

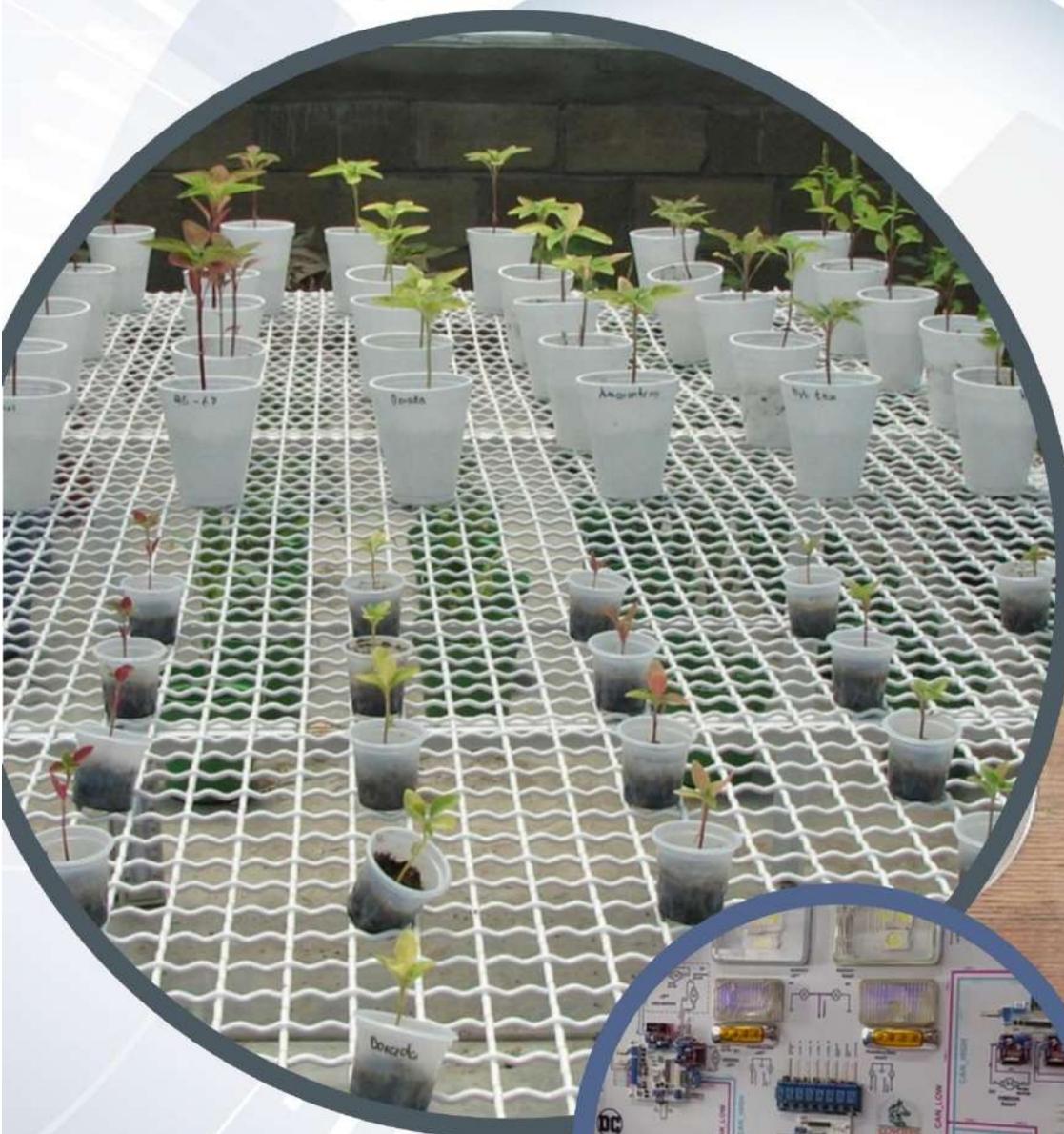


AVANCE TECNOLÓGICO

Cultura, conocimiento y divulgación

32

EDICIÓN SEMESTRAL JULIO-DICIEMBRE 2023
ISSN: 2594-1089





Año 16, No. 32, julio – diciembre 2023, México,
Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico
Superior de Libres, ISSN: 2594-1089

DIRECTORIO

C. María Isabel Merlo Talavera
Secretaría de Educación Pública

Mtra. Ida Gabriela Hernández García
Subsecretaría de Educación Superior

Mtro. Omar Chávez Cano
Dirección General

Ing. Marco Antonio Palomino Sánchez
Dirección Académica

C.P. Fabián Rodríguez Cantero
Dirección de Planeación y Vinculación

Ing. José Enrique Vélez Ortega
Presidente del Consejo

Dr. Daniel Alejandro García López
Dr. Misael Mundo Coxca
Dra. Dulce María Martínez Ángeles
Dra. Mariana Lobato Báez
Mtra. Sagrario Alejandre Apolinar
MSC. Elmar Montiel Jiménez
M.C. Martha Irene Bello Ramírez
Mtro. Román Pérez Saldaña
Mtro. Ángel David Flores Torres
Mtro. Guillermo Córdova Morales
Mtro. Rodrigo González Ramírez
Consejeros de Contenido y Redacción

Lic. Iván Guerrero Flores
Lic. Julieta Román Juárez
Edición y Diseño de Publicación

Lic. Juan Antonio González Fuentes
Consejero de Vinculación

INFORMACIÓN LEGAL

Avance Tecnológico, año 16, No. 32, julio – diciembre 2023. Es una publicación semestral editada por el Instituto Tecnológico Superior de Libres, Camino Real S/N, Barrio de Tétela, Libres, Puebla, C.P. 73780, Tel. (276) 4730828.

www.libres.tecnm.mx

avancetecnologico@libres.tecnm.mx

Reserva de Derechos al uso exclusivo: 04-2017-081513312100-203, y con ISSN 2594-1089 aprobado por el Instituto Nacional de Derecho de Autor. Los artículos presentados expresan la opinión de sus autores y no representan forzosamente el punto de vista del Instituto Tecnológico Superior de Libres.

Se prohíbe estrictamente la reproducción total o parcial de este documento sin autorización expresa del Instituto Tecnológico Superior de Libres.

ÍNDICE

- 4** Editorial
- 7** Caracterización morfológica y ecológica de la plasticidad fenotípica en *Amaranthus spp*: perspectiva ante un clima cambiante.
- 16** Comparación de tres bioinsumos agrícolas mediante microbiológica y pruebas de fitotoxicidad.
- 23** Creación de panel didáctico con protocolo de comunicación CAN.
- 32** Diseño e implementación de una interfaz gráfica en Python para el control manual de un mini dron tipo Tello.
- 37** Estudio de las Empresas Logísticas de la Zona Libre de la Frontera Norte que han Implementado el Offshoring en sus Estrategias de Comercio Internacional.
- 45** Diseño y análisis de la metodología de evaluación de la eficiencia térmica de un proyecto de investigación denominado: colector térmico.

EDITORIAL

La Revista Avance Tecnológico presenta en su edición semestral julio-diciembre 2023, 6 artículos científicos tecnológicos generados por miembros de la comunidad académica del Instituto Tecnológico Superior de Libres, el Instituto Tecnológico Superior de Perote y Universidad Politécnica de Tecámac.

En la presente edición se describen diversas investigaciones, que incluyen los temas siguientes:

Caracterización morfológica y ecológica de la plasticidad fenotípica en *Amaranthus spp.* ante un clima cambiante:

El artículo aborda el estudio de la plasticidad fenotípica del amaranto (*Amaranthus spp.*), un cultivo con gran potencial frente al cambio climático. Este trabajo evalúa variables morfológicas y ecológicas de cuatro especies domesticadas y dos especies silvestres bajo condiciones de crecimiento restrictivas (diferentes tamaños de maceta). Se encontró que las variedades de amaranto Benito y Nutrisol no lograron formar semillas en las condiciones más restrictivas, mientras que las especies silvestres y la variedad Amaranteca presentaron los menores porcentajes de germinación tras un año de almacenamiento. Las semillas de plantas cultivadas en macetas más grandes y almacenadas durante diez años mostraron porcentajes de germinación superiores al 76%, excepto *A. hybridus* Morelos.

Este estudio destaca la importancia de comprender la plasticidad fenotípica en el amaranto para enfrentar los desafíos del cambio climático y su potencial adaptativo en ambientes agroclimáticos adversos. Los resultados sugieren la necesidad de continuar investigando esta plasticidad desde perspectivas genéticas y agronómicas para mejorar el cultivo y su capacidad de adaptación.

Gestión del marketing de contenidos como estrategia para incrementar las ventas de emprendedoras en negocios por internet: Un estudio de caso en Perote Veracruz:

El artículo examina el papel crucial del marketing de contenidos como una estrategia efectiva para aumentar las ventas de las Nuevas Emprendedoras de Negocios por Internet (NENIS) en Perote, Veracruz. En un entorno empresarial donde la competencia es feroz

y las ventas en línea son cada vez más vitales, el estudio se centra en cómo estas emprendedoras pueden utilizar herramientas digitales como redes sociales para mejorar su presencia y ventas en línea. A través de un diagnóstico exhaustivo, se identificaron los desafíos que enfrentan las emprendedoras, así como las oportunidades que ofrece el marketing de contenidos para superar estos obstáculos y fortalecer sus negocios.

El artículo subraya la importancia de crear y compartir contenido relevante y valioso en plataformas digitales para atraer al público objetivo, establecer una presencia en línea sólida y construir relaciones duraderas con los clientes. Además, el estudio detalla la metodología utilizada para recopilar datos, incluyendo encuestas y listas de verificación, que permitieron una comprensión profunda de las prácticas actuales de marketing de contenidos entre las NENIS en Perote, Veracruz.

Comparación de tres bioinsumos agrícolas mediante microbiológica y pruebas de fitotoxicidad:

Este artículo aborda la creciente preocupación por los efectos negativos de la agricultura industrializada, como la pérdida de biodiversidad y la contaminación ambiental debido al uso excesivo de agroquímicos. Con el fin de promover prácticas agrícolas más sostenibles, se exploró la efectividad de tres bioinsumos agrícolas: microorganismos de montaña, lixiviados de lombriz y té de humus. Se realizaron análisis microbiológicos y pruebas de fitotoxicidad para evaluar el contenido microbiano y la toxicidad potencial de estos bioinsumos. Los resultados mostraron que los microorganismos de montaña presentaron el mayor contenido microbiano, seguidos por los lixiviados de lombriz y el té de humus. En cuanto a la fitotoxicidad, el té de humus mostró un comportamiento no fitotóxico, mientras que los otros dos bioinsumos resultaron fitotóxicos si no se diluyen adecuadamente. Estos hallazgos subrayan la importancia de controlar la conductividad eléctrica durante la elaboración de bioinsumos para evitar efectos adversos en los cultivos.

Creación de panel didáctico con protocolo de comunicación CAN:

El artículo detalla el desarrollo de un panel didáctico que permite observar el comportamiento del protocolo

de comunicación CAN (Controller Area Network), ampliamente utilizado en la industria automotriz. El objetivo principal del proyecto es facilitar la comprensión del protocolo CAN para estudiantes de Ingeniería en Sistemas Automotrices, integrando conocimientos teóricos y prácticos.

El trabajo comienza con una exhaustiva investigación sobre el protocolo CAN, explorando los tipos de datos que maneja y cómo se transmiten. Con esta base, se procede a la programación de microcontroladores ATmega328P mediante el uso del software Arduino, configurándolos como ECU's (Unidades de Control Electrónico) para manipular diversos elementos automotrices como luces, espejos y vidrios.

El proyecto sigue una metodología en cascada (Waterfall), que incluye etapas de análisis, diseño, implementación, verificación y mantenimiento. Se detallan los componentes utilizados, como el módulo CAN MCP2515, y se presentan los resultados obtenidos a través de pruebas técnicas, validando el correcto funcionamiento del sistema desarrollado.

Diseño e implementación de una interfaz gráfica en Python para el control de navegación de un mini dron tipo Tello:

El artículo describe el desarrollo de una interfaz gráfica utilizando Python y Tkinter para el control manual de un dron Tello. El Tello, diseñado para ser una herramienta educativa accesible, es controlado a través de la programación en Python, utilizando la biblioteca *djitello.py*. La interfaz permite ejecutar funciones básicas de vuelo como despegue, aterrizaje, y movimientos direccionales, y también muestra imágenes en tiempo real capturadas por la cámara del dron.

El desarrollo de esta interfaz fue probado en el laboratorio de electromecánica del Instituto Tecnológico Superior de Libres, demostrando una respuesta efectiva y adecuada del dron a los comandos de navegación en tiempo real. El artículo subraya la simplicidad y efectividad de la interfaz, haciéndola adecuada para aplicaciones educativas y para usuarios principiantes.

Además, se discuten trabajos previos donde el dron Tello ha sido utilizado en diversos campos como la educación, la agricultura de precisión y el desarrollo de algoritmos de control y navegación, destacando su versatilidad.

Las conclusiones apuntan a la utilidad de la interfaz gráfica como herramienta educativa y sugieren la posibilidad de futuras mejoras, como la integración con sistemas más avanzados como ROS para mejorar la funcionalidad y control del dron.

En este artículo se presenta el diseño de una interfaz gráfica desarrollada en Python para controlar un mini dron Tello, facilitando la navegación y potenciando su uso en aplicaciones educativas.

Estudio de las Empresas Logísticas de la Zona Libre de la Frontera Norte que han Implementado el Offshoring en sus Estrategias de Comercio Internacional:

El artículo examina las empresas logísticas de la Zona Libre de la Frontera Norte de México que han adoptado el offshoring en sus estrategias de comercio internacional. El estudio tiene un enfoque cualitativo, basado en un paradigma interpretativo y un método etnográfico. A través de la reubicación de operaciones en el extranjero, las empresas logran reducir costos logísticos, optimizar la cadena de suministro, mejorar la capacidad de respuesta al mercado y acceder a nuevos mercados internacionales. Sin embargo, también deben gestionar cuidadosamente los riesgos geopolíticos y regulatorios asociados con esta estrategia.

El offshoring, al fragmentar la producción, permite a las empresas especializarse en diferentes fases del proceso productivo, aprovechando las ventajas competitivas de distintas regiones. A pesar de los beneficios significativos como la reducción de costos y la apertura a nuevos mercados, también se presentan desafíos, como la pérdida de propiedad intelectual y la complejidad en la gestión cultural y lingüística.

El artículo concluye que, para el año 2024, se espera una reducción del 10% en los costos para las empresas que implementen estrategias de offshoring. Además, destaca la importancia de un seguimiento continuo para evaluar el impacto de estas estrategias en la Zona Libre de la Frontera Norte.

Diseño y análisis de la metodología de evaluación de la eficiencia térmica de un proyecto de investigación denominado: colector térmico:

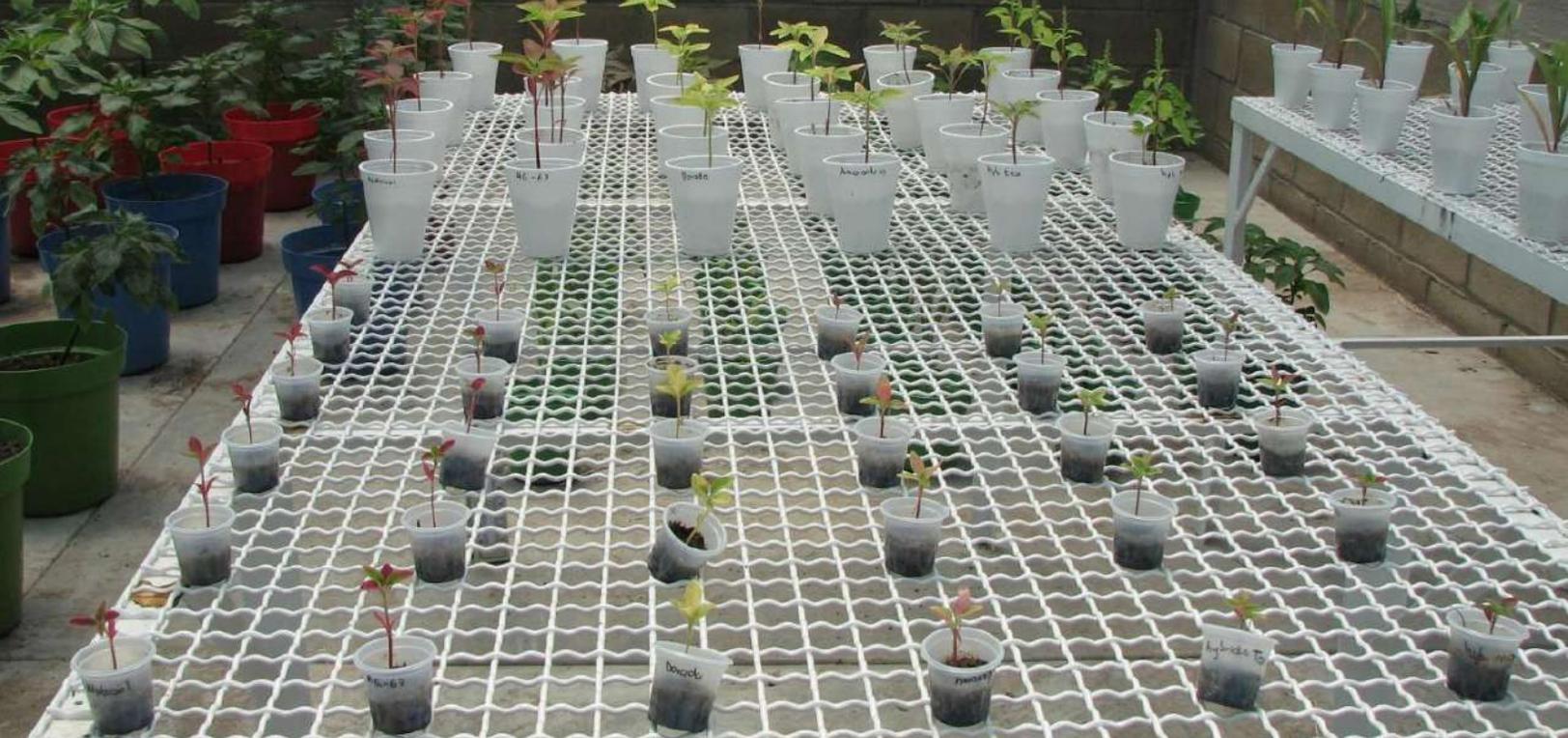
El artículo aborda un problema crítico en el contexto mexicano: la baja eficiencia térmica de las estufas y parrillas de gas, utilizadas en el 85% de los hogares. La

investigación se centra en el desarrollo de un prototipo de "Colector térmico" diseñado para mejorar la eficiencia térmica durante la cocción de alimentos.

El estudio presenta una metodología rigurosa basada en el diseño de experimentos unifactorial y el análisis de varianza (ANOVA) utilizando el software Minitab. Los resultados iniciales indican que el colector térmico no tiene un impacto significativo en la eficiencia térmica comparado con el uso sin colector. Sin embargo, se destaca la capacidad del colector para absorber y conservar calor, lo que podría representar un valor añadido en aplicaciones futuras.

A lo largo del artículo, se detallan tanto el proceso experimental como las herramientas estadísticas empleadas, subrayando las limitaciones y áreas de mejora del prototipo. La investigación concluye que, aunque el colector no mejora la eficiencia térmica de manera significativa, su capacidad de retención de calor podría ser explorada en futuros estudios, especialmente en el contexto de la cocción de alimentos.

Finalmente, se sugieren recomendaciones para mejorar el diseño del colector y se plantean nuevas líneas de investigación para evaluar su rendimiento en condiciones más amplias.



Caracterización morfológica y ecológica de la plasticidad fenotípica en *Amaranthus spp*: perspectiva ante un clima cambiante

*A. Barrales-López¹, E. Espitia-Rangel², G. Acosta-García³, M. J. Aguilar-Delgado⁴

¹ TecNM / Instituto Tecnológico Superior de Libres, División de Ingeniería en Innovación Agrícola Sustentable, Camino Real S/N, Barrio de Tetela, C.P. 73780, Libres, Puebla, México.

*angelica.bl@libres.tecnm.mx

² INIFAP / Campo Experimental Valle de México, carretera Los Reyes Texcoco, km 13.5. C. P. 56250, Coatlinchán, Texcoco, Estado de México, México.

³ Instituto Tecnológico de Celaya, Departamento de Ingeniería Bioquímica. Antonio García Cubas Pte. #600. Av. Tecnológico, Celaya, Guanajuato, México. C.P. 38010.

⁴ Universidad Autónoma de Chihuahua / Facultad de Ciencias Agrotecnológicas, calle La Presa de la Amistad #2015, Barrio La Presa, C.P. 31510, Ciudad Cuauhtémoc, Chihuahua, México.

RESUMEN

El amaranto es un cultivo con buenas cualidades agronómicas como nutraceuticas y podría jugar un papel importante ante la crisis alimentaria y el cambio climático desde el punto de vista ecológico, agronómico y nutricional. El estudio de la plasticidad es un fenómeno complejo a largo plazo, pero se puede comenzar a estudiar las respuestas plásticas a corto plazo de los genotipos existentes. Sin embargo, son pocos los estudios realizados en *Amaranthus spp.* de variedades cultivadas que estudien dicha característica, varios autores mencionan que no está claro si la domesticación ha llevado a un aumento o disminución de la plasticidad. Con base en lo anterior, el objetivo de este trabajo fue evaluar algunas variables morfológicas y ecológicas de 4 especies domesticadas y 2 especies silvestres en respuesta a condiciones restrictivas (tamaño de maceta). Se encontró que las

variedades Benito y Nutrisol no lograron formar semillas en el tamaño de maceta que contenía 0.01 kg de sustrato; de las plantas que lograron tener semilla, las especies silvestres y Amaranteca fueron las que menor porcentaje de germinación presentaron después de 1 año de almacenamiento. Por otra parte, las semillas que provenían de las plantas cultivadas en macetas que contenían 10 kg de sustrato y después de 10 años de almacenamiento tuvieron porcentajes de germinación mayor a 76%, excepto *A. hybridus* Morelos (2 %). Además, se encontraron diferencias significativas entre los factores evaluados y sus interacciones para todas las variables morfológicas evaluadas.

Palabras Clave: amaranto, cambio climático, dormancia, semilla.

Introducción

En el mundo varios países toman los pronósticos climáticos en la planeación de sus actividades, porque dichos cambios ambientales alteran la disponibilidad de recursos y agregan incertidumbre en la producción de alimentos, por lo que es de suma importancia comprender las respuestas plásticas de las especies para predecir y manejar los efectos del cambio climático (Nicotra et al., 2010).

De acuerdo con Conde (2006), la agricultura de temporal en México (que depende de las lluvias de verano) sería fuertemente afectada; el agua disponible (de por sí escasa) será más peleada entre las ciudades, los cultivos y las industrias.

Con base en lo anterior el amaranto juega un papel importante ya que ha mostrado ser una especie altamente plástica. La plasticidad fenotípica se ha definido como la capacidad que presentan los organismos de modificar su fenotipo en respuesta a cambios de las condiciones ambientales (Bradshaw, 1965), pero la plasticidad no solo se estudia desde el punto de vista morfológico y fisiológico, sino que tiene un potencial valor adaptativo (plasticidad adaptativa), ya que modula la acción de la selección natural (Price et al., 2003; Whitman y Agrawal, 2009).

