

RIIT Científica
Bimestre: Enero - Febrero 2026
Vol. 13, No. 78



Evaluación psicosocial en el sector construcción por la NOM-035:
conflicto trabajo-familia en Ciudad de México

Colón, A.I.*

ISO 9001:2026
T2 de Hotellig

Mejora del Cliente, Ventas, Procesos, Ingresos



ISO 9001 en México ¿Rentabilidad Real o Formalismo Costoso?
Claves estratégicas ante la versión 2026

Guirette-Barbosa, O.A.*, Castañeda-Burciaga, S., Cruz-Domínguez, O.,
Durán-Muñoz, H.A, Carrera-Escobedo, J.L., Velázquez-Macías, J.,
Celaya-Padilla, J.M., Lara-Torres, C.G.



Desarrollo de control en sistema de fertirriego para invernadero
hidropónico de pimiento (*Capsicum Annuum* L.)

Gerardo-Parra, C., Padilla-Rochín, J.D., Castro-Palazuelos, D.E., Picos-Ponce,
J.C., Rochín-Medina, J.J., Barreto-Salazar, L.E., Rubio-Astorga, G.J.*



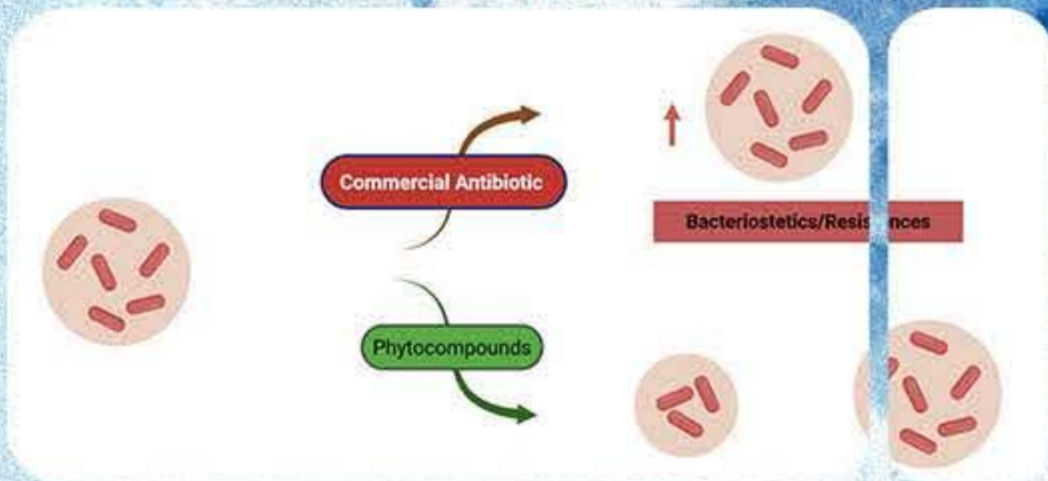
Determinación de fenoles y flavonoides totales, capacidad
antioxidante y análisis proximal de semilla de *Carica papaya* y
Citrullus lanatus

Ramos-Rendón, M., Martínez-Flores, H.E., Lemus-Pérez, A.P.,
Contreras-Chávez, R., Tranquilino-Rodríguez, E., Sánchez-Vázquez, R.*



Caracterización de granos y harinas de maíz raza Jala (*Zea mays* L.)
del estado de Nayarit

Bello-Lara J., León-Fernández A.*, Jiménez-Zurita, J. Balois-Morales, R.,
López-Guzmán, G., Zamora-Gazga, V., Martínez-Ortíz, M.,
Alcaraz-González, A.



