de mitigar los riesgos asociados al trabajo en campo, como el acceso a terrenos difíciles, inundaciones, zonas pantanosas o propiedades privadas, así como el peligro inherente al ascenso a estructuras que puedan presentar anomalías estructurales como peldaños sueltos, herrajes faltantes, postes podridos o enjambres.

El proyecto busca que el dispositivo aéreo sea capaz de grabar video en alta definición, identifique fallas estructurales y anomalías en torres y postes, permitiendo una programación de mantenimiento eficiente y segura. La aplicación de esta tecnología innovadora en las 29 líneas de subtransmisión de 115 KV en la región de Papaloapan, que abarcan 701.73 km de cableado, busca reducir significativamente los tiempos de inspección y los riesgos laborales, mejorando la eficacia y pertinencia de los programas de mantenimiento.

Palabras Clave: Dispositivo aéreo no tripulado, Riesgos de trabajo, Programas de mantenimiento.

ABSTRACT

In the area of electrical infrastructure monitoring, the implementation of an unmanned aerial vehicle (UAV) is proposed to optimize the inspection and maintenance of the Federal Electricity Commission's

[1] Tecnológico Nacional De México / Instituto Tecnológico Superior de Tierra Blanca. yamilet.salomon@itstb.edu.mx
[2] Tecnológico Nacional De México / Instituto Tecnológico Superior de Tierra Blanca. leonardo.estrada.cb125@ dgeti.sems.gob.mx
[3] Tecnológico Nacional De México / Instituto Tecnológico Superior de Tierra Blanca. cynthiaivette.velazquez.cb66@dgeti.sems.gob.mx

(CFE) subtransmission lines in the Papaloapan region. This initiative arises from the need to mitigate the risks associated with fieldwork, such as access to difficult terrain, flooding, swampy areas, or private property, as well as the inherent danger of climbing structures that may present structural anomalies such as loose rungs, missing hardware, rotten poles, or bee swarms.

The project aims for the UAV to be capable of recording high-definition video, identifying structural failures and anomalies in towers and poles, enabling efficient and safe maintenance scheduling. The application of this innovative technology to the 29 115 kV subtransmission lines in the Papaloapan region, which cover 701.73 km of cabling, seeks to significantly reduce inspection times and occupational hazards, improving the effectiveness and relevance of maintenance programs.

Keywords: Unmanned aerial device, Occupational hazards, Maintenance programs.

INTRODUCCIÓN

La evolución tecnológica de las últimas décadas ha reconfigurado los paradigmas de operación en diversos sectores industriales, y el ámbito de la ingeniería eléctrica no es la excepción. La infraestructura energética, compuesta por una vasta red de líneas de sub-transmisión, representa un activo crítico para el desarrollo de cualquier nación. Sin embargo, su mantenimiento y supervisión presentan desafíos significativos, especialmente en regiones geográficas de compleja orografía o en zonas de difícil acceso. En el contexto de la Comisión Federal de Electricidad (CFE), la entidad gubernamental encargada de la generación, transmisión y distribución de energía en México, la tarea de inspeccionar las líneas de sub-transmisión de 115 KV se ha vuelto una labor de alto riesgo y con una escasa eficiencia.

La investigación se centra en la Zona de Distribución Papaloapan, una región que abarca 29 líneas de sub-transmisión con una extensión total de 701.73 kilómetros de cableado. Las inspecciones regulares de esta infraestructura son vitales para detectar fallas, prevenir interrupciones en el servicio y salvaguardar la seguridad del personal técnico. No obstante, las condiciones del terreno, que incluyen zonas inundadas, pantanos y áreas con vegetación densa, aunado a los riesgos inherentes al ascenso de las torres de alta tensión, han provocado una pérdida de tiempo y aumento en los riesgos laborales.

El objetivo de esta investigación es presentar la implementación de un Vehículo Aéreo No Tripulado, como una solución innovadora y efectiva para la supervisión y el mantenimiento predictivo de estas líneas. El proyecto no solo busca optimizar los procesos operativos de la CFE, sino que también sirve como un modelo de vinculación exitosa entre las instituciones educativas y la industria. Se demuestra cómo la investigación aplicada, desarrollada por estudiantes y docentes de distintos niveles educativos

del ámbito tecnológico, puede generar un impacto tangible, no solo en la eficiencia de una empresa, sino en el fortalecimiento de la capacidad de investigación y desarrollo académico.

JUSTIFICACIÓN

La Implementación de dispositivo aéreo no tripulado controlado a distancia para optimizar la inspección y mantenimiento de las líneas de alta tensión se basa en la necesidad crítica de mejorar los procesos de inspección en CFE, una necesidad que se manifiesta en la seguridad del personal y la eficiencia operativa.

Desde el punto de vista de la seguridad, las inspecciones manuales de las líneas de alta tensión exponen al personal a riesgos considerables, tales como caídas, descargas eléctricas, ataques de insectos y condiciones climáticas extremas. La utilización de un VANT mitiga estos riesgos al permitir una inspección visual detallada a distancia, sin comprometer la integridad física del personal.

En términos de eficiencia operativa, los métodos de inspección tradicionales son lentos y demandan una cantidad significativa de recursos. La inspección de más de 700 kilómetros de líneas conllevaba semanas de trabajo, lo que se traducía en tiempos de respuesta prolongados ante fallas y en un mantenimiento preventivo menos frecuente. La adopción de un VANT reduce drásticamente estos tiempos, permitiendo una inspección más exhaustiva y periódica.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La problemática a resolver se concentra en la ineficiencia y los riesgos asociados a la supervisión manual de la red de sub-transmisión de 115 KV de CFE en la Zona de Distribución Papaloapan.

La inspección y el mantenimiento de estas líneas se ven obstaculizados por diversos factores, los cuales se han identificado y priorizado en el marco de este proyecto:

- **Dificultad de acceso a las estructuras:** Muchas torres y postes se encuentran en zonas de difícil tránsito, como terrenos inundados, pantanosos o propiedades privadas con acceso restringido, lo que retrasa las inspecciones y aumenta el tiempo de respuesta ante fallas.
- **Riesgos laborales:** El ascenso a las estructuras presenta peligros significativos debido a su estado estructural, la presencia de herrajes en mal estado, enjambres de abejas y condiciones climáticas adversas.
- **Pérdida de tiempo y eficiencia:** La complejidad para llegar a las estructuras se traduce en una pérdida de tiempo considerable para el personal de campo, lo que afecta la periodicidad de las inspecciones y la atención oportuna a las fallas.

Estas problemáticas se resumen en un diagrama de Ishikawa (Ver Anexo 1), donde las principales causas de disparos de las líneas de alta tensión se relacionan directamente con la falta de mantenimiento oportuno.

OBJETIVO GENERAL

Implementar un dispositivo aéreo no tripulado controlado a distancia, de manera que optimice la supervisión de las Líneas de Subtransmisión en la Zona de Distribución Papaloapan con el fin de realizar de manera eficaz y oportuna los programas de mantenimiento de las estructuras de alta tensión.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Identificar las anomalías más comunes en las estructuras de alta tensión.
- Reducir los riesgos laborales los cuales pueden afectar de manera considerable la integridad física de un trabajador durante la inspección de las estructuras.
- Disminuir los tiempos de inspección, de manera eficaz, dando atención oportuna a las problemáticas detectadas.
- Optimizar recursos materiales, tiempo y humanos requeridos actualmente en los trabajos de inspección realizados.

MARCO TEÓRICO Y ANTECEDENTES

El desarrollo de este proyecto se basa en el conocimiento y la aplicación de la tecnología de Vehículos Aéreos No Tripulados (VANT), los cuales han evolucionado significativamente desde su origen en el ámbito militar hasta su uso civil y comercial.

Concepto de VANT

Un vehículo aéreo no tripulado (VANT), UAV (del inglés unmanned aerial vehicle) o comúnmente *dron*, que también se denomina RPA (del inglés Remotely Piloted Aircraft), es una aeronave que vuela sin tripulación, controlada de forma remota o mediante un plan de vuelo autónomo preprogramado. Estos dispositivos se clasifican en función de su peso, autonomía, alcance, y tipo de motor. Para la inspección de líneas, los cuadricópteros con capacidad de vuelo estacionario son los más adecuados, ya que permiten un monitoreo detallado y preciso.

Figura 1. UAV Pioneer en misión de vigilancia sobre Irak.

Tipos de drones

Dentro de los VANT, existen diversas configuraciones, como los de ala fija, helicópteros y los multicópteros (cuadricópteros, hexacópteros, etc.). La elección del cuadricóptero para este proyecto se justifica por su facilidad de manejo, su capacidad para volar en interiores o espacios reducidos, su estabilidad en vuelo estacionario y su capacidad de carga para equipos de video de alta definición.

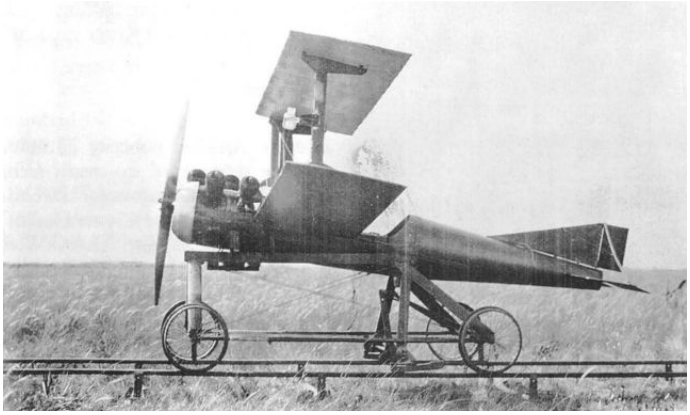
Evolución histórica

Los primeros intentos de crear VANT o UAV, denominación extendida en el campo militar, tal y como hoy los conocemos, comienzan durante el desarrollo de la I Guerra Mundial, entre los años 1914 y 1918, destacando los siguientes:

- **1916:** A finales de este año se construye en el Reino Unido por el capitán A.H Low el “Aerial Target”, un vehículo aéreo no tripulado controlado por radio desde tierra que pretendía servir como blanco aéreo de entrenamiento y como defensa contra los Zepelines.
- **1917:** En este año se desarrolla el conocido como “Torpedo Aéreo Kettering (Kettering Bug)” por Charles F. Kettering de la General Motors, con los controles de Elmer Sperry y su hijo Lawrence Sperry.

Posteriormente se emplearon durante la segunda guerra mundial para entrenar a los operarios de los cañones antiaéreos. Sin embargo, no es hasta finales del siglo XX cuando operan los VANT mediante radio control con todas las características de autonomía.

Figura 2. Drones de guerra.



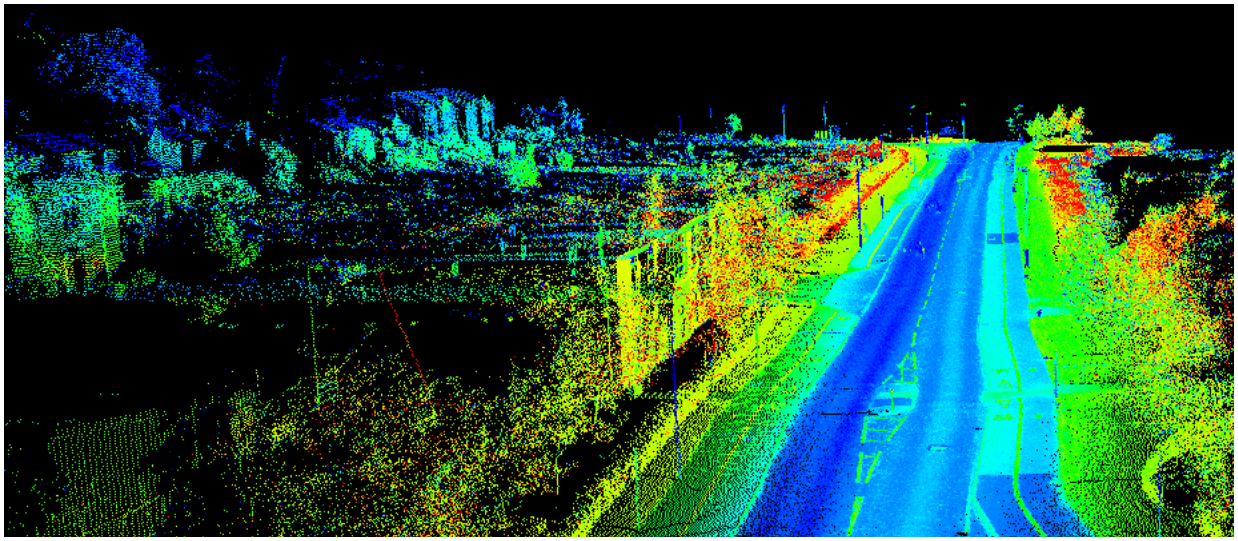
Los VANT han demostrado sobradamente en diferentes escenarios y, especialmente en la guerra del Golfo y en la guerra de Bosnia, su gran potencial. En cuanto a la obtención, manejo y transmisión de la información, gracias a la aplicación de nuevas técnicas de protección de la misma (guerra electrónica, criptografía) resulta posible conseguir comunicaciones más seguras, más difíciles de detectar e interferir.

Drones para todo y todos

Los drones de uso civil se han vuelto muy comunes y versátiles, con aplicaciones que van desde el mapeo y la agricultura hasta la entrega de productos y el entretenimiento.

Una de las áreas más beneficiadas por esta tecnología es la cartografía, ya que los drones pueden crear mapas muy detallados y modelos 3D a bajo costo y en poco tiempo, usando cámaras de alta precisión y sensores como el LIDAR (Detección de Luz y Rango).

Figura 3. Nube de puntos creada por un sensor LIDAR (acrónimo en inglés de Detección de Luz y Rango), cada punto tiene datos de sus coordenadas x, y, y altura z.



Cómo funciona el mapeo con drones

- Fotografía aérea: Se toman fotos con una superposición mínima del 60% para que un software pueda eliminar distorsiones y crear mosaicos con distancias reales.
- Modelos 3D: Los sensores LIDAR emiten pulsos láser para medir el tiempo que tardan en rebotar y así calcular la posición exacta de miles de puntos, generando nubes de puntos que forman modelos tridimensionales.

Ventajas frente a métodos tradicionales

A diferencia de las fotografías aéreas tomadas por aviones, que eran muy costosas y difíciles de actualizar, y las imágenes satelitales, que pueden ser muy caras o inaccesibles, los drones ofrecen una alternativa más accesible y eficiente para obtener información cartográfica.

Otros usos de los drones

Además de la cartografía, los drones se utilizan en una amplia gama de campos, incluyendo:

- Minería: Para exploración y cálculo de extracción.
- Inspección: De puentes, cables de alta tensión y obras.
- Emergencias: Para evaluación de daños en desastres naturales, acciones de rescate y derrames de petróleo.
- Otros usos: Periodismo, publicidad, cine, agricultura, vigilancia policial y entrega de ayuda médica.

Figura 4. Dron con tres sensores para la inspección de líneas eléctricas.

METODOLOGÍA

La metodología del proyecto se dividió en varias etapas, desde la adquisición del dispositivo hasta la validación de los resultados en campo. El enfoque fue empírico y se centró en la recolección y el análisis de datos cuantitativos y cualitativos.

Selección del dispositivo

Se optó por un dron comercial cuadricóptero con las siguientes especificaciones:

- **Cámara:** Capacidad de grabación de video en 4K y 30 fps, con zoom óptico para capturar detalles a distancia.
- **Batería y autonomía:** Se seleccionó un modelo con una autonomía de vuelo de al menos 20 minutos, lo que permite inspeccionar una distancia considerable por cada carga.
- **Sistema de navegación:** El dispositivo cuenta con GPS y un sistema de retorno automático al punto de despegue para mayor seguridad.

Figura 2. Drone Eachine E58F

Diseño del plan de inspección

Se seleccionaron cuatro líneas de alta tensión para la prueba piloto, con una extensión total de 20 km. Para cada línea, se definieron puntos de despegue y aterrizaje y se establecieron rutas de vuelo.

- **Línea 73610:** 5 km
- **Línea 73210:** 5 km
- **Línea 73810:** 5 km
- **Línea 73710:** 5 km

Recolección de datos

Se registraron los tiempos de inspección en dos modalidades: la tradicional (con personal de campo) y la asistida por el dron. Los datos se capturaron con cronómetro y se documentaron en un formato de tabla para su posterior análisis.

Las primeras inspecciones reales fueron en la línea **73610** que va de Cosolapa a Ingenio San Nicolás y está ubicada mayormente en cerro, lo que hace que en algunas estructuras sea muy difícil el acceso.

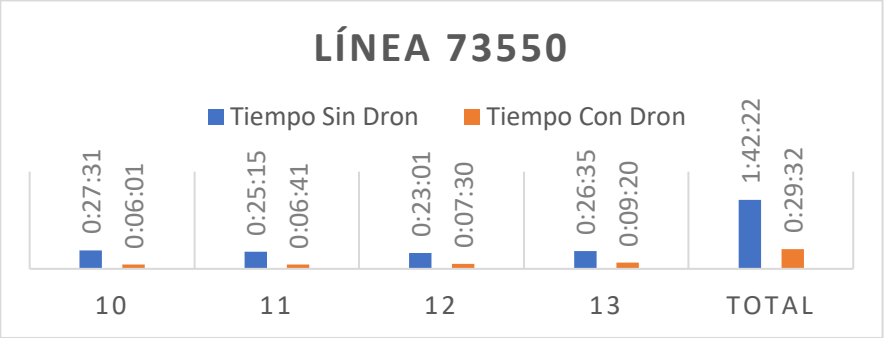
Tiempo de Inspección en la Línea 73610

Tiempo		
Est. No.	**Sin Dron**	**Con Dron**
25	00:35:05	00:05:46
26	00:31:55	00:06:25
27	00:36:22	00:08:32
28	00:33:10	00:05:58
Total	**02:16:47**	**00:26:41**

Tabla 1. *Tiempos de Inspección en la Línea 73610.*

La segunda inspección fue en la línea **73550** está ubicada mayormente en cañales y sus estructuras son mayormente postes de concreto y de fibra de vidrio, muchos de ellos no cuentan con peldaños lo cual obliga a los trabajadores a ascender con maneas y arnés. Los tiempos de inspección se muestran en la siguiente gráfica.

Figura 6. Tiempos de Inspección en la Línea 73550.



Capacitación del personal

Se diseñó un programa de capacitación de 20 horas para el personal de CFE, que incluyó una fase teórica sobre el funcionamiento del dispositivo y una fase práctica de manejo y control.

Figura 7. Inicio de capacitación para el personal de administrativo Líneas de Alta tensión.

RESULTADOS Y ANÁLISIS

Los resultados de la investigación demuestran la viabilidad y la efectividad de la implementación del VANT. Los datos recolectados se han analizado para mostrar el impacto positivo en la eficiencia y seguridad.

Análisis de Tiempos

La comparación de los tiempos de inspección reveló una reducción drástica. La Tabla 1 muestra los datos para la Línea 73610, donde el tiempo de inspección total se redujo de más de una hora a poco más de 15 minutos.

Estructura No.	Tiempo sin dron (hh:mm:ss)	Tiempo con dron (hh:mm:ss)
10	00:27:31	00:06:01
80	00:20:08	00:04:50
34	00:25:03	00:05:30
Tiempo total	**01:12:42**	**00:16:21**

Tabla 2. *Tiempos de Inspección en la Línea 73610.*

Este ahorro de tiempo, es un indicador clave del éxito del proyecto.

Detección de anomalías

El dron permitió identificar fallas y anomalías que no eran visibles desde el nivel del suelo, como pernos oxidados, aisladores en mal estado, y la presencia de enjambres o nidos. La capacidad de zoom de la cámara fue fundamental para capturar detalles que hubieran requerido un ascenso de alto riesgo.

Disminución de riesgos

La implementación del VANT eliminó por completo los riesgos asociados al ascenso a las estructuras, garantizando la seguridad del personal y cumpliendo con las normativas de seguridad de CFE.

CONCLUSIONES Y CONTRIBUCIONES

El proyecto ha logrado los objetivos propuestos, demostrando que la implementación de un VANT es una solución eficaz para optimizar la supervisión de las líneas de subtransmisión en la división oriente de la zona del Papaloapan. Las principales contribuciones son:

- **Reducción de riesgos laborales:** Se eliminó el riesgo de ascender a estructuras en mal estado o de difícil acceso.
- **Ahorro de tiempo y recursos:** La eficiencia en las inspecciones se traduce en un ahorro considerable de tiempo y recursos humanos y materiales.
- **Propuestas de mejora:** La contribución al proyecto se centró en un proceso de optimización constante durante sus fases de planeación y realización. Ante los desafíos identificados en las maniobras, se propusieron e implementaron mejoras estratégicas que permitieron adaptar el sistema para cumplir con todos los requerimientos del departamento de Líneas de

Subtransmisión. Estas mejoras fueron el resultado de la colaboración y las valiosas aportaciones del personal de campo, jefes de área y residentes.