Desde el punto de vista agronómico, el amaranto es un cultivo que prospera en regiones de temporal de baja precipitación donde los cultivos básicos tienen poco éxito. Es muy resistente a la sequía, alta intensidad luminosa, la salinidad y requiere menor cantidad de agua para completar su ciclo de vida. Es un cultivo fácil de establecer y crece vigorosamente, adaptándose a nuevos medios. Es un cultivo muy popular debido a la rápida tasa de crecimiento, la adaptabilidad a diferentes condiciones agroclimáticas, a su alto potencial de producción y a la resistencia al ataque de plagas y enfermedades (Mapes, 2010; Espitia et al. 2021).

Por otra parte, Gianoli (2004), menciona que la identificación de la base genética de la plasticidad a escala molecular es otra línea de investigación promisoría en el campo y contribuiría más a la integración disciplinaria en el estudio de la plasticidad fenotípica. Sin embargo, la plasticidad es un mecanismo que no es tan fácilmente detectado desde el punto de vista genético, ya que los cambios en poblaciones naturales no son tan rápidos, debido a que

las condiciones ambientales son más estables y homogéneas comparadas con los agroecosistemas, donde el hombre altera las condiciones, y es aquí donde podemos encontrar cambios morfológicos y fisiológicos de las plantas como respuesta a la variación ambiental.

Por tal motivo, con este trabajo se pretende comenzar a dilucidar y caracterizar la plasticidad fenotípica en *Amaranthus spp.* desde el punto de vista morfológico y ecológico.

Metodología

Ubicación

Para la evaluación del comportamiento del desarrollo de amaranto, el experimento se estableció en julio del 2013, en un invernadero, dentro de las instalaciones del campo Experimental Bajío del INIFAP, Carretera Celaya San Miguel de Allende, Km 6.5, Celaya, Gto., México.

Material vegetal

Se usaron 4 especies cultivadas del género *Amaranthus*:

- a) *A. hypochondriacus* raza Azteca var. Nutrisol
- b) *A. hypochondriacus* raza Nepal var. Chichiltic
- c) *A. cruentus* raza Mexicana var. Benito
- d) *A. cruentus* raza Mexicana var. Amaranteca

También se usaron dos accesiones silvestres:

- a) *A. hybridus* proveniente de Morelos, Mex.
- b) *A. hybridus* proveniente de Texcoco, Mex.

Diseño experimental y variables evaluadas

Se estableció un experimento factorial 6 x 4, los factores evaluados fueron genotipo y tamaño de maceta. Se usaron 4 tamaños de recipientes, los cuales contenían la siguiente cantidad de sustrato (suelo y composta, relación 1:1 p/p):

- Maceta 1= 0.01kg
- Maceta 2= 0.1 kg
- Maceta 3= 1kg
- Maceta 4= 10 kg de sustrato

Cada tratamiento se replicó 5 veces (Figura 1) y la cantidad de sustrato en cada tamaño de maceta representa progresivamente las condiciones limitantes en las que crece el amaranto.



Figura 1. Tamaños de recipiente evaluados A) 0.01 kg, B) 0.1 kg, C) 1 kg y D) 10 kg de sustrato.

Para comparar el efecto del tamaño de maceta y el genotipo, se realizaron 7 muestreos en diferentes etapas del ciclo de desarrollo de las plantas en los que se tomaron las siguientes variables morfológicas: Número de Hojas (NH), Altura de Planta (AP) y Diámetro de Tallo (DT). Las variables ecológicas evaluadas fueron la formación de semilla y el porcentaje de germinación.

Las pruebas de germinación se realizaron en dos momentos, al año después de haberse colectado la semilla (abril del 2015) y a los 10 años (agosto del 2023). La primera prueba se realizó en cajas Petri, colocando 20 semillas en cada una, proveniente de los tamaños 0.1 a 10 kg, e incubándose en una cámara de crecimiento a una temperatura constante de 23.5 °C. El número de semillas para la prueba de germinación de los tratamientos que provenían del tamaño de 0.01 kg

fue menor a 20 semillas. A los 9 días se contó el número de semillas germinadas.

Para la segunda prueba de germinación, se colocaron 50 semillas de cada genotipo provenientes del tamaño de maceta 4, colocadas en dos tipos de charolas y con (arenilla blanca, profundidad de siembra de 3 a 5 mm) y sin sustrato (en servilletas húmedas, dentro de una bolsa de plástico). Las charolas se establecieron a temperatura ambiente del 9 al 12 de agosto del 2023, por lo que se tomaron las temperaturas mínimas y máximas para calcular los grados días de desarrollo durante 9 días para contar el número de semillas germinadas (Figura 2).



Figura 2. Condiciones usadas para las pruebas de germinación.
A) Cámara de crecimiento, B) Charolas de unicyl con sustrato y C) sin sustrato.

Análisis estadístico

Se realizaron pruebas de homogeneidad de varianzas de Levene; las variables que cumplieron dicha homogeneidad, se realizó un análisis de varianza (ANOVA). En el caso de presentarse diferencias significativas ($p \leq 0.05$), se realizó una prueba de comparación de medias Tukey ($p \leq 0.01$). Los análisis se realizaron con el programa estadístico SAS System.

Resultados y discusión

Respuestas morfológicas y ecológicas

Existe evidencia de la importancia de la plasticidad en las plantas por efecto del cambio climático tanto en los sistemas naturales como en los agrícolas. Con respecto a los cultivos tradicionales se están enfocando estudios interdisciplinarios por amenazas ante una crisis alimentaria ante los efectos adversos del cambio climático sobre todo en la distribución de la precipitación pluvial durante la estación de crecimiento de los cultivos, y poder seleccionar características favorables de las plantas para obtener mayores rendimientos o en su defecto lograr tener cosecha.

En este trabajo se pretende comenzar a sentar las bases para el estudio de la adaptación inmediata y su posterior adaptación o evolución a condiciones limitantes a nivel individual, o si la plasticidad no es adaptativa podría proporcionar nuevos fenotipos importantes en la evolución fenotípica. En este trabajo se estableció una diferencia proporcional entre el mayor tamaño de maceta y el más pequeño de 1:1000 veces (Figura 3).



Figura 3. Relación proporcional (1:1000) entre el tamaño de maceta mayor (A) y la menor (B).

En la condición más restrictiva de crecimiento que correspondió a la maceta 1, las variedades Benito y Nutrisol no lograron formar semilla, el resto de las especies evaluadas Amaranteca, Chichiltic y las accesiones silvestres, si lograron formar semillas (9, 19 y >19 respectivamente). De acuerdo con Stowe et al. (2000), una característica importante para considerar tolerante un genotipo, es el efecto que produce el daño sobre la producción de semillas y su viabilidad en comparación con plantas no dañadas, por lo que de acuerdo con dichos resultados una especie cultivada y las dos accesiones silvestres fueron los genotipos más tolerantes.

En todas las variables morfológicas evaluadas se encontraron diferencias significativas debido al efecto del tamaño de maceta, siendo el mejor tratamiento los genotipos que se desarrollaron en la maceta 4 (Tabla 1).

Tabla 1. Comparación de medias del ANAVA, debido al efecto del tamaño de maceta para las variables AP, NH y DT en todos los genotipos evaluados.

Tamaño de maceta	Variables		
	Altura de planta (cm)	Número de hojas	Diámetro de tallo
Maceta 1 (0.01 kg)	4.43 d	5.65 d	1.22 c
Maceta 2 (0.1 kg)	19.89 c	10.42 c	2.17 c
Maceta 3 (1 kg)	42.77 b	14.55 b	5.64 b
Maceta 4 (10 kg)	94.42 a	28.89 a	11.05 a

Los valores con diferente letra en de cada columna son significativamente diferentes.

Las especies silvestres fueron las que mayor AP desarrollaron en cualquier ambiente restrictivo, lo que apoya los estudios de que las plantas domesticadas presentan deriva génica que les ayuda a adaptarse a diversos efectos adversos bióticos como abióticos.

En el NH no se observa una tendencia entre las especies silvestres y cultivadas, aunque si hay diferencias significativas entre los genotipos, siendo Chichiltic la que mayor NH presentó. Tampoco se observó una tendencia del DT entre las especies cultivadas y silvestres (Tabla 2).

Tabla 2. Comparación de medias del ANAVA, debido al efecto del genotipo para las variables AP, NH y DT.

Genotipo	Variables		
	Altura de planta (cm)	Número de hojas	Diámetro de tallo
Hibrido Morelos	48.01 a	9.33 e	3.16 c
Hibrido Texcoco	44.99 a	13.16 d	4.26 bc
Nutrisol	41.29 b	18.12 b	5.77 ab
Amaranteca	38.07 c	15.51 c	5.71 ab
Chichiltic	37.79 c	20.87 a	5.97 a
Benito	37.28 c	13.89 d	6.24 a

Los valores con diferente letra en cada columna son significativamente diferentes.

En cuanto a la tendencia de crecimiento para la AP y DT, se observa una tendencia positiva proporcional al tiempo en el que se estableció el experimento, no así para la variable NH, esto se debe a que los muestreos 1 y 2 corresponde a la etapa vegetativa en la que se comienzan a formar las hojas, el muestreo 4 y 5 corresponde a las etapas de máximo desarrollo y los muestreos 6 y 7 corresponden a la etapa de senescencia (Tabla 3).

Tabla 3. Comparación de medias del ANAVA, debido a la fecha de muestreo en la evaluación de las variables AP, NH y DT en todos los genotipos evaluados.

Número de muestreo	Variables		
	Altura de planta (cm)	Número de hojas	Diámetro de tallo
M7	82.09 a	17.77 b	7.13 a
M6	72.21 b	16.68 b	6.79 a
M5	58.25 c	20.45 a	6.59 a
M4	41.91 d	21.38 a	5.95 a
M3	29.92 e	17.3 b	5.43 a
M2	13.17 f	10.2 c	3.28 b
M1	4.7 g	4.0 d	1.91 b

Los valores con diferente letra en cada columna son significativamente diferentes.

En la interacción genotipo y tamaño de recipiente, se observó un mejor desarrollo en la variedad Nutrisol para todas las variables morfológicas AP, NH y DT. La accesión *A. hybridus* Morelos fue el que tuvo un menor desarrollo para las variables evaluadas (Figura 4).

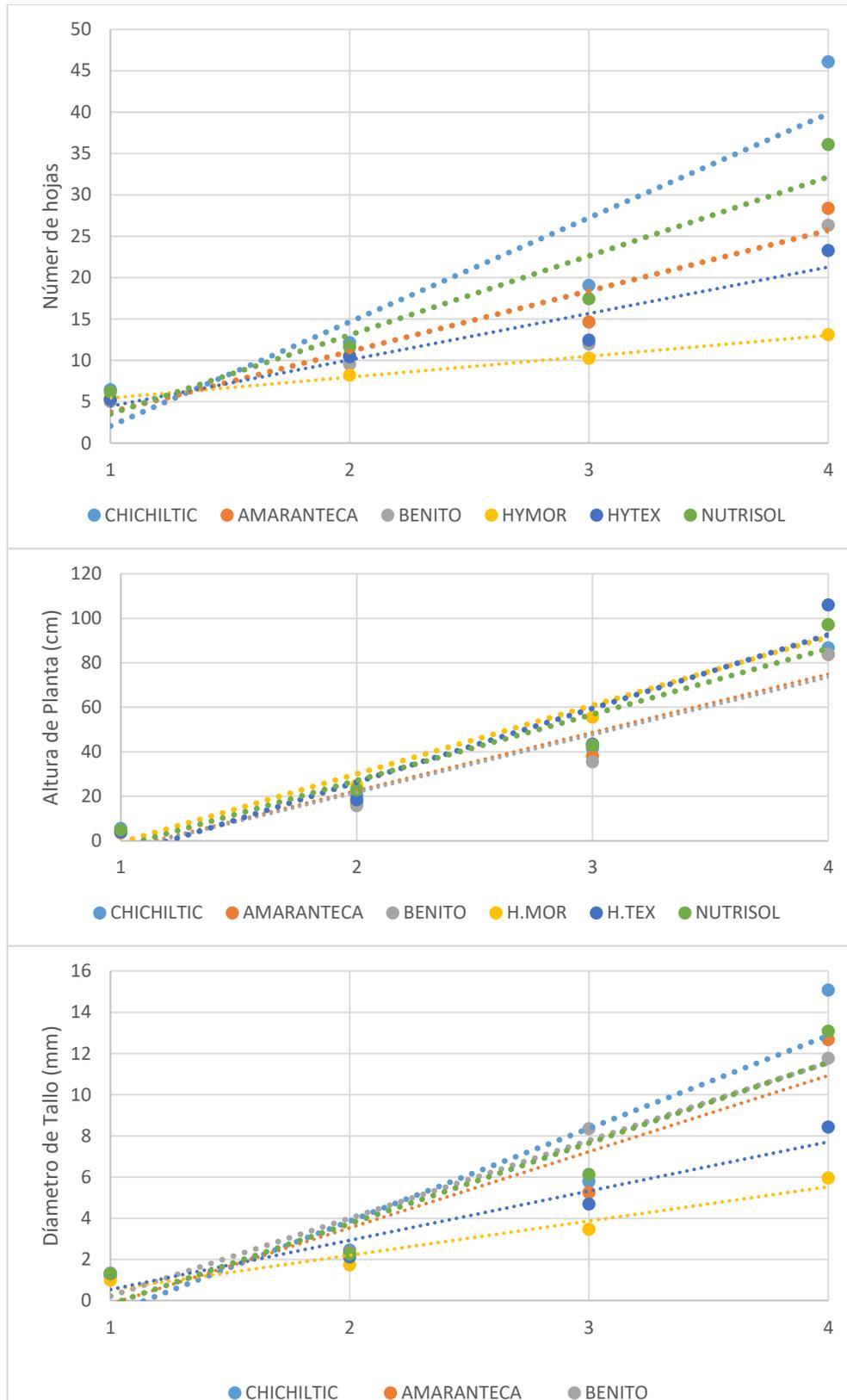


Figura 4. Interacción entre genotipos y los cuatro tamaños de recipiente para NH, AP y DT.

Formación de semilla y porcentaje de germinación

En el estudio de las respuestas plásticas por efecto del tamaño de maceta a nivel de individuo y dentro de una perspectiva ecofisiológica, las plantas presentan una tendencia a maximizar la explotación del recurso cuya disponibilidad es limitante. De acuerdo con Gianoli (2004), la evaluación de las respuestas óptimas se complica cuando existe más de un factor limitante, encontrándose las plantas en situaciones de compromiso entre diferentes respuestas funcionales.

No obstante, cualquier característica puede mostrar plasticidad fenotípica, el concepto primero fue aplicado a las características morfológicas, pero también los organismos presentan alteración a nivel bioquímico y fisiológico en respuesta al ambiente.

Por otra parte, si se analizan dichas respuestas desde una perspectiva agronómica, no representaría un valor significativo si se considera el rendimiento que se pudiera obtener; sin embargo, a nivel ecológico es un resultado significativo el que los genotipos logran formar semilla y que éstas pudieran desarrollar

descendencia después de 1 a 10 años después de haber estado expuesto a condiciones de estrés.

Tabla 4. Porcentaje de germinación después de 1 año de la recolección de semilla.

	0.01 kg	0.1 kg	1 kg	10 kg
Amaranteca	56	20	23	33
Benito	.	53	27	48
Chichiltic	100	88	48	65
Nutrisol	.	100	97	92
A. Morelos	16	22	3	8
A. Texcoco	46	45	42	60

En la Tabla 4, se observa que el mayor porcentaje de plantas germinadas se obtuvo en las plantas cultivadas, también se obtuvieron los mayores porcentajes de germinación en el tamaño de maceta 2; sin embargo, se tienen que realizar mayores estudios del grado de dormancia que presentan las especies silvestres. En *A. hybridus* Morelos se tuvo el menor porcentaje de germinación (Figura 5).

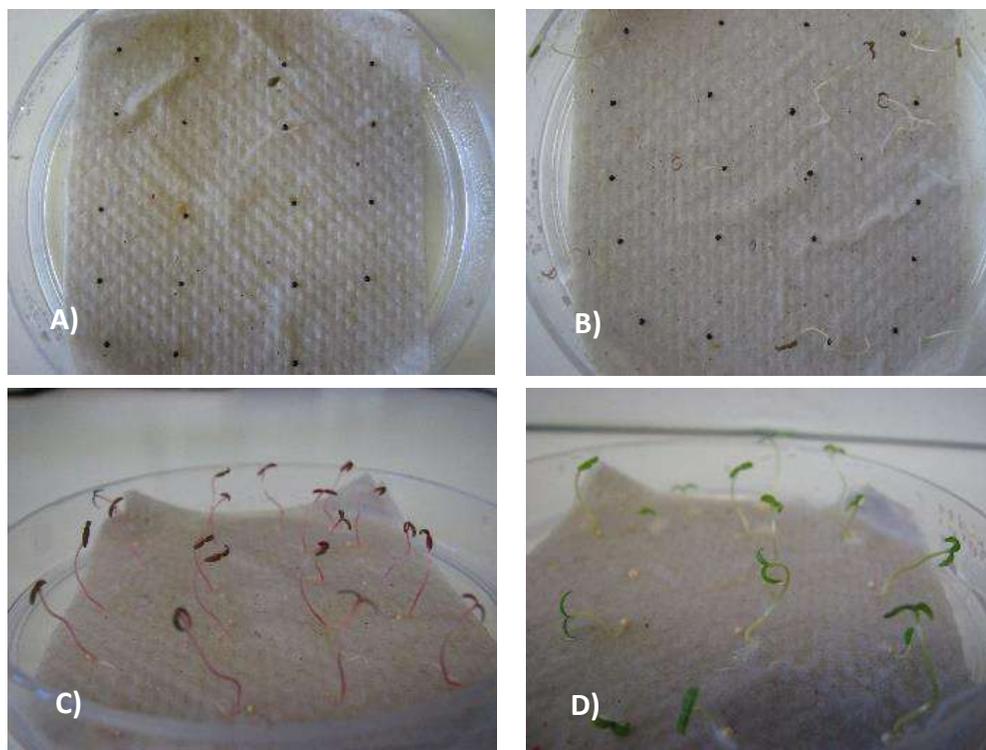


Figura 5. Prueba de germinación en cajas Petri dentro de una cámara de crecimiento. Plántulas provenientes del tamaño de maceta 1: A) *A. hybridus*- Morelos y B) *A. hybridus*- Texcoco; y plántulas provenientes de maceta 2: C) *A. hypochondriacus*- Chichiltic y D) *A. cruentus*-Benito.

Faccini D. y J. Vitta, (2007), describen que la germinación como la emergencia de malezas están definidas por la interacción entre el estado físico y fisiológico de las semillas y distintas características del sistema de producción, encontraron que la interrupción de la dormancia en semillas de *A. quitensis* se favoreció con una profundidad máxima de 0.5 cm y sin cobertura de rastrojo que aumentaron la amplitud térmica.

Germinación de semillas después de 10 años de almacenamiento

El cultivo de amaranto requiere 35 grados días de desarrollo en la etapa de siembra-emergencia (Ruiz et al 2013). En esta segunda etapa de germinación se completaron al cuarto día después de la siembra, obteniéndose 42.5° días de desarrollo.

Después de 10 años de almacenamiento, los porcentajes de germinación mejoraron para la mayoría de los genotipos evaluados, excepto para *A. hybridus* Morelos. Además, usar un sustrato mejora las condiciones de germinación (Tabla 5). En la literatura se han reportado para especies silvestres la viabilidad de las semillas después de 40 años de haberse almacenado en condiciones similares a las que se encuentran de manera natural. Se reportó en *A. retroflexus* y *A. graecizans*, un porcentaje de germinación de 2 y 66% respectivamente (Telewski y Zeevaart, 2002; Godínes, 2020).

Tabla 5. Porcentaje de germinación de semillas almacenadas durante 10 años.

	% de germinación (en sustrato)	% de germinación (sin sustrato)
Amaranteca	82	88
Benito	76	76
Chichiltic	84	72
Nutrisol	80	56
A. Morelos	2	4
A. Texcoco	76	68

Conclusión

La plasticidad fenotípica nos ayuda a comprender la respuesta de procesos químicos, físicos y fisiológicos que ocurren en las plantas en respuesta a la adaptación a ambientes heterogéneos y sus consecuencias evolutivas pueden ser significativas; sin embargo, es necesario estudiarlas a corto y largo plazo. El cultivo de amaranto, además de todas las cualidades que se han

reportado, algunos autores también lo consideran como especie modelo para estudiar y comprender los mecanismos de resistencia y tolerancia a factores bióticos como abióticos. En este estudio se pudo observar que varias especies cultivas aún conservan comportamientos de tolerancia para crecer en ambientes restrictivos incluso mayor que las especie silvestres evaluadas; no obstante, es necesario seguir estudiando mayor cantidad de variables a nivel genético y agronómico con fines de mejoramiento genético, conservación, uso y rescate de los recursos fitogenéticos y poder hacer frente a las diversas condiciones cambiantes.

Referencias

Bradshaw A D. (1965) Evolutionary significance of phenotypic plasticity in plants. *Advances in Genetics* 13: 115-155.

Conde C. (2006) "México y el Cambio Climático Global". Edit. Dirección General de divulgación de la Ciencia, UNAM. pp:1-28.

Espitia-Rangel, E. Hernández, Luisa Fernanda Sesma, Ramos, Miriam Gabriela Valverde, Molina, Lucila González, López, Diana Escobedo, & Delgado, Miriam Jazmín Aguilar (2021) Tiene el amaranto el potencial agronómico para ser un fenómeno mundial como la quinua. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 12(8), 1459-1471. Epub 02 de mayo de 2022. <https://doi.org/10.29312/remexca.v12i8.2897>

Faccini D. y J. Vitta, (2007) Efecto de la profundidad de siembra, cobertura de rastrojo y ambiente térmico sobre la germinación y emergencia de *Amaranthus quitensis* K. *Agriscientia* XXIV (1): 19-27.

Gianoli E. (2004) Plasticidad fenotípica adaptativa en plantas. In: *Fisiología Ecológica en Plantas: Mecanismos y Respuestas a Estrés en los Ecosistemas*. Marino Cabrera H (ed). Valparaíso, Chile. Pp 13 25.

Godínez Álvarez H. ¿Cuántos años viven las semillas? La longevidad ecológica y potencial. (2020) *Elementos* 120 (27): 31-35

Mapes S C. (2010) El amaranto (*Amaranthus* spp) planta originaria de México. *AAPAUNAM Academia Ciencia y Cultura*. 2 (4): 217-222.