Antimicrobial Effects of Ethanol Extracts from *Uncaria tomentosa*,
Haematoxylum brasiletto, and *Cymbopogon citratus* on
Multidrug-Resistant Clinical Strains

García-Hernández, D.G., Martínez- Santoyo, J.A., Rivas-Morales, C.,
Sánchez-García, E., Leos-Rivas, C., Flores-Gutiérrez, F.M., Heya, M.S.*

Cintillo Legal

RIIT REVISTA INTERNACIONAL DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN TECNOLÓGICA, Vol. 13, No. 78. Enero - Febrero 2026, es una publicación bimestral editada y publicada por Universidad Autónoma de Coahuila, boulevard Venustiano Carranza s/n colonia República Oriente, C.P. 25280, Saltillo, Coahuila, Tel. (844) 414 85 82, <https://riit.com.mx/>, correo electrónico: publicacionesriit@uadec.edu.mx. Editor responsable: Dra. Antonia Mtz. Reserva de Derechos al Uso Exclusivo No. 04-2022-021512364600-102, ISSN: 2007-9753, ambos otorgados por el Instituto Nacional del Derecho de Autor. Responsable de la última actualización de este número, Departamento de Divulgación y Comunicación Digital de la Dirección de Investigación y Posgrado de la UAdeC, Q.F.B. Fernando García, Edificio “D” planta alta, unidad Camporredondo, Saltillo, Coahuila, C.P. 25280, Tel. (844) 414 85 82, fecha de última modificación: 01 Enero 2026.

Las opiniones expresadas por los autores no necesariamente reflejan la postura del editor de la publicación.

Queda prohibida la reproducción total o parcial de los contenidos e imágenes de la publicación sin previa autorización de Universidad Autónoma de Coahuila.

Tabla de Contenido

Título artículo/ Autores	Páginas
Evaluación psicosocial en el sector construcción por la NOM-035: conflicto trabajo-familia en Ciudad de México Colón, A.I.	1 – 17
ISO 9001 en México ¿Rentabilidad Real o Formalismo Costoso? Claves estratégicas ante la versión 2026 Guirette-Barbosa, O.A., Castañeda-Burciaga, S., Cruz-Domínguez, O., Durán-Muñoz, H.A., Carrera-Escobedo, J.L., Velázquez-Macías, J., Celaya-Padilla, J.M., Lara-Torres, C.G.	18 – 37
Desarrollo de control en sistema de fertirriego para invernadero hidropónico de pimiento (<i>Capsicum Annuum L.</i>) Gerardo-Parra, C., Padilla-Rochín, J.D., Castro-Palazuelos, D.E., Picos-Ponce, J.C., Rochín-Medina, J.J., Barreto-Salazar, L.E., Rubio-Astorga, G.J.	38 – 58
Determinación de fenoles y flavonoides totales, capacidad antioxidante y análisis proximal de semilla de <i>Carica papaya</i> y <i>Citrullus lanatus</i> Ramos-Rendón, M., Martínez-Flores, H.E., Lemus-Pérez, A.P., Contreras-Chávez, R., Tranquilino-Rodríguez, E., Sánchez-Vázquez, R.	59 – 76
Caracterización de granos y harinas de maíz raza Jala (<i>Zea mays L.</i>) del estado de Nayarit Bello-Lara, J., León-Fernández A., Jiménez-Zurita, J., Balois-Morales, R., López-Guzmán, G., Zamora-Gazga, V., Martínez-Ortiz, M., Alcaraz-González, A.	77 – 96
Antimicrobial Effects of Ethanol Extracts from <i>Uncaria tomentosa</i>, <i>Haematoxylum brasiletto</i>, and <i>Cymbopogon citratus</i> on Multidrug-Resistant Clinical Strains García-Hernández, D.G. ¹ , Martínez- Santoyo, J.A. ¹ , Rivas-Morales, C. ¹ , Sánchez-García, E. ¹ , Leos-Rivas, C. ¹ , Flores-Gutiérrez, F.M. ² , Méndez López, L.F. ² , Heya, M.S.	97 – 106



Revista Internacional de Investigación e Innovación Tecnológica

Página principal: www.riit.com.mx

Evaluación psicosocial en el sector construcción por la NOM-035: conflicto trabajo-familia en Ciudad de México

Psychosocial assessment in the construction sector by NOM-035: work-family in México, City

Colón, A.I.