REFERENCIAS

Carrión Tagle, F. (2022). Fotogrametría Digital con Drones: del Vuelo al Modelo 3D. Ciudad de México: Alfaomega Grupo Editor.

Sánchez, J. & Pérez, L. (2023). "Aplicación de drones con sensores LIDAR para la inspección de líneas de transmisión". Revista de Ingeniería Eléctrica, 18(2), 45-58.

Castillo, G. (2023). Drones en la construcción e ingeniería civil: De la captura de datos a la gestión de proyectos. Barcelona: Editorial Marcombo.

García, P. & Ruiz, F. (2023). Sensores y drones: La nueva era del monitoreo ambiental y de infraestructura. Madrid: Ediciones Pirámide.

González, A. & Morales, S. (2024). "Avances en la tecnología de drones para aplicaciones comerciales y de investigación". Tecnología y Sociedad, 3(1), 1-15.

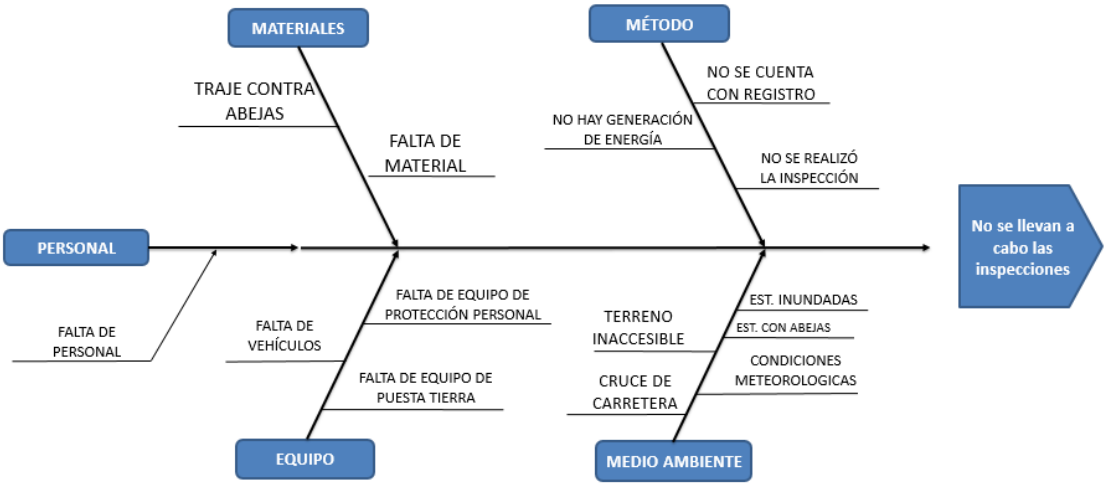
ANEXOS

Diagrama de Ishikawa que muestra las causas y consecuencias de la falta de mantenimiento de las líneas de sub-transmisión.

El diagrama causa-efecto está compuesto por un recuadro que constituye la cabeza del pescado, una línea principal, que constituye su columna, y de 4 a más líneas apuntando a la línea principal formando un ángulo de unos 70º, que constituyen sus espinas principales.

Este diagrama fue hecho con la finalidad de identificar los problemas por los cuales no se realizan las inspecciones en las líneas de sub-transmisión de la Zona Papaloapan.

Figura 8. Diagrama de Ishikawa o diagrama causa-efecto que se conforma de los principales problemas por los cuales no se llevan a cabo las inspecciones de las líneas de sub-transmisión.



OBTENCIÓN DE XILOOLIGOSACÁRIDOS POR FERMENTACIÓN SÓLIDA DEL RASTROJO DE AMARANTO (Amaranthus hypochondriacus)

Hazaribagh García Candelaria[1]
María de Jesús García Gómez[2]
Oscar Núñez Gaona[3]

RESUMEN

El amaranto (*Amaranthus hypochondriacus*) es una planta originaria de Mesoamérica, utilizada durante siglos por culturas precolombinas. A pesar de su valor nutricional e histórico, su cultivo disminuyó tras la colonización. En décadas recientes ha resurgido el interés por sus semillas, reconocidas por su alto contenido en proteínas, minerales y compuestos bioactivos. Sin embargo, el rastrojo que queda tras la cosecha de este cultivo, sigue siendo poco aprovechado. Este residuo contiene celulosa, hemicelulosa y lignina, componentes lignocelulósicos con potencial para transformarse en biomoléculas funcionales como los xilooligosacáridos (XOS), que son compuestos con efectos prebióticos beneficiosos para la salud humana. Una estrategia prometedora para valorizar este residuo es la aplicación de fermentación en estado sólido, un bioproceso que utiliza hongos filamentosos para hidrolizar la hemicelulosa del rastrojo, liberando XOS de forma eficiente y sostenible. Este enfoque biotecnológico presenta ventajas económicas y ambientales frente a métodos químicos o puramente enzimáticos. El aprovechamiento del rastrojo de amaranto mediante procesos fermentativos permitiría reducir el desperdicio agrícola, generar productos funcionales y diversificar el uso del cultivo. Este tipo de valorización contribuye a la economía circular, la seguridad alimentaria y la innovación en sistemas agrícolas sostenibles, posicionando al amaranto como un recurso integral en múltiples industrias.

Palabras clave: biomoléculas funcionales, economía circular, prebióticos

ABSTRACT

Amaranth (Amaranthus hypochondriacus) is a plant native to Mesoamerica, used for centuries by pre-Columbian cultures. Despite its nutritional and historical value, its cultivation declined after colonization.

[1] Universidad del Papaloapan. hazaribagh@hotmail.com
[2] Universidad del Papaloapan. unpal7@gmail.com
[3] Universidad del Papaloapan. oscarnzg@hotmail.com

In recent decades, interest in its seeds, recognized for their high content of protein, minerals, and bioactive compounds, has resurfaced. However, the crop residue left after harvesting this crop remains underutilized. This residue contains cellulose, hemicellulose, and lignin, lignocellulosic components with the potential to be transformed into functional biomolecules such as xylooligosaccharides (XOS), compounds with prebiotic effects beneficial to human health. A promising strategy for valorizing this residue is the application of solid-state fermentation, a bioprocess that uses filamentous fungi to hydrolyze the hemicellulose in the residue, releasing XOS efficiently and sustainably. This biotechnological approach offers economic and environmental advantages over chemical or purely enzymatic methods. Utilizing amaranth crop residue through fermentation processes would reduce agricultural waste, generate functional products, and diversify the crop's uses. This type of valorization contributes to the circular economy, food security, and innovation in sustainable agricultural systems, positioning amaranth as a valuable resource across multiple industries.
Keywords: functional biomolecules, circular economy, prebiotics

INTRODUCCIÓN

El amaranto (*Amaranthus hypochondriacus*), planta originaria de Mesoamérica y con un importante legado nutricional y cultural, ha sido valorado históricamente por sus semillas, reconocidas por su alto contenido de proteínas, minerales y compuestos bioactivos. No obstante, el rastrojo resultante tras la cosecha permanece ampliamente infrautilizado. Este residuo lignocelulósico, compuesto principalmente por celulosa, hemicelulosa y lignina, ofrece un potencial elevado para la producción de biomoléculas funcionales como los xilooligosacáridos (XOS), conocidos por sus efectos prebióticos, al no degradarse en el tracto gastrointestinal y estimular bacterias beneficiosas (Abdella et al., 2011).

Una estrategia biotecnológica prometedora para transformar este residuo es la fermentación sólida (FS), una técnica que aprovecha hongos filamentosos para hidrolizar selectivamente la hemicelulosa y liberar XOS con alta eficiencia y especificidad. Este enfoque destaca frente a métodos químicos por su menor consumo de energía, menor generación de residuos y mejor alineación con principios de sustentabilidad (Pandey, 2003). Además, la FS permite utilizar residuos agroindustriales como sustrato, reduciendo costos y apoyando la economía circular (Pandey, 2003; Singhania *et al*., 2009).

Por otro lado, los estudios relacionados con producción de xilanasas a partir de residuos lignocelulósicos mediante FS (aunque en otros sustratos) refuerzan el enfoque: por ejemplo, en bagazo de maíz, *Trichoderma koeningi* logró producir xilanasas que liberaron xilooligosacáridos tras hidrólisis hemicelulósica (*Bandikari et al*., 2014). Esto evidencia la viabilidad técnica de liberar XOS mediante la FS, lo cual podría adaptarse para el rastrojo de amaranto.

El aprovechamiento del rastrojo de amaranto mediante la FS no solo permitiría convertir un residuo agrícola en un recurso funcional con aplicaciones en alimentos, nutracéuticos o suplementos, sino que también contribuiría a la economía circular, diversificaría el uso del cultivo y reforzaría la innovación en sistemas agrícolas sostenibles. Este enfoque posiciona al amaranto como un recurso integral en múltiples industrias, extendiendo su utilidad más allá del consumo de semillas.

MARCO TEÓRICO

Rastrojo de amaranto como fuente lignocelulósica para la obtención de xilooligosacáridos

El amaranto (*Amaranthus hypochondriacus*) es un cultivo ancestral de alto valor nutricional y cultural en Mesoamérica. Tras la cosecha de los granos, se generan grandes cantidades de rastrojo compuesto por tallos y hojas, el cual suele destinarse a prácticas de bajo valor agregado como forraje, abono o, en muchos casos, es desechado, lo que representa una pérdida de biomasa rica en compuestos lignocelulósicos (Espitia-Rangel *et al*., 2010).

Desde el punto de vista composicional, el rastrojo de amaranto presenta un contenido relevante de celulosa (30–40%), hemicelulosa (20–30%) y lignina (10–15%), lo que lo convierte en un sustrato atractivo para la liberación de azúcares estructurales como xilosa y sus derivados (Tapia-Blácido *et al*., 2010; Martínez-López *et al*., 2022). La fracción hemicelulósica está compuesta principalmente por xilanos, los cuales son la materia prima directa para la producción de xilooligosacáridos (XOS).

Además de su composición, el rastrojo de amaranto se caracteriza por ser un residuo abundante y de bajo costo, disponible en regiones productoras de México y Latinoamérica. Su aprovechamiento permitiría no solo disminuir el impacto ambiental derivado de su desecho, sino también impulsar un modelo de aprovechamiento integral del cultivo, donde tanto el grano como el residuo se valorizan en diferentes cadenas productivas (Espitia-Rangel *et al*., 2010).

En términos de sostenibilidad, la valorización del rastrojo de amaranto para la producción de XOS se alinea con los principios de la bioeconomía circular, promoviendo el uso de residuos agrícolas en la generación de bioproductos de alto valor agregado, como prebióticos funcionales para la industria alimentaria y nutracéutica (Samanta *et al*., 2015).

Por estas razones, el rastrojo de amaranto puede considerarse una materia prima estratégica en la obtención de XOS, ya que combina disponibilidad, composición adecuada en hemicelulosa y viabilidad para ser procesado bajo esquemas de fermentación sólida, consolidándose como una opción innovadora y sustentable frente a otros residuos agroindustriales comúnmente utilizados.

Cultivo de amaranto en México: tradición, recuperación y distribución actual

El amaranto (*Amaranthus hypochondriacus*) es un cultivo ancestral de gran relevancia en Mesoamérica, con una historia documentada que se remonta a más de 6 000 años. Fue uno de los principales alimentos de las culturas mexica y maya, utilizado tanto como base dietética como en ceremonias rituales (Iturbide y Gispert en León, 1994; León, 1994).

Tras la conquista, el cultivo fue prohibido, lo que lo llevó al borde de la extinción en muchas regiones. Sin embargo, en zonas rurales de México se mantuvo su práctica ancestral hasta el siglo XX (Iturbide y Gispert en León, 1994; Sauer, 1950). Desde los años setenta y ochenta, diversas instituciones académicas, gubernamentales y civiles han impulsado su rescate mediante investigación, evaluaciones agronómicas y esquemas de certificación como Denominación de Origen en Xochimilco, Ciudad de México (Alternativas; CEESTEM; Ramírez-Meza *et al*., 2017).

Actualmente, el amaranto se cultiva en estados como Puebla, Tlaxcala, Estado de México y Ciudad de México, con superficies promedio de cultivo entre 137 y 2,108 hectáreas (ha). La producción se concentra en Puebla (≈ 2,794 t), seguida por Tlaxcala (≈ 1,672 t), Estado de México (≈ 613 t) y Ciudad de México (≈ 161 t).

Además, organizaciones como México Tierra de Amaranto A.C. trabajan para promover su cultivo sostenible en Querétaro, Michoacán, Guanajuato, Jalisco y Veracruz, potenciando su uso como estrategia para mejorar la nutrición y condiciones de vida en comunidades rurales.

Por estas razones, es fundamental promover un uso integral de los cultivos de amaranto, aprovechando no solo los granos como alimento, sino también el rastrojo como materia prima para la obtención de bioproductos de alto valor agregado, como los xilooligosacáridos (XOS). Este enfoque contribuye a la sostenibilidad agrícola, reduce el desperdicio de biomasa y fomenta la innovación en la bioeconomía circular, integrando los distintos componentes del cultivo en cadenas productivas diversificadas y eficientes (Espitia-Rangel *et al*., 2010; Tapia-Blácido *et al*., 2010).

Xilooligosacáridos (XOS)

Los xilooligosacáridos (XOS) son oligosacáridos derivados del xilano, un componente principal de la hemicelulosa presente en la biomasa lignocelulósica. Estos compuestos han ganado atención debido a sus propiedades prebióticas, que incluyen la estimulación del crecimiento de bacterias beneficiosas como *Lactobacillus* y *Bifidobacterium* en el tracto gastrointestinal (Ali, 2025). Además, los XOS tienen aplicaciones industriales como agentes gelificantes, estabilizadores de espuma y sustitutos de grasa en productos alimenticios (Yan et al., 2022).

La producción de XOS se puede lograr mediante hidrólisis enzimática del xilano, utilizando enzimas como la endoxilanasa. Este proceso permite la obtención de XOS con un grado de polimerización bajo, preferido por los probióticos debido a su mayor fermentabilidad (Kumari *et al*., 2024).

Métodos de Producción de XOS

La producción de xilooligosacáridos (XOS) a parir de biomasa lignocelulósica puede abordarse mediante varios métodos, entre los que destacan la **hidrólisis enzimática,** la **hidrólisis ácida** y los **procesos combinados con pretratamientos físicos o químicos.** La hidrólisis enzimática utiliza endoxilanasas y otras hemicelulasas para romper selectivamente las cadenas de xilano, generando XOS con grados de polimerización controlados y minimizando la formación de productos secundarios no deseados (Saha, 2003; González *et al*., 2019). Esta técnica se adapta bien a diversos residuos agrícolas, como bagazo de caña, paja de trigo, cáscaras de frutas o tallos de cultivos emergentes.

En contraste, la hidrólisis ácida, mediante ácidos diluidos como sulfúrico o acético, ofrece una vía rápida y relativamente económica para liberar XOS, aunque con menor selectividad y riesgo de degradación de los oligómeros hacia monosacáridos o compuestos inhibitorios (Sun *et al*., 2015). Para mejorar la eficiencia, se implementan pretratamientos físicos (como molienda, vaporización o autoclave) o químicos (ácidos orgánicos, álcalis) que aumentan la accesibilidad de la hemicelulosa y optimizan el rendimiento final de XOS (Kim y Lee, 2021).

Recientemente, los enfoques combinados, donde un pretratamiento es seguido de hidrólisis enzimática, se han mostrado como la estrategia más eficiente, ya que permiten una liberación controlada de oligómeros y reducen la formación de subproductos indeseables. Además, estas técnicas contribuyen a la valorización de residuos agrícolas poco aprovechados, como el rastrojo de amaranto, promoviendo la sostenibilidad y el desarrollo de bioproductos de alto valor agregado (Zhang *et al*., 2020; González *et al*., 2019).

Método	Descripción	Ventajas	Limitaciones	Referencia
Hidrólisis enzimática	Uso de enzimas (endoxilanasas, hemicelulasas) para romper selectivamente el xilano.	Alta especificidad; obtención de XOS con DP controlado; menor formación de subproductos.	Costos elevados de enzimas; requiere pretratamiento para mejorar accesibilidad.	Saha (2003); González *et al*. (2019)
Hidrólisis ácida	Uso de ácidos (sulfúrico, acético) para hidrolizar hemicelulosa.	Proceso rápido y económico; aplicable a gran variedad de residuos.	Baja selectividad; riesgo de degradación de XOS a monosacáridos o inhibidores.	Sun *et al*. (2015); Zhou *et al*. (2019)
Pretratamientos físicos/químicos	Métodos como vaporización, molienda, autoclave o uso de álcalis/ácidos orgánicos para aumentar accesibilidad.	Mejora la eficiencia de hidrólisis posterior; reduce tiempo de proceso.	Puede requerir equipos especializados; generación de residuos químicos.	Kim y Lee (2021)

Método	Descripción	Ventajas	Limitaciones	Referencia
Procesos combinados	Integración de pretratamientos físicos/químicos seguidos de hidrólisis enzimática.	Mayor rendimiento de XOS; control en el grado de polimerización; reducción de subproductos.	Mayor complejidad del proceso; costos más altos de implementación.	Zhang *et al*. (2020); González *et al*. (2019)

Cuadro 1. Métodos de producción de xilooligosacáridos (XOS) a partir de biomasa lignocelulósica

Aplicaciones de los XOS

Los XOS tienen diversas aplicaciones en la industria alimentaria y farmacéutica debido a sus propiedades funcionales (Ali *et al*., 2025), como prebióticos (estimulantes selectivos del crecimiento de bacterias beneficiosas en el intestino, mejorando la salud digestiva), agentes gelificantes y estabilizadores de espuma (utilizados en la formulación de productos alimenticios para mejorar la textura y estabilidad) y sustitutos de grasa (empleados en productos bajos en calorías para reemplazar las grasas sin comprometer la palatabilidad).

Sin embargo, una de sus principales aplicaciones es la estimulación selectiva del crecimiento de bacterias beneficiosas en el intestino, como *Bifidobacterium* y *Lactobacillus*, lo que contribuye a mejorar la salud digestiva y la función inmunológica (Fan *et al*., 2024; Dong *et al*., 2023).

Además de su función prebiótica, los XOS se utilizan como ingredientes funcionales en alimentos y suplementos nutricionales, ya que pueden mejorar la textura, la solubilidad y el contenido de fibra dietética sin afectar significativamente el sabor (Zhou *et al*., 2019; Amador, 2012). Su bajo índice glucémico los hace atractivos para productos destinados a personas con diabetes o que buscan el control del peso (Chávez *et al*., 2022).

En el ámbito industrial, los XOS también tienen aplicaciones en la producción de bebidas fermentadas, fórmulas infantiles y alimentos funcionales, donde actúan como moduladores del microbioma intestinal y promueven la absorción de minerales como calcio y magnesio (Chávez *et al*., 2020; Fan *et al*., 2024). Asimismo, su capacidad antioxidante y la potencial liberación de compuestos bioactivos derivados de la hemicelulosa hacen que los XOS sean considerados ingredientes de alto valor agregado en la elaboración de nutracéuticos y productos farmacéuticos (Dong *et al*., 2023; Zhou *et al*., 2019).

En conjunto, estas aplicaciones reflejan la versatilidad de los XOS como ingredientes funcionales y prebióticos, destacando su papel en la promoción de la salud humana, la diversificación de productos alimentarios y la valorización de residuos lignocelulósicos como materias primas sostenibles.

Producción de XOS a partir de Residuos Agroindustriales

La utilización de residuos agroindustriales como sustratos para la producción de XOS es una estrategia sostenible y económica. Estos residuos, ricos en hemicelulosa, pueden ser pretratados y luego hidrolizados para liberar XOS. Por ejemplo, la cáscara de arroz y el bagazo de caña de azúcar han sido

utilizados para producir XOS mediante hidrólisis enzimática. Además, la fermentación sólida de residuos agroindustriales ha demostrado ser eficaz en la producción de xilanasas, que a su vez generan XOS. Por ejemplo, *Trichoderma reesei* ha sido utilizado para producir xilanasas a partir de residuos de arroz mediante fermentación sólida (Perwez, 2024).

En el Cuadro 2 se puede observar una recopilación de distintos residuos lignocelulósicos utilizados para la obtención de xilooligosacáridos (XOS), junto con los métodos de hidrólisis empleados. Se destaca que materiales como bagazo de caña de azúcar, paja de trigo, cáscara de piña, residuos de café y palma, así como tallos de cultivos como maíz, quinua y tabaco, representan fuentes potenciales de XOS debido a su alto contenido de hemicelulosa.

La mayoría de los estudios reporta el uso de hidrólisis enzimática, principalmente mediante endoxilanasas, por su especificidad y capacidad para liberar XOS con menor degradación de los azúcares (Fan *et al*., 2024; Chávez *et al*., 2020, 2022; Dong *et al*., 2023). Sin embargo, también se encuentran enfoques de hidrólisis ácida y combinaciones con pretratamientos químicos, como el uso de ácido acético, para mejorar la accesibilidad de la hemicelulosa y optimizar el rendimiento de XOS (Amador, 2012; Zhou *et al*., 2019).