Nicotra A B, O K Atkin, S P Bonser, A M Davidson, E J Finnegan, U Mathesius, P Poot, M D Purugganan, C L Richards, F Valladares, M van Kleunen (2010) Plant phenotypic plasticity in a

- changing climate . Trends in Plant Science 15: 684-692.
- Price T D, A Qvarnström, Irwin D E. (2003) The role of phenotypic plasticity in driving genetic evolution. Proc. R. Soc. Lond. B. 270:1433-1440.
- Ruiz C., J.A., G. Medina G., I. J. González A., H.E. Flores L., G. Ramírez O., C. Ortiz T., K.F. Byerly M. y R.A. Martínez P. (2013) Requerimientos agroecológicos de cultivos. Segunda Edición. Libro Técnico Núm. 3. INIFAP. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias-CIRPAC-Campo Experimental Centro Altos de Jalisco. Tepatitlán de Morelos, Jalisco, México. 564 p.
- Telewski FW, Zeevaart JA. The 120-yr period for Dr. Beal's seed viability experiment (2002). Am J Bot. Aug; 89(8): 1285-8. doi: 10.3732/ajb.89.8.1285. PMID: 21665730.
- Whitman D W, A A Agrawal. (2009) What is phenotypic plasticity and why is it important? In: Phenotypic Plasticity of insects: Mechanism and Consequences Whitman D W, T N Anonhkrishnan (eds). University of Minnesota. Science Publisher. pp: 1-63.

Agradecimientos

Al Campo experimental Bajío del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) por el apoyo para la realización de este proyecto.

Currículum corto de los autores

Angélica Barrales-López

Doctorado en Ciencias en Ingeniería Bioquímica por el Instituto Tecnológico de Celaya y miembro nivel candidato del SNII (2021-2024). Docente del Instituto Tecnológico Superior de Libres, adscrita a la academia de Ingeniería en Innovación Agrícola Sustentable.

Gerardo Acosta-García

Doctorado en el CINVESTAV-Irapuato con especialidad en Biotecnología de Plantas. Profesor-Investigador del Tecnológico Nacional de México en Celaya. Línea de investigación: Estudio de mecanismos que regulan el desarrollo de la semilla y el fruto y su relación con las rutas de señalización del estrés en plantas de importancia económica y modelos de estudio. Investigador Nacional nivel I.

Eduardo Espitia-Rangel

Doctorado en University of Nebraska-Lincoln con especialidad en mejoramiento genético. Investigador del INIFAP en los programas de Cereales y Recursos genéticos-Amaranto-Quinua. Coordinador de la Red Amaranto SRGAA-SADER. Curador de la colección nacional de germoplasma de amaranto, Investigador Nacional nivel III.

Miriam-Jazmín Aguilar-Delgado

Doctorado en Ciencias en Ingeniería Bioquímica por el Instituto Tecnológico de Celaya y miembro nivel candidato del SNII (2021-2024). Docente en la Facultad de Ciencias Agrotecnológicas, Universidad Autónoma de Chihuahua.

Control**Te humus****Lix100%****Lix10%****Moo20%****Moo100%**

Comparación de tres bioinsumos agrícolas mediante microbiológica y pruebas de fitotoxicidad

16

D.A. García López*, M.E. Hernández Luna, J. Hernández Flores

Departamento de Ingeniería en Innovación Agrícola Sustentable, TecNM: Instituto Tecnológico Superior de Libres, Camino Real S/N, Barrio de Tétela, C.P. 73780, Libres Puebla., México.

*daniel.gl@libres.tecnm.mx

RESUMEN

La agricultura industrializada ha provocado la pérdida de biodiversidad, la contaminación ambiental debido al uso de agroquímicos y una preocupante disminución en la calidad nutricional de los cultivos. Estos problemas representan un desafío urgente y generan la necesidad de encontrar soluciones sostenibles que garanticen la seguridad alimentaria futura sin comprometer los recursos naturales ni el medio ambiente. Una alternativa es la adopción de prácticas agrícolas sostenibles, como el uso de bioinsumos para reemplazar los agroquímicos sintéticos. Sin embargo, el uso de bioinsumos no está generalizado, ya que su aplicación puede arrojar tanto resultados positivos como negativos si no se conocen los principios básicos para su elaboración y uso. Este trabajo tuvo como objetivo comparar tres bioinsumos agrícolas (microorganismos de montaña, lixiviados de lombriz y té de humus), analizando su contenido microbiológico y realizando una prueba de fitotoxicidad. Se observó que el contenido microbiológico fue mayor en los microorganismos de montaña, seguido de los lixiviados de lombriz y el té de humus. Por otro lado, la prueba de fitotoxicidad mostró mejores resultados con el té de humus, mientras que los microorganismos de montaña y los lixiviados de lombriz demostraron ser fitotóxicos si no se diluyen adecuadamente. La fitotoxicidad de estos bioinsumos podría estar relacionada con los altos valores de conductividad eléctrica que presentan. Se recomienda prestar atención a este parámetro durante la elaboración de bioinsumos agrícolas artesanales para evitar la introducción de productos tóxicos en los cultivos.

Palabras Clave: enmienda, humus, vermicompost, orgánico, agroecología.

Introducción

La agricultura ha sido una actividad crucial para el desarrollo de la civilización humana, aunque ha experimentado múltiples transformaciones a lo largo de la historia. En México, durante la época prehispánica, los agricultores aprovechaban la diversidad microbiana presente en el lecho de los lagos, utilizando este recurso como sustrato en sus sistemas agrícolas (Chinampas), lo que resultaba en prácticas sostenibles. Con el tiempo, la agricultura evolucionó hacia un modelo intensivo, basado en el uso intensivo de fertilizantes sintéticos para aumentar la productividad. Sin embargo, estos fertilizantes implican un alto costo económico, social y ambiental (Chávez et al., 2021).

México, a través de las estrategias implementadas para garantizar la seguridad alimentaria, ha proporcionado fertilizantes sintéticos a los productores agrícolas mediante programas gubernamentales, con un gasto de 170 millones de pesos en 2022 y 700 millones de pesos en 2023, principalmente destinados al estado de Puebla (SADER, 2023). No obstante, el uso excesivo de fertilizantes sintéticos provoca eutrofización, toxicidad y contaminación de las aguas, degradación del suelo, desequilibrios biológicos y una disminución de la biodiversidad (González, 2019), además de contribuir a la emisión de gases de efecto invernadero y la pérdida de especies polinizadoras, lo cual afecta tanto la salud del suelo, que depende de microorganismos beneficiosos, como la salud humana (Bullor et al., 2023).

La búsqueda de alternativas al paquete tecnológico tradicional se ha convertido en una prioridad mundial, acentuada por el incremento en el precio y la dificultad de acceso a fertilizantes químicos debido al conflicto entre Ucrania y Rusia. En este contexto, los bioinsumos desempeñan un rol crucial en la transición hacia sistemas agroalimentarios sostenibles que permitan alimentar a una población en crecimiento y preservar la biodiversidad y la salud del suelo (Bullor et al., 2023).

Los bioinsumos son productos obtenidos a partir del procesamiento de materia vegetal, animal y microbiana, que tienen la capacidad de mejorar la productividad y la calidad de los suelos (SADER, 2022). Estos bioinsumos pueden subclasificarse en tres categorías principales:

1. **Biofertilizantes:** Se caracterizan por contener microorganismos vivos o latentes que contribuyen a la fijación de nitrógeno atmosférico o a la solubilización y movilización de nutrientes en el suelo.
2. **Bioestimulantes:** Involucran microorganismos y sustancias orgánicas que mejoran la eficiencia en el uso de nutrientes, su absorción, la tolerancia al estrés abiótico y/o las características de calidad de los cultivos.
3. **Fertilizantes orgánicos:** Como el biol, bocashi, compost y vermicompost, que derivan de compuestos orgánicos provenientes de animales y vegetales. Estos mejoran las características físicas, químicas y biológicas de los suelos, aportando nutrientes e incrementando la actividad microbiana. Esta clasificación se basa en los criterios establecidos por la FAO dentro del grupo de promoción del crecimiento y desarrollo vegetal (FAO, 2023).

Los bioinsumos son fundamentales en la transición hacia sistemas agroalimentarios sostenibles. De acuerdo con la FAO (2023), la inversión en estos insumos contribuye significativamente a los enfoques estratégicos prioritarios para el desarrollo sostenible a nivel global, reduciendo la dependencia de agroquímicos sintéticos, disminuyendo los costos de insumos, reduciendo las emisiones de gases de efecto invernadero y la contaminación del agua y suelo, incrementando la biodiversidad y la resiliencia de los sistemas agrícolas ante el cambio climático, además de generar beneficios económicos y mejorar la calidad y seguridad alimentaria.

Es importante reconocer que la transición hacia prácticas agroecológicas que incluyan bioinsumos requiere de un proceso gradual que implica tiempo, experimentación, estandarización y paciencia, trayendo consigo resultados positivos para los productores que persisten en esta práctica. Los bioinsumos son esenciales para el futuro de una agricultura sostenible y saludable, y su adopción y promoción no solo mejoran la productividad y sostenibilidad de las prácticas agrícolas, sino que también empoderan a las comunidades, especialmente a grupos marginados y mujeres en áreas rurales (Faros Agroecológicos, 2023). Por ello, una de las propuestas ha sido utilizar bioinsumos en la agricultura para contribuir a la seguridad alimentaria nacional de

manera sostenible (Chávez et al., 2021), además de ser un mercado emergente con un crecimiento promedio anual del 15% (Bullor et al., 2023).

El desarrollo de bioinsumos debe considerar diversos aspectos, como el control de calidad y las estrategias de manipulación y aplicación de esta biotecnología, que presenta ventajas competitivas como efectividad, bajo costo y mínimos impactos ambientales, promoviendo así una agricultura sostenible en México (Chávez et al., 2021). Sin embargo, gran parte de la producción de bioinsumos se realiza de manera artesanal, con diferencias en los procesos y materiales de elaboración, lo que puede llevar a resultados variables, en ocasiones desalentando su uso por desconocimiento de principios básicos durante su producción. Por lo tanto, el presente trabajo se propuso explorar la elaboración de tres bioinsumos populares y evaluar algunas de sus características relevantes para determinar las condiciones adecuadas para obtener bioinsumos óptimos para la agricultura. Para ello, se realizaron análisis microbiológicos, pruebas de fitotoxicidad y comparación de variables fisicoquímicas.

Material y métodos

Preparación de los bioinsumos

El presente trabajo se llevó a cabo en el TecNM: Instituto Tecnológico Superior de Libres, ubicado en la ciudad de Libres, Puebla, México. Las coordenadas geográficas del lugar son 19° 27' 52" de latitud norte y 97° 41' 52" de longitud oeste.

Se compararon tres bioinsumos, los cuales se elaboraron de la siguiente manera:

1. **Microorganismos de montaña:** Se pesaron 250 g de suelo rico en microorganismos, que se disolvieron en un balde con 20 litros de agua, a los cuales se añadieron 50 g de melaza. La mezcla se dejó reposar durante tres días a temperatura ambiente.
2. **Maduración de lixiviados de lombriz:** Se recolectaron 20 litros de lixiviados de lombriz, los cuales se colocaron en un balde junto con 50 g de melaza. La mezcla se mantuvo en agitación constante mediante una bomba de pecera durante tres días a temperatura ambiente.

3. **Té de humus de lombriz:** Se recolectaron 50 g de vermicompost o humus de lombriz fresco, que se diluyeron en un balde con 20 litros de agua y 50 g de melaza. La mezcla se mantuvo durante tres días a temperatura ambiente, con agitación continua mediante una bomba de pecera.

Al término del tiempo de preparación, se recolectaron los bioinsumos y se procedió a realizar un recuento microbiológico mediante la técnica de diluciones seriadas, utilizando un medio sólido de extracto de levadura para permitir el crecimiento de colonias y comparar el número de unidades formadoras de colonias por mililitro (UFC mL⁻¹) entre los diferentes bioinsumos.

Prueba de fitotoxicidad

Para realizar la prueba de fitotoxicidad, se utilizó cada bioinsumo líquido. Sin embargo, debido a su alto contenido orgánico, se tomó la precaución de diluir los microorganismos de montaña y los lixiviados de lombriz. De esta forma, se establecieron cinco tratamientos, que quedaron organizados de la siguiente manera:

- Tratamiento Té de humus
- Tratamiento Lixiviados sin diluir (Lix100%)
- Tratamiento Lixiviados diluidos al 10% (Lix10%)
- Tratamiento Microorganismos sin diluir (Moo100%)
- Tratamiento Microorganismos diluidos al 20% (Moo20%)
- Tratamiento testigo (control con agua para la prueba)

En la prueba de fitotoxicidad se utilizaron semillas de lechuga (*Lactuca sativa* L.), ya que se ha reportado que es una hortaliza altamente sensible a los efectos tóxicos presentes en sustratos (Cruz-Hernández et al., 2015). En placas Petri de plástico (100x15 mm) se colocó papel filtro y 10 semillas de lechuga por caja. Posteriormente, se añadieron 5 ml de cada extracto líquido en cada caja, utilizando agua destilada como testigo. Luego, se permitió la germinación de las semillas durante 5 días. Este procedimiento se realizó con cinco repeticiones por tratamiento.

Al final del periodo de germinación, se realizó el análisis de fitotoxicidad basado en la prueba de Zucconi et al. (1981) para calcular el índice de germinación (IG) (Fórmula 1).

$$IG (\%) = \frac{GRS \times CRR}{100}$$

Fórmula 1

Donde:

$$GRS (\%) = \frac{\text{Número de semillas germinadas con el tratamiento}}{\text{Número de semillas germinadas con el testigo}} \times 100$$

$$CRR (\%) = \frac{\text{Longitud promedio de la radícula con el tratamiento}}{\text{Longitud promedio de la radícula con el testigo}} \times 100$$

Adicionalmente, al finalizar el experimento se midieron variables fisicoquímicas para obtener una referencia de la composición de cada tratamiento. El pH se determinó directamente en las muestras líquidas, manteniéndolas en agitación mientras se realizaba la medición con un pHmetro marca HANNA, previamente calibrado con soluciones de referencia a temperatura ambiente. La conductividad eléctrica (CE) se midió en las mismas muestras utilizando el mismo equipo.

Ambas variables se midieron por quintuplicado, presentándose las medias y desviaciones estándar de los valores. Estos procedimientos se llevaron a cabo conforme a la NOM-FF-109-SCFI-2007.

Para determinar la relación entre las variables de estudio y las variables fisicoquímicas, se realizaron análisis de correlación lineal con un nivel de significancia $p < 0.05$.

Resultados y discusión

Al finalizar la elaboración de los bioinsumos, se observaron diferencias en la coloración de los distintos productos (Figura 1). Estas diferencias se debieron al contenido orgánico de cada uno, siendo los microorganismos de montaña los que presentaron la coloración más oscura, seguidos por los lixiviados, mientras que el té de humus presentó la menor intensidad de coloración. Esto confirmó la decisión de diluir los bioinsumos.

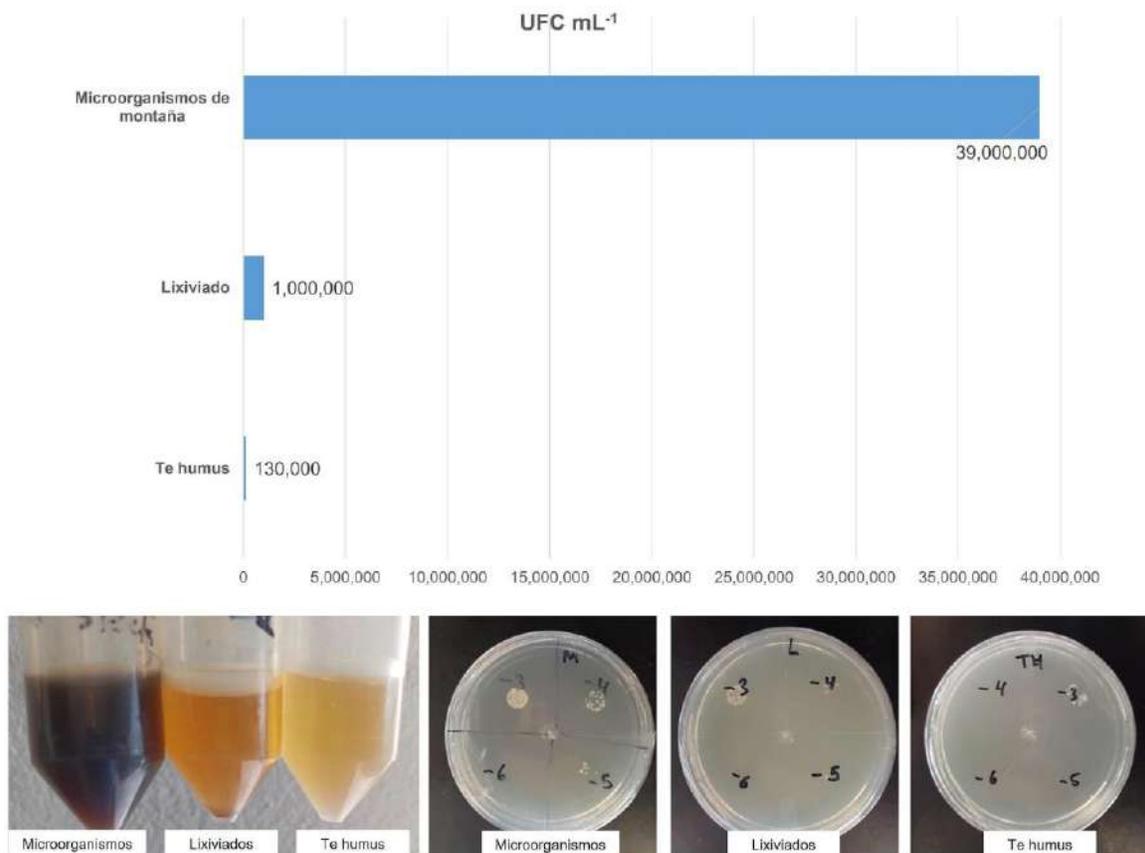


Figura 1. Diferencias visuales entre los tres bioinsumos y conteo de unidades formadoras de colonias por mililitro (UFC mL⁻¹).

Por otro lado, el conteo de microorganismos mostró diferencias significativas entre los tres bioinsumos (Figura 1). El té de humus fue el bioinsumo que presentó la menor cantidad de unidades formadoras de colonias por mililitro (UFC mL⁻¹), con un promedio de 130,000 UFC mL⁻¹. El segundo bioinsumo con menor cantidad fue el lixiviado de lombriz, con un promedio de 1x10⁶ UFC mL⁻¹. Finalmente, el bioinsumo con mayor cantidad fue el de microorganismos de montaña, con un promedio de 39x10⁶ UFC mL⁻¹. Esta diferencia se puede explicar por el hecho de que la técnica de producción de este último insumo está orientada a proporcionar condiciones óptimas para la multiplicación de microorganismos. En cambio, los lixiviados y humus de lombriz aportan una menor cantidad de microorganismos, pero ofrecen elementos promotores del crecimiento y nutrientes como ácidos húmicos y fúlvicos, nitrógeno, fósforo, potasio, enzimas, microelementos y aminoácidos.

Por su parte, la prueba de fitotoxicidad permitió comparar el nivel de toxicidad durante la germinación de semillas de lechuga. La Tabla 1 muestra los cálculos del Índice de Germinación (IG) de cada tratamiento, mientras que la Tabla 2 sirve como referencia para interpretar estos resultados. Se observa que los tratamientos que obtienen un IG>70 se consideran no fitotóxicos, como es el caso del té de humus, Lix10% y Moo20%. Cabe destacar que los valores de IG para el té de humus (IG=142) y Lix10% (IG=120) superan un IG=100, que sería el valor esperado en el control; por lo tanto, estos tratamientos no solo no son fitotóxicos, sino que también estimularon el crecimiento vegetal.

Tabla 1. Cálculo de Índice de germinación (IG) de los tratamientos de estudio

Tratamiento	IG
Te humus	142
Lix100%	1
Lix10%	120
Moo100%	27
Moo20%	92

Por otro lado, los bioinsumos sin dilución mostraron valores de IG<50, lo que los clasifica como fitotóxicos. En particular, Moo100% reportó un IG=27, y el caso

más extremo se observó en Lix100%, con un IG=1, ya que en este tratamiento no se produjo ninguna germinación de semillas. Conocer estos valores es de suma importancia al seleccionar bioinsumos adecuados para el desarrollo vegetal y al manejarlos de manera apropiada mediante las diluciones necesarias.

Tabla 2. Valores de referencia para comparar resultados de índices de germinación (IG).

Valor de referencia	Interpretación
IG>70	No fitotóxico
IG 50-70	Medianamente fitotóxico
IG<50	Fitotóxico

La Tabla 3 compara los valores fisicoquímicos de pH y conductividad eléctrica (CE). Se observa que los lixiviados sin diluir presentan un pH alcalino, lo cual es esperable en productos derivados del vermicompostaje, donde el pH tiende hacia la alcalinidad debido a la degradación por las lombrices y la acumulación de sales. No obstante, la dilución de los lixiviados permitió reducir el valor del pH a un nivel menor de 8. Por su parte, los microorganismos de montaña sin diluir presentaron un pH ácido, lo cual es esperable debido a que, durante su elaboración, el crecimiento de microorganismos incluye procesos de fermentación que liberan compuestos ácidos. Sin embargo, la dilución de este bioinsumo elevó el pH a un valor cercano a la neutralidad. Finalmente, el té de humus fue el tratamiento que presentó un pH más cercano a la neutralidad.

Tabla 3. Variables fisicoquímicas obtenidas de los tratamientos al término de la prueba de fitotoxicidad

Tratamiento	pH	CE (dSm ⁻¹)
Te humus	6.92±0.07	1.89±0.33
Lix100%	8.86±0.11	15.92±0.15
Lix10%	7.97±0.35	1.95±0.01
Moo 100%	5.38±0.04	3.09±0.08
Moo20%	6.48±0.58	1.22±0.00

De igual manera, se observó variación en la CE, donde los bioinsumos sin diluir conservaron valores más altos. El tratamiento Lix100% destacó por presentar una CE excesivamente alta, la cual se redujo con la dilución al 10%, pasando de 15.92 ± 0.15 dS/m en la muestra sin diluir a 1.95 ± 0.01 dS/m con la dilución al 10%. En el bioinsumo de microorganismos de montaña, la CE se modificó de 3.09 ± 0.08 dS/m en la muestra sin diluir a 1.22 ± 0.00 dS/m con la dilución al 20%. Finalmente, el té de humus mostró bajos valores de CE.

Para determinar qué variable contribuye a los valores de fitotoxicidad, se realizaron correlaciones lineales entre las variables de estudio (número de semillas germinadas y longitud radicular) y las variables

fisicoquímicas (pH y CE). En la Figura 2 se observa que la CE presentó una correlación lineal fuerte con ambas variables. Se detectó una fuerte correlación lineal negativa entre la CE y el número de semillas germinadas ($R = -0.87$) (Figura 2A), así como entre la CE y la longitud radicular ($R = -0.82$) (Figura 2B). Esto indica que uno de los principales factores a considerar durante la producción de bioinsumos es la conductividad eléctrica, más que el pH. Esto quedó demostrado ya que los bioinsumos sin diluir mostraron valores de IG considerados fitotóxicos, mientras que los mismos bioinsumos diluidos mostraron un IG favorable, lo que permitió un desarrollo vegetal exitoso.