Facultad de Contaduría y Administración, Universidad Nacional Autónoma de México. ORCID: 0009-0004-4555-6851.

ivaniacolón@hotmail.com

Innovación tecnológica: Seguridad, eficiencia y condiciones laborales.

Área de aplicación: Personal.

Recibido: 20 mayo 2025

Aceptado: 16 septiembre 2025

Abstract

The relationship between work and family can have both positive and negative impacts on workers' health and psycho-emotional well-being, depending on how these areas interact. When work demands interfere with family responsibilities, they can lead to stress, burnout, and personal conflicts in workers, affecting their emotional stability.

In the specific case of construction workers, who often face long workdays, which can have an impact on their physical, mental, and social well-being as the incompatibility between work and family can lead to distancing and a loss of emotional connection with those close to them. Therefore, this paper, aims to evaluate the work-family relationship among construction workers as an indicator of a psychosocial risk analyzing the conflict in this relationship and its consequences. This analysis will help identify strategies to reduce negative impacts and improve work-life balance.

To obtain this information, Reference Guides II and V, "Questionnaire to Identify Psychosocial Risk Factors" and "Worker Data," were applied to 49 workers from the workforce of a company located in Mexico City. The methodology set out in the standard was also followed for organizations of less than 50 workers.

The instruments suggested by NOM-035-STPS-2018 helped identify facilitated unfavorable results reported by the workers surveyed, which had made it possible to propose measures to mitigate the adverse consequences arising from the interference in the work-family relationship among construction workers. The results indicated high levels of risk exposure due to the interference between work and family relationships among the workers studied. These factors contribute to conflict in the employment relationship due to the inability to adequately reconcile family and work responsibilities. However, it is important to interpret these findings with caution, as the sample is limited to a single company and a small group of employees. This limitation prevents the results from being generalized to other organizations or regions within the construction industry. Factors such as the type of contract, workplace culture, and social environment can all influence the work-family relationship in different ways.

Key words: Construction, Psychosocial risk, Work-family relationship interference.

Resumen

La relación entre el trabajo y la familia pueden generar impactos tanto positivos como negativos en la salud y bienestar psicoemocional de trabajadores, dependiendo de cómo estos ámbitos interactúan. Cuando las demandas laborales interfieren con las responsabilidades familiares llegan a generar en los trabajadores estrés, agotamiento y conflictos personales, afectando su estabilidad emocional.

En el caso específico de trabajadores de la construcción, enfrentan largas jornadas laborales, que llegan a repercutir en su bienestar físico, mental y social, ya que la incompatibilidad entre trabajo familia puede generar distanciamiento y pérdida de conexión emocional con las personas cercanas. Por lo que el presente trabajo tiene como objetivo, evaluar la relación trabajo-familia en trabajadores de la construcción como indicador de riesgo psicosocial, analizando el conflicto en dicha relación y sus consecuencias. Este análisis permitirá identificar estrategias para reducir los impactos negativos y mejorar la conciliación laboral. Para obtener la información se aplicaron las *Guías de referencia II y V*, “Cuestionario para identificar los Factores de Riesgo Psicosocial” y “Datos del Trabajador”, sugeridas por la Norma Oficial Mexicana NOM-035-STPS-2018, a 49 trabajadores correspondiente a la fuerza de trabajo de una empresa ubicada en la Ciudad de México. Asimismo, se siguió la metodología expuesta y sugerida en la referida norma, para organizaciones de menos de 50 trabajadores. Los instrumentos sugeridos por la NOM-035-STPS-2018 permitieron identificar resultados desfavorables expuestos por los trabajadores encuestados, con lo que ha sido posible proponer medidas para mitigar las consecuencias adversas derivadas de la interferencia en la relación trabajo familia en trabajadores de la construcción.

Los resultados evidencian altos índices de exposición por la interferencia entre las relaciones laborales y familiares, en los trabajadores sujetos de estudio, derivadas de la dificultad para conciliar ambas responsabilidades. Sin embargo, deben interpretarse considerando que la muestra se limita a una sola empresa y a un grupo reducido de trabajadores. Está restricción impide generalizar los hallazgos a otros contextos organizacionales, ya que factores como el tipo de

contrato, la cultura laboral y el entorno social pueden influir de manera diferenciada en la relación trabajo-familia.