Estos resultados ponen de manifiesto la importancia de seleccionar la materia prima y el método de obtención adecuados, no solo para maximizar la producción de XOS, sino también para aprovechar residuos agrícolas que, de otra manera, serían desaprovechados. En este sentido, la exploración de nuevos materiales lignocelulósicos, como el rastrojo de amaranto, abre oportunidades para impulsar la utilización integral de cultivos emergentes. El rastrojo de amaranto, actualmente considerado un residuo agrícola, podría convertirse en una fuente valiosa de hemicelulosa y otros compuestos bioactivos, contribuyendo tanto a la sostenibilidad de la producción agrícola como al desarrollo de bioproductos de alto valor agregado, fomentando la diversificación y el aprovechamiento integral de nuevos cultivos.

Residuo Lignocelulósico	Método de Obtención de XOS	Referencia Científica
Bagazo de caña de azúcar	Hidrolisis ácida y enzimática de hemicelulosa (xilano)	Zhou et al. (2019)
Paja de trigo	Hidrolisis enzimática con endoxilanasas	Fan et al. (2024)
Cáscara de piña	Hidrólisis ácida de xilano	Amador (2012)
Residuos de café	Hidrolisis enzimática de hemicelulosa	Chávez et al. (2022)
Residuos de palma	Hidrolisis enzimática de hemicelulosa	Chávez et al. (2020)
Bagazo de caña de azúcar	Pretratamiento con ácido acético seguido de hidrólisis	Zhou et al. (2019)
Cáscara de arroz	Hidrólisis enzimática de hemicelulosa	Dong et al. (2023)
Tallos de maíz	Hidrólisis enzimática de hemicelulosa	Dong et al. (2023)
Tallos de quinua	Hidrólisis enzimática de hemicelulosa	Dong et al. (2023)
Tallos de tabaco	Hidrólisis enzimática de hemicelulosa	Dong et al. (2023)

Cuadro 2. Residuos lignocelulósicos utilizados para la obtención de xilooligosacáridos (XOS) y métodos de hidrólisis.

Desafíos y Perspectivas Futuras

A pesar de los avances en la producción de XOS, existen desafíos que deben abordarse para mejorar la eficiencia y viabilidad económica del proceso (Perwez, 2024), como, por ejemplo: optimización de condiciones de fermentación (es necesario determinar las condiciones óptimas de humedad, temperatura y pH para maximizar la producción de XOS), pretratamientos de sustratos(es crucial para mejorar la accesibilidad del xilano y la eficiencia de la hidrólisis) y escalabilidad del proceso (la transición de procesos de laboratorio a escala industrial requiere la resolución de problemas relacionados con la consistencia del producto y la eficiencia del proceso).

La producción y aplicación de xilooligosacáridos (XOS) a partir de residuos lignocelulósicos enfrenta diversos desafíos que deben abordarse para consolidar su uso industrial y alimentario. Uno de los principales retos es la optimización de los procesos de hidrólisis, tanto enzimática como ácida, para maximizar el rendimiento de XOS sin generar subproductos indeseables o degradación de los oligómeros (Zhou *et al*., 2019; Dong *et al*., 2023). La variabilidad en la composición de los residuos agrícolas, como bagazo de caña, paja de trigo o rastrojo de amaranto, también impacta en la eficiencia de extracción y requiere estrategias de pretratamiento adaptadas a cada material (Fan *et al*., 2024; Chávez *et al*., 2020).

Otro desafío es la estandarización de las propiedades funcionales de los XOS para su incorporación en alimentos y suplementos nutricionales. Las diferencias en el grado de polimerización y en la pureza de los productos pueden influir en su actividad prebiótica y en la aceptación del consumidor (Chávez *et al*., 2022; Amador, 2012). Asimismo, los costos asociados a la producción industrial y la necesidad de escalamiento de procesos representan un obstáculo para su comercialización masiva.

A futuro, se espera que la investigación se enfoque en el desarrollo de técnicas más sostenibles y eficientes, incluyendo la integración de pretratamientos físicos, químicos y enzimáticos combinados, así como la valorización de residuos actualmente desaprovechados, como el rastrojo de amaranto, para generar bioproductos de alto valor agregado (Dong *et al*., 2023; Zhou *et al*., 2019). La implementación de biorefinerías que optimicen el uso integral de la biomasa lignocelulósica y la evaluación de los efectos a largo plazo de los XOS en la salud humana constituyen perspectivas clave para el crecimiento de este campo (Fan *et al*., 2024).

En síntesis, superar estos desafíos permitirá no solo ampliar la aplicación de los XOS, sino también fomentar la sostenibilidad agrícola y el aprovechamiento integral de cultivos emergentes, consolidando a estos oligómeros como ingredientes funcionales de relevancia científica, industrial y nutricional.

Fermentación Sólida

La fermentación sólida (FS) es un proceso biotecnológico que utiliza un sustrato sólido con baja actividad acuosa para cultivar microorganismos, generalmente hongos filamentosos, sin la presencia de una fase líquida libre. Este método es particularmente eficaz para la producción de enzimas como la xilanasa, debido a que imita las condiciones naturales de crecimiento de los microorganismos (Šekuljica *et al*., 2023).

En FS, sustratos como salvado de trigo, cáscaras de arroz y bagazo de caña de azúcar son utilizados para cultivar cepas de *Aspergillus* y *Trichoderma*, entre otros, con el fin de producir xilanasa. La optimización de parámetros como la humedad, temperatura y pH es crucial para maximizar la actividad enzimática y la producción de metabolitos deseados (Khanahmadi *et al*., 2018).

Este enfoque presenta ventajas económicas y ambientales sobre la fermentación sumergida, ya que requiere menos agua, energía y genera menos residuos líquidos, alineándose con principios de sostenibilidad y economía circular (Sosa-Martínez *et al*., 2023).

Los sustratos más empleados en FS provienen de residuos agrícolas como bagazo de caña, paja de trigo, cáscaras de arroz, residuos de café y maíz, los cuales son ricos en celulosa y hemicelulosa y representan una alternativa sostenible para valorizar biomasa de bajo costo (Soccol *et al*., 2017). En este sentido, el rastrojo de amaranto puede considerarse un material prometedor debido a su composición lignocelulósica y su disponibilidad en regiones productoras.

En el cuadro 3, se indican los microorganismos más utilizados, alguno de ellos hongos filamentosos como *Aspergillus niger*, *Trichoderma reesei* y *Rhizopus oryzae*, ya que poseen una alta capacidad de penetrar en el sustrato sólido y secretar enzimas extracelulares (Singhania *et al*., 2009). También se han empleado bacterias como *Bacillus subtilis* y levaduras como *Saccharomyces cerevisiae* para la producción de metabolitos y compuestos bioactivos (Mitchell *et al*., 2006).

Microorganismo	Sustrato	Producto principal	Referencia
Aspergillus niger	Bagazo de caña, salvado de trigo	Xilanasas, celulasas, ácido cítrico	Pandey *et al*. (2000); Singhania *et al*. (2009)
Trichoderma reesei	Paja de arroz, residuos de maíz	Celulasas, hemicelulasas	Holker *et al*. (2004); Thomas *et al*. (2013)
Rhizopus oryzae	Cáscara de arroz, residuos de frutas	Ácido láctico, enzimas hidrolíticas	Mitchell *et al*. (2006)
Bacillus subtilis	Residuos de soya, salvado de arroz	Proteasas, amilasas, antibióticos	Singhania *et al*. (2009)
Saccharomyces cerevisiae	Pulpa de frutas, bagazo de caña	Etanol, compuestos aromáticos	Soccol *et al*. (2017)
Penicillium spp.	Residuos lignocelulósicos diversos	Pectinasas, metabolitos secundarios	Thomas *et a*l. (2013)
Aspergillus oryzae	Salvado de trigo, arroz, soya	Amilasas, proteasas, lipasas, compuestos de fermentación tradicional	Machida *et al*. (2008); Soccol *et al*. (2017)

Cuadro 3. Microorganismos, sustratos y productos obtenidos mediante fermentación en estado sólido (FS).

El éxito de la FS depende del control de parámetros críticos como humedad, tamaño de partícula, temperatura, pH y aireación, los cuales influyen en la disponibilidad de oxígeno, la transferencia de calor y la accesibilidad de nutrientes (Thomas *et al*., 2013). Una humedad inicial entre 60 y 80% se considera óptima, aunque varía según el sustrato y el microorganismo empleado (Pandey *et al*., 2000).

Entre las principales ventajas de la FS destacan su bajo consumo de agua, el uso de residuos agrícolas como sustratos económicos, una menor generación de efluentes y la elevada productividad de enzimas y metabolitos (Holker *et al*., 2004; Soccol *et al*., 2017). Sin embargo, también presenta desafíos, como el escalamiento industrial, la dificultad en el control de parámetros físicos y la heterogeneidad del sustrato (Mitchell *et al*., 2006).

Las aplicaciones de la FS son diversas e incluyen la producción de enzimas industriales (celulasas, xilanasas, pectinasas), ácidos orgánicos, compuestos aromáticos, prebióticos como los xilooligosacáridos (XOS) y biocombustibles (Singhania *et al*., 2009; Thomas *et al*., 2013). Así, la FS se consolida como una tecnología con alto potencial en el aprovechamiento integral de residuos agroindustriales, promoviendo la sostenibilidad y la economía circular.

JUSTIFICACION

La creciente demanda de compuestos funcionales con aplicaciones en la industria alimentaria y farmacéutica ha impulsado el interés en los xilooligosacáridos (XOS), reconocidos por sus propiedades prebióticas, antioxidantes e inmunomoduladoras. A pesar de su relevancia, la producción de XOS a partir de residuos agroindustriales sigue siendo un campo en desarrollo, donde la fermentación en estado sólido (FS) se perfila como una alternativa biotecnológica eficiente y sostenible.

El rastrojo de amaranto (*Amaranthus hypochondriacus*) representa un recurso lignocelulósico abundante en México y otros países de América Latina. Sin embargo, este subproducto agrícola suele ser subutilizado o desechado, lo que genera un impacto ambiental negativo y una pérdida de biomasa potencialmente valiosa. Su aprovechamiento para la producción de XOS no solo permitiría valorizar este residuo, sino también fomentar un modelo de bioeconomía circular en el sector agroalimentario.

En este contexto, el presente trabajo se plantea como una revisión bibliográfica que integra y analiza la información existente sobre la producción de XOS mediante fermentación sólida, con énfasis en la potencial utilización del rastrojo de amaranto como sustrato. De esta manera, se busca aportar un marco conceptual sólido que sirva de base para investigaciones futuras y que promueva la innovación en el uso integral de cultivos alternativos, fortaleciendo la sostenibilidad agrícola y el desarrollo de bioproductos de alto valor agregado.

METODOLOGÍA

Diseño experimental

El presente estudio se enfoca en la planeación de fermentación en estado sólido (FS) del rastrojo de amaranto (*Amaranthus hypochondriacus*) utilizando el hongo filamentoso *Aspergillus oryzae*. El objetivo principal de esta primera etapa es determinar las condiciones óptimas de pH y temperatura para la producción de xilooligosacáridos a partir del sustrato.

Se establecieron dos bloques experimentales:

1. CUS (con ultrasonido): el sustrato de rastrojo de amaranto se sometió previamente a un tratamiento de ultrasonido para favorecer la apertura de la estructura lignocelulósica y facilitar la accesibilidad de la hemicelulosa al hongo.
2. SUS (sin ultrasonido): el sustrato se utilizó directamente, sin pretratamiento físico, para evaluar la producción de XOS en condiciones naturales del material.

Para ambos bloques se evaluaron diferentes combinaciones de pH inicial y temperatura, siguiendo un diseño experimental factorial, con el objetivo de identificar las condiciones más favorables para la fermentación.

Preparación del sustrato e inoculación

El rastrojo de amaranto se secó, trituró y estandarizó a un **tamaño de partícula uniforme**, asegurando homogeneidad en todos los tratamientos. La humedad inicial del sustrato se ajustó a niveles óptimos para la FS, garantizando la viabilidad del crecimiento fúngico.

El hongo *Aspergillus oryzae* se inoculó en condiciones estériles, asegurando una distribución uniforme sobre el sustrato. Los frascos experimentales se incubaron controlando la temperatura, según los tratamientos definidos.

Monitoreo del proceso

La fermentación se desarrolló durante **15 días**, y los parámetros se evaluaron cada **72 horas**, permitiendo un seguimiento temporal para la producción de biomasa seca. Las variables monitoreadas incluyeron:

- pH y temperatura del sustrato
- Determinación de biomasa seca
- Cambios en la humedad y apariencia del sustrato

Análisis de resultados

Los datos obtenidos permitirán:

- Comparar la eficiencia de los sustratos **CUS y SUS**
- Determinar la combinación óptima de **pH y temperatura** para cada bloque

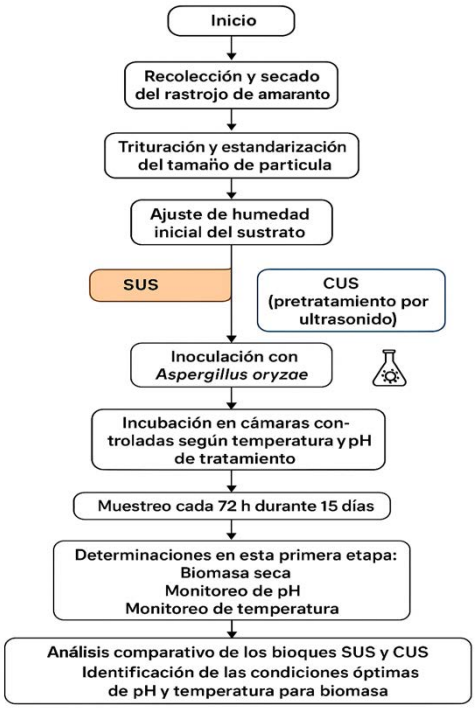
- Establecer las condiciones iniciales de cultivo que maximicen la producción de XOS en la fermentación sólida de rastrojo de amaranto.

En la **Figura 1** se presenta el diagrama de flujo que describe la metodología planteada en esta primera parte de la investigación, cuyo propósito es evaluar el comportamiento del rastrojo de amaranto (*Amaranthus hypochondriacus*) como sustrato en procesos de fermentación sólida utilizando *Aspergillus oryzae*. La estrategia contempla dos bloques experimentales: uno sin pretratamiento por ultrasonido (SUS) y otro con aplicación de ultrasonido (CUS), lo que permite analizar el efecto de este pretratamiento sobre la disponibilidad del sustrato y el crecimiento fúngico.

El procedimiento inicia con la recolección, secado y estandarización del tamaño de partícula del rastrojo, seguido del ajuste de humedad inicial. Posteriormente, los tratamientos SUS y CUS se someten a inoculación con *A. oryzae* y a incubación bajo condiciones controladas de pH y temperatura. El monitoreo se realiza cada 72 horas durante 15 días, registrando la biomasa seca obtenida y evaluando de manera paralela los cambios en pH y temperatura del sustrato.

El análisis comparativo entre ambos bloques (SUS y CUS) permitirá identificar las condiciones más favorables para la producción de biomasa fúngica. Una vez definidos los parámetros óptimos, se avanzará a etapas posteriores de la investigación orientadas a determinar azúcares reductores, actividad xilanolítica y, finalmente, establecer el momento ideal para la obtención de xilooligosacáridos (XOS).

Figura 1. Metodología experimental para la evaluación del rastrojo de amaranto en fermentación sólida con *Aspergillus oryzae*.



DISCUSIÓN

La revisión de la literatura evidencia que los xilooligosacáridos (XOS) constituyen un grupo de carbohidratos funcionales con alto potencial prebiótico, capaces de estimular el crecimiento de bacterias beneficiosas y contribuir a la salud intestinal (Samanta *et al*., 2015). Tradicionalmente, la producción de XOS se ha centrado en residuos agroindustriales como bagazo de caña, paja de trigo, cáscara de arroz y residuos de café (Zhou *et al*., 2019; Dong *et al*., 2023). Sin embargo, el rastrojo de amaranto emerge como una fuente prometedora debido a su composición lignocelulósica equilibrada, rica en hemicelulosa y xilanos, que son los precursores directos de XOS (Tapia-Blácido *et al*., 2010; Martínez-López *et al*., 2022).

El análisis de los métodos de producción de XOS indica que la fermentación en estado sólido (FS) representa una alternativa eficiente y sostenible frente a la hidrólisis química, pues permite un mejor aprovechamiento del sustrato, menor consumo de agua y una mayor productividad de enzimas como xilanasas (Pandey *et al*., 2000; Singhania *et al*., 2009). La revisión de microorganismos utilizados en la FS demuestra que hongos filamentosos como *Aspergillus niger*, *Trichoderma reesei* y *Aspergillus oryzae* son particularmente adecuados para degradar la hemicelulosa del rastrojo de amaranto, generando XOS con un grado de polimerización controlable (Holker *et al*., 2004; Machida *et al*., 2008).

Por otra parte, la consideración del cultivo de amaranto en México refuerza el valor estratégico del rastrojo, dado que es un recurso abundante en estados productores como Puebla, Tlaxcala, Estado de México y Ciudad de México (Ramírez-Meza *et al*., 2017; México Tierra de Amaranto A.C., s.f.). Además, el amaranto es un cultivo ancestral que ha sido rescatado por instituciones académicas y gubernamentales, lo que refuerza la relevancia de su aprovechamiento integral y la posibilidad de generar bioproductos innovadores que contribuyan a la bioeconomía circular (Curiel, 2018).

En conjunto, la evidencia revisada sugiere que el rastrojo de amaranto puede convertirse en una materia prima estratégica para la producción de XOS mediante la FS, contribuyendo a la valorización de residuos agrícolas, al desarrollo de productos funcionales y a la sostenibilidad de los sistemas agroalimentarios. Sin embargo, se identifican vacíos en la literatura, particularmente en estudios experimentales que optimicen parámetros de FS específicos para rastrojo de amaranto, así como evaluaciones económicas y de escalamiento industrial.

CONCLUSIONES

1. El rastrojo de amaranto (*Amaranthus hypochondriacus*) posee una composición lignocelulósica favorable, con altos contenidos de hemicelulosa y xilanos, que lo convierten en un sustrato ideal para la obtención de xilooligosacáridos (XOS).

2. La fermentación en estado sólido (FS) se presenta como la estrategia más eficiente y sostenible para producir XOS a partir de residuos lignocelulósicos, debido a su bajo consumo de agua, compatibilidad con microorganismos filamentosos y capacidad de generar XOS con grado de polimerización controlable.
3. La producción de XOS a partir de rastrojo de amaranto integra aspectos de bioeconomía circular, aprovechando un residuo agrícola abundante y fomentando un uso integral del cultivo ancestral, lo que contribuye a la sostenibilidad y a la valorización de recursos locales en México.
4. Aunque la literatura existente respalda el potencial del rastrojo de amaranto para la producción de XOS, se requiere investigación experimental enfocada en optimización de parámetros de FS, caracterización de XOS obtenidos y estudios de viabilidad industrial para consolidar esta alternativa biotecnológica.
5. La revisión destaca la importancia de políticas y programas que promuevan el rescate y la utilización integral de cultivos ancestrales como el amaranto, incentivando su aporte tanto a la seguridad alimentaria como a la innovación en bioproductos funcionales.

REFERENCIAS

Abdella, A., Ramadan, S., Hamouda, R. A., Saddiq, A. A., Alhazmi, N. M., y Al-Saman, M. A. (2021). *Paecilomyces variotii xylanase production, purification and characterization with antioxidant xylo-oligosaccharides production*. Scientific Reports, 11, Article 16468.

Ali, K., et al. (2025). Xylooligosaccharides: A comprehensive review of production, purification, characterization, and applications. *Journal of Food Science and Technology*, 62(1), 1–15.

Amador, R. (2012). *Producción de xilooligosacáridos a partir de cáscara de piña mediante hidrólisis ácida*. Revista de Biotecnología, 15(2), 45-53.

Bandikari, R., Poondla, V., y Obulam, V. S. R. (2014). *Enhanced production of xylanase by solid state fermentation using Trichoderma koeningi isolate: effect of pretreated agro-residues*. 3 Biotech, 4(6), 655–664.

Chávez, M., López, A., y Ramírez, P. (2020). *Obtención de xilooligosacáridos a partir de residuos de palma mediante hidrólisis enzimática de hemicelulosa*. Revista Mexicana de Ingeniería Química, 19(1), 123–130.

Chávez, M., Torres, F., & Sánchez, L. (2022). *Xilooligosacáridos a partir de residuos de café: evaluación de hidrólisis enzimática*. Journal of Agricultural Science, 14(3), 210–218.