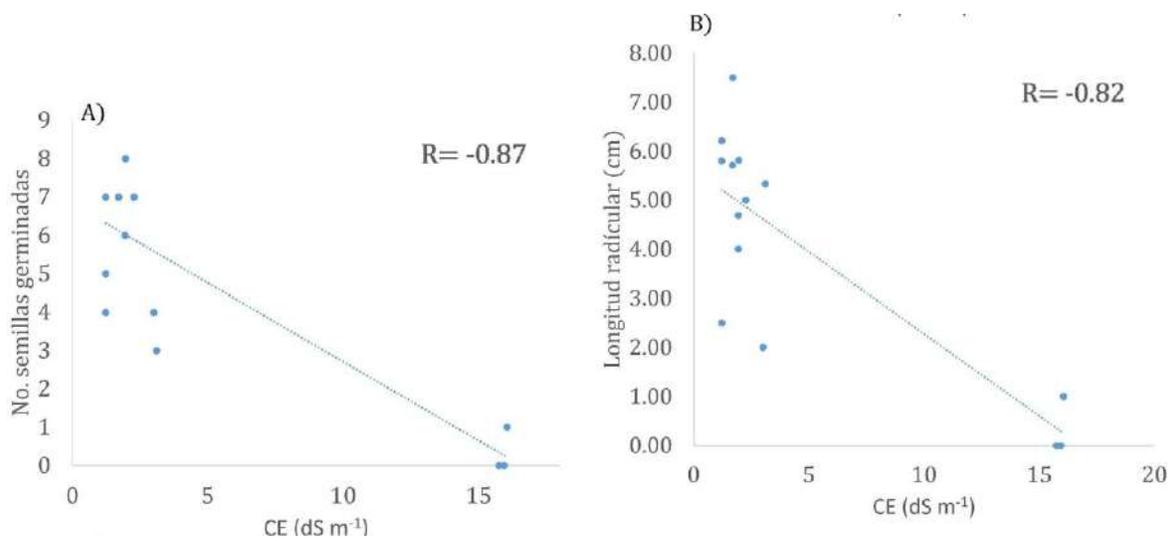


Figura 2. Correlación lineal entre variables de estudio y conductividad eléctrica (CE).

En conclusión, se recomienda prestar especial atención a la medición de la CE para evitar efectos fitotóxicos en bioinsumos elaborados artesanalmente y, de ser necesario, realizar las diluciones adecuadas para reducir los efectos negativos y conservar las propiedades beneficiosas de estos productos. Por otro lado, el té de humus es el bioinsumo menos empleado de los tres explorados; no obstante, se recomienda su uso, ya que requiere pocas precauciones en su manejo y elaboración, además de presentar altos valores de estimulación del crecimiento. En cuanto al uso de lixiviados de lombriz y microorganismos de montaña, se sugiere vigilar sus valores de conductividad eléctrica y emplearlos con la dilución adecuada para evitar toxicidad en los cultivos.

Conclusión

Se compararon tres bioinsumos mediante pruebas microbiológicas y de fitotoxicidad. Se observó que los microorganismos de montaña aportan la mayor cantidad de microorganismos, seguidos por los lixiviados de lombriz y el té de humus. La prueba de fitotoxicidad reveló que los bioinsumos de microorganismos de montaña y los lixiviados de lombriz limitan el crecimiento y desarrollo vegetal si no se diluyen adecuadamente. En cambio, el té de humus y los otros bioinsumos, cuando se diluyen correctamente, permitieron el desarrollo y estimulación vegetal. A partir de pruebas de correlación, se considera que los efectos tóxicos pueden estar relacionados con un alto valor de conductividad eléctrica en los bioinsumos sin diluir. Se

recomienda tener precaución durante la elaboración artesanal de bioinsumos, así como medir los valores de conductividad eléctrica para evitar posibles efectos fitotóxicos en los cultivos.

Referencias

Boullor, L., Braude, H., Monzón, J., Cortes, P. A. M., Casavola, M., Carbaja, M. N., & Risopoulus, J. (2023). *Bioinsumos: Oportunidades de inversión en América Latina. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.*

Chávez-Díaz, I. F., Zelaya Molina, L. X., Cruz Cárdenas, C. I., Rojas Anaya, E., Ruíz Ramírez, S., & Santos Villalobos, S. de los. (2021). Consideraciones sobre el uso de biofertilizantes como alternativa agro-biotecnológica sostenible para la seguridad alimentaria en México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 11(6), 1423-1436. <https://doi.org/10.29312/remexca.v11i6.2492>

Cruz-Hernández, J., Acevedo-Alcalá, P., & Báez-Cruz, C. G. (2015). Fitotoxicidad de abonos orgánicos líquidos en especies hortícolas indicadoras: un método de preselección. *Revista Biológica Agropecuaria Tuxpan*, 3(5), 964-971.

Faros Agroecológicos. (2023, 12 de noviembre). *Bioinsumos en la Agricultura Agroecológica: Una Visión General de su Importancia y Tipos.* CONAHCYT y Centro de Investigación en Alimentos y Desarrollo. <https://farosagroecologicos.ciad.mx/bioinsumos-agricultura-agroecologica-vision-general-importancia-tipos/>

FAO. (2023, 24 de mayo). *Bioinsumos: Trazando el futuro de la agricultura sostenible en América Latina y el Caribe.* <https://www.fao.org/support-to-investment/news/detail/es/c/1640339/>

González, U. P. (2019). *Consecuencias ambientales de la aplicación de fertilizantes.* Biblioteca del Congreso Nacional de Chile, Asesoría Técnica Parlamentaria. No. Sup. 118.959.

SADER. (2023, 15 de junio). Ejerce gobierno de México 700 mdp para el programa de fertilizantes para el Bienestar en Puebla. [https://www.gob.mx/agricultura/prensa/ejerce-](https://www.gob.mx/agricultura/prensa/ejerce-gobierno-de-mexico-700-mdp-para-el-programa-de-fertilizantes-para-el-bienestar-en-puebla)

[gobierno-de-mexico-700-mdp-para-el-programa-fertilizantes-para-el-bienestar-en-puebla](https://www.gob.mx/agricultura/prensa/ejerce-gobierno-de-mexico-700-mdp-para-el-programa-de-fertilizantes-para-el-bienestar-en-puebla)

SADER. (2022, 12 de julio). Bioinsumos, una alternativa más para llegar a la autosuficiencia alimentaria. <https://www.gob.mx/agricultura/articulos/bioinsumos-una-alternativa-mas-para-llegar-a-la-autosuficiencia-alimentaria?idiom=es#:~:text=Pero%2C%20%20%BFqu%20son%20los%20bioinsumos,la%20calidad%20de%20los%20suelos.>

Zucconi, F., Pera, A., Forte, M., & De Bertoldi, M. (1981). Evaluating toxicity in immature compost. *Biocycle*, 22, 54–57.

Currículo corto de los autores

Dr. Daniel Alejandro García López: Licenciatura en Biología (2011) por la BUAP. Maestría en Ciencias (2014) y Doctorado en Ciencias (2021) por el Instituto de Ecología (INECOL) y miembro nivel candidato del SNI (2023-2026). Actualmente, está adscrito como docente de tiempo completo del Sistema Tecnológico Nacional de México en la carrera de Ingeniería en Innovación Agrícola Sustentable e investigador de la Línea de Investigación "Agricultura e Innovación Sustentable" en el TecNM Campus Libres.

M.C. María Elena Hernández Luna: Ingeniera en Sistemas Pecuarios de Zonas Áridas (2002) por la Universidad Autónoma Chapingo. Maestra en Ciencias en Mejoramiento Genético y Productividad-Área Ganadería (2008) por el Colegio de Postgraduados. Se encuentra adscrita como docente del Sistema Tecnológico Nacional de México desde 2013, actualmente en Ingeniería en Innovación Agrícola Sustentable, como docente e investigadora de la Línea de Investigación "Agricultura e Innovación Sustentable" del TecNM Campus Libres.

M.C. Judith Hernández Flores: Ingeniero Agrohídrica (2015), Maestría en Manejo Sostenible en Sistemas Agrícolas (2018), ambos egresados de la Facultad de Ingeniería Agrohídrica (BUAP). Actualmente Docente del Sistema Tecnológico Nacional de México desde 2018, adscrita a Ingeniería en Innovación Agrícola Sustentable, como docente e Investigadora de la Línea de Investigación "Agricultura e Innovación Sustentable" del TecNM Campus Libres.



Creación de panel didáctico con protocolo de comunicación CAN

R. Pérez-Saldaña¹, D. Contreras-Hernández¹, A. D. Flores-Torres¹, E. Montiel-Jiménez²

¹ TecNM / Instituto Tecnológico Superior de Libres, División de Ingeniería en Sistemas Automotrices,
Camino Real S/N, Barrio de Tetela, C.P. 73780, Libres, Puebla, México.
roman.ps@libres.tecnm.mx, angeld.ft@libres.tecnm.mx

² TecNM / Instituto Tecnológico Superior de Libres, División de Ingeniería en Electromecánica,
Camino Real S/N, Barrio de Tetela, C.P. 73780, Libres, Puebla, México.
elmar.mj@libres.tecnm.mx

RESUMEN

El presente trabajo presenta la creación de un panel didáctico que permite observar de manera fehaciente el comportamiento del protocolo de comunicación CAN. Este objetivo se alcanzó primero mediante una investigación exhaustiva del protocolo de comunicación CAN, los tipos de datos que maneja y las formas de transmitirlos. Con esta información previa, se procedió a la programación de microcontroladores ATmega328P utilizando el software Arduino, con el propósito de emplearlos como ECU's (Unidades de Control Electrónico) para manipular elementos automotrices como luces, espejos y vidrios. El monitoreo y la manipulación se llevarán a cabo gracias al uso del Módulo CAN MCP2515.

Palabras Clave: Protocolo CAN, ECU, ATmega328P, MCP2515, Arduino.

Introducción

La incorporación de sistemas electrónicos en automóviles ha ido en aumento, y se pueden encontrar en diversos sistemas del vehículo, como el motor, la tracción, la seguridad, el confort y la comunicación. Actualmente, la industria automotriz emplea cinco protocolos de comunicación para el control de estos sistemas: MOST, FLEX RAY, CAN, LIN y VAN.

Entre los sistemas que utilizan el protocolo CAN BUS se observa una significativa reducción en el número de conexiones, el espacio ocupado, la distancia de cableado y el peso del vehículo en comparación con otros protocolos de comunicación. Además, el protocolo CAN BUS se utiliza para diagnosticar el correcto funcionamiento de las unidades de control integradas en estos sistemas.

A pesar de ser uno de los más utilizados en automóviles, hoy en día resulta difícil acceder a información detallada sobre la estructura de programación del protocolo CAN BUS, el cual se basa en la transmisión de información en código binario, proveniente de las señales de los sensores y actuadores integrados en una unidad de control.

En este trabajo se propone el diseño y desarrollo de un circuito de control para los sistemas electrónicos del automóvil (ventanillas, espejos, luces delanteras y traseras) basado en una estructura de comunicación CAN BUS, con el objetivo de recopilar información bibliográfica y práctica que sirva como apoyo a futuras generaciones de estudiantes de Ingeniería en Sistemas Automotrices, fortaleciendo sus conocimientos e impulsando investigaciones futuras.

Marco Teórico

¿Qué es el CAN BUS?

El CAN BUS (Controller Area Network) es un bus automotriz desarrollado por la compañía Bosch, que permite la comunicación entre microprocesadores y dispositivos dentro de un vehículo sin necesidad de una computadora host. El CAN BUS es un protocolo basado en mensajes, diseñado específicamente para aplicaciones automotrices, pero que ahora también se utiliza en otras áreas como la aeroespacial, la automatización industrial y los equipos médicos (AUTOMOTRIZ, 2020).

Según Alarms (2020), las características del CAN BUS son las siguientes:

- La información transmitida dentro del sistema está en código binario.
- El protocolo CAN está orientado a mensajes, lo que significa que la información enviada de un dispositivo a otro se descompone primero en mensajes, los cuales se identifican y analizan por separado antes de ser enviados en tramas.
- El canal de comunicación CAN es bidireccional, lo que significa que un dispositivo puede ser emisor y receptor de mensajes al mismo tiempo.
- Los mensajes se transmiten por orden de prioridad.

Un sistema CAN BUS consta de un controlador, un transceptor, dos elementos finales del bus y dos cables para la transmisión de datos. Con la excepción de los cables del bus, todos los componentes están alojados en las unidades de control.

El protocolo CAN está normalizado bajo el estándar ISO 11898, que contiene diversas normas específicas para distintos aspectos del protocolo y diversos tipos de funcionamiento (Martínez Requena, 2017).

En la tabla 1 se representa la velocidad de transmisión de datos con respecto a la distancia total del bus.

Tabla 1. Funcionamiento de protocolo de comunicación CAN BUS

Longitud del BUS	Velocidad en bits/s	Tiempo máximo de transmisión*
Hasta 25 m	1 Mbit/s	129 μ S
Hasta 100 m	500 Kbit/s	258 μ S
Hasta 500 m	125 Kbit/s	1032 μ S
Hasta 1000 m	50 Kbit/s	2580 μ S

* mensajes de 129 bits de longitud

El controlador CAN está conectado a todos los componentes de la red a través de dos cables, CAN HIGH y CAN LOW, y cada nodo de la red tiene un identificador único. Todas las ECU (Unidades Electrónicas de Control) en el bus están efectivamente en paralelo, por lo que todos los nodos ven todos los datos en todo momento. Un nodo solo responde cuando detecta su propio identificador. Los nodos individuales se pueden eliminar de la red sin afectar a los demás nodos (AUTOMOTRIZ, 2020).

Cuando el bus CAN está inactivo, ambas líneas transportan 2.5 V. Cuando se transmiten bits de datos,

la línea CAN H sube a 3.75 V y CAN L baja a 1.25 V, generando una diferencia de 2.5 V entre las líneas. Cada una de las líneas CAN está referenciada a la otra, no a la tierra del vehículo. Dado que las comunicaciones se basan en un diferencial de voltaje entre las dos líneas del bus, el CAN BUS no es sensible a picos inductivos, campos eléctricos u otros ruidos (AUTOMOTRIZ, 2020).

En la figura 1 se representan los diferentes valores de voltaje para los cables CAN HIGH y CAN LOW durante una transmisión de datos.

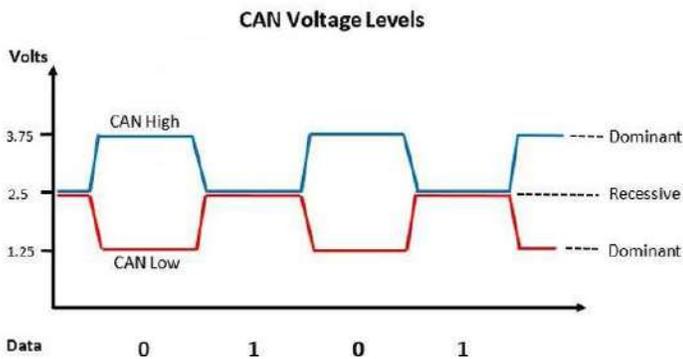


Figura 1 Valores de voltaje en los cables CAN HIGH y CAN LOW

Formato de trama de CAN BUS

Según García Osés (2015), el formato de trama de CAN BUS se describe de la manera siguiente:

- SOF (Start of Frame bit): Indica el comienzo del mensaje y permite la sincronización de todos los nodos conectados a la red. Este bit tiene estado dominante (0 lógico).

- Campo de arbitrio: Está formado por 12 bits (trama CAN tipo estándar) o 32 bits (trama CAN tipo extendida). Dentro del campo se encuentra el identificador, que indica la prioridad del nodo. El nodo con mayor prioridad es aquel que tiene el identificador más bajo (bits recesivos). El bit RTR se utiliza para distinguir entre una trama remota o una trama de datos, como se observa en la figura 2.
- Campo de control: Formado por 6 bits. El bit IDE indica con un estado dominante que la trama enviada es estándar. El bit RBO, está reservado y se establece en estado dominante por el protocolo CAN. Posteriormente se encuentran cuatro bits, que definen el tamaño del campo de datos del mensaje CAN.
- Campo de datos: Puede estar formado por hasta 8 bytes, dependiendo de lo que especifique en el campo de control. En este campo están contenidos los datos del mensaje.
- Campo de verificación para redundancia cíclica (CRC): Este campo de 15 bits, detecta errores en la transmisión del mensaje. Se delimita con un bit final en estado recesivo.
- Campo de reconocimiento: El último campo de la trama, está formado por 2 bits. El nodo transmisor manda una trama con el bit de ACK (Acknowledge) en estado recesivo, mientras que los receptores, si han recibido el mensaje correctamente, envían un mensaje en estado dominante. Contiene un bit delimitador.
- El fin de trama o EOF : consiste en 7 bits recesivos. La trama debe contener al final de esta el espaciado reglamentario entra tramas, compuesto por tres bits recesivos.

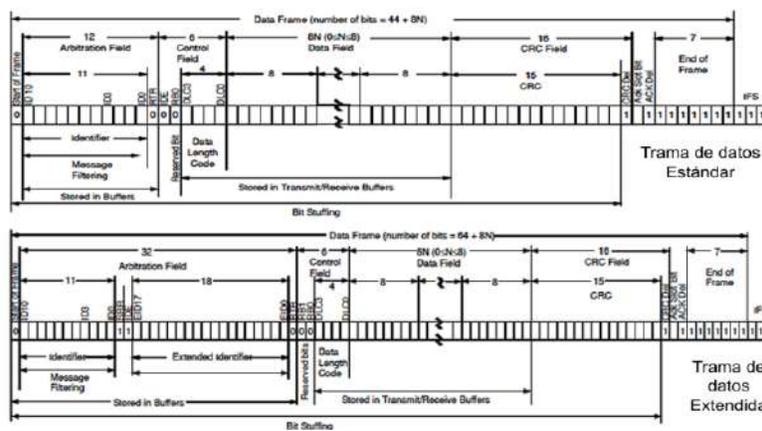


Figura 2 Comparativa entre tramas de datos CAN BUS estándar y extendida.

Tipos de tramas de CAN BUS

Las tramas CAN bus se clasifican principalmente en función del tamaño de su identificador y su función, por ejemplo:

- Trama de datos: Estas tramas se utilizan para enviar datos a través de la red. Los datos se incluirán en el campo de datos y pueden tener una extensión de 0 a 8 bytes
- Trama remota: Un nodo tiene la capacidad de solicitar un mensaje de otro nodo usando tramas remotas. El identificador de la trama debe ser el mismo que el de nodo del cual se requiere el mensaje. Además, el campo de datos será 0. Una vez que el nodo receptor recibe el mensaje, este enviara sus datos.
- Trama de error: Se genera al detectar un error en la red por parte de un nodo. Está formada por un campo indicador de error y un campo delimitador. García Osés, (2015).

El CAN BUS en el sistema de confort e iluminación

En este sistema de confort se transmiten datos para las siguientes funciones:

- Cierre centralizado
- Elevalunas eléctricos
- Iluminación de los mandos
- Retrovisores exteriores regulables
- Autodiagnóstico

En el sistema de iluminación podemos abordar las siguientes funciones:

- Luces de posición, luz baja y luz alta
- Luces de matrícula
- Luces antiniebla
- Luces intermitentes
- Luces de freno
- Luz de marcha atrás

Los componentes comúnmente utilizados para estos sistemas son:

- Unidad de control del Gateway: Conecta todas las líneas entre las distintas líneas de CAN BUS.

Su finalidad es comunicar y convertir los mensajes entre las distintas líneas de CAN BUS como las líneas de tracción, info-entretenimiento, aparcamiento, etc. (ver figura 3)

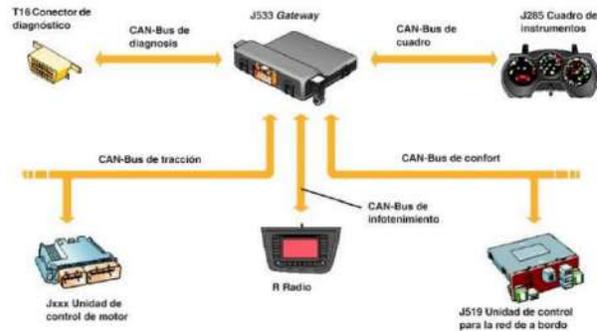


Figura 3 Comunicación entre gateway y unidades de control por CAN BUS

- Unidad de control electrónico (ECU) es un pequeño dispositivo que integra un chip (microcontrolador) programado previamente, responsable de controlar una o varias funciones específicas. Las unidades que están pensadas para integrar y ejecutar el protocolo CAN, además de contener el microcontrolador contienen un controlador y un transceptor CAN. (Ver figura 4)



Figura 4 ECU de sistema de confort.

Metodología de pruebas

Modelo Waterfall

El modelo en cascada, o Waterfall, fue propuesto por Winston W. Royce en 1970. Es una metodología de gestión de proyectos que se divide en distintas fases, donde cada fase comienza únicamente cuando la anterior ha finalizado. En la figura 5 se muestran las diferentes etapas y el orden a seguir en esta metodología.



Figura 5 Etapas de la metodología Waterfall

Para la realización de este proyecto, que incluye el diseño, desarrollo e implementación de un circuito de control para los sistemas electrónicos del automóvil (ventanillas, espejos, luces frontales y traseras) bajo una estructura basada en el protocolo de comunicación CAN BUS, se optó por emplear esta metodología.

- Etapas de la metodología

Análisis. Es el proceso de planificación inicial en el que se recopila toda la información sobre las necesidades y objetivos. Posterior, se reúnen todos los requisitos que se deben cumplir para la siguiente etapa.

Diseño. Con los requisitos definidos, se diseña el sistema estableciendo la arquitectura completa. No se realiza ninguna codificación durante esta fase, pero se establecen especificaciones como el lenguaje de programación y en términos generales, se describen las partes que formarán el producto final.

Implementación. En esta etapa se llevan a cabo las pruebas necesarias para corregir errores y modificar todo aquello que no funcione correctamente. Una vez verificados los procesos, se implementa el desarrollo de la etapa del proyecto que se haya trabajado.

Verificación. Cada una de las partes que conforman el producto final se integran y prueban como un sistema completo para asegurar que cumple con todos los requisitos deseados.

Mantenimiento. A partir de este punto, el desarrollo se centra en la corrección de errores no descubiertos en etapas anteriores.

Implementación

Etapas 1: Análisis

En el Instituto Tecnológico Superior de Libres, en la Ingeniería en Sistemas Automotrices, es necesario conocer en detalle la estructura de los códigos de programación de las unidades de control (ECU) integradas en los sistemas de confort e iluminación dentro de los tableros didácticos del laboratorio del instituto, así como la manera en que estas ECU's interactúan entre sí bajo el protocolo de comunicación serial CAN BUS, llevando a cabo la transmisión de datos provenientes de sensores y actuadores cuando se requiere realizar una acción específica en los sistemas descritos. Esto tiene como finalidad elaborar un código fuente de programación que se integre a un circuito de control (prototipo) diseñado para los sistemas electrónicos de ventanillas, espejos, luces frontales y traseras.

Teniendo en cuenta las necesidades de este proyecto es conveniente analizar los sistemas a integrar de manera independiente, con el objetivo de evitar posibles fallas y generar una idea clara de los componentes involucrados en cada sistema, quedando de la siguiente manera:

- **Bloque I: Sistema eléctrico de ventanillas y espejos.**

Para este bloque se tomó de referencia los sistemas electrónicos de un vehículo Mercury Gran Marquiz modelo 2000.