Palabras Clave: Construcción, Interferencia relación trabajo-familia, Riesgo psicosocial.

1. Introducción

La familia es el pilar de la sociedad, en donde los individuos se sienten seguros, forman su personalidad y carácter, misma en la que se presume, se inculca el desarrollo social y psicoemocional de estos (Jiménez & Gómez, 2021; Pezo & Paredes, 2024). La estabilidad de la familia y la adecuada relación e interacción de los integrantes anteriormente recaía en las mujeres, sin embargo, en tiempos recientes la incorporación de las mujeres en el ámbito laboral, impulsado por diversos factores, como una mayor accesibilidad a la educación, y la necesidad de generar ingresos para el sostenimiento de la familia, por lo que los trabajadores de sectores como la construcción, en su mayoría provienen de estratos socioeconómicos bajos por lo que esta inserción genera cambios en las dinámicas familiares y la obligada evolución de los roles y responsabilidades que comparten hombres y mujeres (Jiménez & Hernández, 2020; Rashmi & Kataria, 2022) y en consecuencia, el conflicto que se genera en la relación trabajo-familia se ha visto modificado. No obstante, las mujeres enfrentan mayores desafíos para lograr el balance entre las responsabilidades familiares y laborales (Aguilar-Morales, 2022).

Por las presiones económicas en familias de ingresos deprimidos, se ven obligados a aceptar trabajos con condiciones lastimosas, que interfieren en una aceptable relación laboral y familiar, imposibilitando, en muchas ocasiones balancear los roles familiares, sociales, personales y laborales. Cuando estas relaciones laborales están relacionadas con la industria de la construcción, se llega a complicar aún más la

relación trabajo-familia, debido a que el trabajo en la industria se caracteriza por largas jornadas laborales, inestabilidad laboral y salarios precarios (Gabini, 2020).

Estas condiciones laborales de precariedad llegan a ser generador de estrés cuando los individuos se ven en la necesidad de armonizar dichas situaciones con las responsabilidades familiares, desencadenando en su círculo familiar relaciones tanto positivas, como negativas, en este último caso se ven con mayor frecuencia por las presiones que ejerce sus trabajos en éstos, y las condiciones laborales a los que están sujetos, generando malestar en los trabajadores (INSST, 2023). Las presiones a las que están sujetos los trabajadores debido a horarios laborales estrictos, con cargas y ritmos de trabajo extenuantes, así como falta de control y autonomía sobre el trabajo, representan conflictos en las relaciones familiares, en donde llegan a reflejarse en Factores de Riesgo Psicosocial (FRPS) negativos (Concepción & Mariscal, 2024), que llegan a aquejar el bienestar y el desempeño laboral relacionados con dichos factores (Greenhaus & Beutell, 1985; Frone, 2003), por lo que la conciliación de estos ámbitos, se hace cada vez más difícil de sobrellevar en una industria como la construcción, que cuando no se manejan de una manera adecuada desencadenan condiciones deficientes, mismas que, “pueden afectar de manera negativa y perjudicar a los trabajadores, afectando la salud física, mental y emocional, así como el rendimiento y la productividad laboral” (Concepción & Mariscal, 2024, p. 208).

Las condiciones en el entorno del trabajo y la realidad familiar que experimentan los trabajadores de la construcción en diversos contextos familiares y laborales se han venido regulando de una manera inadecuada, implicando en muchas ocasiones para los trabajadores, un desgaste psicoemocional, por la falta de las herramientas hacia el adecuado manejo de estos importantes ámbitos en la vida de los trabajadores (Gabini, 2020).