Curiel, J. (2018). El amaranto como alimento indígena, patrimonio y activismo. *Encartes*, 1(1), 165–197.

Dong, X., Li, Y., y Zhang, W. (2023). *Enzymatic production of xylooligosaccharides from cereal crop residues*. Carbohydrate Polymers, 300, 120133.

Espitia-Rangel, E., Mapes, C., Escobedo-López, D., Martínez-Cruz, E., y Vázquez-Carrillo, M. G. (2010). El amaranto en México: estado actual y perspectivas. *Revista Fitotecnia Mexicana, 33*(4), 313–320.

Fan, J., Chen, H., y Wang, Q. (2024). *Enzymatic hydrolysis of wheat straw for xylooligosaccharides production using endoxylanases*. Bioresource Technology, 382, 128735.

González, R., Moure, A., y Domínguez, H. (2019). Hydrothermal and enzymatic production of xylooligosaccharides from agricultural by-products: A review. *Food Bioprocess Technology, 12*(9), 1435–1456.

Holker, U., Lenz, J., y Hofer, M. (2004). Biotechnological advantages of laboratory-scale solid-state fermentation with fungi. *Applied Microbiology and Biotechnology, 64*(2), 175–186.

Iturbide, G. y Gispert, M. (1994). *Amaranto: alimento del futuro*. Editorial Diana.

Kim, Y., y Lee, H. (2021). Advances in pretreatment technologies for efficient production of xylooligosaccharides from lignocellulosic biomass. *Bioresource Technology, 340*, 125679.

León, J. (1994). *Botánica de los cultivos tropicales*. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA).

Machida, M., Yamada, O., y Gomi, K. (2008). Genomics of *Aspergillus oryzae*: Learning from the history of koji mold and exploration of its future. *DNA Research, 15*(4), 173–183.

Martínez-López, A., Morales-Sillero, A., y Sánchez-Medina, M. (2022). Caracterización lignocelulósica de residuos agrícolas para la producción de bioproductos. *Journal of Cleaner Production, 356*, 131895.

México Tierra de Amaranto A.C. (s.f.). *About us*. Recuperado de https://mexicotierradeamaranto.org/english/english.html

Mitchell, D. A., Berovic, M., y Krieger, N. (2006). *Solid-state fermentation bioreactors: Fundamentals of design and operation*. Springer.

Pandey, A. (2003). Solid-state fermentation. *Biochemical Engineering Journal, 13*(2–3), 81–84.

Pandey, A., Soccol, C. R., y Mitchell, D. (2000). New developments in solid state fermentation: I-bioprocesses and products. *Process Biochemistry, 35*(10), 1153–1169.

Perwez, M. (2024). Valorization of agro-industrial waste through solid-state fermentation. *Journal of Industrial Microbiology & Biotechnology*, 51(3), 123–135. https://doi.org/10.1007/s10295-024-02456-7

Ramírez-Meza, S., De la O-Olán, M., Sánchez-Hernández, A., y Martínez-Gutiérrez, G. (2017). El amaranto en México: producción, consumo y perspectivas. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas, 8*(4), 855–868.

Saha, B. C. (2003). Hemicellulose bioconversion. *Journal of Industrial Microbiology and Biotechnology, 30*(5), 279–291.

Samanta, A. K., Jayapal, N., Jayaram, C., Roy, S., Kolte, A. P., Senani, S., y Sridhar, M. (2015). Xylooligosaccharides as prebiotics from agricultural by-products: Production and applications. *Bioactive Carbohydrates and Dietary Fibre, 5*(1), 62–71.

Sauer, J. D. (1950). The grain amaranths: A survey of their history and classification. *Annals of the Missouri Botanical Garden, 37*(4), 561–632.

Singhania, R. R., Patel, A. K., Soccol, C. R., y Pandey, A. (2009). Recent advances in solid-state fermentation. *Biochemical Engineering Journal, 44*(1), 13–18.

Singhania, R. R., Patel, A. K., Soccol, C. R., y Pandey, A. (2009). Recent advances in solid-state fermentation. *Biochemical Engineering Journal, 44*(1), 13–18.

Soccol, C. R., da Costa, E. S. F., Letti, L. A. J., Karp, S. G., Woiciechowski, A. L., y de Souza Vandenberghe, L. P. (2017). Recent developments and innovations in solid-state fermentation. *Biotechnology Research and Innovation, 1*(1), 52–71.

Sun, R., Lawther, J. M., y Banks, W. B. (2015). Acid hydrolysis of hemicelluloses isolated from wheat straw. *Carbohydrate Polymers, 17*(1), 1–12.

Tapia-Blácido, D. R., del Río, P. G., y Sobral, P. J. (2010). Chemical characterization of amaranth (Amaranthus cruentus) stalk for bio-based applications. *Industrial Crops and Products, 31*(1), 152–157.

The Free Library. (2021). *Amaranth production in Tulyehualco Xochimilco, México City*.

Thomas, L., Larroche, C., y Pandey, A. (2013). Current developments in solid-state fermentation. *Biochemical Engineering Journal, 81*, 146–161.

Zhang, W., Liu, P., y Yang, J. (2020). Integrated production of xylooligosaccharides and fermentable sugars from agricultural residues: Recent advances and perspectives. *Renewable and Sustainable Energy Reviews, 119*, 109616.

Zhou, L., Li, J., & Huang, X. (2019). *Production of xylooligosaccharides from sugarcane bagasse via acid and enzymatic hydrolysis*. Food Chemistry, 288, 139–147.

COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL RASTROJO DE AMARANTO (Amaranthus hypochondriacus) COMO FUENTE DE BIOMÓLECULAS

Hazaribagh García Candelaria[1]
José Alfredo Garcidueñas Paz[2]
María de Jesús García Gómez[3]

RESUMEN

El amaranto fue un alimento esencial en las culturas mesoamericanas, aunque su cultivo sufrió una drástica disminución tras la llegada de los españoles debido a la prohibición impuesta y a la introducción de nuevos cultivos, lo que casi llevó a su desaparición, sobreviviendo únicamente en comunidades aisladas. Actualmente, se ha determinado la importancia del rastrojo de amaranto (RA), como material lignocelulósico por su composición en celulosa, hemicelulosa y lignina, reconociéndolo como una biomasa con gran potencial. Su revalorización no solo podría fortalecer la agricultura local, sino también fomentar prácticas sostenibles y promover la economía circular. La caracterización del RA es fundamental para evaluar su capacidad como ingrediente funcional que pueda incorporarse en diversos productos alimenticios, incrementando su valor nutricional y proporcionando beneficios para la salud. Para este propósito, se realizaron análisis químicos, siguiendo las Normas Oficiales Mexicanas, determinando en el RA un contenido en proteína bruta (8.2%), humedad (6.6%), cenizas totales (8.1%), extracto etéreo (2.2%), fibra cruda (16.4%), azúcares totales (53.9%) y lignina (40.0%). En conclusión, la composición del RA refleja su viabilidad como fuente de compuestos funcionales, lo que le da una importancia dentro de la biotecnología y la bioeconomía circular.

Palabras clave: material lignocelulósico, compuestos funcionales, bioeconomía circular.

ABSTRACT

Amaranth was a staple food in Mesoamerican cultures, although its cultivation suffered a drastic decline after the arrival of the Spanish due to the imposed prohibition and the introduction of new crops, which nearly led to its disappearance, surviving only in isolated communities. Currently, the importance of amaranth residue (AR) has been established as a lignocellulosic material due to its composition of cellulose, hemicellulose, and lignin, recognizing it as a biomass with great potential. Its revaluation

[1] Universidad del Papaloapan. hazaribagh@hotmail.com
[2] Universidad del Papaloapan. jagarciduenaspaz@gmail.com
[3] Universidad del Papaloapan. unpal7@gmail.com

could not only strengthen local agriculture but also foster sustainable practices and promote the circular economy. Characterizing AR is fundamental to evaluating its capacity as a functional ingredient that can be incorporated into various food products, increasing their nutritional value and providing health benefits. For this purpose, chemical analyses were performed, following Mexican Official Standards, determining the following composition in the RA: crude protein (8.2%), moisture (6.6%), total ash (8.1%), ether extract (2.2%), crude fiber (16.4%), total sugars (53.9%), and lignin (40.0%). In conclusion, the composition of the RA reflects its viability as a source of functional compounds, which gives it importance within biotechnology and the circular bioeconomy.

Keywords: lignocellulosic material, functional compounds, circular bioeconomy.

INTRODUCCIÓN

El amaranto (Amaranthus spp.) es un pseudocereal ancestral originario de América, conocido desde épocas prehispánicas como un cultivo fundamental en la dieta de civilizaciones como la azteca. Considerado un "superalimento", el amaranto destaca por su elevado contenido proteico y un perfil de aminoácidos equilibrado que supera ampliamente a cultivos básicos como el arroz, el maíz y el trigo. En particular, su contenido de lisina, un aminoácido esencial poco común en cereales convencionales, es aproximadamente el doble que el del arroz y el triple que el del maíz, lo que lo posiciona como una fuente importante de proteínas de alta calidad (Adhikary et al., 2020).

Durante la época prehispánica, extensas áreas agrícolas pertenecientes a civilizaciones como la azteca, la inca y otras culturas mesoamericanas eran utilizadas para el cultivo del amaranto, una planta caracterizada por su altura, follaje abundante y tonalidades rojizas (NRC,1984). En la época de floración, las plantas pueden alcanzar una altura de 43 a 80 cm, pero en la época de la cosecha pueden alcanzar los 180 cm, con un rendimiento de semillas de hasta 4.1 t/ha, comparable al de la mayoría de los cereales. Las semillas, aunque apenas más grandes que una semilla de mostaza (1-1,7 mm de diámetro), se producen en cantidades enormes, a veces más de 50 000 por planta, y son de diversos colores (negro, crema, blanco) (Paredes-López y Hernández-López, 1992).

Este cultivo no solo tenía valor alimenticio y ceremonial, sino también económico, ya que se estima que anualmente se recolectaban alrededor de 20,000 toneladas de amaranto, las cuales eran enviadas como tributo al emperador Moctezuma desde al menos 17 provincias del imperio, con destino a la gran ciudad de Tenochtitlán, hoy Ciudad de México (NRC,1984).

Además de sus reconocidas propiedades nutricionales, el amaranto destaca por sus valiosas características agronómicas, que lo convierten en un cultivo altamente eficiente y sostenible. Esta planta presenta una notable resistencia a diversas condiciones ambientales, lo que le permite

adaptarse a múltiples zonas ecológicas. Su tolerancia a factores adversos como la sequía y la salinidad lo hace especialmente adecuado para regiones con suelos marginales o climas extremos. Una ventaja adicional de gran relevancia es su naturaleza libre de gluten, lo que lo posiciona como una alternativa segura para personas con enfermedad celíaca, sensibilidad al gluten o alergias alimentarias, así como para quienes siguen dietas veganas o vegetarianas.

Por otro lado, investigaciones recientes han demostrado que el amaranto posee propiedades antimicrobianas, lo que le confiere la capacidad de mejorar la conservación de alimentos envasados. Esta cualidad no solo contribuye a prolongar la vida útil de los productos, sino que también representa un beneficio significativo en términos de seguridad alimentaria, al reducir el riesgo de contaminación y deterioro microbiano (Adhikary *et al*., 2020).

Ante las crecientes demandas nutricionales de la población del siglo XXI, se ha comenzado a cuestionar la eficiencia y sostenibilidad de cultivos tradicionales como el maíz y el arroz, que han sido la base alimentaria durante décadas. En respuesta a esta preocupación, la comunidad científica internacional ha centrado su atención en el estudio de granos alternativos con alto potencial nutricional y adaptabilidad a diversas condiciones agroecológicas. Entre estos, destacan pseudocereales como la quinua, el trigo sarraceno y, de manera especial, el amaranto, el cual ha resurgido como una opción estratégica para enfrentar los desafíos alimentarios globales. Esta importancia fue reconocida en la Primera Conferencia Mundial sobre el Amaranto, celebrada en 2018, donde participaron 135 representantes de países de África Oriental y Meridional, regiones en las que este grano es especialmente necesario. Durante el evento, se discutieron temas clave como la mejora nutricional, la producción sostenible de alimentos, el procesamiento del grano y, especialmente, la necesidad de transformar la percepción social del amaranto, comúnmente asociado como un “cultivo de pobres” (Weerasekara y Waisundara, 2020).

En este trabajo se presenta la caracterización de la harina elaborada a partir del rastrojo de amaranto (HRA). Se desarrolla un marco teórico que aborda los principales aspectos relacionados con el cultivo del amaranto, su valor nutrimental, y los fundamentos de su caracterización química.

El objetivo principal de esta investigación es determinar la composición química proximal del rastrojo de amaranto, con el fin de evaluar su potencial como ingrediente alternativo en aplicaciones alimentarias o agroindustriales.

La metodología empleada consistió en la aplicación de las técnicas analíticas establecidas en las Normas Oficiales Mexicanas (NOM) para la realización de análisis químicos proximales, los cuales incluyeron la determinación de humedad, proteína, grasa, fibra cruda, cenizas y carbohidratos, además de azucares totales y lignina.

Los resultados obtenidos contribuirán al conocimiento del valor nutrimental del rastrojo de amaranto y permitirán valorar su aprovechamiento en distintos sectores. Asimismo, se espera que este estudio siente las bases para futuras investigaciones orientadas al uso integral del amaranto como cultivo de alto valor agroalimentario.

MARCO TEÓRICO

Especies del amaranto

Existen tres especies del género *Amaranthus: A. hypochondriacus*, *A. cruentus* y *A. caudatus* destacan por producir inflorescencias densas y vistosas, repletas de semillas comestibles. *A. hypochondriacus* y *A. cruentus* son originarias de México y Guatemala, mientras que *A. caudatus* proviene de Perú y de otras regiones andinas. A pesar del paso del tiempo, estas especies continúan cultivándose en pequeña escala en zonas montañosas aisladas de México, Centroamérica y Sudamérica, donde comunidades rurales han preservado las prácticas agrícolas heredadas de sus antepasados. Actualmente, se estima que alrededor de 60 especies del género *Amaranthus* se encuentran distribuidas en todo el mundo, desde regiones tropicales hasta zonas templadas, lo que refleja su notable plasticidad ecológica. Estas especies presentan una amplia diversidad morfológica: sus hábitos de crecimiento pueden ir desde formas rastreras hasta estructuras erectas, con tallos ramificados o simples. Asimismo, exhiben una variada paleta de colores en hojas y tallos, con semillas que pueden ser blancas, amarillas o negras, dependiendo de la variedad. Esta diversidad fenotípica, junto con su alto valor nutricional y resistencia a condiciones adversas, posiciona al amaranto como un cultivo con gran potencial para contribuir a la seguridad alimentaria global (Paredes- López y Hernández-López, 1992).

Importancia del amaranto en México

A pesar de su profundo arraigo cultural y su valor como alimento nutritivo, el amaranto no ha sido reconocido en México como un producto básico ni estratégico dentro de las políticas agroalimentarias nacionales. Esta situación contrasta con su papel histórico como cultivo emblemático de las culturas prehispánicas, así como con su potencial actual como alternativa económica para la agricultura campesina. Desde una perspectiva de competitividad, la cadena de valor del amaranto enfrenta importantes desafíos estructurales. El cultivo se realiza, en su mayoría, en pequeñas comunidades rurales caracterizadas por condiciones de escasez, no sólo de recursos naturales como el agua, sino también de infraestructura tecnológica para la producción, transformación y comercialización del grano (De la O Olán *et al*., 2012). A ello se suma la limitada disponibilidad de financiamiento, lo que impide a los productores acceder a tecnologías modernas que podrían mejorar el rendimiento y la calidad del

producto final (Ayala *et al*., 2012). Esta combinación de factores ha restringido el desarrollo del sector, limitando su integración en los mercados nacionales e internacionales, y dificultando el aprovechamiento pleno de sus beneficios nutricionales, económicos y sociales.

Composición nutricional del amaranto

El amaranto (*Amaranthus spp.*) es una planta pseudocereal altamente valorada por su perfil nutrimental, el cual lo posiciona como una alternativa prometedora en la alimentación humana y animal. Diversos estudios han destacado su elevado contenido de proteínas (14–18 %), superior al de otros cereales como el maíz, el arroz o el trigo (Escudero *et al*., 2004). Estas proteínas poseen un balance favorable de aminoácidos esenciales, especialmente lisina, la cual suele ser limitada en cereales convencionales (Bressani, 1994).

Además del contenido proteico, el amaranto contiene cantidades significativas de lípidos (5–9 %), de los cuales una proporción considerable corresponde a ácidos grasos insaturados, como el ácido linoleico y oleico, que son benéficos para la salud cardiovascular (Silva-Sánchez *et al*., 2008). Asimismo, es una fuente importante de fibra dietética (6–8 %) y minerales como calcio, hierro, magnesio y zinc (Rastogi y Shukla, 2013).

En cuanto a su fracción de carbohidratos, el amaranto proporciona almidón fácilmente digerible, pero también compuestos con potencial prebiótico como los oligosacáridos, lo que lo hace atractivo para formulaciones funcionales (Martirosyan y Singh, 2015). Este perfil nutrimental ha impulsado su inclusión en productos destinados a dietas especiales, como las libres de gluten o para personas con intolerancias alimentarias.

En el cuadro 1 se resume los principales componentes nutrimentales del grano de amaranto, incluyendo proteínas, lípidos, carbohidratos, fibra, minerales y compuestos bioactivos. Se detalla su concentración aproximada, función biológica y relevancia en la nutrición humana, con base en diversas fuentes científicas.

Componente	Descripción	Referencia
Proteína	El amaranto contiene entre 14–18% de proteína de alta calidad, rica en lisina, un aminoácido esencial escaso en otros cereales.	Bressani (1994); Escudero *et al*. (2004)
Lípidos	Su contenido de lípidos oscila entre 5–9%, con predominancia de ácidos grasos insaturados como linoleico y oleico, beneficiosos para la salud.	Silva-Sánchez *et al*. (2008)
Carbohidratos	Contiene carbohidratos complejos como almidón y también oligosacáridos con potencial prebiótico.	Martirosyan y Singh (2015)
Fibra dietética	Aporta entre 6–8% de fibra, lo que favorece la digestión y el tránsito intestinal.	Rastogi y Shukla (2013)
Minerales	Es fuente de calcio, hierro, magnesio y zinc, en concentraciones superiores a otros cereales comunes.	Rastogi y Shukla (2013)

Compuestos bioactivos	Contiene péptidos bioactivos con propiedades antioxidantes, antihipertensivas e inmunomoduladoras.	Silva-Sánchez *et al*. (2008)
Ausencia de gluten	Al no contener gluten, es adecuado para personas con enfermedad celíaca o sensibilidad al gluten.	Martirosyan y Singh (2015)

Cuadro 1. Composición nutrimental del amaranto y descripción de sus principales componentes.

Cultivo de amaranto en Oaxaca

El amaranto (*Amaranthus spp.*) es una planta de origen mesoamericano ampliamente cultivada en México desde épocas prehispánicas. En el estado de Oaxaca, el cultivo de amaranto tiene una larga tradición agrícola y cultural, heredada de los pueblos indígenas que desde la época prehispánica han valorado esta planta por su valor alimenticio y simbólico, se destaca como una de las regiones más importantes para su producción, tanto por su diversidad de especies como por su relevancia cultural, alimentaria y socioeconómica (Espitia-Rangel, 2011). Las condiciones agroecológicas del estado, caracterizadas por suelos volcánicos, climas templados y altitudes variables, favorecen el desarrollo del cultivo, especialmente en regiones como los Valles Centrales y la Mixteca (Sánchez-González *et al*., 2016). A pesar de las dificultades estructurales, la producción oaxaqueña de amaranto representa una alternativa viable y sostenible para la agricultura campesina, debido a su adaptabilidad a suelos pobres, resistencia a la sequía y bajos requerimientos de insumos externos (Ayala *et al*., 2012).

En comunidades indígenas, el amaranto no solo representa una fuente alimenticia rica en proteínas y micronutrientes, sino también un componente importante de prácticas agrícolas tradicionales como el sistema milpa (Morales-Payán *et al*., 2002). Además, su cultivo requiere bajos insumos, presenta buena tolerancia a sequía y puede desarrollarse en suelos pobres, lo cual lo convierte en una alternativa viable para sistemas de agricultura sostenible (Espitia-Rangel, 2011).

Durante los últimos años, se han impulsado programas de rescate y valorización del amaranto en Oaxaca, promoviendo su siembra como cultivo de traspatio, así como su transformación en productos derivados con valor agregado, con el objetivo de fortalecer la seguridad alimentaria y la economía local (Vega-Gálvez *et al*., 2010; SAGARPA, 2017).