Para el desarrollo del sistema eléctrico de espejos se optó por tomar el sistema original del vehículo. En cuanto al sistema de ventanillas solo se utilizó la ventanilla del piloto y copiloto.

(ver figura 6)

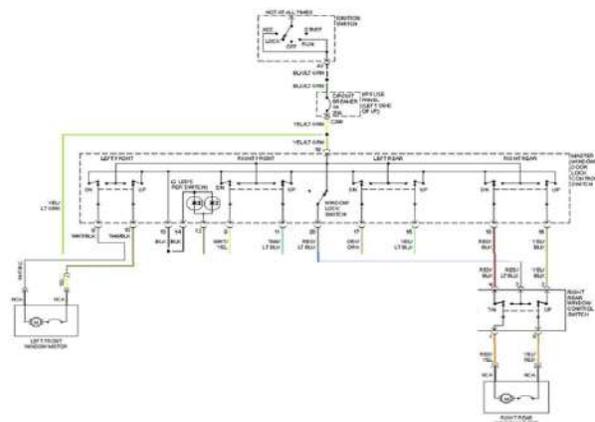


Figura 6 Fragmento de diagrama de ventanillas Mercury Gran Marquiz

- **Bloque II: Sistema eléctrico de luces frontales y traseras.**

Este sistema se integró para analizar el funcionamiento de los faros, el mando de luces, interruptores, módulos leds, etc.

Etapa 2: Diseño

De acuerdo con lo indicado en la etapa anterior de Análisis, se realizó el circuito de control integrado por varios nodos (ECU) que encontrarán interconectados en una red de comunicación bajo protocolo CAN.

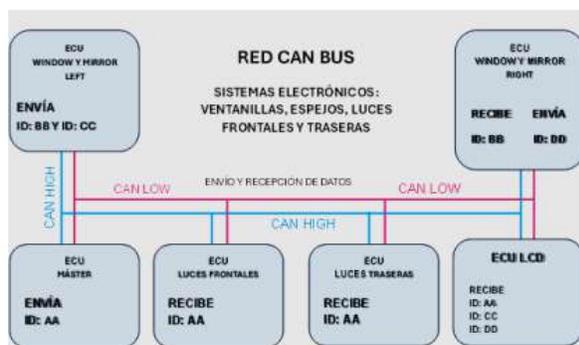


Figura 7 Estructura organizacional de circuitos de control CAN BUS

Como se observa en la figura 7, durante la transmisión de datos de la ECU Master tiene la mayor prioridad al contar con el ID más bajo, en este caso el número hexadecimal "AA". Le sigue la ECU de ventana y espejo izquierdo que opera con dos ID consecutivos, "BB" Y "CC". Por último, la ECU de ventana y espejo derecho con ID "DD". El resto de ECU's solo reciben información con estos ID y ejecutan instrucciones cuando se les asigna. (ver Tabla 2)

Tabla 2

Trama	Campo de Datos	Descripción
Trama ID "AA"	8 bits	Los 8 bits de datos es información de diferentes switches que manipulan el estado de encendido o apagado de luces frontales y traseras.
Trama ID "BB"	8 bits	Conlleva información de pulsadores que son manipulados por el piloto y pueden ordenar alguna acción de movimiento para el espejo y ventanilla right.
Trama ID "CC"	8 bits	Transmite información de algún accionamiento de espejo y ventanilla left, Accionamiento comandado por pulsadores manipulados por el conductor.
Trama ID "DD"	8 bits	Inspirada en la trama con ID BB pero a diferencia de esta, se modifica el movimiento generado para la ventanilla right debido a que esta ventanilla puede ser manipulada por el conductor y el copiloto.

Etapa 3: Implementación

Para esta etapa se desarrolló el código fuente de programación en el software Arduino IDE para integrar las ECU's previamente descritas.

Se presentan las estructuras de las librerías "SPI.h" y "mcp2515.h" utilizadas programar un código destinado al envío y recepción de tramas de datos CAN BUS. (ver figura 8)

```

1 #include <SPI.h> // DEFINE LIBRERIAS
2 #include <mcp2515.h>
3
4 #define sensorlluvia A0 // D
5 #define fotoresistencia A1 // E
6 //
7 int senslluvia =0; // I
8 int fotoresis =0; // NE. VARIABLES
9
10 struct can_frame canMsg1; // AGREGA EL NÚMERO DE
11 struct can_frame canMsg2; // TRAMAS A ENVIAR
12 MCP2515 mcp2515(10); // PIN DE ARDUINO PARA SELECCIONAR EL MCP2515
13
14 void setup() {
15   pinMode(sensorlluvia, INPUT); //DEFINE PINES
16   pinMode(fotoresistencia, INPUT); //DE ENTRADA O SALIDA
17
18   SPI.begin(); // INICIAR COMUNICACION
19   Serial.begin(9600); // SPI (ARDUINO-MCP2515)
20   mcp2515.reset();
21   mcp2515.setBaudrate(CAN_500KBPS, MCP_8MHz); // CONFIGURAR LA VELOCIDAD CAN A 500 KBPS
22   mcp2515.setNormalMode(); // CONFIGURAR MCP2515 MODO NORMAL
23
24   canMsg1.can_id = 0xAA; // ASIGNAR ID HEXADECIMAL
25   canMsg1.can_dlc = 8; // LONGITUD DE DATOS EN LA TRAMA CAN BUS
26   canMsg2.can_id = 0xBB;
27   canMsg2.can_dlc = 8;
28
29 void loop() {
30   int senslluvia = digitalRead(sensorlluvia);
31   int Fotoresis = digitalRead(fotoresistencia);
32
33   canMsg1.data[0] = senslluvia; // CAMPO DE DATOS Y ESTADO DE SUS BITS
34   canMsg1.data[1] = fotoresis;
35   canMsg1.data[2] = ...;
36   canMsg1.data[3] = ...;
37   canMsg1.data[4] = ...;
38   canMsg1.data[5] = ...;
39   canMsg1.data[6] = ...;
40   canMsg1.data[7] = ...;
41   mcp2515.sendMessage(&canMsg1); //ENVÍO DE "TRAMA canMsg1"

```

Figura 8 Ejemplo de código fuente para envío de tramas de datos CAN BUS

Una vez descrita la programación de las ECU, se procede a establecer los circuitos eléctricos que integran a cada una, considerando la parte lógica compuesta por el microcontrolador Atmega 328P y el módulo MCP2515 seguida de la parte de potencia que permite la recepción de las señales, pulsadores y/o switches, así como el control de actuadores que se desea manipular.

En la figura 9 se representa la propuesta de diseño del circuito eléctrico/electrónico que integra la ECU Master.

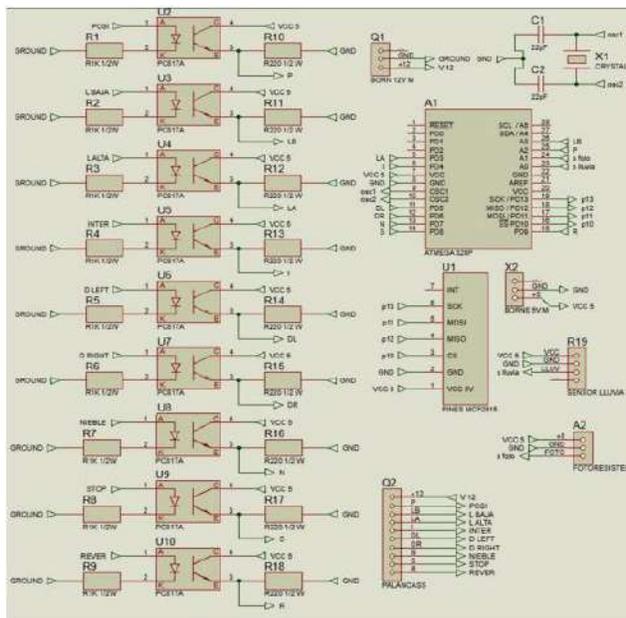


Figura 9 Circuito electrónico de ECU Master

Etapa 4: Verificación

En esta etapa se deben cumplir tres tareas importantes para corroborar que nuestra programación y los circuitos eléctricos de las ECU puedan trabajar conjuntamente sin problemas. Las tareas a cubrir son las siguientes:

- Verificación de los códigos de programación: En términos informáticos, esto se conoce como “Compile”. Esta acción transforma el código fuente en código máquina y verifica los posibles errores de sintaxis.
- Cargar los códigos de programación en su respectivo microcontrolador ATmega328P para cada ECU: Las tarjetas Arduino permiten, a través de su interfaz ISP, grabar microcontroladores independientes como los ATmega328P.
- Pruebas y corroboración del comportamiento de las ECU: Una vez verificados y grabados los códigos de programación en los microcontroladores ATmega328P, se precede a integrarlos en las respectivas ECU’s, realizar conexiones necesarias para cada circuito y corroborar su correcto funcionamiento.

Etapa 5 Mantenimiento

A partir de este punto, el desarrollo se concentra en la corrección de errores no descubiertos en etapas

anteriores, así como en la verificación de que las conexiones eléctricas mantengan un buen contacto físico entre sí dentro del tablero didáctico con la finalidad de evitar posibles fallas.

Resultados

En la figura 10 se representa la integración de las ECU’s lo que da como resultado la creación del circuito de control para los sistemas eléctricos de ventanillas, espejos, luces frontales y traseras. Este circuito permite la activación o desactivación de los sistemas mencionados en función de las necesidades del usuario. Es decir, una vez encendido el circuito, este permanecerá de las instrucciones que el usuario pueda generar mediante la con interruptores o sensores integrados en el tablero didáctico y así ejecutar cambios en los actuadores como ventanillas, espejos, luces frontales y traseras.



Figura 10 Tablero didáctico de circuito de control CAN BUS de sistemas electrónicos de ventanillas, espejos, luces frontales y traseras.

El circuito de control utiliza un sistema de comunicación CAN BUS para la transferencia de información entre las distintas ECU’s interconectadas dentro del tablero, las cuales tienen la capacidad de tomar lecturas en tiempo real de las instrucciones que el usuario genere.

Pruebas Técnicas del Circuito de Control

Una vez realizada la conexión del circuito de control, se procedió a efectuar pruebas técnicas con ayuda de un osciloscopio para verificar el correcto funcionamiento

de las tramas CAN BUS encargadas de la intercomunicación de las ECU's dentro de la red.

En las figuras 11 y 12 se muestran algunas de las tramas CAN BUS generadas a partir de la activación de funciones como las luces intermitentes y las ventanillas del copiloto, respectivamente. Cabe mencionar que los rangos de voltaje de las líneas CAN HIGH y CAN LOW en promedio van de 2.5 a 3.75 V y de 2.5 a 1.25 V, respectivamente, por lo que se realiza una comparativa con estos valores.

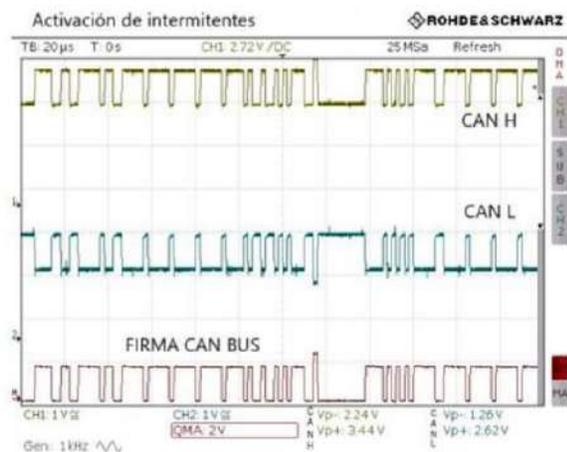


Figura 11 Tramas CAN BUS de activación de luces intermitentes

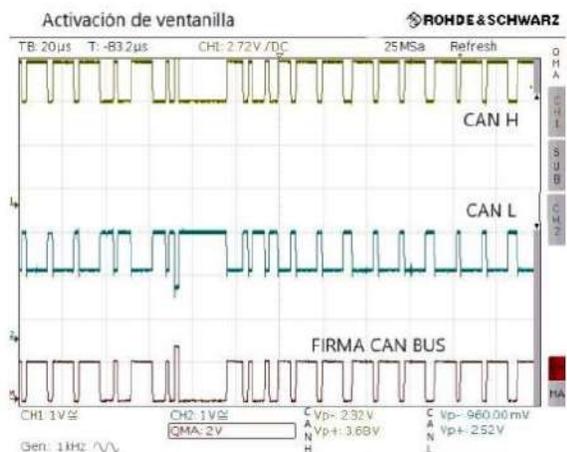


Figura 12 Tramas CAN BUS de activación de ventanilla copiloto

Otro aspecto importante a considerar es la velocidad de transmisión de las tramas CAN dentro de la red. En la figura 13 se muestra la medición de la velocidad de un bit correspondiente a una trama tipo estándar de luces de posición, obteniendo un resultado de 490 kHz,

es decir, 490 kbit/s, lo que permite el envío de 8909 mensajes por segundo.

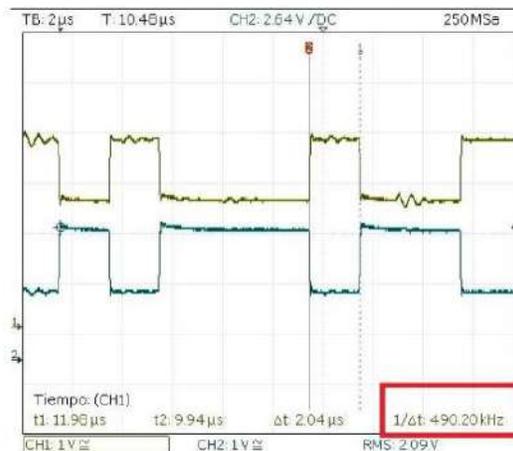


Figura 13 Medición de velocidad de transmisión de unbit en estado dominante de una trama de luces de posición.

Durante la activación de cada uno de los sistemas, se representa un indicador en la pantalla LCD como medio de comprobación visual de que el circuito está funcionando correctamente (ver figura 14).



Figura 14 Testigos activos en pantalla LCD

La tabla 3 muestra la simbología correspondiente a cada elemento del tablero.

Tabla 3

Testigo	Descripción
W1: U o W1: D	Ventanilla de conductor en movimiento (Subiendo o Bajando)
W1: "Down"	
W2: U o W2: D	Ventanilla de Copiloto en movimiento (Subiendo o Bajando)
W2: "Down"	
M1: N	Espejo Retrovisor Left en movimiento hacia algún punto cardinal
M1: S	
M1: E	
M1: W	
M2: N	Espejo Retrovisor Right en movimiento hacia algún punto cardinal
M2: S	
M2: E	
M2: W	
< >	Intermitentes o algún direccional activo
N	Luz Neblineros
P	Luz Posición
B	Luz Baja
A	Luz Alta
S	Stop
R	Reversa

Conclusiones

Con este proyecto se espera aportar información relevante que sirva como base para futuros proyectos relacionados con el uso del protocolo de comunicaciones CAN BUS, por parte de los alumnos de la carrera de Ingeniería en Sistemas Automotrices del ITSLibres, exhortándolos a aplicar dicho protocolo.

Referencias

- Alarms, A. S. (2020, 17 de diciembre). CAN BUS: componentes y características. Recuperado de <https://asiro.com/can-bus-componentes-y-caracteristicas/>
- Automotriz, I. Y. (2020, 17 de marzo). Ingeniería y mecánica automotriz. Recuperado de <https://www.ingenieriaymecanicaautomotriz.com/quees-el-can-bus-y-como-funciona/>
- García Osés, A. (2015). Diseño de una red CAN BUS con Arduino. Pamplona, España.

- HELLA. (2024). Revisión del sensor de lluvia - Sensor de luz. Recuperado de <https://www.hella.com/techworld/mx/Informacion-Tecnica/Electricidad-yelectronica-del-automovil/Revision-del-sensor-de-lluvia-Sensor-de-luz-42078/>
- Iglesias Paz, R. (2019, 16 de enero). CAN BUS de tracción J 587 UCE palanca ID J 104 UCE ABS ID 4A0 J 431 UCE alcance de faros ID G 85 transmisor ángulo de giro ID 0C2. Recuperado de <https://docplayer.es/95373978-Can-bus-de-traccion-j-587-uce-palanca-id-j-104-uceabs-id-4a0-j-431-uce-alcance-de-faros-id-g-85-transmisor-angulo-de-giro-id-0c2.html>
- Martínez Requena, A., & Requena, A. (2017). Introducción a CAN BUS: Descripción, ejemplos y aplicaciones de tiempo real. Madrid, España.
- MotorOK. (2020, 28 de julio). ¿Cómo funciona el protocolo de comunicación CAN? Recuperado de <https://motorok.com/noticias/protocolo-comunicacion-can-bus-automocion/>

Diseño e implementación de una interfaz gráfica en Python para el control manual de un mini dron tipo Tello

¹ E. Montiel Jiménez, ² R. Pérez Saldaña, ³ Y. M. Suárez González

Resumen: Resumen: En el presente artículo se describen los resultados obtenidos del diseño e implementación de una interfaz gráfica desarrollada en Python y *TKinter*, con el objetivo de controlar manualmente los movimientos y la navegación de un cuadricóptero tipo Tello. Entre las funciones controladas se incluyen despegue y aterrizaje, vuelo estacionario, giro, ascenso y descenso, y vuelo en las direcciones adelante, atrás, izquierda y derecha. Tello es un dron pequeño y ligero, diseñado para ser fácil de usar, especialmente para principiantes y educadores en el manejo de drones. Aunque sus capacidades de vuelo son básicas en comparación con drones más avanzados, Tello puede realizar diversos movimientos y maniobras utilizando la biblioteca *djitellopy*, lo que proporciona un método directo para su control a través de la programación en Python. Además, la interfaz diseñada incluye una ventana que muestra en tiempo real las imágenes capturadas por la cámara del dron Tello.

Las pruebas realizadas para evaluar la respuesta a los controles de navegación se llevaron a cabo en el laboratorio de electromecánica del Instituto Tecnológico Superior de Libres, y la aplicación mostró una buena respuesta del dron Tello en los movimientos en tiempo real.

Palabras Clave: Dron Tello, Python, Interfaz Gráfica.

Introducción

El dron Tello es un dispositivo desarrollado por *Ryze Technology* en colaboración con DJI e Intel, conocido por su accesibilidad y facilidad de uso tanto para principiantes como para usuarios avanzados. Sus características principales incluyen un diseño compacto y ligero, una cámara de 5 megapíxeles capaz de capturar video en 720p, y la capacidad de ser programado mediante lenguajes como Scratch, Python y Swift, lo que lo convierte en una herramienta educativa ideal (Ryze Tech, 2023; DJI, 2023).

El Tello cuenta con una batería que ofrece aproximadamente 13 minutos de tiempo de vuelo, así

como sensores de visión y barométricos para mantener la estabilidad durante el vuelo. Puede ser controlado mediante una aplicación móvil o un controlador compatible (DJI, 2023; Ryze Tech, 2023). Su SDK permite a los desarrolladores crear aplicaciones personalizadas y realizar proyectos de investigación, ampliando su utilidad en campos como la educación y la ingeniería (Ryze Tech, 2023).

Programar el dron Tello implica el uso de varios lenguajes de programación y plataformas que permiten a los usuarios controlarlo y realizar diversas tareas, como se describe a continuación:

- **Python:** Uno de los lenguajes más comunes para programar el Tello es Python. Primero, se debe asegurar que Python esté instalado en el sistema. Luego, es necesario instalar bibliotecas como *djitellopy*, que facilita la comunicación con el dron Tello.
- **Scratch:** Para los usuarios más jóvenes o principiantes, Scratch es una opción accesible. *Scratch 3.0* incluye una extensión específica para el dron Tello, que permite programarlo mediante bloques visuales.

Python es un lenguaje muy versátil y potente, utilizado en una amplia variedad de aplicaciones, desde el desarrollo web hasta la inteligencia artificial. Esto permite que el código utilizado para controlar el dron Tello se integre fácilmente con otros proyectos y tecnologías (Van Rossum & Drake, 2009).

Tkinter es un módulo de Python utilizado para crear interfaces gráficas de usuario (GUI). Es la biblioteca estándar de Python para este propósito y está incluida en la instalación estándar de Python, lo que facilita su uso sin necesidad de instalar paquetes adicionales.

Derivado de estos argumentos, se propone utilizar Python para desarrollar una interfaz gráfica con la ayuda de las bibliotecas *Tkinter* y *djitellopy*.

El presente artículo está estructurado en cuatro apartados. En el segundo apartado se presentan

trabajos de investigación previos sobre la utilización del dron Tello; en el tercer apartado se describe la metodología desarrollada; en el cuarto apartado se analizan los resultados obtenidos; y en el último apartado se encuentran las conclusiones, recomendaciones y trabajos futuros que se pueden derivar de la presente investigación.

Trabajos Previos.

El dron Tello ha sido utilizado en diversos proyectos de investigación gracias a su versatilidad y capacidad para realizar tareas complejas en campos como la educación, la agricultura y la ingeniería. A continuación, se presentan algunos ejemplos específicos de su aplicación en proyectos de investigación:

- **Educación y aprendizaje de la programación:** En este ámbito, el Tello ha sido utilizado para enseñar conceptos de programación y robótica a estudiantes de diversas edades. Un ejemplo de esto es la investigación realizada por García-Rosales et al. (2021), donde se exploró el uso del dron Tello para mejorar las habilidades de programación en estudiantes de secundaria.
- **Agricultura de precisión:** El dron Tello ha sido empleado en la monitorización de cultivos y el análisis de campos agrícolas. Por ejemplo, en el estudio de Li et al. (2020), se utilizó el Tello para evaluar la salud de las plantas y optimizar los recursos agrícolas.
- **Ingeniería y desarrollo de sistemas de control:** En el área de la ingeniería, el Tello ha sido utilizado para el desarrollo y prueba de algoritmos de control y navegación. En la investigación de Huang y Lin (2021), se desarrollaron y probaron nuevos algoritmos de navegación autónoma utilizando el Tello como plataforma de pruebas.

Estos estudios demuestran la versatilidad y eficacia del dron Tello en diversas aplicaciones de investigación, destacándose como una herramienta valiosa en la educación, la agricultura y la ingeniería.

Metodología desarrollada

En este apartado se describe la metodología desarrollada (ver Figura 1) para la solución del problema planteado, desde el diseño de la interfaz gráfica hasta la construcción de la interfaz y la comunicación con el dron Tello.



Figura 1: Metodología propuesta para la solución de la problemática planteada.

Boceto de la Interfaz Gráfica.

Como primera etapa de la metodología, se desarrolló un boceto de la interfaz gráfica (ver Figura 2), que permite visualizar el diseño preliminar de la distribución de los elementos que conformarán la interfaz, como botones, etiquetas, cajas de texto y el área donde se mostrarán las imágenes enviadas desde la cámara del dron Tello.