En la industria de la construcción, los trabajadores están sujetos a situaciones de precariedad laboral, debido a la urgencia de los proyectos de construcción, en donde los tiempos de entrega están establecidos, inclusive desde antes de emprender los proyectos de construcción, se establecen los plazos de conclusión de las etapas de la obra, por lo que, laborar en días festivos, horas extras y fines de semana son comunes en este tipo de industria, que repercuten en la adecuada relación trabajo-familia para estos trabajadores (INSST, 2020).

Dichas condiciones laborales afectan la seguridad y salud de los trabajadores, tanto físico, como psicoemocional, Peláez y García (2020) sin embargo, una adecuada conciliación entre la vida laboral y familiar conlleva beneficios para los trabajadores y las organizaciones, reduciendo las tasas de rotación y ausentismo, lo que se refleja en un incremento en la productividad y una mejora en el bienestar psicoemocional (Islas, *et al.*, 2024; Medina-Garrido, *et al.*, 2020). La baja escolaridad y bajo nivel socioeconómico de trabajadores, que en una industria como la construcción se dedican a labores manuales y de apoyo, se ven en la necesidad de aceptar trabajos con condiciones laborales desfavorables, en donde las repercusiones negativas derivadas de una dificultosa relación laboral y familiar se incrementan procedente de la exposición a FRPS

negativos (Gobierno de México, 2021; INEGI, 2023).

Los FRPS han sido definidos por la Organización Mundial de la Salud y la Organización Internacional del Trabajo, como “Los factores psicosociales en el trabajo consisten en interacciones entre el trabajo, su medio ambiente, la satisfacción en el trabajo y las condiciones de su organización, por una parte, y por la otra, las capacidades del trabajador, sus necesidades, su cultura y su situación personal fuera del trabajo, todo lo cual, a través de percepciones y experiencias, pueden influir en la salud y en el rendimiento y la satisfacción en el trabajo” (OIT/OMS, 1984, pág.12).

Para hacer frente a dichos factores que afectan a los trabajadores, la Secretaría de Trabajo y Previsión Social (STPS) ha emitido la Norma Oficial Mexicana NOM-035-STPS-2018, *Factores de riesgo psicosocial en el trabajo. Identificación, análisis y prevención*, aplicable a las empresas mexicanas, misma que busca determinar la presencia y afectaciones de los FRPS y que para fines de esta investigación busca determinar las interferencias o conflictos provenientes de las relaciones laborales y familiares (STPS, 2018).

La definición de la STPS acerca de la interferencia relación trabajo familia indica que: “Surge cuando existe conflicto entre las actividades familiares o personales y las responsabilidades laborales; es decir, cuando de manera constante se tienen que atender responsabilidades laborales durante el tiempo dedicado a la vida familiar y personal, o se tienen que laborar fuera del horario de trabajo” (STPS, 2018, punto 7.2, inciso e). Sin embargo, acerca de esta relación o conflicto trabajo-familia, Patlán-Pérez (2020) debate en referencia de la consistencia en qué se presenta, tanto la relación trabajo-familia y el equilibrio trabajo-familia, diferenciándolos uno de otro, además expone que dichas

relaciones se pueden manifestar de manera positiva o negativa. La NOM-035, instrumento normativo aplicado en México, aborda solo la dimensión trabajo-familia, lo que limita el diagnóstico, misma omisión ha sido señalada en estudios internacionales (China y Chile) como una debilidad en la evaluación integral del riesgo psicosocial (Chen *et al.*, 2020; Neculman *et al.*, 2025).

Esta relación o conflicto, acrecentado en los últimos tiempos por el cambiante mundo laboral, en que la participación de las mujeres en este ámbito en muchas ocasiones, debido a las necesidades económicas, obligan a éstas a salir de la casa e incorporarse al trabajo, en donde la igualdad se hace presente, y así mismo las responsabilidades en el hogar, al compartir de manera equitativa los roles (Rodríguez *et al.*, 2022) esto implica que los hombres se preocupen y ocupen de las actividades, que en el pasado se suponían sólo eran actividades exclusivas de las mujeres, por lo que, es de suponerse que las afectaciones del conflicto relación trabajo-familia lleguen a afectarlos de igual manera. Estas afectaciones influyen en el bienestar psicoemocional de los trabajadores, así mismo repercute de manera importante con los niveles de estrés y baja satisfacción laboral, así como una mayor exposición a accidentes laborales (Huerta & Vargas, 2024) está baja satisfacción se asocia al ausentismo del personal, baja productividad y una alta rotación, situaciones que afectan a las organizaciones como consecuencia de la imposibilidad de conciliar de forma adecuada la relación de trabajo y familia (Gabini, 2020).