Como se muestra en el Cuadro 2, el cultivo de amaranto en Oaxaca se distribuye principalmente en regiones como los Valles Centrales, la Mixteca, la Sierra Norte y la Sierra Sur, entre otras. Cada zona presenta características agroecológicas particulares que influyen en la forma de cultivo, manejo y aprovechamiento del amaranto. En algunas regiones como los Valles Centrales, su siembra se realiza en huertos familiares, mientras que en otras como la Mixteca, se promueve como alternativa sustentable ante la degradación del suelo y condiciones de sequía. Este cultivo representa no solo una fuente de alimento, sino también un elemento importante para la seguridad alimentaria y el desarrollo

económico de comunidades rurales e indígenas (Sánchez-González et al., 2016; Espitia-Rangel, 2011).

Región	Municipios representativos	Características del cultivo
Valles Centrales	Oaxaca de Juárez, Etla, Tlacolula, Zimatlán	Zona tradicional de siembra; el amaranto se cultiva en huertos familiares y parcelas pequeñas; uso ancestral.
Mixteca	Nochixtlán, Huajuapan, Teposcolula	Cultivo de temporal; se promueve como alternativa ante la degradación del suelo y sequía estacional.
Sierra Norte	Ixtlán, Capulálpam, Guelatao	Enclaves de producción familiar y de conservación de variedades nativas; suelos ricos en materia orgánica.
Sierra Sur	Miahuatlán, San Agustín Loxicha	Uso en sistemas agroforestales y como cultivo de traspatio en comunidades zapotecas.
Costa	Pinotepa Nacional, Jamiltepec	Cultivo emergente con potencial por su resistencia a altas temperaturas y suelos marginales.
Cañada	Cuicatlán, Teotitlán del Camino	Agricultura campesina diversificada; amaranto como complemento alimenticio y fuente de ingreso local.

Cuadro 2. Principales regiones de Oaxaca con cultivo de amaranto

El cultivo ha sido impulsado por diversas organizaciones sociales, cooperativas y centros de investigación, como parte de estrategias de desarrollo rural integral. Estas iniciativas no solo buscan recuperar el uso alimenticio del grano, sino también reactivar su valor como elemento identitario y herramienta de autosuficiencia alimentaria. Un ejemplo destacado es el trabajo comunitario que promueve el consumo local del amaranto mediante talleres, ferias y transformación artesanal en productos como barras, harinas, panes y bebidas tradicionales. Este enfoque ha permitido diversificar los ingresos de familias rurales y mejorar su seguridad alimentaria (De la O Olán *et al*., 2012).

No obstante, el cultivo enfrenta desafíos importantes, como la falta de apoyo técnico, el acceso limitado a canales de comercialización y el escaso reconocimiento institucional como producto estratégico. A pesar de su alto valor nutricional y su importancia cultural, el amaranto aún no forma parte de los cultivos prioritarios en las políticas públicas del sector agrícola nacional. Esto limita el acceso de los productores a tecnologías adecuadas y a esquemas de financiamiento (Ayala *et al*., 2012).

En este contexto, Oaxaca se posiciona como una región clave para la conservación y el rescate del amaranto, tanto por su diversidad genética como por el conocimiento ancestral que aún persiste en las comunidades campesinas. Fortalecer estas prácticas productivas y promover su integración en cadenas de valor más robustas no solo permitiría mejorar los ingresos rurales, sino también contribuir al desarrollo de una agricultura más resiliente, justa y con identidad.

Por eso, es importante el uso integral del cultivo de amaranto, incluyendo no solo el grano como alimento principal, sino también los residuos agrícolas que quedan después de su cosecha, como el rastrojo. Esta visión holística es especialmente relevante en regiones como Oaxaca, donde los sistemas

productivos son mayoritariamente de pequeña escala y dependen en gran medida de los recursos locales. El aprovechamiento del rastrojo de amaranto que incluye tallos, hojas secas y partes no recolectadas de la planta puede contribuir a fortalecer la autosuficiencia agroalimentaria, además de ofrecer alternativas económicas y ambientales viables. Desde el punto de vista agroecológico, estos residuos pueden reincorporarse a los suelos como materia orgánica, ayudando a mantener su fertilidad, estructura y contenido de humedad. Este tipo de manejo de residuos no solo reduce la necesidad de insumos externos, sino que también mejora la resiliencia de los sistemas agrícolas ante fenómenos climáticos extremos (CIMMYT, 2023). Además, en comunidades donde la ganadería familiar aún representa un componente esencial de la economía rural, el rastrojo de amaranto puede emplearse como forraje complementario para el ganado, con resultados positivos en digestibilidad y nutrición animal (Pulgarín- Ortega et al., 2024).

La transformación de residuos agrícolas en productos útiles como composta, cobertura vegetal o incluso biomasa energética puede convertirse en un eje estratégico para dinamizar economías locales con base en principios de sostenibilidad y justicia social (Thorup-Kristensen et al., 2021).

Por todo ello, el amaranto debe dejar de verse únicamente como un grano nutritivo, y comenzar a entenderse como un cultivo integral con múltiples funciones: alimentaria, ambiental, cultural y económica. Reconocer y fomentar su aprovechamiento completo incluyendo sus residuos resulta clave para el desarrollo de modelos agrícolas más sostenibles e inclusivos, especialmente en regiones como Oaxaca, donde convergen riqueza biocultural y desafíos estructurales.

Rastrojo de amaranto

El rastrojo de amaranto hace referencia al conjunto de residuos vegetales que permanecen en el campo tras la cosecha de sus semillas. Este material incluye principalmente los tallos, hojas secas, algunas raíces, y partes de las inflorescencias que no fueron recolectadas durante la trilla. Aunque históricamente se ha considerado un subproducto agrícola, en la actualidad ha cobrado interés por sus múltiples aplicaciones agroecológicas y pecuarias. Su composición fibrosa y su disponibilidad en zonas rurales lo convierten en un recurso valioso para la alimentación animal, el mejoramiento del suelo y como posible biomasa energética. Además, su uso como forraje alternativo ha sido evaluado en sistemas de producción ovina, mostrando buenos niveles de digestibilidad y aporte nutricional (Pulgarín-Ortega *et al*., 2024).

JUSTIFICACIÓN

En este trabajo se pretende caracterizar el rastrojo de amaranto como un recurso agrícola con potencial agroecológico, zootécnico y económico. A pesar de que la atención científica y productiva ha estado

tradicionalmente enfocada en el grano, el aprovechamiento de los residuos poscosecha representa una oportunidad poco explorada, pero de gran relevancia para la agricultura sustentable, en particular en zonas como Oaxaca donde se practica una agricultura de subsistencia con limitaciones en recursos y acceso tecnológico (Ayala *et al*., 2012). La caracterización incluye aspectos morfológicos, nutricionales y funcionales del rastrojo, con el fin de evaluar su viabilidad para diferentes usos: como forraje para pequeños rumiantes, como cobertura vegetal para conservación de suelos y como insumo para composta o generación de biomasa.

Este enfoque busca establecer una base técnica para revalorizar los residuos del cultivo, integrándolos al manejo productivo de manera circular. Para ello, se recopilaron antecedentes bibliográficos sobre el valor forrajero del rastrojo (Pulgarín-Ortega *et al*., 2024), su composición estructural y su aporte a la materia orgánica del suelo (CIMMYT, 2023), así como estudios recientes sobre su uso experimental en sistemas de bioenergía (Thorup-Kristensen *et al*., 2021). Asimismo, se considera la percepción que tienen los productores oaxaqueños sobre este residuo, ya que su aceptación social y cultural es clave para una adopción efectiva en las prácticas campesinas.

A través de esta caracterización, se pretende contribuir a la construcción de un modelo de manejo integral del cultivo de amaranto, que contemple tanto su valor alimenticio como su potencial ecológico y económico en todas sus fases. Esta visión puede servir de base para futuras estrategias de fortalecimiento de sistemas agroecológicos, inclusión social y desarrollo territorial sostenible en comunidades rurales de Oaxaca y otras regiones del país.

De este modo, el rastrojo de amaranto, anteriormente considerado un residuo sin valor, se perfila como un recurso estratégico para la sostenibilidad agrícola, con impactos positivos en la economía campesina, la fertilidad de los suelos y la mitigación del cambio climático.

OBJETIVO

El objetivo general del proyecto es la determinación de la composición químico proximal (QPC) de rastrojo de amaranto, a partir de la obtención de harina del rastrojo de amaranto (HRA), esta caracterización está integrada por los siguientes análisis:

- Determinación de nitrógeno total a partir de la NOM-155-SCFI-2012
- Determinación de humedad a partir de la NMX-116-SSA1-1994
- Determinación de cenizas a partir de la NMX-F-607-NORMEX-2013
- Determinación de extracto etéreo a partir de la NOM-086-SSAI-1994
- Determinación de fibra cruda a partir de la NOM-F-90-S-1978

- Cuantificación de azúcares totales a partir del método de DuBois *et al*. (1956), descrito por López-Legarda *et al*. (2017)
- Determinación de lignina insoluble a partir del método descrito por Sluiter et al. (2008)

METODOLOGÍA

Recolección de materia prima

Se recolecto el rastrojo de amaranto (hojas y tallos de la planta) obtenidas a partir de un proceso de trillado y posteriormente secado al sol. En el laboratorio se procedió a un secado, molienda y tamizado para obtener la harina del rastrojo de amaranto (HRA), la cual se depositó en bolsas de plástico con sellado hermético (Shmalko y Nikitin, 2021).

Análisis químico proximal del sustrato

Determinación de nitrógeno total

El método de Kjeldalh se basa en la eliminación de material orgánico con ácido sulfúrico para formar excesos de sulfato de amonio que pueden ser cuantificados mediante una valoración. Para el análisis de sustrato sólido y conocer la relación Carbono/Nitrógeno (C: N), se determinó el porcentaje de nitrógeno total de acuerdo a la NORMA OFICIAL MEXICANA (NOM-155-SCFI-2012) de la siguiente manera:

En un tubo de digestión se agregaron 12 g de sulfato de potasio, 1 g de sulfato de cobre, 1 g de muestra y 20 mL de ácido sulfúrico. Se incubó el tubo aproximadamente 2 h a 250 ºC (hasta obtener un color claro). Posteriormente se dejó enfriar a temperatura ambiente y se adicionaron 85 mL de agua. En el depósito de álcali de la unidad de destilación se colocaron 55 mL de hidróxido de sodio al 50 % y el tubo de digestión se colocó en la unidad de destilación. En la plataforma de recepción se colocó un matraz Erlenmeyer de 500 mL con 50 mL de ácido bórico al 4 % más 8 gotas de indicador, se destiló hasta obtener un volumen de 150 mL y se retiró el matraz de recepción. Se tituló el destilado con ácido clorhídrico 0.1 N utilizando el indicador wesslow.

El porcentaje de nitrógeno total se calculó mediante la siguiente ecuación:

$$\% N = \frac{(V)*(N)*(0.014)(100)}{M}$$

Donde:

% N: Porcentaje de nitrógeno total

V: Volumen de ácido clorhídrico gastado al titular la muestra (mL) N: Normalidad del ácido clorhídrico utilizado en la titulación

M: Peso de la muestra (g)

0.014: Miliequivalente del nitrógeno

El porcentaje de proteína se calculó mediante la siguiente fórmula:

$$\%P = \%N\ (F)$$

Donde:

% P: Porcentaje de proteína presente

% N: porcentaje de nitrógeno total

F: Factor para transformar el nitrógeno a proteína

Determinación de humedad

El método se basa en que al añadir arena o gasa se incrementa la superficie de contacto y la circulación del aíre en la muestra, favoreciendo la evaporación durante el tratamiento térmico. Se realizó siguiendo la metodología de la NORMA OFICIAL MEXICANA (NMX- 116-SSA1-1994) de la siguiente manera:

Se colocó la cápsula con gasa en la estufa durante 2 h a 100 ºC ± 2 ºC, se trasladó la capsula con pinzas al desecador y se dejó enfriar a temperatura ambiente. Posteriormente se pesó (M_1), se homogenizó la muestra y se colocaron 3 g de muestra en la cápsula, después se tapó y se pesó (M_2). Se introdujo en la estufa y se dejó secar

durante 4 h a 100 ºC ± 2 ºC, posteriormente se colocó en un desecador y se dejó enfriar a temperatura ambiente. Finalmente se pesó (M_3).

La humedad del producto expresada en porcentaje se calculó utilizando la siguiente ecuación:

$$\%Humedad = \frac{M_2 - M_3}{M_2 - M_1} x100$$

Donde:

M_1: Peso de la cápsula con arena o gasa (g)

M_2: Peso de la cápsula con arena o gasa más muestra húmeda (g)

M_3: Peso de la cápsula con arena o gasa más muestra seca (g)

Determinación de cenizas

Se basa en que la materia seca se carboniza o incinera y posteriormente se calcina de

500 ºC a 600 ºC para destruir la materia orgánica de la misma permitiendo así, la cuantificación de cenizas totales o minerales presentes. Esta determinación se realizó siguiendo la metodología de la NORMA MEXICANA (NMX-F-607-NORMEX-2013).

Se colocó el crisol en la estufa a 105 ºC durante 2 h, se dejó enfriar en el desecador y se determinó el peso del crisol (A). Se agregó 1 g de muestra (B) y se carbonizó lentamente en una parrilla hasta que

ya no hubo desprendimiento de humo. Se colocó el crisol dentro de la mufla a 550 ºC ± 25 ºC de 5-6 h, después se pasó el crisol a la estufa a 100 ºC durante 20 min y posteriormente se colocó el crisol en el desecador para finalmente determinar el peso del crisol con ceniza (C).

El porcentaje de cenizas se calculó mediante la siguiente ecuación:

$$\% \, cenizas = \frac{(C-A)}{B}(100)$$

Donde:

C: Peso del crisol con ceniza (g)

A: Peso del crisol vacío (g)

B: Peso de la muestra (g)

Determinación de extracto etéreo

El método para la extracción de los lípidos libres, utiliza un agente deshidratante que absorbe la humedad de la muestra y arena de mar que provoca un medio poroso que permite que el disolvente pase con mayor facilidad a través de ésta, extrayendo la grasa presente. En la extracción de lípidos combinados se utiliza el medio ácido para disolver las proteínas y así permitir la separación de la grasa.

Se realizó siguiendo la metodología de la NORMA OFICIAL MEXICANA (NOM-086-SSAI- 1994).5

Se pesó 1 g de la muestra y se agregó la misma cantidad de sulfato de sodio dentro del cartucho de extracción. Se colocó el cartucho en un vaso de precipitado de 50 mL, se dejó secar durante 6 h y se cubrió con una porción de algodón. Se colocó el cartucho en el extractor del Soxhlet y se ajustó al matraz previamente tratado el cual se dejó secar 30 min a 103 ºC ± 2 ºC (PB). Se adicionaron 40 mL de éter de petróleo al matraz de extracción, se conectó el refrigerante al extractor y se dejó calentar el matraz hasta tener de 3-6 gotas por segundo. Se efectuó la extracción 4 h, se suspendió el calentamiento, se quitó el extractor del matraz y se dejó evaporar a baja temperatura el disolvente del matraz. Se dejó secar en la estufa a 100 ºC hasta peso constante y se pesó (PG).

El porcentaje de extracto etéreo total se calculó mediante la siguiente ecuación:

$$\% \, extracto \, etéreo = \frac{(PG - PB)}{PM}(100)$$

Donde:

PG: Peso del matraz con grasa seca (g)

PB: Peso del matraz a peso constante (g)

PM: Peso de la muestra (g)

Determinación de fibra cruda

Se considera que la fibra cruda se pierde con la incineración del residuo seco obtenido tras la digestión de las muestras con H_2SO_4 y NaOH bajo condiciones específicas. Este método se basa en la digestión ácida y alcalina de la muestra obteniéndose un residuo de fibra cruda y sales que con calcinación posterior se determina la fibra cruda. Se determinó siguiendo la metodología de la NORMA OFICIAL MEXICANA (NOM-F-90-S- 1978).

Se pesó 1 g de muestra seca y desgrasada (si es menor al 1% de grasa esto puede ser omitido). Se adicionaron 100 mL de la solución de ácido sulfúrico al 1.25 % al matraz de bola, se calentó y agitó. Se adicionó la muestra y dejó en ebullición 30 min. Terminando la digestión ácida, se filtró la solución por medio de una bomba de vacío y se lavó con 100 mL de agua destilada caliente. En el matraz de bola se adicionaron 100 mL de hidróxido de sodio al 1.25 %, se agregó la muestra y se puso en ebullición por 30 min, se filtró la solución a través de un filtro de vidrio previamente pesado, se lavó el residuo insoluble con 150 mL de agua destilada caliente hasta que el líquido no presentará reacción alcalina comprobado con papel indicador. Después se lavó con 25 mL de acetona y se dejó secar en la estufa a 105 ºC hasta peso constante. Finalmente se calcinó a 550 ºC en la mufla hasta obtener cenizas claras y se pesó.

El porcentaje de fibra cruda se calculó mediante la siguiente ecuación:

$$\%\ Fibra\ cruda = \left(\frac{(A - B)}{C} \right)(100)$$

Donde:

A: Peso del crisol con el residuo seco (g) B: Peso del crisol con las cenizas (g)

C: Peso de la muestra (g)

Cuantificación de azúcares totales

Todos los carbohidratos tanto oligosacáridos como polisacáridos pueden ser determinados, pues bajo hidrólisis ácida producen monosacáridos. La adición de algunos ácidos minerales a las soluciones acuosas de carbohidratos, como el ácido sulfúrico provoca la deshidratación de los carbohidratos. Con esta reacción se forman derivados del furfural y la presencia del fenol facilita la formación de complejos que permiten la coloración de la solución y en consecuencia facilitan la cuantificación de los carbohidratos a través de la espectrofotometría. Por lo cual, la cuantificación se realizó siguiendo el método de DuBois *et al*. (1956), descrito por López-Legarda *et al*. (2017).

Se tomó 2 mL de la solución de carbohidratos, la cual se obtuvo agregando 20 mL de agua destilada a 1.6 g de sustrato. Posteriormente se agregó 1 mL de fenol al 5 % e inmediatamente se adicionó 5 mL de ácido sulfúrico concentrado. Se dejó reposar por 10 min, se agitó durante 30 s y se colocó en un baño de agua a temperatura ambiente durante 20 min para el desarrollo del color. Finalmente se analizó en el espectrofotómetro a una longitud de onda de 490 nm. La solución de referencia se preparó de la misma manera, excepto la solución de carbohidratos esta fue reemplazada por agua destilada.

Determinación de lignina insoluble

La determinación de lignina insoluble se llevó a cabo mediante hidrólisis ácida utilizando ácido sulfúrico al 72%, siguiendo el método descrito por Sluiter et al. (2008) con adecuaciones menores. Para ello, se pesaron entre 0.3 y 1.0 gramos de muestra seca libre de extractivos, previamente desgrasada, en matraces resistentes al ácido.

A cada muestra se le añadieron 3 mL de ácido sulfúrico concentrado (72% p/p), y se mantuvieron a 30 °C durante 1 hora bajo agitación intermitente manual cada 10 minutos, con el objetivo de favorecer la despolimerización de polisacáridos estructurales sin degradar la lignina. Posteriormente, se diluyó la mezcla con 84 mL de agua destilada para obtener una concentración final de aproximadamente 4% de ácido, y se procedió a una segunda etapa de hidrólisis térmica. Esta etapa se realizó mediante autoclave a 121 °C durante 1 hora.

Al finalizar la hidrólisis, se filtró en caliente utilizando crisoles Gooch con filtro sin cenizas previamente tarados. El residuo retenido (correspondiente a lignina insoluble) fue lavado con agua destilada caliente hasta alcanzar pH neutro. Los filtros con el residuo fueron secados en estufa a 105 °C durante 12 a 16 horas, enfriados en desecador y posteriormente pesados para determinar el contenido de lignina insoluble.

Finalmente, los residuos secos fueron incinerados en una mufla a 550 °C durante 4 horas para cuantificar el contenido de cenizas. El porcentaje de lignina insoluble se obtuvo por diferencia entre el peso del residuo seco y el peso de cenizas, considerando el peso seco inicial de la muestra. Todas las determinaciones se realizaron por triplicado para garantizar la precisión de los resultados.

El porcentaje de lignina insoluble se calculó mediante la siguiente ecuación:

$$\%\ Lignina\ insoluble = \frac{(Presiduo\ seco - Pcenizas)}{Pmuestra\ seca}(100)$$

Donde:

$P_{residuo\ seco}$ = Peso del residuo seco después de la hidrólisis y secado (g)

$P_{cenizas}$ = Peso de las cenizas del residuo después de calcinación en mufla (g)

$P_{muestra\ seca}$ = Peso inicial de la muestra seca utilizada para la hidrólisis (g)

RESULTADOS

La caracterización nutricional del rastrojo de amaranto revela un perfil con potencial significativo para su aprovechamiento agropecuario y agroecológico. A continuación, se presentan los resultados obtenidos en los principales parámetros analizados (Tabla 1).