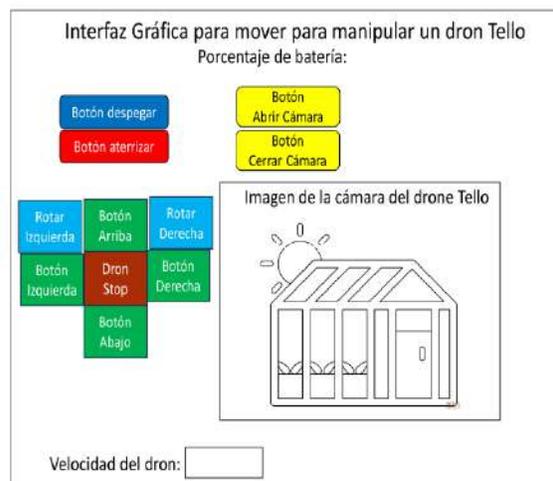


Figura 2: Boceto de la interfaz gráfica propuesta para controlar el dron tello.

En la Figura 2 se observa que el boceto propuesto incluye un apartado con botones para manipular los movimientos básicos del dron Tello (despegue, aterrizaje, subir, bajar, izquierda, derecha, rotaciones hacia ambos lados). También se añade un cuadro de texto para introducir el porcentaje de velocidad deseado para los movimientos del dron. Además, se integraron dos botones adicionales para manipular el estado de la cámara, y se propuso un área en la que se visualizarán en tiempo real las imágenes capturadas por la cámara del dron.

Vincular dron Tello con computadora

Vincular el dron Tello a una computadora te permite controlarlo y programarlo desde una PC.

1. Encender el Dron
2. Conectar la Computadora a la Red Wi-Fi del Dron.
3. Verificar la Conexión
4. Instalar librerías necesarias: *djitellopy*.
5. Escribir y ejecutar el código para controlar el Dron utilizando un (IDE) como Spyder

En la Figura 3 se muestra un script de *Spyder de Python* para controlar el dron Tello desde la computadora.

```

1 #cargamos librerias
2 from djitellopy import tello
3 from time import sleep
4
5 print("Conexion con Drone Tello")
6 tello = tello.Tello() #creamos un objeto tello
7 tello.connect() #conectamos el objeto
8 print("Porcentaje de Bateria: ", tello.get_battery()) #
9
10 tello.takeoff() #Despegar
11 #Movimiento con velocidades en Drone Tello
12 tello.send_rc_control(10, 0, 0, 0) #Mover el dron hacia
13 sleep(2) #esperamos 2 segundos
14 tello.send_rc_control(-10, 0, 0, 0) #Mover el dron hacia la
15 sleep(2) #esperamos 2 segundos
16 tello.send_rc_control(0, 10, 0, 0) #Mover el dron hacia
17 sleep(2) #esperamos 2 segundos
18 tello.send_rc_control(0, -10, 0, 0) #Mover el dron hacia
19 sleep(2) #esperamos 2 segundos
20 tello.send_rc_control(0, 0, 10, 0) #Eleva el dron
21 sleep(2) #esperamos 2 segundos
22 tello.send_rc_control(0, 0, -10, 0) #Baja el dron
23 sleep(2) #esperamos 2 segundos
24 tello.send_rc_control(0, 0, 0, 10) #Gira la cabeza del
25 sleep(2) #esperamos 2 segundos
26 tello.send_rc_control(0, 0, 0, -10) #Gira la cabeza del
27 sleep(2) #esperamos 2 segundos
28 tello.send_rc_control(0, 0, 0, 0) #dron stop
29 sleep(2) #esperamos 2 segundos
30
31 tello.land() #Aterrizar
32 tello.end() # Desconectar del dron
    
```

Figura 3: Script de Python, realizado en el entorno de Spyder para conectar y realizar movimientos básicos con el dron Tello

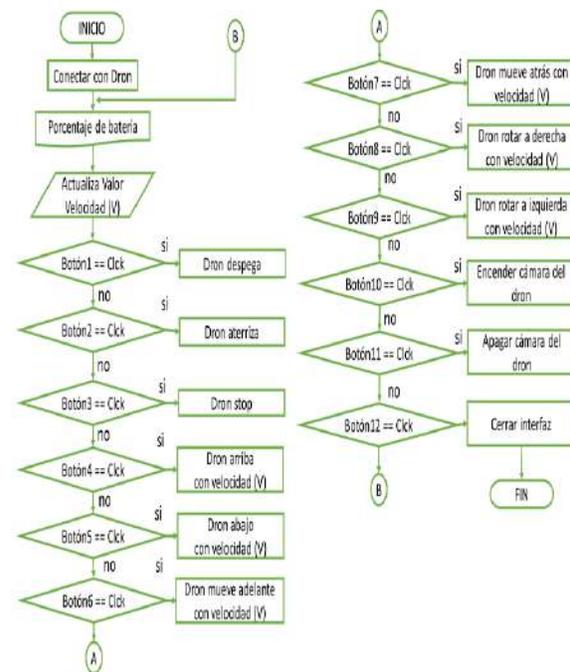
El script de Python, realizado en el entorno de Spyder, como se observa en la Figura 3, al ser ejecutado el código, la computadora se conecta al dron Tello, imprime en consola el valor del porcentaje actual de la batería, enseguida el dron Tello despegar, se mueve hacia la derecha con una velocidad 10 m/s durante 2 segundos, en seguida el dron se mueve hacia la izquierda con una velocidad 10 m/s durante 2 segundos, en seguida el dron se mueve hacia adelante con una velocidad de 10 m/s durante 2 segundos,

después el dron se mueve hacia atrás con una velocidad de 10m/s durante 2 segundos, después el dron se eleva a una velocidad de 10m/s durante 2 segundos, después el dron desciende con una velocidad de 10m/s durante 2 segundos, en seguida el dron rota hacia la derecha a una velocidad de 10m/s durante 2 segundos, después el dron rota hacia la izquierda a una velocidad de 10m/s durante 2 segundos, el dron se queda allí en esa posición durante 2 segundos y por último se realiza el aterrizaje del dron y desconexión de la comunicación.

Diseño del algoritmo para controlar el dron Tello desde la interfaz gráfica

La última parte de la metodología consiste en proponer un algoritmo que permita controlar el dron Tello desde la interfaz gráfica. En la Figura 3 se presenta el algoritmo diseñado mediante diagramas de bloques, que constituye la base del funcionamiento de la interfaz gráfica a desarrollar.

En el algoritmo 1 diseñado con diagrama de flujo, se analiza que se incluye la lógica de control y funcionamiento de los botones propuestos en el boceto de la Figura 2, añadiendo en algunos casos la variable de velocidad según sea necesario.



Algoritmo 1: Algoritmo que permitirá la comunicación y el control de navegación con el dron Tello.

Resultados

En este apartado se describen los resultados obtenidos de la implementación de la interfaz gráfica para el control del dron Tello. En la Figura 4 se muestra el funcionamiento final de la aplicación de la interfaz gráfica, diseñada en el entorno de Spyder y vinculada con el dron Tello. La aplicación fue ejecutada y probada en las instalaciones del laboratorio de electromecánica del TecNM campus Libres.

En la Tabla 1 se presentan los resultados finales del funcionamiento de cada uno de los botones, correspondientes a las acciones de navegación básica del dron Tello.

El algoritmo propuesto en el diagrama de flujo resultó funcional para ofrecer una sólida representación gráfica de las acciones que realizará cada uno de los componentes que integran la interfaz gráfica.



Figura 4: Funcionamiento en tiempo real de la interfaz gráfica diseñada y vinculada con el dron Tello.

En la Figura 4 se puede apreciar que el diseño final de la interfaz gráfica coincide en un 100% con el boceto propuesto en la Figura 2. Además, se evidencia una comunicación efectiva con el dron Tello, ya que se muestra el porcentaje de batería, así como la imagen capturada en tiempo real por la cámara del dron Tello.

Tabla 1: Funcionamiento de botones de interfaz gráfica que corresponden a la navegación del dron Tello

Acción	Interfaz	Dron
Despegar		
Aterrizar		
Velocidad	<input type="text" value="Velocidad del dron: 24"/>	
Arriba		
Abajo		
Adelante		
Atrás		
Rotación izquierda		
Rotación derecha		
Abrir Transmisión		
Cerrar Transmisión		

Conclusiones

La implementación de la interfaz gráfica en Python y *TKinter* para controlar el dron Tello demuestra la efectividad y versatilidad de este enfoque para la manipulación de drones a nivel educativo y para principiantes. Las capacidades limitadas del Tello en comparación con drones más avanzados, los resultados indican que la interfaz desarrollada cumple con su propósito de facilitar el control manual del dron, permitiendo maniobras básicas de vuelo.

La integración de la visualización en tiempo real de la cámara del dron añade un valor significativo a la aplicación, al mejorar la interacción y la experiencia del usuario.

Las pruebas realizadas en el laboratorio de electromecánica del Instituto Tecnológico Superior de Libres validan la eficiencia de la interfaz, demostrando una respuesta adecuada del dron a los comandos de navegación en tiempo real.

Este desarrollo no solo proporciona una herramienta educativa útil, sino que también sienta las bases para futuras mejoras y aplicaciones en la automatización y control de drones mediante programación en Python.

Trabajos futuros

Para mejorar el funcionamiento de la interfaz gráfica y la respuesta del dron Tello, se recomienda la utilización de una aplicación basada en ROS.

Referencias

- (JI. (2023). *Tello: Feel the Fun*. DJI. <https://www.dji.com/tello>
- García-Rosales, J. D., Rodríguez-Reséndiz, J., Ramírez-Cabrera, M. de J., Trejo-Guerra, R., & García-Aguilar, G. (2021). Use of the Tello drone to enhance programming skills in high school students. *Education and Information Technologies*, 26(4), 4155-4174. <https://doi.org/10.1007/s10639-021-10450-7>
- He, L. (2020). *Tello Programming: Control the DJI Tello Drone with Python*. Apress.
- Huang, J., & Lin, H. (2021). Development and testing of autonomous navigation algorithms using the Tello drone. *Journal of Robotics and Autonomous Systems*, 45(2), 201-212. <https://doi.org/10.1016/j.jras.2021.04.002>
- Li, X., Zhang, Y., & Wang, H. (2020). Application of Tello drone in precision agriculture. *Journal of*

Agricultural Science and Technology, 22(3), 123-134. <https://doi.org/10.1007/s12345-020-09876-0>

- Lutz, M. (2013). *Programming Python* (4th ed.). O'Reilly Media.
- Ryze Tech. (2023). *Tello: Your first drone*. Ryze Technology. <https://www.rzyzerobotics.com/tello>
- Ryze Tech. (2023). *Tello SDK 2.0*. Ryze Technology. <https://dlcdn.rzyzerobotics.com/downloads/tello/SDK%20Tello%202.0.pdf>
- Scratch Team. (2023). *Scratch Programming for Drones*. MIT Media Lab. <https://scratch.mit.edu/drones>
- Shipman, J. W. (2013). *Tkinter 8.5 reference: A GUI for Python*. New Mexico Tech. <https://www.nmt.edu/tcc/help/pubs/tkinter/web/>
- Van Rossum, G., & Drake, F. L. (2009). *Python 3 Reference Manual*. CreateSpace.

Currículo corto de los autores

¹ MSc. Elmar Montiel Jiménez: Ingeniero en Electrónica por el Instituto Tecnológico de Apizaco (2009) y Maestro en Sistemas Computacionales por el Instituto Tecnológico de Apizaco (2012). Actualmente, es docente del Sistema Tecnológico Nacional de México desde 2013, adscrito a Ingeniería en Electromecánica y responsable de la Línea de Investigación "Automatización, Instrumentación y Control" del TecNM Campus Libres.

MC. Román Pérez Saldaña: Ingeniero en Electrónica por el Instituto Tecnológico de Apizaco (2010) y Maestro en Ciencias de la Ingeniería Electrónica por el Centro Nacional de Investigación y Desarrollo Tecnológico (2012). Actualmente, es docente del Sistema Tecnológico Nacional de México desde 2014, adscrito a Ingeniería en Sistemas Automotrices y colaborador en la Línea de Investigación "Automatización, Instrumentación y Control" del TecNM Campus Libres.

Lic. Yahira Magdalena Suárez González: Licenciada en Matemáticas Aplicadas por la Universidad Autónoma del Estado de Tlaxcala (2012). Actualmente, es docente del Sistema Tecnológico Nacional de México desde 2013, adscrita al Departamento de Ciencias Básicas e integrante de la Línea de Investigación "Automatización, Instrumentación y Control" del TecNM Campus Libres.

Estudio de las empresas logísticas de la Zona Libre de la Frontera Norte que han Implementado el Offshoring en sus Estrategias de Comercio Internacional

A. Martínez Caballero¹; R.A. Bautista Vital²; G.N. Mendoza Valente³; B. Zamorano Sánchez⁴.

RESUMEN

El objetivo de este estudio es analizar las empresas logísticas de la Zona Libre de la Frontera Norte de México (ZLFNM) que han incorporado el offshoring en sus estrategias de comercio internacional, identificando sus ventajas, desventajas y eficiencia logística. Este estudio es de tipo descriptivo, basado en el paradigma interpretativo y utilizando un método etnográfico con un enfoque cualitativo. Se apoya en teorías del offshoring y de la cadena de suministro propuestas por Crino, Zamora, Ferrel, López y García. A partir del informe de la Secretaría de Economía sobre el programa ZLFNM y de datos obtenidos del periódico en línea El Economista, se establecieron las bases de la investigación y se obtuvieron resultados concluyentes. Como resultado, se concluye que el offshoring, al implicar la reubicación de operaciones en el extranjero, favorece la reducción de costos logísticos, la optimización de la cadena de suministro, una mayor capacidad de respuesta a la demanda del mercado y el acceso a nuevos mercados internacionales. Estas estrategias son cruciales en el proceso de comercio internacional, ya que permiten enfrentar los desafíos de la gestión logística, los riesgos geopolíticos y regulatorios, los cuales deben ser manejados con precaución. Estas herramientas generan beneficios tanto para las empresas como para la industria manufacturera. Al implementar estrategias de offshoring enfocadas en logística y comercio internacional, se proyecta una reducción del 10% en los costos para 2024.

Palabras clave: logística, offshoring, estrategias, comercio internacional.

¹M.E.S. Ariadna Martínez Caballero, Profesora de Tiempo completo, Universidad Politécnica de Tecámac, Tecámac Estado de México, Estado de México.

ariadna_caballero@uptecamac.edu.mx

²Roberto Angel Bautista Vital, Estudiante,

roberto_1321141023@uptecamac.edu.mx

³Guillermo Nicolás Mendoza Valente, Estudiante,

guillermo_1321141159@uptecamac.edu.mx

⁴Braulio Zamorano Sánchez Estudiante,

braulio_1321141510@uptecamac.edu.mx

Introducción

La dinámica de crecimiento de los tratados de libre comercio y la implementación de nuevas políticas de comercio exterior imponen cada vez mayores exigencias en el sector de las micro, pequeñas y medianas empresas, especialmente en lo que respecta a la gestión de la cadena de suministro, la logística internacional, la gestión de almacenes y el embalaje, todo ello en un contexto global marcado por el aumento de la competencia y la creciente demanda de internacionalización de productos y servicios. Para garantizar el desarrollo adecuado de la organización, toda empresa que maneje mercancías está obligada a adoptar un sistema logístico eficiente en sus almacenes, que incluya tanto un sistema de planificación logística de los transportistas necesarios, como un almacenamiento adecuado e instalaciones que gestionen la mercancía en el área de almacén, culminando con una inspección rigurosa de la mercancía, la cual debe ser tratada con un estricto sentido de responsabilidad y seguridad.

En relación con la optimización de las operaciones logísticas, es crucial considerar el concepto de offshoring. Aunque es cierto que el offshoring permite minimizar costos y tiempos de producción, esto es posible únicamente cuando se dispone de mano de obra capacitada y accesible, que a su vez permita optimizar los costos en la región. En México, los municipios más beneficiados por el offshoring son aquellos pertenecientes a la Zona Libre de la Frontera Norte, según los Criterios Generales de Política Económica 2024 de la Secretaría de Hacienda y Crédito Público (SHCP). No obstante, la agencia federal señala que esta reestructuración de la oferta fortalecerá la región de tres maneras: aumentando la creación de empleos, construyendo instalaciones industriales y dinamizando la industria manufacturera. Por ejemplo, en ciudades como Tijuana o Ciudad Juárez, el porcentaje de espacio vacante en naves industriales se redujo a menos del 1.0 por ciento; esta escasez de

inmuebles ha provocado un aumento en las rentas, que en el segundo trimestre de 2023 registraron un incremento anual del 16.4 por ciento en Ciudad Juárez (Ayala, 2023).

A partir de lo anterior, surge la siguiente pregunta: ¿De qué manera la logística y el comercio internacional se constituyen como factores determinantes en la implementación del offshoring y en el aumento de las rentas en la Zona Libre de la Frontera Norte?

Contexto teórico

Offshoring como estrategia

Como enfoque inicial al concepto, menciona Ricart y Agnese (2007), que el término offshoring deriva de off (alejado) y shore (costa), refiriéndose a las diversas actividades que realizan lejos del país de origen. A semejanza de este concepto, es importante que definir los siguientes términos: fragmentación de la producción, globalización, la localización industrial y el offshoring, cabe señalar que se ocupan los términos offshoring y deslocalización sinónimos, debido a que múltiples autores hacen una distinción al mismo fenómeno derivado de los procesos productivos fuera del país nativo para su traslado.

Fragmentación de la producción

La herramienta offshoring está determinada por las posibilidades de separar diversas fases de producción de un bien o servicio tangible, siendo así que el término conocido como fragmentación de la producción permite a las empresas dividir los procesos de producción en etapas más sencillas y diferenciadas, (producción, aprovisionamiento, control de calidad y transporte), eliminando la necesidad de llevar a cabo procesos en el mismo lugar generando la posibilidad de optimizar procesos aprovechando las opciones al alcance de las empresas y, además hacerlo a lo largo y ancho del planeta, como efecto de la globalización que se explicará más adelante.

De esta forma es posible encontrarse con productos que han recorrido gran parte del mundo antes de ser vendidos en el mercado. Un caso importante es la fabricación de un coche americano, publicado por la Organización Mundial del Comercio en 198, en el que se recorrían diversas etapas en los países que tenían lugar, siendo que el 30% se generaba en Corea, donde se hacía presente el embalaje, el 18% lo tenía Japón donde se producían los componentes eléctricos y los más avanzados tecnológicamente, el 7.5% iba a

Alemania, donde se diseñaba el vehículo, u 4% Taiwán y Singapur, por la producción de las piezas, el 2.5 a Inglaterra, donde tenían lugar las tareas de marketing. A Irlanda y Barbados iba un 1.5% por el procesamiento de datos y finalmente el 38% para el país de origen, siendo Estados Unidos (Canals, 2006). Esta capacidad productiva de fragmentación permite a las empresas llevar a cabo estrategias de offshoring, bien ubicando sus plantas productivas en un suelo extranjero, subcontratando una o varias actividades de la cadena de valor en otros países extranjeros, con el objetivo de obtener mayores ventajas competitivas que les permitan afianzar o mejorar su posición en el mercado mundial.

Globalización

En este sentido, existen varias razones para explicar la globalización. Por un lado, mejora de los transportes a todos los niveles, tanto por tierra, como por mar y aire. Las mejoras en las infraestructuras han generado una importante reducción en los tiempos y en el costo de transporte de mercancías en todo el mundo. También el beneficio de las telecomunicaciones, especialmente con la aparición de internet, permitiendo comunicarse de manera inmediata y a un bajo coste, siendo así que esto facilita la posibilidad de comercio o de coordinación entre las distintas unidades de una empresa localizadas en diferentes zonas geográficas.

Por supuesto ha sido fundamental la aportación de los gobiernos y distintas organizaciones como la Organización de las Naciones Unidas (ONU), LA Organización Mundial de Comercio (OMC), o el Fondo Monetario Internacional (FMI), que han desarrollado e implementando políticas comerciales que han implementado este fenómeno. Empezando por la reducción de aranceles hasta la creación de áreas de libre comercio (NAFTA) o mercados comunes (Unión europea, MERCOSUR); así como la reducción de barreras arancelarias entre países, favoreciendo un libre tránsito de mercancías y personas.

Fernández (2003), menciona que la ubicación industrial es el proceso de elección de un espacio geográfico para enfocar las actividades productivas, es decir, el lugar donde se transfieren los insumos del proceso y desde donde se transportan los productos hasta los clientes de la empresa, es una decisión estructural y estructural. por lo que es estratégico para la empresa, requiere una inversión importante y tiene un impacto a largo plazo.

Ventajas comparativas del offshoring

No todos están de acuerdo con la afirmación de que el libre comercio basado en la ventaja comparativa ya no aplica en el mundo actual. Señalan que es la tecnología y no el movimiento de la mano de obra, lo que crea nuevas oportunidades para el comercio de servicios y esto no niega el caso del libre comercio. Tecnologías como las de cómputo y red de internet han hecho que el sector servicios sea un candidato para el offshoring debido a que es importante procesar datos. De hecho, parece que quienes elaboran las políticas tienen pocas opiniones para desacelerar este proceso de rápido cambio tecnológico. Siendo así que, quienes apoyan el offshoring pueden crear una situación de ganar-ganar para la economía global.

David Ricardo (1817) menciona que durante décadas los economistas han insistido en que, si los países equilibran sus intercambios, el libre comercio genera beneficios. De ahí surge el concepto de ventaja comparativa, que sostiene que si cada país se especializa en lo que mejor produce y permite la circulación del comercio, todos obtendrán mejores precios, mayores niveles de producción, ingresos y consumo, en comparación con lo que sería posible en un escenario de aislamiento. Sin embargo, ¿es pertinente la teoría de la ventaja comparativa en el nuevo siglo, cuando los empleos administrativos o de "cuello blanco" se trasladan a países con salarios más bajos?

Por otro lado, los críticos de Ricardo señalan que, en el mundo actual, recursos importantes como la tecnología, el capital y las ideas pueden trasladarse con facilidad a cualquier parte del mundo. La ventaja comparativa se debilita si los recursos pueden desplazarse hacia donde sean más productivos, lo cual es el caso actual, donde existen relativamente pocas naciones con abundancia de mano de obra de bajo costo. En este contexto, no hay ganancias compartidas; algunas naciones ganan, mientras que otras pierden.

Función de las operaciones de producción en la cadena de suministros

Coyle (2018) menciona que muchas de las actividades de la cadena de suministro y logística se centran en las operaciones: operaciones de abastecimiento que proporcionan acceso a los materiales, operaciones de transporte que apoyan el flujo de bienes, operaciones de distribución que optimizan el cumplimiento de pedidos, entre otras. En conjunto, estas actividades crean utilidades de tiempo y lugar. Sin embargo, las contribuciones potenciales de la manufactura de

bienes y la producción de servicios a la efectividad de la cadena de suministro a menudo se pasan por alto porque se enfocan en una dimensión diferente, pero igualmente importante, de la utilidad económica. De esta manera, todas las actividades y procesos que implican un cambio en la apariencia o composición de un bien o servicio se orientan a crear utilidad de forma, haciendo más atractivo el producto o servicio para los usuarios actuales y potenciales, lo que genera demanda.