Las afectaciones en los trabajadores debido a largas jornadas de trabajo, que incluyan horas extras, el mantener actividades laborales en días festivos, fines de semana, esto llega a ocasionar afectaciones en las organizaciones debido a la desidia de los trabajadores, la cual se llega a presentar por las presiones laborales

(INSST, 2020) situaciones que se pueden aminorar tomando medidas en favor de los trabajadores y de acuerdo con Pérez *et al.*, (2017, p. 197) “Una cultura organizacional favorable a la conciliación trabajo-familia está asociada a un mayor número de políticas favorecedoras de dicha conciliación”. Mejorar la gestión del tiempo de trabajo, por parte de los tomadores de decisiones en las empresas, en las tareas asignadas reduciría la necesidad de prologar los horarios laborales, lo que permitiría que los trabajadores adquieran mayor tiempo para dedicar a sus actividades personales y familiares. El sector de la construcción presenta condiciones laborales que intensifican el conflicto trabajo-familia, como la informalidad, exposición a riesgos físicos, extensas jornadas laborales (EU-OSHA, 2024; CDC-NIOSH, 2023). Estas características generan un entorno de alta exigencia que no es captado adecuadamente por los instrumentos normativos generalistas, estudios recientes, en Turquía y Chile (Kunkcu *et al.*, 2025; Neculman *et al.*, 2025) han demostrado que los trabajadores de la construcción experimentan mayores niveles de deterioro en sus relaciones familiares, debido a la interferencia laboral.

Expuesto lo anterior se busca explorar los resultados de la aplicación del instrumento *Guía de Referencia II*, sugerido por la NOM-035-STPS-2018, a la fuerza de trabajo de una empresa del sector de la construcción, ubicada en la Ciudad de México. Así mismo, el presente trabajo tiene como objetivo, evaluar la relación trabajo-familia en trabajadores de la construcción mexicana como indicador de riesgo psicosocial, analizando el conflicto en dicha relación y sus consecuencias.

2. Métodos experimentales

El diseño de la investigación es un estudio no experimental transversal descriptivo correlacional. El muestreo fue no

probabilístico intencional y por conveniencia, dada la accesibilidad de una pequeña empresa formal del sector, ubicada en la Ciudad de México. Esta elección se justifica por el carácter exploratorio del estudio y la intención de identificar patrones situados en contextos laborales específicos, sin pretensión de representatividad estadística. La investigación contó con una participación de 49 trabajadores y dado lo reducido de la muestra, los resultados deben interpretarse como una aproximación diagnóstica situada. Además, se reconocen posibles sesgos metodológicos, entre ellos, la selección de la empresa, ya que al ser solo una, limita la diversidad organizacional, así como el sesgo contextual, por lo que las condiciones territoriales, culturales y organizacionales particulares pueden afectar la percepción del riesgo psicosocial.

La aplicación de los cuestionarios se hizo a la totalidad de los trabajadores, por lo que el tamaño de la muestra está de conformidad con lo estipulado en la NOM-035-STPS-2018 en su numeral 7.1 inciso “a” que instituye “los centros de trabajo que tengan entre 16 y 50 trabajadores únicamente deberán realizar la identificación y análisis de los FRPS, y que debe incluir, a todos los trabajadores”.