Parámetro	Valor (%)
Proteína bruta	8.2
Humedad	6.6
Cenizas totales	8.1
Extracto etéreo	2.2
Fibra cruda	16.4
Azúcares totales	53.9
Lignina	40.0

***Tabla 1**. Composición nutricional del rastrojo de amaranto (base seca)*

El contenido de proteína bruta fue de 8.2%, un valor moderado que posiciona al rastrojo de amaranto como un recurso viable para ser utilizado como suplemento en la alimentación de ganado, especialmente en sistemas extensivos o de bajos insumos. Aunque no alcanza los niveles de proteínas de forrajes como la alfalfa, su valor es relevante al tratarse de un subproducto agrícola generalmente subutilizado (Pulgarín Ortega et al., 2024).

El contenido de humedad, relativamente bajo (6.6%), sugiere una buena estabilidad durante el almacenamiento, al reducir el riesgo de fermentación y proliferación de hongos, lo cual facilita su conservación, transporte o posterior transformación. Este aspecto es favorable tanto para su uso como forraje seco como para su reincorporación al suelo.

En cuanto a las cenizas totales, el valor de 8.1% refleja una cantidad importante de minerales, lo que lo hace adecuado para enriquecer suelos si se emplea como abono orgánico mediante procesos como el compostaje (CIMMYT, 2023). El extracto etéreo fue de 2.2%, valor característico de materiales lignocelulósicos con bajo contenido lipídico, pero útil como complemento en raciones balanceadas para rumiantes.

La fibra cruda alcanzó un valor de 16.4%, indicando una proporción considerable de materia fibrosa que influye en la digestibilidad y funcionalidad del rastrojo como componente estructural en dietas animales. Uno de los hallazgos más destacados es el elevado contenido de azúcares totales (53.9%), lo que otorga al residuo un considerable valor energético, con aplicaciones tanto en la alimentación animal como en procesos fermentativos para la obtención de bioetanol, biogás o biofertilizantes líquidos.

Por último, el contenido de lignina fue de 40.0%, lo que le confiere resistencia a la degradación biológica. Aunque un alto contenido de lignina puede limitar la digestibilidad en aplicaciones forrajeras, también aporta estabilidad estructural, haciéndolo ideal para ser utilizado como cobertura vegetal (mulching) o para la producción de composta de liberación lenta (CIMMYT, 2023).

En conjunto, estos resultados sugieren que el rastrojo de amaranto no debe considerarse un desecho agrícola, sino un recurso estratégico con múltiples aplicaciones productivas. Este enfoque respalda el aprovechamiento integral del amaranto, incluyendo sus residuos post-cosecha, como una vía para fortalecer la sostenibilidad de los sistemas agrícolas, especialmente en contextos rurales como el de Oaxaca. Esta información permite diseñar estrategias de uso adaptadas a las necesidades locales, en armonía con los principios de la economía circular y la agroecología.

CONCLUSIÓN

La caracterización del rastrojo de amaranto, permite establecer su perfil composicional, a partir del cual se puede dar un enfoque analítico generando evidencia científica sólida para respaldar la incorporación de residuos del amaranto en sistemas agrícolas más eficientes, sostenibles y de bajo impacto ambiental.

Debido a esto se propone el desarrollo de modelos de aprovechamiento integral del cultivo de amaranto, que contemplen tanto el uso alimenticio del grano como la valorización de sus subproductos. Para ello, es necesario fortalecer los procesos de transferencia tecnológica, capacitación rural y financiamiento a pequeña escala, con el fin de asegurar la implementación efectiva de estas prácticas en el territorio. Asimismo, futuras investigaciones podrían enfocarse en optimizar los métodos de tratamiento del rastrojo (como el ensilado o la precompostación) para mejorar su digestibilidad o su descomposición controlada.

Aprovechar el rastrojo de amaranto no solo es una estrategia técnica con base científica, sino también una vía para revalorizar un cultivo tradicional desde una perspectiva de sostenibilidad, innovación rural y justicia social.

REFERENCIAS

Adhikary, D., Khatri-Chhetri, U., Slaski, J. (2020). *Amaranth: An ancient and high-quality wholesome crop*. En *Nutritional value of amaranth.*

Ayala, G. A. V., Escobedo, L. D., Cortés, E. L., Espitia, R. E. (2012). *El cultivo de amaranto en México: Descripción de la cadena, implicaciones y retos*. INIFAP, Campo Experimental Valle de México.

Bressani, R. (1994). Composition and nutritional properties of amaranth. In *Amaranth: Biology, Chemistry, and Technology* (pp. 185–204). CRC Press.

C. Weerasekara, A., Y. Waisundara, V. (2020). Amaranth as a Pseudocereal in Modern Times: Nutrients, Taxonomy, Morphology and Cultivation. IntechOpen.

CIMMYT. (2023). *La importancia del rastrojo en tu parcela*. CIMMYT Noticias.Recuperado de https://cimmyt.org

De la O Olán, M., Espitia, R. E., Ayala, G. A. V., Hernández, C. J. M., Arellano, V. J. L., Ruiz, H. V. C. (2012). Caracterización morfológica en germoplasma para grano de amaranto (*Amaranthus spp.*). En R. E. Espitia, S. C. Mapes, L. D. Escobedo, M. De la O Olán, P. Rivas Valencia, G. Martínez Trejo, L. Cortés Espinoza & J. M. Hernández Casillas (Eds.), *Amaranto: Ciencia y Tecnología* (pp. 165–181). INIFAP, Centro de Investigación Regional Centro.

DuBois, M., Gilles, K. A., Hamilton, J. K., Rebers, P., Smith, F. (1956). Colorimetric method for determination of sugars and related substances. Anal. Chem., 350-356.

Escudero, N. L., De Arellano, M. L., Luco, J. M., Giménez, M. S., Mucciarelli, S. I. (2004). Comparison of the chemical composition and nutritional value of amaranthus cruentus flour and its protein concentrate. *Plant Foods for Human Nutrition*, 59(1), 15–21.

Espitia-Rangel, E. (2011). El amaranto en México: producción, usos y perspectivas.
Revista Fitotecnia Mexicana, 34(1), 59–66.

Martirosyan, D. M., Singh, J. (2015). A new definition of functional food by FFC: What makes a new definition unique? *Functional Foods in Health and Disease*, 5(6), 209–223.

Morales-Payán, J. P., Tostado, G., Coyne, D. P. (2002). Agronomic potential of amaranth in Mexico and the United States. *HortTechnology*, 12(1), 82–86.

National Research Council. (1984). *Amaranth: Modern prospects for an ancient crop*.
Washington, DC: The National Academies Press.

NMX-F-607-NORMEX-2013. (2013). Determinación de cenizas en alimentos. Normas mexicanas, 1-2.

NOM-086-SSA1-1994. (2006). Determinación de extracto etéreo (método soxhlet) en alimentos. Normas mexicanas. Dirección general de normas, 1-2.

NOM-116-SSA1-1994, A. (2006). Determinación de humedad en productos alimenticios. Foods. Moisture in food products determination. Normas mexicanas dirección general de normas. Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, 1-2.

NOM-155-SCFI-2012. (2012). Análisis de agua - medición de nitrógeno total kjeldahl en aguas naturales, residuales y residuales tratadas - método de prueba (cancela a la NMX-AA-026-SCFI-2001). Norma mexicana, 12-19.

NOM-F-90-S-1978. (1979). Determinación de Fibra Cruda en Alimentos. NORMA Oficial Mexicana, 2.

Paredes-López, O., Hernández-López, D. (1992). Food properties of amaranth seeds and methods for starch isolation and characterization. In H. F. Linskens & J. F. Jackson (Eds.), *Seed analysis* (Vol. 14, pp. 113–131). Springer.

Pulgarín-Ortega, H., Parral-Herrera, E., Cabañas-Martínez, O., & Bárcena-Gama, J. R. (2024). *Rastrojo de amaranto (Amaranthus spp.) como fuente de forraje en la alimentación de corderos*. Agro-Divulgación, 4(6), 93–95.

Rastogi, A., Shukla, S. (2013). Amaranth: a new millennium crop of nutraceutical values.*Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 53(2), 109–125.

SAGARPA. (2017). *Programa de Fomento a la Agricultura: Amaranto en comunidades rurales de Oaxaca*. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación.

SAGARPA. (2017). *Programa de Fomento a la Agricultura: Amaranto en comunidades rurales de Oaxaca*.

Sánchez-González, J. de J., Contreras Hernández, J. M., Juárez-López, P. (2016). El cultivo del amaranto como alternativa de producción sustentable en Oaxaca. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 7(3), 681–694.

Silva-Sánchez, C., De La Rosa, A. P. B., De Lumen, B. O., De León-Rodríguez, A., Barba de la Rosa, A. P. (2008). Bioactive peptides in amaranth (Amaranthus hypochondriacus) seed. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 56(4), 1233– 1240.

Sluiter, A., Hames, B., Ruiz, R., Scarlata, C., Sluiter, J., Templeton, D., Crocker, D. (2008). *Determination of Structural Carbohydrates and Lignin in Biomass* (NREL/TP-510- 42618). National Renewable Energy Laboratory (NREL).

TAPPI. (2002). T 222 om-02: *Acid-insoluble lignin in wood and pulp*. Technical Association of the Pulp and Paper Industry.

Thorup-Kristensen, K., et al. (2021). *Breeding amaranth for biomass: Evaluating dry matter content and utilization for silage and biogas production*. *Agronomy, 11*(5), 970.

Vega-Gálvez, A., Miranda, M., Vergara, J., Uribe, E., Puente, L., Martínez, E. A. (2010). Nutrition facts and functional potential of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.), kiwicha (*Amaranthus caudatus* L.) and kañiwa (*Chenopodium pallidicaule* Aellen). *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 90(15), 2541–2547.

LA ALFABETIZACIÓN ENERGÉTICA EN ESTUDIANTES DE NIVEL MEDIO SUPERIOR: UN ANÁLISIS DE DIFERENCIA POR GÉNERO

Sergio Hernández Mejía[1]
Mario Hernández Vargas[2]

RESUMEN

La alfabetización energética es considerada un recurso de gran importancia para hacer frente a la crisis energética. Esta investigación tiene por objetivo medir el nivel de alfabetización energética en una muestra de estudiantes de nivel medio superior, pertenecientes al municipio de Veracruz, México. Se analiza la relación entre alfabetización energética con el género. Para la medición de la alfabetización energética se utiliza el enfoque de DeWaters y otros (2013b), determinado por tres componentes: conocimientos sobre temas de energía, actitudes y comportamiento hacia el uso de la energía en la vida diaria. La muestra está conformada 295 estudiantes de nivel medio superior inscritos en el periodo agosto-diciembre de 2023. A través de la prueba estadística de diferencia de medias se compara el nivel de alfabetización financiera entre hombres y mujeres. Los resultados de la medición de la alfabetización energética indican que los estudiantes de la muestra, tienen un nivel moderado de alfabetización energética. Se tiene evidencia que el nivel de alfabetización energética promedio y el nivel de actitudes promedio es mayor en el grupo de mujeres que en el grupo de hombres, pero no existe diferencia significativa en el componente de conocimientos y comportamientos.

***Palabras clave**:* alfabetización energética, sociodemográficas, comportamientos, conocimientos, actitudes género.

ABSTRACT

Energy literacy is considered a crucial resource for addressing the energy crisis. This research aims to measure the level of energy literacy in a sample of high school students from the municipality of Veracruz, Mexico. The relationship between energy literacy and gender is analyzed. The energy literacy measurement is based on the approach of DeWaters et al. (2013b), which is defined by three components: knowledge about energy issues, attitudes, and behaviors toward energy use in daily life. The sample consists of 295 high school students enrolled between August and December 2023. The

[1] Universidad Cristóbal Colón. sergiohm@ucc.mx
[2] Universidad Cristóbal Colón. mariohvargas87@gmail.com

statistical test of difference of means is used to compare the level of energy literacy between males and females. The results of the energy literacy measurement indicate that the students in the sample have a moderate level of energy literacy. Evidence shows that the average energy literacy level and average attitude level are higher in the women's group than in the men's group, but there is no significant difference in the knowledge and behavior component.

Keywords: energy literacy, sociodemographics, behaviors, knowledge, attitudes, gender.

INTRODUCCIÓN

Actualmente, la energía representa uno de los factores fundamentales para alcanzar los objetivos de Desarrollo Sostenible, los cuales abarcan el acceso a la electricidad en países, pobres o zonas rurales de difícil acceso, y donde cada día genera mayor importancia el desarrollo de la eficiencia energética, energías renovables y el uso de tecnologías eficientes (Organización de las Naciones Unidas, 2022). Diversos autores argumentan que la alfabetización energética es considerada un recurso de gran importancia para hacer frente a la crisis energética. DeWaters y otros (2013b) enfatizan que la energía es uno de los temas más importantes y generalizado en el mundo actual, cuya importancia está asociada al agotamiento de recursos y los impactos ambientales relacionados con la energía, y que a su vez influyen en la política local, la estabilidad económica, las elecciones, tendencias respecto al consumo, la salud y a la sociedad en general.

La Organización de las Naciones Unidas (2022) ha reconocido la necesidad de trazar objetivos que permitan coadyuvar la vida de las personas, como son: aumentar la proporción de energía renovable en conjunto de fuentes energéticas, mejorar la eficiencia energética, facilitar el acceso a la investigación, educación financiera, alfabetización energética, tecnologías avanzadas y tecnologías limpias. Así mismo, se argumenta que el acceso universal a la energía limpia, aún tienen retos energéticos para su acceso, ya que, alrededor de 1,100 millones de personas en el mundo carecen de acceso a energía y por otro lado 1,000 millones disponen de electricidad de manera inestable, por lo que, se estima que para el año 2030, no se alcanzará el acceso universal, donde 780 millones de personas seguirán sin servicio básico, por lo cual, se insiste en generar políticas que ayuden a crecer los mercados de energías verdes (Valdés y otros, 2019).

En México, la investigación sobre la educación energética es aún escasa (INEGI, 2019). El Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) llevó a cabo por primera vez en 2018, la Encuesta Nacional sobre Consumo de Energéticos en Viviendas Particulares (ENCEVI), con la finalidad de conocer los comportamientos de consumo energético de las viviendas en México y por región, y de identificar el consumo energético aproximado, las horas de uso por aparato doméstico, el tipo de

combustible utilizado, el nivel de pobreza energética real, así como las costumbres y prácticas del uso de energía, para con ello, crear políticas públicas y el impulso de programas de apoyo de acuerdo a las necesidades de la población. Previo a esta actividad realizada por el INEGI, mencionan que en México no existían encuestas sobre el uso de energía en las viviendas (INEGI, 2019).

Castañeda (2021), explica que, como sociedad, aún no se logra apreciar la importancia que la energía tiene en el bienestar de las personas, por lo que es necesario incrementar la alfabetización energética en la población, si se desea preservar el mínimo de bienestar que se tiene para la sociedad y para futuras generaciones. Según Martins y otros (2020), la energía eléctrica, al ser tan común en la vida práctica de las personas, probablemente, el costo que puede generar el uso de cada aparato electrodoméstico que se utiliza en un hogar o una maquinaría de producción, pasa de manera desapercibida. Derivado que el tema energético abarca diversas áreas, desde económicas, productivas y financieras, para los usuarios resulta un reto, integrar todas estas áreas y con ello mejorar la eficiencia del uso de la energía eléctrica.

Según Castro (2015) actualmente, se hace más evidente la falta de combustibles de origen fósil, además de que, agravan los problemas ambientales que generan su explotación, transporte y uso, esto debido a la falta de acceso a las fuentes y tecnologías energéticas, comenta además que, existen también, un conjunto de soluciones relacionadas con energías alternativas que intentan diversificar el modelo energético actual, que busca sustituir las necesidades energéticas de una manera más responsable y adecuada, sin que afecte la vida en el planeta. Martins y otros (2020), explican como la generación de energía eléctrica, es poco conocida por los usuarios, además de que el uso de recursos de generación es limitado, estos pueden ocasionar afectaciones ambientales; por lo que, el concientizar al usuario, sobre su consumo moderado, es una necesidad inminente. A su vez, se requiere contar con conocimientos básicos en temas energéticos y financieros, con la finalidad de conducir esto a un ahorro en la economía de los usuarios.

Con base en lo anterior, esta investigación tiene por objetivo medir el nivel de alfabetización energética en estudiantes de nivel medio superior, pertenecientes al municipio de Veracruz, México. Así mismo, se analiza la relación existente entre alfabetización energética con el género.

MARCO REFERENCIAL.

Alfabetización energética y su relación con el género

Durante la última década, ha surgido un tema que se ha generado interés entre los académicos, que es el concepto de la alfabetización energética, del término en inglés, *energy literacy*, que significa “el entendimiento que tiene el ciudadano sobre temas de energía, que comprende aspectos afectivos y

de comportamiento" (DeWaters y Powers, 2013a). No existe un consenso respecto a su definición y sobre la escala de medición de la alfabetización energética. El departamento de Energía de Estados Unidos define la alfabetización energética como "la comprensión de la naturaleza y el papel que desempeña la energía en el universo y en nuestras vidas. La alfabetización energética también es la habilidad para aplicar este conocimiento para responder preguntas y resolver problemas" (U.S. Department of Energy, 2017).

La definición anterior implica la comprensión por parte de los ciudadanos, del concepto de energía, el conocimiento de los tipos de energía, su uso, cómo es producida, así como el estar conscientes respecto a cómo la producción y consumo de energía afectan el medio ambiente, entre otros temas. Al respecto, Dewaters y Powers (2013a) definen la alfabetización energética de acuerdo a tres componentes: conocimientos, actitudes y comportamientos hacia temas de energía.

Las características actitudinales y de comportamiento generalmente describen a una persona quien reconoce la existencia de problemas sobre la energía en el mundo, y muestra voluntad de participar en su solución. Las características cognitivas incluyen habilidades cognitivas como el análisis crítico, la resolución de problemas y la clarificación de valores, así como conocimiento de contenidos técnicos, formales o informales. Para los autores Lee y otros (2015), la alfabetización energética puede capacitar a las personas para la toma de decisiones bien pensadas y emprender acciones responsables, ya que, la escasez de energía se ha convertido en un problema sustancial en el mundo. Akitsu y otros (2017) definen la alfabetización energética, como la habilidad común que se fomenta mediante la educación energética para superar los desafíos energéticos en el mundo.

Las aportaciones más recientes como la de Martins y otros (2022) enfatizan en el papel del conocimiento financiero en la toma de decisiones sostenibles y eficientes. Existen diversos estudios sobre la influencia financiera en temas energéticos, los autores Allcott y Mullainathan (2010) explican cómo gran cantidad de países dedican recursos públicos para la investigación de recursos públicos para la investigación y desarrollo de tecnologías energéticamente eficientes, sin embargo, ellos comentan que estas dependen de las elecciones del usuario, llamándolas barreras conductuales.

Por otro lado, Kalmi y otros (2021), explican que una mayor alfabetización financiera relacionada con la energía, podría transformarse en comportamientos de ahorro de energía, entre las cuales, se encuentran inversiones de los hogares en fuentes de energía renovables, como paneles solares, energía geotérmica, bombas de calor o electrodomésticos que ahorran energía. Las autoras Martins, Madaleno y Ferreira (2022), exponen cómo el cambio climático, los fenómenos meteorológicos extremos, han generado el cambio de conciencia por lo cual se enfatiza en la necesidad de adoptar comportamientos más sostenibles, y detallan que la forma de superar el problema, es mediante la

gestión de la demanda y la reducción del consumo de energía, donde intervienen comportamientos cotidianos de los ciudadanos, como lo son, apagar la luz en lugares que no son ocupados, sin embargo, no es fácil este cambio de mentalidad, ya que son hábitos intrínsecos y ejecutados sin pensarlo.

Para los autores Dahlbom y otros (2009), explican que para realizar cambios en los hábitos energéticos, se cuentan con tres categorías de factores incluyentes: a) factores predispositivos, b) factores capacitadores, c) factores de refuerzo, además, mencionan como otro grupo de factores influyentes como los "sociodemográficos". Martins y otros (2020), explican cómo se han realizado diversos estudios sobre ciudadanos estadounidenses, e identifican bajos niveles de *Energy Literacy.* Portugal, Suiza y Finlandia cuentan con niveles bajos de alfabetización energética, a pesar de contar con altos niveles de conocimientos financieros.

Franco y Velázquez (2016) identifican características sociodemográficas en el consumo de energía eléctrica en hogares de México, donde los hogares encabezados por hombres, registraron los consumos más altos, además, otra condicionante identificada fue la escolaridad, donde los hogares con mayor consumo de energía, el jefe del hogar, contaba con posgrado, de lado contrario, los hogares con un jefe con nivel educativo bajo (nivel preescolar), consumieron menos energía. Por otro lado, los autores describen sobre el ingreso destinado a la compra de energía, los hogares con jefatura femenina erogaron un porcentaje mayor (entre 6.4% y 7.6%), contra los de jefatura masculina (entre 5.2 % y 5.9%), el cual representa un contraste con el consumo energético, siendo menor, en los hogares encabezados por mujeres, también, se aprecia que, el mayor consumo en viviendas urbanas con hasta dos mujeres estuvo detonado por la cocción de alimentos y el entretenimiento a través del uso de televisores.