Los fabricantes, ensambladores por contrato y proveedores de servicios participan en los procesos de producción, durante los cuales los insumos se transforman en productos. Este proceso de producción utiliza recursos como instalaciones, equipo, conocimiento, mano de obra y capital para apoyar la transformación. La retroalimentación explícita de información se utiliza para realizar modificaciones con el fin de sincronizar más estrechamente la producción con la demanda. Ignorar estas señales de retroalimentación puede conducir a un exceso de inventario de productos impopulares o a la escasez de inventario de artículos de moda (Coyle, 2018).

Coyle (2018) también señala que los gerentes de operaciones enfrentan una serie de desafíos e intercambios en constante evolución que deben gestionarse con éxito si la organización y la cadena de suministro desean alcanzar sus metas de desempeño. Los desafíos actuales incluyen cumplir con los crecientes requisitos de regulación y trazabilidad, mantener una constante innovación de productos, superar la escasez de mano de obra especializada, controlar los costos salariales y gestionar las preocupaciones ambientales, equilibrando el rendimiento de la productividad con los requisitos de mantenimiento. Además, la presión competitiva es otro desafío importante para muchos fabricantes y proveedores de servicios establecidos. A medida que el alcance global de las cadenas de suministro hace posible adquirir y producir productos en casi cualquier parte del mundo, las compañías necesitan actualizar continuamente sus capacidades de producción y desarrollar respuestas innovadoras frente a los nuevos competidores.

La expectativa de productos personalizados que cumplan con las especificaciones de los compradores individuales requiere procesos de producción diferentes a los métodos de ensamblado necesarios para los bienes estandarizados. La reducción del ciclo de vida de los productos también ha dejado obsoletas

las largas corridas de producción de estos bienes comunes.

Ventajas y desventajas del offshoring

Cuando una empresa decide implementar el offshoring, debe ser consciente de que esta estrategia conlleva tanto ventajas como desventajas. Aunque el ahorro de costos es una de las principales ventajas y un objetivo atractivo para muchas organizaciones, también existen riesgos significativos que pueden impactar negativamente en la empresa. Uno de los riesgos más destacados es la posible pérdida de propiedad intelectual, un problema que ha afectado a numerosas compañías en el pasado (López, 2020).

Es fundamental que las empresas que están considerando el offshoring estén bien informadas sobre las ventajas y desventajas antes de tomar una decisión. A continuación, se describen algunos aspectos positivos y negativos de la implementación del offshoring.

Ventajas del offshoring:

- Ahorro de costos
- Incremento en la productividad
- Apertura de nuevos mercados

- Contratación de mano de obra barata
- Diversificación del riesgo

Desventajas del offshoring:

- Pérdida de propiedad intelectual
- Conflictos culturales y lingüísticos
- Pérdida de calidad en el producto
- Condiciones laborales precarias
- Pérdida de control sobre la compañía

En un mundo cada vez más globalizado, la fabricación y producción de productos se ha convertido en un proceso que involucra a múltiples países y regiones. Ejemplos de esta compleja red de interconexiones se pueden encontrar en diversos sectores, desde la industria del juguete hasta la atención médica, la fabricación de automóviles y la industria de la moda. Empresas como Mattel, sectores del ámbito médico, automotriz y de moda, entre otros, han implementado offshoring a nivel internacional.

En la Zona Libre de la Frontera Norte, varios estados y municipios han adoptado el offshoring como estrategia en sus actividades comerciales internacionales, como se muestra en la figura 1. Estos son:



Figura 1. Fuente: Secretaría de Economía (2023)

Baja California: Ensenada, Mexicali, Playas de Rosarito, Tecate y Tijuana.

Sonora: San Luis Río Colorado, Puerto Peñasco, General Plutarco Elías Calles, Caborca, Altar, Sáric, Nogales, Santa Cruz, Cananea, Naco y Agua Prieta.

Chihuahua: Janos, Ascensión, Juárez, Guadalupe, Praxedis G. Guerrero, Coyame del Sotol, Ojinaga y Manuel Benavides.

Coahuila de Zaragoza: Ocampo, Jiménez, Acuña, Zaragoza, Piedras Negras, Nava, Guerrero e Hidalgo.

Nuevo León: Anáhuac.

Tamaulipas: Guerrero, Nuevo Laredo, Mier, Miguel Alemán, Camargo, Gustavo Díaz Ordaz, Reynosa, Río Bravo, Valle Hermoso y Matamoros.

Este proyecto es creado por el gobierno, el cual integra la reducción del pago del IVA a 8% y del ISR a 20%, con el fin de incrementar el salario mínimo regional al doble y la homologación del precio de combustible con los de la Unión Americana.

Por otra parte, en el Plan Nacional de Desarrollo 2019-2024 se menciona que “El programa Zona Libre de la Frontera Norte comenzó su aplicación el 1° de enero en los 43 municipios fronterizos con Estados Unidos, pertenecientes a los estados de Baja California, Sonora, Chihuahua, Coahuila, Nuevo León y Tamaulipas, los cuales generan el 7.5% del Producto Interno Bruto nacional y ofrecen beneficios al desarrollo, como la reducción del IVA del 16% al 8%, la disminución del ISR al 20%, el incremento del salario mínimo al doble y la homologación del precio de los combustibles con los Estados Unidos”. En el caso de la gasolina, se utilizarán estímulos en materia de IEPS (Impuesto Especial sobre Producción y Servicios) (Secretaría de Economía, 2023).

Los principales resultados del programa, así como las ventajas y desventajas obtenidas a través de la estrategia de offshoring, son los siguientes:

Al cierre de 2022, más de 19 mil contribuyentes optaron por la reducción del IVA y del ISR derivado del Decreto para la ZLFN, acumulando un total de 175,752

contribuyentes desde el inicio del programa, como se muestra en la figura 2.

En 2022, las seis entidades fronterizas concentraron el 57.3% de las exportaciones totales del país, como se muestra en la figura 3.

En diciembre de 2022, se anunció que el salario mínimo para 2023 en la ZLFN pasaría de 260.34 a 312.41 pesos diarios.

De acuerdo con datos del Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social (CONEVAL), en 2020 el 26.5% de la población de la ZLFN se encontraba en situación de pobreza, mientras que en 2015 el 31% de la población se encontraba en esa condición, lo que representa una reducción de 4.5 puntos porcentuales.

Según información disponible de la Comisión Reguladora de Energía (CRE), los precios de la gasolina regular en la ZLFN son menores que en el resto de los estados fronterizos: Sonora, Chihuahua, Coahuila, Nuevo León y Tamaulipas. Por ejemplo, durante 2022, el precio de la gasolina regular en los municipios fronterizos de Chihuahua fue 22.9% menor que en el resto de los municipios del mismo estado.

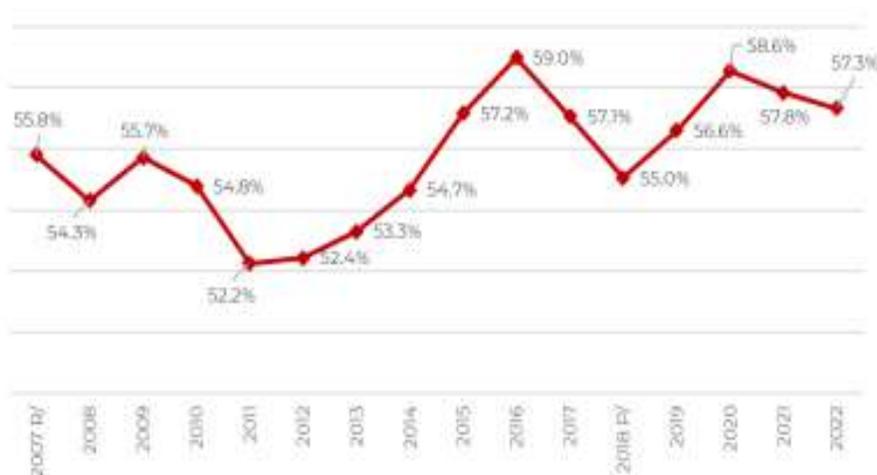
Cabe mencionar que la frontera norte se ha caracterizado por su dinamismo económico, ya que su producción es altamente competitiva y participa de manera destacada en la exportación nacional. Un ejemplo de ello es que, durante 2022, las seis entidades fronterizas concentraron el 57.3% de las exportaciones totales del país. Esto se debe en gran parte al estímulo constante del otro lado de la frontera. De acuerdo con datos de la Federal Reserve Economic Data (FRED) y el Banco Mundial (BM), el estado de California está catalogado como la sexta economía a nivel global y Texas como la undécima, lo cual contribuye significativamente a esta dinámica económica (Secretaría de Economía, 2023).

Figura 2. Número de contribuyentes.

	Número de beneficiarios			Número de beneficiarios			Número de beneficiarios		
	2020			2021			2022		
	Total	Grandes contribuyentes	Otros contribuyentes	Total	Grandes contribuyentes	Otros contribuyentes	Total	Grandes contribuyentes	Otros contribuyentes
Total	135,511	929	134,582	155,608	1,076	154,532	175,135	1,117	174,018
IVA	132,852	849	132,003	152,221	988	151,233	172,095	1,031	171,064
ISR	2,659	80	2,579	3,387	88	3,299	3,040	86	2,954

Fuente: (Secretaría de Economía con información del SAT. Informe Tributario y de Gestión. Cuarto trimestre 2020; Informe Tributario y de Gestión). Cuarto trimestre 2021 e Informe Tributario y de Gestión. Cuarto trimestre 2022.

Figura 3. Porcentaje de exportaciones de los estados fronterizos.



Fuente: Secretaría de Economía (2023).

En términos de variación, entre 2021 y 2022 se registró un incremento del 2.69% en el número de establecimientos en la ZLFN, mientras que a nivel nacional se presentó una variación negativa del 0.60% en el mismo periodo. Asimismo, en términos de personal ocupado, la ZLFN mostró una variación del 7.28% durante ese periodo, en comparación con la variación del 4.13% a nivel nacional. Esto indica que la ZLFN tiene una dinámica más activa en lo que se refiere a establecimientos IMMEX.

Figura 4. Número de Establecimientos Manufactureros con Programa IMMEX y Personal Ocupado

Concepto	Número de establecimientos activos		Variación absoluta de número de establecimientos activos	Total de personal ocupado		Variación absoluta de total de personal ocupado
	2021	2022	2022 - 2021	2021	2022	2022 - 2021
Total Nacional	5,184	5,153	-31	2,791,909	2,907,309	115,400
ZLFN	1,634	1,678	44	935,587	1,003,709	68,122

Fuente: (secretaría de economía con información del SAT., 2022).

Comportamiento de la eficiencia logística a partir de la implementación de estrategia de offshoring

La implementación de estrategias de offshoring ha tenido un impacto significativo en la eficiencia logística en México, especialmente en los municipios de la Zona Libre de la Frontera Norte de México (ZLFNM). De acuerdo con los Criterios Generales de Política Económica 2024 de la Secretaría de Hacienda y Crédito Público (SHCP), esta reconfiguración en la cadena de suministro ha generado una serie de beneficios que están impulsando a la región en varias áreas clave.

En primer lugar, uno de los aspectos más destacados ha sido el aumento en la generación de empleo formal, principalmente en el sector de la construcción. Hasta el mes de agosto, este sector ha experimentado un crecimiento continuo durante 25 meses consecutivos, con tasas anuales de crecimiento superiores al 10%. Este dinamismo en el empleo ha contribuido significativamente a la región norte, generando tres de cada cuatro empleos formales en dicho sector. Además, este auge en la construcción se ha reflejado en el aumento de las importaciones de productos relacionados con la industria, como cemento hidráulico, ladrillos, tubos y tornillos, que han experimentado variaciones positivas en el primer semestre del año en comparación con el mismo período del año anterior.

Ciudades como Tijuana y Ciudad Juárez han experimentado una fuerte demanda de espacios industriales, con niveles de disponibilidad inferiores al 1%. Esta escasez de espacios industriales ha provocado un aumento significativo en los precios de alquiler, con incrementos anuales notables, como el 16.4% registrado en Ciudad Juárez durante el segundo trimestre de 2023. Esta situación ha incentivado una mayor inversión en la construcción de nuevas áreas industriales y fábricas en la región.

Por otro lado, la implementación de estrategias de offshoring tiene un impacto significativo en la eficiencia logística de una empresa o industria. El offshoring implica la reubicación de ciertas operaciones o procesos de una empresa en un país extranjero, generalmente con el objetivo de reducir costos, aprovechar ventajas competitivas o acceder a nuevos mercados. Esto también incluye la reducción de costos logísticos, la optimización de la cadena de suministro, una mayor capacidad de respuesta, acceso a mercados internacionales, adopción de tecnología, y mejora en la visibilidad de la cadena de suministro, aunque también presenta desafíos de gestión logística y riesgos

geopolíticos y regulatorios que deben abordarse con precaución.

Resultados

En un entorno globalizado, con el crecimiento constante de los tratados de libre comercio y las nuevas políticas de comercio exterior, las empresas y la industria manufacturera enfrentan desafíos cada vez mayores en la gestión de su cadena de suministro y logística internacional. La intensa competencia y la creciente demanda de internacionalización de productos y servicios hacen que sea esencial para estas empresas adoptar sistemas logísticos eficaces en sus operaciones. Esto les otorga una ventaja competitiva al garantizar que los clientes reciban sus mercancías de manera eficiente, cumpliendo con expectativas y requisitos a costos reducidos, lo que se traduce en un mayor éxito empresarial y en la entrega de productos o servicios de mayor calidad. Esto implica una buena planificación logística, almacenamiento adecuado, gestión eficiente de almacenes y embalaje, así como una estricta inspección de la mercancía para garantizar su seguridad.

Debido a esto, el offshoring ha generado estrategias para minimizar costos y tiempos de producción, convirtiéndose en una práctica común en diversas industrias. En México, la ZLFNM se ha beneficiado significativamente de esta tendencia, impulsando la creación de empleos, la construcción de instalaciones industriales y el dinamismo de la industria manufacturera. Ciudades como Tijuana y Ciudad Juárez muestran una alta demanda de espacios industriales y un aumento en los costos de alquiler debido a la expansión de la producción. En este contexto, la eficiencia logística se convierte en un elemento crítico, ya que el offshoring implica la reubicación de operaciones en el extranjero, lo que favorece la reducción de costos logísticos, la optimización de la cadena de suministro, una mayor capacidad de respuesta a la demanda del mercado y el acceso a nuevos mercados internacionales. Sin embargo, también presenta desafíos de gestión logística y riesgos geopolíticos y regulatorios que deben abordarse con cautela.

Conclusiones

La dinámica del crecimiento de los tratados de libre comercio y la evolución de las políticas de comercio

exterior están transformando rápidamente el panorama empresarial a nivel global. Este cambio se ha traducido en mayores demandas y desafíos para las micro, pequeñas y medianas empresas (MIPYMES) en cuanto a la gestión de la cadena de suministro y la logística internacional. Las empresas se encuentran bajo una creciente presión para adaptarse y competir en un entorno globalizado y altamente competitivo. Además, la gestión de la cadena de suministro se ha convertido en un elemento crítico para el éxito de las empresas en este nuevo escenario. La tecnología desempeña un papel fundamental en la gestión logística, permitiendo la visibilidad en tiempo real de las operaciones y la toma de decisiones basada en datos. La internacionalización de productos y servicios se ha convertido en una prioridad para muchas empresas, lo que ha incrementado el enfoque en la logística internacional, abarcando la gestión de importaciones y exportaciones, la coordinación de trámites aduaneros y la adaptación a regulaciones comerciales cambiantes en diferentes países, todo ello en busca de expandirse a nivel global.

Según las teorías y postulados del offshoring, la cadena de suministro, la logística y el comercio internacionales enfocados en la industria manufacturera experimentarán una disminución del 10% en las rentas y costos de mano de obra en 2024, a partir de la obtención de inmuebles fijos y la implementación del programa de la ZLFNM. El offshoring brinda beneficios significativos a las empresas, permitiéndoles externalizar ciertas tareas o procesos a ubicaciones extranjeras con costos laborales más bajos. Esto les proporciona una ventaja competitiva al reducir los gastos operativos y, al mismo tiempo, mejorar la eficiencia y calidad de sus servicios. Además, sería beneficioso realizar un seguimiento de la implementación del offshoring en la Zona Libre de la Frontera Norte, realizando un análisis estadístico sobre las ventajas que tendrá en 2025. Esto permitirá evaluar su operatividad, desarrollo, crecimiento, expectativas, visión del análisis y, sobre todo, el éxito comercial que conlleva la aplicación de esta estrategia. Así, se asegura una colaboración efectiva y un flujo de trabajo fluido entre las partes involucradas, superando posibles barreras culturales o de comunicación.

Referencias

- Ayala, C. (2023, septiembre, 17). Municipios de la Zona Libre de la Frontera Norte, los más beneficiados por el nearshoring. *El economista*.
<https://www.economista.com.mx/estados/Municipios-de-la-Zona-Libre-de-la-Frontera-Norte-los-mas-beneficiados-por-el-nearshoring-20230917-0046.html>
- Canals, C. (2006). Offshoring y deslocalización: Nuevas tendencias de la economía internacional. *Documentos de economía. Servicios de estudios*.
- Coyle, J. J. (2018), *Administración de la cadena de suministro*. Decima edición.
- David Ricardo, (1817). *Principios de economía política y tributación*. *The Principles of Political Economy and Taxation*.
- López, R. y Garcia, H. (2020). Comercio internacional, prosperidad y desigualdad en la globalización. *Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia*.
<https://www.redalyc.org/journal/4795/479569240006/>
- Secretaría de Economía (S.E. 2022) *Resultados del Programa de Zona Libre de la Frontera Norte*. Dirección General de Planeación y Evaluación.
https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/839362/Informe_de_Resultados_ZLFN_UPPE_2023_VFF.PDF
- Sistema de Administración Tributaria (SAT, 2022) *Informe Tributario y de Gestión*
<http://omawww.sat.gob.mx/gobmxtransparencia/Paginas/itg.html>

Diseño y análisis de la metodología de evaluación de la eficiencia térmica de un proyecto de investigación denominado: colector térmico

H. Rosas Vásquez¹, M Martínez Reyes², N Victoria Cerón³, A Calderón Jimenez⁴, S Serrano Viveros⁵

¹Departamento de Ingeniería Industrial, Instituto Tecnológico Superior de Libres, Camino Real esq. Camino Cuauhtémoc, Barrio de Tétela, 73780 Cdad. de Libres, Puebla.

hector.rv@libres.tecnm.mx

²Departamento de Ingeniería Industrial, Instituto Tecnológico Superior de Perote, Carretera Federal Perote-México Km.2.5 Colonia Centro, C.P. 91270. Perote, Veracruz, México.

felix.murrieta@perote.tecnm.mx

³Departamento de Ingeniería Industrial, Instituto Tecnológico Superior de Libres, Camino Real esq. Camino Cuauhtémoc, Barrio de Tétela, 73780 Cdad. de Libres, Puebla.

natalia.vc@libres.tecnm.mx

⁴Departamento de Ingeniería Industrial, Instituto Tecnológico Superior de Serdán, Av. Instituto, Av. Tecnológico S/N, Col la Gloria, 75520 Cdad. Serdán, Puebla.

acalderon@cdserdan.tecnm.mx

⁵Departamento de Ingeniería Industrial, Instituto Tecnológico Superior de Libres, Camino Real esq. Camino Cuauhtémoc, Barrio de Tétela, 73780 Cdad. de Libres, Puebla.

natalia.vc@libres.tecnm.mx

Resumen

Actualmente, en México, el uso de parrillas de gas para la cocción de alimentos se encuentra presente en aproximadamente el 85% de los hogares. Un estudio realizado por PROFECO en 2011 determinó que la eficiencia térmica de las parrillas y estufas es de alrededor del 55%, lo que evidencia una considerable pérdida de energía calorífica. Este hecho sugiere la necesidad de desarrollar y utilizar un instrumento capaz de evitar el desperdicio de energía térmica, recolectándola y aprovechándola para contribuir al proceso de cocción.

En este contexto, se presenta el diseño de una metodología para analizar la eficiencia térmica de un prototipo denominado "Colector térmico". Una vez definida la metodología, se procedió a la realización de un diseño de experimentos unifactorial utilizando el software Minitab, con el objetivo de evaluar el impacto del colector térmico en la mejora de la eficiencia térmica.

Durante el análisis, fue necesario apoyarse en la Norma NOM-025-ENER-2013, la cual establece la eficiencia térmica de los quemadores superiores en aparatos domésticos para la cocción de alimentos que utilizan Gas L.P. Esta norma responde a la necesidad de incrementar el ahorro de energía y preservar los recursos energéticos mediante el uso de tecnologías más eficientes.

Los resultados obtenidos mediante la prueba de punto de ebullición de agua y el análisis ANOVA sugieren que el uso del colector térmico no tiene un impacto significativo en la eficiencia térmica de estufas y parrillas, siendo el factor "sin colector" el que muestra un mejor rendimiento. Sin embargo, la capacidad del colector para absorber calor se destaca como su mayor ventaja, representando el principal potencial explotable de este instrumento.

Palabras claves: Colector térmico, eficiencia térmica, DOE, ONEWAY, ANOVA.

Introducción

El equipo de investigación de la academia de Ingeniería Industrial ha desarrollado un prototipo denominado "Colector térmico" y ha adaptado la metodología de análisis de eficiencia térmica a los recursos disponibles. Esta adaptación permitirá llevar a cabo pruebas estadísticas que determinarán la viabilidad del uso del prototipo.

El objetivo de este estudio es evaluar si el colector calorífico es una herramienta capaz de mejorar el rendimiento de estufas y parrillas al aumentar su eficiencia térmica, y verificar esta hipótesis desde un enfoque estadístico. Este análisis busca favorecer a los usuarios de este instrumento, cuya propuesta de conservación de calor se presenta como una innovación revolucionaria en la cocción de alimentos.

Metodología

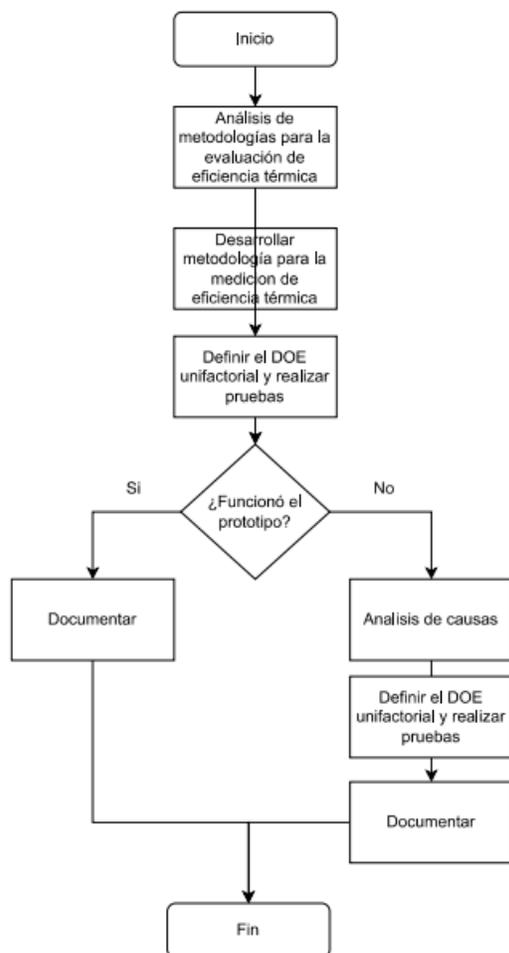


Ilustración 1. Metodología para la realización del proyecto
Fuente: Elaboración propia

En la ilustración 1 se presenta la metodología empleada en este proyecto de investigación, que consta de las siguientes etapas:

1. Análisis de metodologías para la evaluación de eficiencia térmica.
2. Desarrollo de la metodología para la medición de eficiencia térmica.
3. Definición del análisis de varianza y realización de pruebas con y sin el prototipo
4. Evaluación de los resultados mediante herramientas estadísticas
5. Formulación de conclusiones respecto al prototipo "colector térmico".

El concepto de eficiencia térmica se refiere a la relación entre el calor absorbido por el agua y el calor liberado por el combustible, expresado en porcentaje. (DOF, 2013).

A nivel internacional, existen tres protocolos utilizados para la evaluación de la eficiencia térmica: WBT (Test de ebullición del agua), CCT (Test de cocción controlada) y KPT (Test de rendimiento de cocina). El WBT se enfoca directamente en la eficiencia térmica de la estufa, el CCT en el consumo específico de combustible, y el KPT en la cuantificación de la disminución del combustible durante la cocción de alimentos (Hernández, 2014).

Tabla 3: Cuadro comparativo de las metodologías de medición de eficiencia térmica

Investigación	Protocolo	Siglas en inglés	Aplicación	Condiciones
Validación y evaluación comparativa de la eficiencia de una estufa de leña mejorada bajo condiciones controladas y prueba de campo	Test de ebullición del agua	WBT	De forma directa a la eficiencia térmica de la estufa	Bajo condiciones controladas. Se consideran test de laboratorio.
Desarrollo de un laboratorio y una metodología para la evaluación de estufas ecológicas	Test de ebullición del agua	WBT	De forma directa a la eficiencia térmica de la estufa	Bajo condiciones controladas. Se consideran test de laboratorio.
Estudio Experimental de la Estufa Ecológica	Test de ebullición del agua	WBT	De forma directa a la eficiencia	Bajo condiciones controladas. Se

Enerchía para Mejorar su Eficiencia			térmica de la estufa	consideran test de laboratorio.
Evaluación de la eficiencia térmica en estufas y modificadas a biogás	Test de ebullición del agua	WBT	De forma directa a la eficiencia térmica de la estufa	Bajo condiciones controladas. Se consideran test de laboratorio.
Evaluación de la eficiencia térmica y del ciclo de vida de una estufa de biomasa	Test de ebullición del agua	WBT	De forma directa a la eficiencia térmica de la estufa	Bajo condiciones controladas. Se consideran test de laboratorio.
Análisis de los parámetros geométricos de diseño de una cocina a gas que influyen en la eficiencia térmica y emisiones	Test de ebullición del agua	WBT	De forma directa a la eficiencia térmica de la estufa	Bajo condiciones controladas. Se consideran test de laboratorio.
Evaluación del desempeño térmico de una estufa solar parabólica	American Society of Agricultural Engineers y Bureau Indian Estandars	ASAE S580 y BIS	Potencia y la eficiencia térmica	Estándares internacionales

A partir de la inspección de los documentos mencionados y comparados en la Tabla 1, se determinó que el procedimiento para llevar a cabo el análisis de la eficiencia térmica del colector térmico sería una adaptación de la prueba WBT, teniendo en cuenta los recursos disponibles y las limitaciones.

En las Normas Oficiales Mexicanas se encontró una propuesta de cálculo de la eficiencia térmica utilizando el protocolo WBT en la NOM-025-ENER-2013, "Eficiencia térmica de aparatos domésticos para cocción de alimentos que usan gas LP o gas natural. Límites, métodos de prueba y etiquetados". Esta opción resulta ser la más adecuada desde el punto de vista del método de evaluación de la eficiencia térmica en México. Sin embargo, la fórmula empleada en la norma considera valores como la presión absoluta del gas, presión de saturación del agua y la presión absoluta del gas son variables que no se pueden medir debido a las limitaciones de materiales en esta investigación.

En consecuencia, se tomó como referencia el trabajo de Javier Darío Aristizábal Hernández, realizado en 2014, titulado "Validación y evaluación comparativa de la eficiencia de una estufa de leña mejorada bajo condiciones controladas y prueba de campo", que

resultó en la Ecuación 1 para el cálculo de la eficiencia térmica.

$$h_c = \frac{[4186(P_{jci} - P_f)(T_{jcf} - T_{jci})] + (2260)(W_{cv})}{(fcd)(LHV)}$$

Ecuación 1 Calculo de la eficiencia térmica

Donde:

h_c = Eficiencia térmica.

P_{jci} = Peso inicial de la olla con agua.

P_f = Peso final de la olla con agua.

T_{jcf} = Temperatura final de la olla con agua.

T_{jci} = Temperatura inicial de la olla con agua.

W_{cv} = Cantidad de agua evaporada.

fcd = Cantidad de combustible consumido.

LHV = Poder calorífico interior del combustible.

El material utilizado para las pruebas es el siguiente:

- 1 estufa o parrilla de gas.
- 1 balanza granataria con capacidad máxima de 2 kg.
- 1 termómetro sumergible de mercurio con graduación hasta 110°C.
- 1 jarra con capacidad aproximada de 2 litros, para contener y verter el agua.
- 1 recipiente de aluminio con revestimiento antiadherente y capacidad máxima de 2 litros, para hervir el agua.
- 2 recipientes de plástico ligeros con capacidad máxima de 1 litro, para pesar el agua.

El procedimiento para la experimentación con el prototipo se describe a continuación:

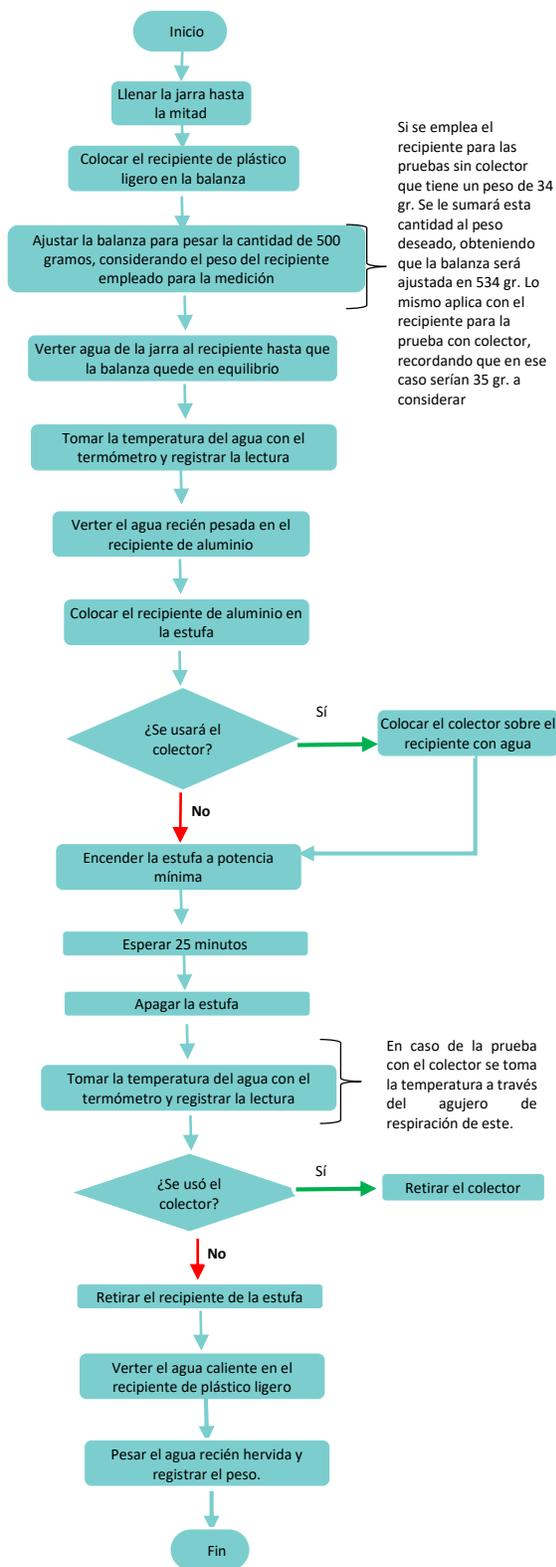


Ilustración 2: Diagrama de flujo del proceso de medición de eficiencia térmica

Marco Teórico

Para efectos del presente estudio, se establecen las siguientes definiciones:

Hipótesis: Suposición de algo posible o imposible para sacar de ello una consecuencia. (Anderson, D., Sweeney, D., & Williams, T., 2012).

Nivel de confianza: El nivel de confianza es la probabilidad de que el parámetro estimado se encuentre dentro del intervalo de confianza. El nivel de confianza (p) se designa mediante $1 - \alpha$, y se suele expresar en porcentaje. Los niveles de confianza más comunes son: 90%, 95% y 99%. (Anderson, D., Sweeney, D., & Williams, T., 2012).

Diseño de experimentos: El diseño de experimentos consiste en determinar qué pruebas se deben realizar y de qué manera, para obtener datos que, al ser analizados estadísticamente, proporcionen evidencias objetivas que permitan responder las interrogantes planteadas, clarificar los aspectos inciertos de un proceso, resolver un problema o lograr mejoras. (Anderson, D., Sweeney, D., & Williams, T., 2012).

Variabilidad: Es la dispersión de los valores de una variable en una distribución teórica o en una muestra. Puede ser conocida o desconocida y derivar de factores biológicos o de errores en la medición. (Altman, D.G., & Bland, J.M., 1999).

Análisis de varianza: El análisis de varianza (ANOVA) es el procedimiento estadístico empleado para determinar si las diferencias observadas entre las medias muestrales son lo suficientemente grandes como para rechazar la hipótesis nula (H_0). (Anderson, D., Sweeney, D., & Williams, T., 2012).

Resultados

Recolección de datos

Para la recolección de datos, en primer lugar, se definió el factor a estudiar y sus niveles. En este caso, el factor fue el método de ejecución, con dos niveles: con colector y sin colector.

Posteriormente, se optó por realizar la aleatorización de las corridas para definir el diseño de experimentos unifactorial. Esta aleatorización se llevó a cabo en el software Excel mediante la función aleatoria. Los resultados se muestran en la Ilustración 3.

Orden Corrida	Factor	Aleatorio
17	SIN	0.022786419
11	SIN	0.029835437
13	CON	0.057798558
9	CON	0.065040338
4	CON	0.09068429
3	SIN	0.101824588
19	SIN	0.234784585
16	SIN	0.275904562
20	SIN	0.296498421
15	CON	0.324462699
10	CON	0.48177111
14	CON	0.507525781
2	CON	0.560859068
5	SIN	0.584574164
1	SIN	0.618054816
6	CON	0.793680343
7	CON	0.859738312
18	SIN	0.956122726
12	CON	0.965587412
8	SIN	0.988166355

Ilustración 2: Aleatorización de las corridas para el análisis de varianza

Las corridas se realizaron durante 20 minutos, tanto con colector (Ilustración 4) como sin colector (Ilustración 5), en un ambiente controlado, con la perilla del flujo de gas al máximo y utilizando el mismo recipiente.



Ilustración 3: Prueba con colector



Ilustración 4: Prueba sin colector

La medición de la temperatura (Ilustración 6) se realizó utilizando un termómetro de mercurio. Se tomaron lecturas al inicio y al final del experimento. En el caso del nivel con colector, el termómetro se insertó en un orificio ubicado en el centro del colector para realizar las mediciones.



Ilustración 5: Medición temperatura con colector

El resultado de la recolección de datos se puede observar en la ilustración 7

	Orden de corrida	Temperatura Inicial (°C)	Temperatura Final (°C)	Diferencia de temperatura (°C)	Diferencia de temperatura (Kcal)	Peso inicial (gramos)	Peso final (gramos)	Diferencia de pesos (gramos)	Porcentaje de eficiencia térmica
Sin colector	17	21	82	61	27.69	500	352	148	5.88
	11	21	83	62	28.14	500	350.5	149.5	6.10
	3	21	82	61	27.69	500	350	150	6.04
	19	22.5	81	58.5	26.55	500	355.5	144.5	5.37
	16	21	83.5	62.5	28.37	500	351	149	6.10
	20	21	82.5	61.5	27.91	500	353	147	5.85
	5	21	83.5	62.5	28.37	500	368.5	131.5	4.75
	1	21	82	61	27.69	500	362	138	5.11
	18	25.5	79	53.5	24.28	500	363	137	4.42
	8	21	83	61	27.69	500	369	141	5.34
Con colector	13	21	92	71	32.23	500	383	117	4.28
	9	21	91.5	70.5	32.00	500	380.5	119.5	4.46
	4	21	92	71	32.23	500	384	116	4.20
	15	23	91	68	30.86	500	385	115	3.96
	10	21	89	68	30.86	500	380	120	4.31
	14	21	88.5	67.5	30.64	500	382	118	4.13
	2	21	89	68	30.86	500	378	122	4.45
	6	21	91	70	31.77	500	381	119	4.36
	7	24	86	62	28.14	500	383.5	116.5	3.7
	12	22	91	69	31.32	500	379.5	120.5	4.41

Ilustración 6: Recolección de datos

Se procede a realizar el diseño de experimentos unifactorial, comenzando por definir las hipótesis:

H0: La eficiencia térmica con el colector y sin el colector no son significativamente diferentes.

H1: La eficiencia térmica con el colector y sin el colector son significativamente diferentes.

Nivel alfa a utilizar: 0.05

Se utilizará el software Minitab para la realización de las pruebas. Una vez ingresados los datos, se procede a ir a Estadísticas > ANOVA > Un solo factor.

El resultado arrojado por Minitab es el siguiente:

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valod F	Valor P
Factor	1	8.097	8.0972	39.34	0.000
Error	18	3.704	0.2058		

Total 19 11.802

El criterio de decisión es que, si el valor p es menor que alfa, se rechaza H0; mientras que, si el valor p es mayor que alfa, no se rechaza H0. Bajo el criterio mencionado, se puede concluir que, dado que el valor p es menor que alfa (0.00 < 0.05), se rechaza H0. Por lo tanto, la eficiencia térmica con el colector y sin el colector son significativamente diferentes.

Se procede a generar la gráfica de intervalos. Para ello, en Minitab, se ingresa a Estadísticas > ANOVA > Gráfica de intervalos. El resultado se muestra a continuación.

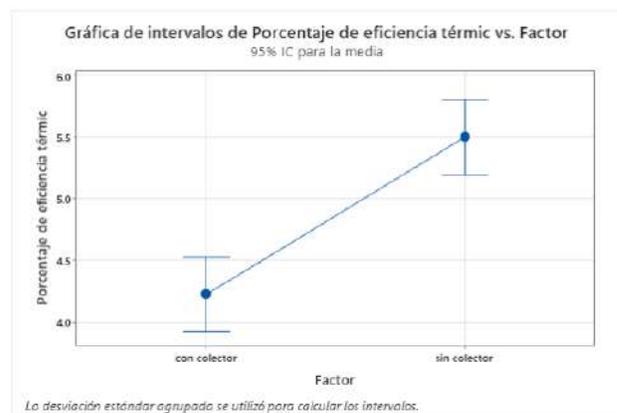


Ilustración 7: Gráfico de intervalos de porcentaje de eficiencia termina con colector y sin colector

Al inicio del proyecto, el equipo investigador tenía como hipótesis que el colector calorífico resultaría favorable para el aumento de la eficiencia térmica en las parrillas o estufas en las que fuera empleado. Sin embargo, después de realizar las pruebas pertinentes, recolectar los datos obtenidos, procesarlos y analizarlos, y de acuerdo con los resultados arrojados por el ANOVA realizado, se puede concluir que no existe evidencia estadística suficiente para afirmar que el colector calorífico afecta de forma benéfica la eficiencia térmica de las parrillas o estufas en las que se use.

Al realizar el análisis de causas con el equipo investigador, se determinó que pudieron existir factores como el tamaño de la parrilla, el tiempo del experimento y el termómetro utilizado. Por ello, se decidió utilizar un termómetro de sonda para medir minuto a minuto, una parrilla de mayor dimensión, y se incrementó a 25 minutos el tiempo de corrida.

Posteriormente, se realizó nuevamente el experimento con una muestra de 30 elementos por cada nivel de factor.

Hipótesis:

H0: La eficiencia térmica con el colector y sin el colector no son significativamente diferentes.

H1: La eficiencia térmica con el colector y sin el colector son significativamente diferentes.

Nivel alfa a utilizar: 0.05

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Factor	1	23.543	23.5428	263.69	0.000
Error	58	5.178	0.0893		
Total	59	28.721			

El criterio de decisión es que, si el valor p es menor que alfa, se rechaza H0; mientras que, si el valor p es mayor que alfa, no se rechaza H0. Bajo el criterio mencionado, se puede concluir que, dado que el valor p es menor que alfa ($0.000 < 0.05$), se rechaza H0. Por lo tanto, la eficiencia térmica con el colector y sin el colector son significativamente diferentes.



Ilustración 8: Gráfico valores individuales del porcentaje de eficiencia termina con colector y sin colector

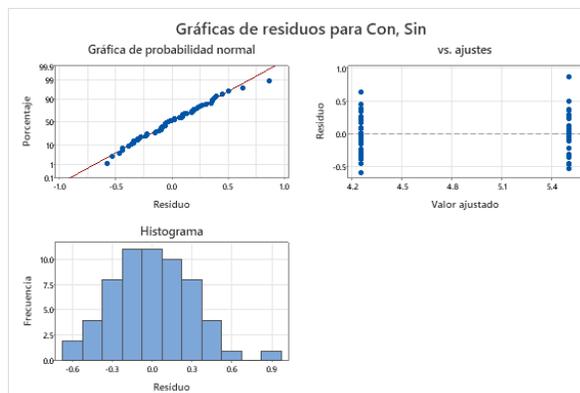


Ilustración 9: Gráfica de residuos del diseño de experimentos en MINITAB

En la ilustración 10, en la gráfica superior izquierda (gráfica de probabilidad normal), se puede observar una ligera falta de normalidad. Sin embargo, al analizar el histograma, se aprecia que sigue una forma de campana, lo que permite concluir que no existe evidencia gráfica suficiente para descartar la normalidad en los datos. En la gráfica de valores ajustados vs. ajustes, se observa que los puntos se mantienen en la misma proporción, por lo que no existe evidencia gráfica suficiente de falta de homocedasticidad en los datos.

Durante estas nuevas corridas, se registró minuto a minuto el incremento de temperatura con y sin colector, como se muestra en la ilustración 11

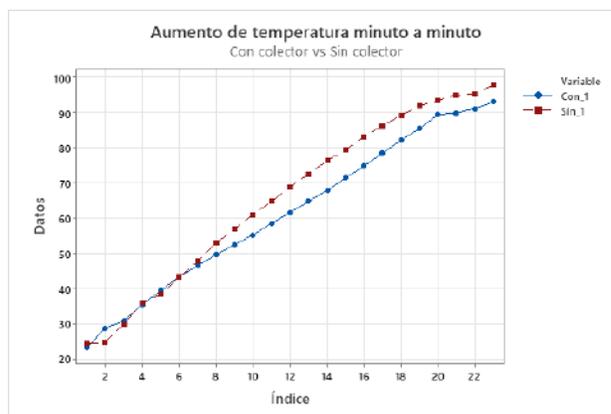


Ilustración 10 Gráfica del incremento de temperatura con colector vs sin colector

En la ilustración 11 se observa que la eficiencia térmica sin colector es mayor que cuando se utiliza el colector

térmico. Por lo tanto, considerando el análisis de varianza y la gráfica, podemos concluir que la eficiencia térmica es mejor sin el colector térmico.

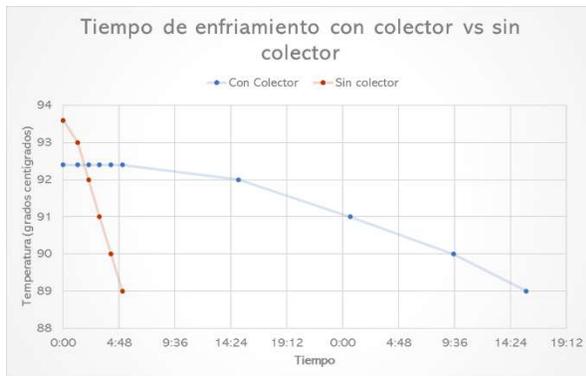


Ilustración 11: Gráfica del tiempo de enfriamiento con colector vs sin colector

En la ilustración 12 se puede observar que el tiempo de enfriamiento con el colector se prolonga en mayor medida que sin el uso del colector.

Conclusión y recomendaciones

A través de este estudio de caso, utilizando herramientas estadísticas, se detectó que no existe evidencia estadística suficiente para afirmar que el colector de calor afecta de forma benéfica la eficiencia térmica de las parrillas o estufas en las que se ha utilizado.

Con el fin de encontrar una utilidad para el colector, se realizaron nuevas pruebas, en las que se descubrió que una de las mejores cualidades del colector es la absorción y conservación de calor.

Dentro de las lecciones aprendidas durante este estudio, se identificó que el colector es complicado de manipular por una sola persona. Por lo tanto, si está destinado para uso doméstico, se recomienda rediseñar el prototipo.

Asimismo, se recomienda realizar nuevas pruebas estadísticas, pero con un enfoque en la cocción de alimentos, por lo que se sugiere llevar a cabo un estudio KPT (Test de Rendimiento de Cocina).

Referencias bibliográficas

- Anderson, T. A., Sweeney, D. J., & Williams, R. R. (2012). *Estadística Para Administración y Economía* (11a ed.). CENGAGE Learning.
- Altman, D. G., & Bland, J. M. (1999). Variabilidad: Es la dispersión de los valores de una variable en una distribución teórica o en una muestra. *BMJ*, 318(7191), 1072.
- Aristizabal Hernández, J. D. (2014). Validación y evaluación comparativa de la eficiencia de una estufa de leña mejorada bajo condiciones controladas y prueba de campo. *Informador Tecnico*, 78(1), 12–24.
- Hernández Estrada, E. N. (2018). *Estudio experimental de la estufa ecológica enerchia para mejorar su eficiencia* [Trabajo de grado inédito]. Universidad de ciencias y artes de Chiapas.
- Gutiérrez Pulido, H., & de la Vara Salazar, R. (2008). *Análisis y diseño de experimentos* (2.ª ed.). México: MCGRAW-HILL/INTERAMERICANA EDITORES, S.A. de C.V.
- Viquez Arias, J., Caydiid, M., & Adhiambo Omondi, P. (2018a). Evaluación de la eficiencia térmica en estufas fabricadas y modificadas a gas. *RedBioLAC*, 8–13.
- Vladimirovna Panteleeva, O. & Gutiérrez González, E. (2016). *Estadística inferencial 1 para ingeniería y ciencias*. Grupo Editorial Patria. <https://elibro.net/es/ereader/libres/40474?page=16>



"Por una Cultura Científica, Tecnológica y Sustentable"