En su análisis, los autores Lee y otros (2015), identifican que los alumnos del género masculino, obtuvieron un mayor porcentaje de respuestas correctas en conocimientos (65,0%), por el contrario, las alumnas del género femenino obtuvieron el 62,3%, y en el indicador de conciencia, preocupación y medio ambiente, las alumnas tienen una conciencia significativamente mayor sobre los problemas energéticos (media 4,44, hombres 4,32) y tienen una visión más positiva hacia el medio ambiente (media 4,20, hombres 4,04).

Akitsu y otros (2017) realizaron una encuesta a estudiantes en Japón, donde descubrieron que, las mujeres mostraron valores significativamente mayores que los hombres en la subescala cognitiva (hombres 38% y mujeres 40%), además, mostraron valores más altos en cuanto a autoeficacia (hombres 67%, mujeres 70%), en comparación con diversos autores, que obtuvieron resultados adversos, sobre puntuaciones superiores en los hombres en comparación con las mujeres, sobre

conocimientos relacionados con la alfabetización energética. Akitsu e Ishihara (2019), identificaron diferencias significativas en los conocimientos energéticos básicos por género, donde los hombres obtuvieron el 42% y las mujeres el 51%; en las atribuciones de responsabilidad, los hombres obtuvieron el 75% y las mujeres el 77%, y en el comportamiento de ahorro de energía, los hombres obtuvieron el 68% y las mujeres el 66%.

Blasch y otros (2021) obtuvieron resultados en su medida de alfabetización financiera relacionada con la energía, donde los hombres obtuvieron niveles más altos del índice. Para Kalmi y otros (2021), las variables de interés energético y alfabetización energética, son mucho más bajos para las mujeres en comparación con los hombres; aunado a ello, las mujeres están menos interesadas en cuestiones relacionadas con la energía que los hombres. A continuación, en la tabla 1 se presentan una síntesis de la relación entre la alfabetización energética y género.

Relación	Autor
Los alumnos obtuvieron un mayor porcentaje de respuestas correctas que las alumnas, mientras que las alumnas obtuvieron mayor porcentaje en conciencia, preocupación y medio ambiente.	Lee, L-H., Lee, Y-F., Altschuld, J., y Pan, Y-J. (2015)
Los hombres obtuvieron mayor porcentaje de respuestas correctas en conocimientos en comparación con las mujeres.	Chen y otros (2015)
las mujeres mostraron valores significativamente mayores que los hombres en la subescala cognitiva	Akitsu y otros (2017)
Los hombres obtuvieron el 42% sobre conocimientos energéticos básicos, mientras que las mujeres obtuvieron el 51%; en el comportamiento de ahorro de energía, los hombres obtuvieron el 68% y las mujeres el 66%	Akitsu y Ishihara (2019)
El consumo de energía eléctrica en hogares de México, donde los hogares encabezados por hombres, registraron los consumos más altos	Franco y Velázquez (2016)
Las mujeres tienen influencia positiva en la actitud y el comportamiento, mientras que influyen negativamente en el conocimiento	Martins, Madaleno y Ferrera (2020)
Los hombres presentan ligeramente un mayor conocimiento en temas energéticos que las mujeres.	Castañeda (2021)
El interés energético y alfabetización energética, son mucho más bajos para las mujeres en comparación a los hombres.	Kalmi y otros (2021)
Los hombres obtuvieron niveles más altos en alfabetización financiera relacionada con la energía.	Blasch y otros (2021)

Tabla 3. *Alfabetización energética y su relación con la variable género*

Fuente: elaboración propia

A partir de lo anterior se formulan las hipótesis de la investigación:

H 1: Existe una diferencia en el nivel de alfabetización energética entre hombres y mujeres

H 2: Existe una diferencia en el nivel cognitivo de alfabetización energética entre hombres y mujeres

H 3: Existe una diferencia en el nivel del componente actitudinal de alfabetización energética entre hombres y mujeres

H 4: Existe una diferencia en el nivel del componente comportamiento hacia el uso de la energía entre hombres y mujeres

METODOLOGÍA.

Diseño, instrumentos

Esta investigación tiene por objetivo medir el nivel de alfabetización energética en una muestra de estudiantes de nivel medio superior, pertenecientes al municipio de Veracruz, México. Es del tipo descriptivo y de corte transversal. Para la medición de la alfabetización energética se utiliza el enfoque de DeWaters y otros (2013), determinado por tres componentes: conocimientos sobre temas de energía, actitudes y comportamiento hacia el uso de la energía en la vida diaria.

La población bajo estudio son estudiantes de nivel bachillerato, con edad de 15 hasta 19 años, donde la mayor población es representada por alumnos del sexo femenino, con el 63% y el resto para sexo masculino, ubicados en la Ciudad y Puerto de Veracruz, localizada al centro-este de México, sobre las costas del Golfo de México. La muestra, determinada por autodeterminación, está conformada por un grupo de 295 estudiantes de nivel medio superior quienes estaban inscritos en su segundo y tercer año escolar, durante el periodo agosto-diciembre de 2023. A través de la prueba estadística de diferencia de medias se compara el nivel de alfabetización financiera entre hombres y mujeres. Los cálculos estadísticos se realizan con el paquete SPSS versión 23.

Se utiliza el instrumento de DeWaters y otros (2013), el cual organiza criterios de medición en un esquema de contenido y clasifica los resultados de cada dominio (cognitivo, afectivo y conductual) en puntos de referencia que se relacionan con cada una de las características identificadas dentro de ese atributo específico de la alfabetización. Se sigue de cerca la metodología utilizada por Martins y otros (2020), para evaluar el nivel de alfabetización energética. El cuestionario está conformado por 31 preguntas de respuesta cerrada, que miden los conocimientos relacionados con la energía, donde se asigna un punto por cada respuesta correcta y cero puntos para cada respuesta incorrecta. Para evaluar la actitud y el comportamiento se utilizaron preguntas, que miden el grado de acuerdo o desacuerdo, a las cuales le asignaron puntos entre 1 y 5 según el grado determinado por los alumnos. El nivel máximo de alfabetización es de 181 puntos, las cuales clasificaron con las puntuaciones entre 0 y 70 (0-38%) como baja, de 70 a 140 (38%-75%) como moderada, de 140 a 160 (75%-86%) como buena y las puntuaciones de 160 a 181 (86%-100%) como muy buenas.

RESULTADOS

Los estadísticos descriptivos del indicador de alfabetización energética entre hombres y mujeres se presentan en la tabla 2. El grupo total de estudiantes de la muestra obtuvo una puntuación de 67.78 puntos en el indicador de alfabetización energética, el cual de acuerdo a la escala de medición se considera un nivel moderado. Las mujeres obtuvieron una puntuación promedio de 68.75 y los

hombres una puntuación promedio de 66.30; la diferencia numérica es de 2.45 puntos, mayor en el grupo de mujeres que en el de mujeres. La variabilidad de la alfabetización energética medida por la desviación estándar, es mayor en el grupo de hombres que en el de mujeres, con una diferencia es de 2.72 puntos.

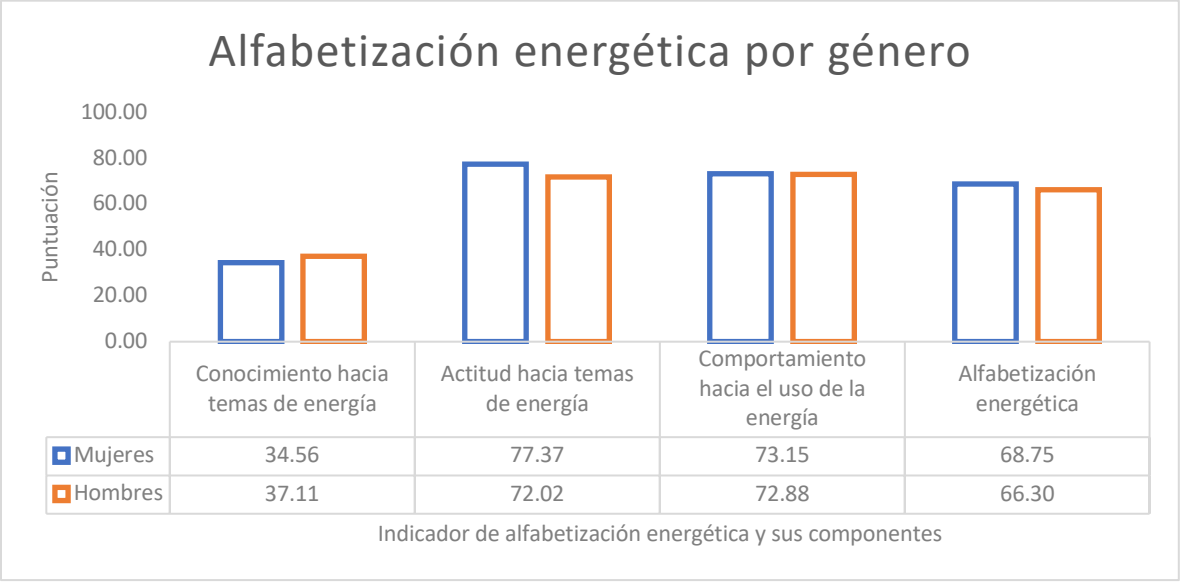
	N	Media	Desviación estándar	Mínimo	Máximo
Mujeres	178	68.7535	7.75284	36.46	82.32
Hombres	117	66.3031	10.47930	30.39	85.08
Total	295	67.7816	8.99761	30.39	85.08

Tabla 2. *Alfabetización energética y su relación con la variable género*

Fuente: elaboración propia

La figura 1 muestra la puntuación obtenida en los componentes de la alfabetización energética por género. El grupo de hombres obtienen una puntuación promedio mayor que el grupo de mujeres en el componente de conocimiento sobre temas de energía, mientras que las mujeres obtienen una puntuación promedio mayor que el grupo de hombres tanto en el componente de actitudes hacia temas de energía como en el componente de comportamiento hacia el uso de la energía.

Figura 1. Puntuación promedio en los componentes de la alfabetización energética por género



Fuente: elaboración propia

Diferencia de medias: alfabetización energética entre hombres y mujeres.

Al comparar las medias del indicador de alfabetización energética de las dos muestras, se asume que las varianzas son diferentes y se aplica la prueba t con varianzas diferentes. La tabla 3 muestra los resultados de la estimación. La diferencia de medias en el indicador de alfabetización energética entre hombres y mujeres es de 2.45 puntos. A partir de los resultados de la prueba de diferencia de medias en alfabetización energética, (Estadístico t= 2.169, significancia= 0.031), se rechaza la hipótesis nula

de igualdad de medias. Por lo cual se concluye que existe una diferencia significativa en la media del indicador de alfabetización energética entre hombres y mujeres.

	Prueba de Levene para igualdad de varianzas		Prueba t para igualdad de medias		
			Diferencia de Medias	Estadístico t	Significancia de dos colas
Varianzas Iguales	F	Significancia	2.45043	2.305	0.022
Varianzas desiguales	9.541	0.002	2.45043	2.169	0.031

Tabla 3. *Prueba de diferencia de alfabetización energética por género*

Fuente: elaboración propia

Para verificar si dicha diferencia es mayor a favor del grupo de las mujeres, se lleva a cabo la prueba direccional. La hipótesis nula y alternativa se plantean de la siguiente manera:

$$H_0: \mu_{(Mujeres)} - \mu_{(Hombres)} \leq 0$$

$$H_1: \mu_{(Mujeres)} - \mu_{(Hombres)} > 0$$

Los resultados de la prueba son los siguientes: estadístico t=2.169, valor crítico de t de una cola=1.652 (con un nivel de significancia=0.05, 198 grados de libertad). El valor calculado del estadístico de la prueba es mayor que el valor crítico del estadístico de prueba, por lo tanto, se rechaza la hipótesis nula. Se concluye que el promedio de alfabetización energética del grupo de mujeres es mayor, respecto a la media del grupo de hombres.

Diferencia de medias: indicador de conocimientos sobre temas de energía

Los estadísticos descriptivos del indicador de conocimientos sobre temas de energía entre hombres y mujeres se presentan en la tabla 4. Las mujeres obtuvieron una puntuación promedio de 34.55 y los hombres una puntuación de 37.11; la diferencia numérica es de 2.55 puntos, a favor del grupo de hombres. La variabilidad en el indicador de conocimientos sobre temas de energía medida por la desviación estándar, es mayor en el grupo de hombres que en el de mujeres, con una diferencia es de 2.40 puntos.

	N	Media	Desviación estándar	Mínimo	Máximo
Mujeres	178	34.5596	14.45553	.00	77.42
Hombres	117	37.1106	16.85584	.00	77.42
Total	295	35.5714	15.47475	.00	77.42

Tabla 4. *Resultados estadísticos de conocimientos en temas de energía por género*

Fuente: elaboración propia

Al comparar las medias de las dos muestras, se asume que las varianzas son diferentes y se aplica la prueba t con varianzas diferentes, tal como se presentan en la tabla 5. Los resultados de la prueba de diferencia de medias en conocimientos sobre temas de energía (Estadístico t= -1.344, significancia= 0.180), indican que no se rechaza la hipótesis de igualdad de medias del indicador de conocimientos

sobre temas de energía entre hombres y mujeres. Por lo cual, las medias poblacionales de conocimientos en temas de energía, entre hombres y mujeres, pueden ser iguales.

	Prueba de Levene para igualdad de varianzas		Prueba t para igualdad de medias		
			Diferencia de Medias	Estadístico t	Significancia de dos colas
Varianzas Iguales	F	Significancia	-2.55094	-1.387	.166
Varianzas desiguales	4.601	0.033	-2.55094	-1.344	.180

Tabla 5. *Prueba de diferencia de conocimientos en temas de energía por género*

Fuente: elaboración propia

Indicador de actitud hacia temas de energía

Los estadísticos descriptivos del indicador de actitud hacia temas de energía entre hombres y mujeres se presentan en la tabla 6. Las mujeres obtuvieron una puntuación de 77.36 y los hombres una puntuación de 72.01; la diferencia numérica es de 5.34 puntos, mayor en el grupo de mujeres que en el de mujeres. La variabilidad de la alfabetización energética medida por la desviación estándar, es mayor en el grupo de hombres que en el de mujeres, con una diferencia es de 2.56 puntos.

	N	Media	Desviación estándar	Mínimo	Máximo
Mujeres	178	77.3684	9.46625	37.89	93.68
Hombres	117	72.0198	12.00602	34.74	95.79
Total	295	75.2471	10.84857	34.74	95.79

Tabla 6. *Resultados estadísticos de actitud hacia temas de energía por género*

Fuente: elaboración propia

Al comparar las medias de las dos muestras, se asume que las varianzas son diferentes y se aplica la prueba t con varianzas diferentes, tal como se presenta en la tabla 7. De acuerdo a la regla de decisión, se rechaza la hipótesis nula de igualdad de media en actitud hacia temas de energía (estadístico t= 4.060, significancia= 0.000). El resultado indica que existe una diferencia en las medias del indicador de actitud hacia temas de energía entre hombres y mujeres.

	Prueba de Levene para igualdad de varianzas		Prueba t para igualdad de medias		
			Diferencia de Medias	Estadístico t	Significancia de dos colas
Varianzas Iguales	F	Significancia	5.34863	4.262	0.000
Varianzas desiguales	7.970	0.005	5.34863	4.060	0.000

Tabla 7. *Prueba de diferencia de actitudes hacia temas de energía por género*

Fuente: elaboración propia

Para verificar si dicha diferencia es mayor a favor del grupo de las mujeres, se lleva a cabo la prueba direccional. La hipótesis nula y alternativa se plantean de la siguiente manera:

$$H_0: \mu_{(Mujeres)} - \mu_{(Hombres)} \leq 0$$

$$H_1: \mu_{(Mujeres)} - \mu_{(Hombres)} > 0$$

Los resultados de la prueba son los siguientes: estadístico t=4.060, valor crítico de t de una cola=1.652 (con un nivel de significancia=0.05, 207 grados de libertad). El valor calculado del estadístico de la prueba es mayor que el valor crítico del estadístico de prueba, por lo tanto, se rechaza la hipótesis nula. Se concluye que el promedio del indicador de actitud hacia temas de energía del grupo de mujeres, es mayor respecto a la media del grupo de hombres.

Indicador de comportamiento hacia el uso de la energía

Los estadísticos descriptivos del indicador de comportamiento hacia el uso de la energía entre hombres y mujeres se presentan en la tabla 8. Las mujeres obtuvieron una puntuación de 73.14 y los hombres una puntuación de 72.88; la diferencia numérica es de 0.26 puntos, mayor en el grupo de hombres. La variabilidad de la alfabetización energética medida por la desviación estándar, es mayor en el grupo de hombres que en el de mujeres, con una diferencia es de 3.26 puntos.

	N	Media	Desviación estándar	Mínimo	Máximo
Mujeres	178	73.1461	10.23016	40.00	94.55
Hombres	117	72.8827	13.49366	27.27	98.18
Total	295	73.0416	11.61312	27.27	98.18

Tabla 8. *Resultados estadísticos de comportamiento hacia el uso de la energía por género*

Fuente: elaboración propia

Al comparar las medias de las dos muestras, se asume que las varianzas son diferentes y se aplica la prueba t con varianzas diferentes, tal como se presenta en la tabla 9. Los resultados de la prueba de diferencia de medias del comportamiento hacia el uso de la energía (Estadístico t= 0.180, significancia= 0.857), indican que no se rechaza la hipótesis de igualdad de medias en el indicador del comportamiento hacia el uso de la energía entre hombres y mujeres. Por lo cual, las medias poblacionales del indicador del comportamiento hacia el uso de la energía pueden ser iguales.

	Prueba de Levene para igualdad de varianzas		Prueba t para igualdad de medias		
			Diferencia de Medias	Estadístico t	Significancia de dos colas
Varianzas Iguales	F	Significancia	.26339	.190	.849
Varianzas desiguales	7.577	0.006	.26339	.180	.857

Tabla 9*. Prueba de diferencia de comportamiento hacia el uso de la energía por género*

Fuente: elaboración propia

A continuación, la tabla 10 presenta un resumen de los resultados de las pruebas de diferencias de medias en componentes de la alfabetización energética.

Hipótesis	Resultado
No hay diferencia entre las medias del indicador de alfabetización energética, asociadas a hombres y mujeres	Se rechaza la hipótesis nula de igualdad de medias.
No hay diferencia entre las medias del indicador de conocimientos en temas de energía asociadas, a hombres y mujeres	**No se rechaza la hipótesis de igualdad de medias** del indicador de conocimientos en temas de energía asociadas, a hombres y mujeres
No hay diferencia entre las medias del indicador de actitud hacia temas de energía asociadas, a hombres y mujeres	Se rechaza la hipótesis nula de igualdad de medias del indicador de actitud hacia temas de energía asociadas, a hombres y mujeres
No hay diferencia entre las medias del indicador de comportamiento hacia el uso de la energía, asociadas a hombres y mujeres	**No se rechaza la hipótesis de igualdad de medias** del indicador de comportamiento hacia el uso de la energía, asociadas a hombres y mujeres

Tabla 10. *Resumen de los resultados de las pruebas de hipótesis.*

Fuente: elaboración propia

CONCLUSIONES

A partir de la revisión de la literatura se enfatiza en la importancia de la alfabetización financiera y los tres componentes que la conforman: conocimientos sobre temas de energía, comportamientos y actitudes hacia los temas de energía. El resultado obtenido en esta investigación, respecto a la medición de la alfabetización financiera, equivalente a 67.78 puntos, considerado como un nivel moderado, es comparable a los resultados obtenidos en otras investigaciones (Lee y otros 2015; Blasch y otros, 2021).

Los resultados de las pruebas de hipótesis permiten concluir lo siguiente que existe una diferencia significativa en la media del indicador de alfabetización energética entre hombres y mujeres, cuyo resultado difiere de lo reportado por Kalmi y otros (2021). Respecto a la hipótesis de igualdad de medias del indicador de conocimientos en temas de energía entre hombres y mujeres, la diferencia no es significativa; este resultado contrasta con el reportado por obtenido por Castañeda (2021), en donde los hombres presentan ligeramente un mayor conocimiento en temas de energéticos comparado con las mujeres.

Respecto a la hipótesis de diferencia en la media del indicador de actitud hacia temas de energética, entre hombres y mujeres, se concluye que el promedio del indicador de actitud hacia temas de energía del grupo de mujeres es mayor respecto al de los hombres, cuyo resultado coincide con lo reportado por Akitsu y otros (2017).

En relación a la hipótesis sobre el promedio del indicador de comportamiento hacia el uso de la energía, asociadas a hombres y mujeres, no se identifican diferencias significativas; este resultado difiere del obtenido por Akitsu e Ishihara (2019).

Los resultados de la investigación evidencian la necesidad de formación en conocimientos en temas de energía, por parte de los estudiantes de la muestra, tal que les permita tener una comprensión, así como las implicaciones del uso de recursos energéticos.

REFERENCIAS

Akitsu, Y., Ishihara, K. (2019) Energy Literacy Assessment: A Comparative Study of Lower Secondary School Students in Thailand and Japan. International Journal of Educational Methodology. Vol. 5 183-201

https://www.researchgate.net/publication/333120183_Energy_Literacy_Assessment_A_Comparative_Study_of_Lower_Secondary_School_Students_in_Thailand_and_Japan

Akitsu, Y., Ishiharaa, K., Okumuraa, H. y Yamasueb, E. (2017) Investigating energy literacy and its structural model for lower secondary students in Japan. International Journal Of Environmental & Science Education. No. 5, 1067-1095

http://www.ijese.net/makale_indir/IJESE_1867_article_5945a971116c9.pdf

Allcott, H. y Mullainathan, S. (2010) Behavior and energy policy. Science, 327(5970), 1204–1205.

Blasch, J., Boogen, N., Daminato, C., y Filippini, M. (2021) Empower the Consumer! Energy-related Financial Literacy and its Implications for Economic Decision Making. Economics of Energy & Environmental Policy, Vol. 10, No. 2. http://www.iaee.org/en/publications/eeeparticle.aspx?id=384

Castañeda, G. (2021). Características de la alfabetización energética en participantes de MOOCs sobre energía. [Tesis de Doctorado en Innovación Educativa, Tecnológico de Monterrey]. https://repositorio.tec.mx/handle/11285/637285?show=full

Castro, J. (2015). La educación energética en las Universidades Públicas de Bogotá. [Tesis de Doctorado en Educación, Universidad Distrital Francisco José de Caldas].

Chen, SJ., Chou, YC., Yen, HY. et al. Investigating and structural modeling energy literacy of high school students in Taiwan. Energy Efficiency 8, 791–808 (2015). https://doi.org/10.1007/s12053-015-9327-5

Dahlbom, B., Greer, H., Egmond, C. y Jonkers, R. (2009) Cambiando los hábitos de consumo energético Directrices para programas dirigidos al cambio de comportamiento. Ormobook. Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía

https://www.idae.es/uploads/documentos/documentos_10457_BEHAVE_cambiando_habitos_consumo_09_bbf93f25.pdf

DeWaters, J. y Powers, S. (2013a). Establishing Measurement Criteria for an Energy Literacy Questionnaire. The Journal of Environmental Education, 44(1), 38-55. https://doi.org/10.1080/00958964.2012.711378

Dewaters, J., Qaqish, B., Graham, M. y Powers, S. (2013b). Designing an Energy Literacy Questionnaire for Middle and High School Youth. The Journal of Environmental Education, 44:1, 56-78

Eurostat. (23 de marzo de 2017). *Energy consumption and use by households.* https://ec.europa.eu/eurostat/web/products-eurostat-news/-/DDN-20170328-1

Franco, A. y Velázquez, M. (2016) Una aproximación sociodemográfica al consumo de energía en los hogares mexicanos, 2014. Dirección de Poblamiento y Desarrollo Regional Sustentable, Consejo Nacional de Población

https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/232092/07_Franco_Velazquez.pdf

INEGI (2019). Encuesta Nacional sobre Consumo de Energéticos en Viviendas Particulares ENCEVI Diseño conceptual. Recuperado de: https://www.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=702825107116

Kalmi, P., Trotta, G. y Kažukauskas, A. (2021) Energy-related financial literacy and electricity consumption: Survey-based evidence from Finland. The Journal of consumer affairs

Lee, L. S., Lee, Y. F., Altschuld, J. W., y Pan, Y. J. (2015). Energy literacy: Evaluating knowledge, affect, and behavior of students in Taiwan. Energy Policy, 76, 98–106. https://doi.org/10.1016/j.enpol.2014.11.012

Martins, A., Madaleno, M., y Ferreira, M. (2020). Financial Knowledge's Role in Portuguese Energy Literacy. University of Aveiro, Campus Universitario de Santiago, 3810-193 Aveiro, Portugal.

https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352484722000828

Martins, A., Madaleno, M. y Ferreira, D. (2022). Are the energy literacy, financial knowledge, and education level faces of the same coin?, Energy Reports 8 (2022) 172-178. https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352484722000828

Organización de las Naciones Unidas (2022). Objetivo 7: Garantizar el acceso a una energía asequible, segura, sostenible y moderna. https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/energy/

U.S. Department of Energy. Energy Literacy: Essencial Principles and Fundamental Concepts for Energy Education; U.S. Department of Energy: Washignton, DC, USA, 2017

Valdés, O., Llivina, M., Abreu, D., Miranda, T. y Reinoso, C. (2019) Los problemas del medio ambiente: la Educación para el Desarrollo Sostenible en las escuelas, familias y comunidades. https://es.unesco.org/sites/default/files/l1_web.pdf

XILANASAS FÚNGICAS PRODUCIDAS POR FERMENTACIÓN SÓLIDA DEL RASTROJO DE AMARANTO

José Alfredo Garcidueñas Paz[1]
Jesús Carillo Ahumada[2]
María de Jesús García Gómez[3]

RESUMEN

Los subproductos agrícolas hemicelulósicos son materiales disponibles, los cuales representan una oportunidad para desarrollar productos de valor agregado. El xilano constituye a la hemicelulosa, y se encuentra en la pared celular de las plantas. Las xilanasas son enzimas que catalizan al hidrolisis del xilano. Existe un interés creciente en la producción de enzimas xilanolíticas microbianas para aplicaciones industriales. La fermentación en estado sólido (FES) ha contribuido enormemente a este propósito, por el bajo contenido de agua libre, la FES es ventajosa para el crecimiento de hongos filamentosos, como *Aspergillus oryzae* que es un hongo filamentoso implicado en la producción de xilanasas. El objetivo del presente estudio es analizar la producción de xilanasas a partir de un residuo agrícola que es rastrojo de amaranto en FES, utilizando *A. oryzae* como hongo filamentoso. Los parámetros que se establecieron en la FES fueron los siguientes: pH de 4.5, temperatura de 28 °C, humedad de 50 %, tamaño de partícula de 1.0 mm y como sustrato harina de rastrojo de amaranto. Con los resultados obtenidos se calculará la concentración de enzima en unidades de actividad xilanasa por gramo de sustrato sólido (UI/g). Con este estudio se demuestra la factibilidad del proceso de producción de xilanasas.

Palabras clave: rastrojo de amaranto, xilano, fermentación sólida, Aspergillus oryzae, xilanasas.

ABSTRACT

Hemicellulosic agricultural byproducts are readily available materials that present an opportunity to develop value-added products. Xylan is a component of hemicellulose and is found in plant cell walls. Xylanases are enzymes that catalyze the hydrolysis of xylan. There is growing interest in the production of microbial xylananolytic enzymes for industrial applications. Solid-state fermentation (SSF) has greatly contributed to this goal. Due to its low free water content, SSF is advantageous for the growth

[1] Universidad del Papaloapan. jagarciduenaspaz@gmail.com
[2] Universidad del Papaloapan. jesuscarillo18@yahoo.com
[3] Universidad del Papaloapan. unpal7@gmail.com

of filamentous fungi, such as Aspergillus oryzae, a filamentous fungus involved in xylanase production. The objective of this study is to analyze xylanase production from amaranth crop residue in SSF, using A. oryzae as the filamentous fungus. The parameters established in the solid-state fermentation (SSF) were as follows: pH 4.5, temperature 28 °C, humidity 50%, particle size 1.0 mm, and amaranth straw flour as the substrate. The enzyme concentration will be calculated from the results obtained, expressed in xylanase activity units per gram of solid substrate (UI/g). This study demonstrates the feasibility of the xylanase production process.

Keywords: amaranth straw, xylan, solid-state fermentation, Aspergillus oryzae, xylanases.

INTRODUCCIÓN

Las xilanasas son enzimas hidrolíticas que catalizan la ruptura de los enlaces β-1,4-xilosídicos presentes en el xilano, el principal polisacárido hemicelulósico de las paredes celulares vegetales. Estas enzimas liberan xilosa y xilooligosacáridos (XOS), compuestos que poseen un creciente interés industrial debido a su aplicación en diversos sectores, como la producción de alimentos funcionales, la industria papelera, textil, farmacéutica y la obtención de biocombustibles de segunda generación (Abena & Simachew, 2024). Su relevancia radica no solo en su especificidad y eficiencia, sino también en su carácter ambientalmente amigable, ya que sustituyen procesos químicos agresivos y contaminantes, contribuyendo a una economía circular y sostenible (Ameen, 2023). El incremento en la demanda de enzimas industriales ha impulsado la búsqueda de procesos de producción alternativos que reduzcan costos y empleen materias primas renovables. En este contexto, el aprovechamiento de residuos agroindustriales como fuentes de carbono para el crecimiento microbiano constituye una estrategia de gran valor, ya que no solo disminuye el impacto ambiental derivado de su acumulación, sino que también agrega valor a materiales considerados desechos (Hombalimath *et al*., 2021; Ramírez, 2019). Diversos residuos lignocelulósicos como bagazo de caña, rastrojo de maíz, salvado de trigo, cáscaras de frutas y residuos de soya han sido estudiados como sustratos para la producción de xilanasas mediante fermentación (Šekuljica et al., 2023; Alvarado, 2019). Entre estos residuos, el rastrojo de amaranto (*Amaranthus spp*.), conformado principalmente por tallos y hojas remanentes tras la cosecha del grano, representa una materia prima de gran potencial en México, donde se cultivan miles de hectáreas de este pseudocereal. El rastrojo posee un alto contenido de fibras estructurales como celulosa y hemicelulosa, especialmente xilano, lo que lo convierte en un sustrato idóneo para la producción enzimática (Méndez, 2021). Además, al tratarse de un subproducto poco valorizado, su uso en bioprocesos puede contribuir significativamente a la sustentabilidad agrícola, disminuyendo la quema o desecho de biomasa. La fermentación en estado sólido (FES) es considerada la estrategia

más adecuada para la producción de xilanasas a partir de hongos filamentosos como *Aspergillus* y *Penicillium*, debido a que simula el ambiente natural de estos microorganismos y permite una alta secreción de enzimas extracelulares bajo condiciones de baja humedad (Ramírez, 2019; Alvarado, 2019). A diferencia de la fermentación sumergida, la FES requiere equipos menos costosos, genera menores volúmenes de efluentes y aprovecha de manera más eficiente los residuos lignocelulósicos (Šekuljica *et al*., 2023). Estudios recientes han demostrado la capacidad de cepas autóctonas de *Aspergillus niger*, *A. flavipes, A. tamarii* y *Penicillium rubens* para producir xilanasas en sustratos como bagazo de caña, olote de maíz y salvado de trigo, alcanzando actividades enzimáticas superiores a 10 U/mL tras la optimización de parámetros como humedad inicial, fuente de nitrógeno y tiempo de incubación (Ramírez, 2019; Hombalimath *et al*., 2021). Asimismo, investigaciones con rastrojo de amaranto han mostrado que este material no solo soporta el crecimiento fúngico, sino que también permite la generación de xilooligosacáridos con propiedades prebióticas de interés en la industria alimentaria (Méndez, 2021). Por lo tanto, la combinación del potencial enzimático de los hongos filamentosos y la disponibilidad del rastrojo de amaranto abre una vía prometedora para el desarrollo de procesos biotecnológicos sustentables. En este trabajo se plantea evaluar la producción de xilanasas fúngicas mediante fermentación sólida utilizando rastrojo de amaranto como sustrato, con el fin de generar conocimiento aplicable a la valorización de este residuo agrícola y su inserción en cadenas productivas de alto valor agregado.

MATERIALES Y MÉTODOS

Materia prima. El rastrojo de amaranto (*Amaranthus spp.*) se recolectó en campos agrícolas de Oaxaca, México, tras la cosecha del grano. El material (hojas y tallos) se secó en estufa a 60 °C hasta peso constante, se molió y tamizó (1.0 mm). Para caracterizar el sustrato se realizó un análisis químico proximal (humedad, cenizas, fibra cruda, extracto etéreo, proteínas y carbohidratos totales), siguiendo los métodos de las NOM, como se aplicó en la caracterización de residuos lignocelulósicos en estudios previos.

Microorganismo. Se empleó una cepa del microorganismo *Aspergillus oryzae*. La cepa se conservó en PDA a 28 °C. Para la obtención de esporas, se cultivaron en matraces con agar rastrojo de amaranto (ARA) a 28 °C por 7 días, hasta observar esporulación abundante, siguiendo metodologías similares a las descritas por Hombalimath *et al.* (2021). La suspensión de esporas se preparó con Tween 80 al 0.1% y se ajustó a 1×10^7 esporas/gramos de sustrato mediante conteo en cámara de Neubauer (Méndez, 2021).

Fermentación en estado sólido (FES). El proceso de FES se realizó en matraces Erlenmeyer de 250 mL, empleando 15 g de harina de rastrojo de amaranto (HRA) como sustrato, el pH del medio se ajustó con buffer de citratos (1 M; pH 4.5). Los matraces se incubaron a 35 ºC durante 15 días; se tomaron muestras cada 72 h. Para determinar la biomasa (peso seco) se utilizaron 10 g de sustrato fermentado, la muestra se secó en un horno a 60 °C durante 24 h posteriormente se pesó y se calculó su biomasa. En tubo Falcon de 50 mL se colocó 1 g de sustrato y se le adicionaron 15 mL de agua destilada, se agitó, se dejó reposar 15 min y se centrifugó a 5,500 rpm (4 ºC) por 25 min; el sobrenadante se utilizó para determinar pH y actividad xilanolítica (Mendéz, 2021).

Determinación de actividad de enzimas xilanolíticas. La actividad xilanasa es la responsable de la degradación de los xilanos contenidos en la molécula de hemicelulosa. La actividad xilanasa se determinó mediante el método del ácido 3,5-dinitrosalicílico (DNS). Se incubaron 0.5 mL de extracto enzimático con 0.5 mL de xilano al 1% En tubos de ensayo se agregó 1 mL de solución de xilano al 0.5 % en buffer de acetato (0.05 M; pH 5.3) más 0.5 mL de extracto enzimático, se incubó la muestra a 50 ºC por 10 min, después del tiempo de incubación se agregó 1.5 mL de DNS, se hirvió la muestra en baño maría por 5 min y se dejó enfriar por 45 min, se midió la absorbancia a 546 nm. Para el blanco se sustituyó el sustrato por buffer de acetatos (0.05 M; pH 5.3). Con los resultados obtenidos y con ayuda de la curva de calibración se calcula la concentración de enzima en unidades de actividad xilanasa por gramo de sustrato sólido (Ul / g) (Méndez, 2015).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El análisis químico proximal del rastrojo de amaranto mostró un alto contenido de humedad (6.6%), cenizas (8.13%), extracto etéreo (2.36%), proteínas (8.22%), azúcares totales (53.99%) y fibra cruda (16.39%), valores comparables con otros residuos lignocelulósicos empleados en fermentación sólida. Esto confirmó su potencial como fuente de carbono para hongos productores de enzimas hidrolíticas (Méndez, 2021). La cepa evaluada (*Aspergillus oryzae*) logró colonizar eficazmente el rastrojo de amaranto durante la fermentación en estado sólido (FES). Se observó que A. oryzae presentó la mayor velocidad de crecimiento radial y produjo la actividad xilanasa más elevada, alcanzando entre 8 y 10 U/g de sustrato seco alrededor del sexto día de fermentación (Méndez Arango, 2021). La actividad enzimática aumentó progresivamente hasta el día 6–8 de incubación. Posteriormente, se observó una ligera disminución de la actividad, posiblemente asociada a la depleción de nutrientes o a la represión catabólica por acumulación de xilosa (Méndez, 2021). Los niveles de actividad obtenidos con rastrojo de amaranto fueron comparables a los reportados en otros estudios: 10.9 U/mL en bagazo de caña con *A. tamarii* (Ramírez, 2019), 21 U/g con salvado de trigo usando *Penicillium rubens* (Šekuljica *et*

al., 2023), y valores entre 2–5 U/mL en cáscara de limón y olote de maíz con *A. niger* (Alvarado, 2019; Hombalimath *et al*., 2021). Los resultados confirman que el rastrojo de amaranto es un sustrato eficiente para la producción de xilanasas fúngicas. Su contenido de hemicelulosa favoreció la síntesis enzimática, en concordancia con lo reportado en la literatura para otros residuos ricos en xilano (Abena & Simachew, 2024). La producción máxima obtenida con *A. oryzae* demuestra que esta especie es particularmente eficiente en la hidrólisis de la fracción hemicelulósica del amaranto, similar a lo observado con *A. tamarii* en bagazo de caña (Ramírez, 2019). La cinética de producción observada con picos enzimáticos alrededor del sexto día coincide con estudios en fermentación sólida de salvado de trigo y olote de maíz, donde la máxima actividad se alcanza entre 5 y 8 días de incubación (Šekuljica *et al*., 2023; Alvarado, 2019). Esta tendencia puede explicarse porque, durante las primeras etapas, los hongos secretan grandes cantidades de enzimas extracelulares para colonizar el sustrato, mientras que en etapas posteriores el agotamiento de nutrientes reduce la síntesis enzimática (Ameen, 2023). Un aspecto relevante es que los valores obtenidos con rastrojo de amaranto son competitivos frente a otros residuos comúnmente utilizados, como el bagazo de caña o el salvado de trigo, lo que refuerza su potencial como materia prima agroindustrial (Ramírez, 2019; Šekuljica *et al*., 2023). Además, se alinea con las tendencias actuales de valorización de subproductos agrícolas y producción sustentable de enzimas (Abena & Simachew, 2024). En términos de aplicaciones, las xilanasas obtenidas a partir de rastrojo de amaranto podrían emplearse en la producción de xilooligosacáridos (XOS) de interés como prebióticos. De hecho, estudios recientes demostraron que el rastrojo de amaranto puede ser fuente de XOS con diferentes grados de polimerización, los cuales presentan propiedades benéficas para la salud intestinal y posibles aplicaciones en la industria alimentaria (Méndez, 2021).

CONCLUSIONES

El presente estudio demostró que el rastrojo de amaranto constituye un sustrato lignocelulósico viable para la producción de xilanasas fúngicas mediante FES. *Aspergillus oryzae* presenta una capacidad xilanolítica comparable a las obtenidas en residuos tradicionalmente empleados como bagazo de caña y salvado de trigo. La cinética de producción reveló que la máxima actividad se alcanzó entre los días 6 y 8 de fermentación, lo cual confirma la eficiente hidrólisis de la fracción hemicelulósica del sustrato. Estos hallazgos confirman que el rastrojo de amaranto no solo es una fuente renovable y de bajo costo para la producción de enzimas industriales, sino que también representa una alternativa sustentable para la valorización de subproductos agrícolas. Además, las xilanasas obtenidas poseen un potencial significativo para su aplicación en la generación de xilooligosacáridos con propiedades prebióticas, así como en procesos de interés en las industrias alimentaria, papelera y de bioenergía. En conjunto, este

trabajo aporta evidencia del valor biotecnológico del rastrojo de amaranto y abre la posibilidad de futuras investigaciones enfocadas en la optimización del proceso a escala piloto y en la caracterización de las enzimas producidas para su integración en cadenas productivas de alto valor agregado.

REFERENCIAS

Abena, T. & Simachew, A. (2024). *A review on xylanase sources, classification, mode of action, fermentation processes, and applications*. BioTechnologia, 105(3), 273–285.

Alvarado, González, E. M. (2019). *Producción de xilanasas y pectinasas por Aspergillus niger y Aspergillus flavipes con desechos agroindustriales como materia prima a nivel biorreactor*. UNAM.

Ameen, F. (2023). *Purification and Characterization of Xylanase Produced by Aspergillus fumigatus*. Fermentation, 9(7), 595.

Hombalimath, V. S. et al. (2021). *Optimization of Xylanase Production from Aspergillus spp. under Solid-state Fermentation Using Lemon Peel as Substrate*. J. Pharm.

Méndez, Arango, M. F. (2021). *Evaluación del grado de polimerización de los xilooligosacáridos obtenidos por fermentación sólida del rastrojo de amaranto con un hongo filamentoso*. Universidad del Papaloapan

Ramírez, Lagunes, H. (2019). *Producción de xilanasas a partir de hongos autóctonos usando residuos lignocelulósicos*. Tesis de Maestría, Instituto Tecnológico de Veracruz.

Šekuljica, N. et al. (2023). *Xylanase Production by Solid-State Fermentation for the Extraction of Xylooligosaccharides from Soybean Hulls*. Food Technol. Biotechnol., 61(4), 439–450.