A los trabajadores, se les aplicaron los instrumentos sugeridos por la Norma Oficial Mexicana NOM-035-STPS-2018, específicamente la *Guía de Referencia II* “Identificación y análisis de los factores de riesgo psicosocial” diseñada para organizaciones con menos de 50 trabajadores. Este instrumento está estructurado en cuatro categorías, las cuales son: 1) *Ambiente de trabajo*, 2) *Factores propios de la actividad*, 3) *Organización del tiempo de trabajo* y 4) *Liderazgo y relaciones en el trabajo*. El análisis de datos se realizó conforme a los criterios establecidos por la Guía de Referencia II de la NOM-035-STPS-2018, la cual propone una interpretación categórica de

los puntajes obtenidos en escala tipo Likert, sin requerir estimaciones inferenciales como intervalos de confianza. Dado que el enfoque del instrumento es diagnóstico y normativo, se privilegia la clasificación de niveles de exposición al riesgo psicosocial (muy alto, alto, medio, bajo y nulo o despreciable) de acuerdo con los rangos definidos por la norma anteriormente mencionada. No obstante, para fortalecer la presentación de los datos, se incorporaron frecuencias absolutas y relativas por dimensión y dominio, esta estrategia permite una lectura más clara y rigurosa de los hallazgos, respetando el marco metodológico normativo aplicado.

Cada categoría contiene reactivos distribuidos en escala tipo Likert. Para efectos de esta investigación se consideró únicamente la categoría 3: Organización del tiempo de trabajo, por su relevancia en el análisis de conflicto trabajo-familia en el sector de la construcción, misma que está dividida en dos dominios 1) *Jornada de trabajo* y 2) *Interferencia relación trabajo-familia*. Estos dominios a su vez se subdividen en dimensiones, para el dominio uno, le corresponde el de *Jornada de trabajo extensas* y para el dominio dos, el de *Influencia del trabajo fuera del centro laboral e Influencia de las responsabilidades familiares*. Estas dimensiones fueron utilizadas como base para el análisis del objetivo de esta investigación, permitiendo identificar indicadores de riesgo psicosocial relacionados con la dificultades de conciliación entre las responsabilidades laborales y familiares en trabajadores de la construcción. Se reconoce la utilidad normativa para identificar FRPS, no obstante, contiene limitaciones metodológicas, como la rigidez de los reactivos, lo que dificulta captar matices como la precarización; enfoque individualista, al no considerar dinámicas colectivas ni estructurales del entorno laboral; y la falta de adaptación territorial, al

no contemplar variaciones culturales que inciden en la experiencia del riesgo.

Para la *Guía de referencia V “Datos del trabajador”* para la recolección de datos sociodemográficos. Para el análisis de las guías de referencia se aplicó la estadística descriptiva. Una vez obtenido las guías con las respuestas de los informantes, se procedió a la captura de datos, para el análisis e interpretación de los resultados, siguiendo lo sugerido por la NOM-035-STPS-2018, para llegar a la conclusión acerca de la apreciación de los trabajadores en la interferencia percibida de la relación trabajo-familia, y como les afecta.

3. Resultados

El análisis de los cuestionarios para determinar los resultados se realizó mediante la escala de Likert, como lo estipula la NOM-035-STPS-2018, en sus valores de respuesta, para determinar los diferentes niveles de riesgo, determinados como muy alto, alto, medio, bajo y nulo o despreciable.

La aplicación de las *Guía de Referencia V, “Datos del Trabajador”* manifestó que, de la muestra encuestada (49) el 98% (f=48) estuvo compuesta por hombres, en un rango de edad de la mayoría de 20 a 29 el 38% (f=19) y 40 a 49 años 33% (f=16) casados 22% (f=11) solteros 49% (f=24) divorciados 6% (f=6%) y en unión libre el 22% (f=11). Estos

trabajadores, la mayoría, contaban con un nivel de estudios de bachillerato concluido con un 47% (f=23), la totalidad de estos desempeñaban un puesto operativo y contratados por obra o proyecto 100% (f=49) y del 88% (f=43), respectivamente, sin relación laboral de trabajadores de confianza o sindicalizados con el 51% (f=25) adicionalmente el 100% (f=49) de los trabajadores laboraban en un jornada de trabajo diurno, sin rotación de horarios con una experiencia laboral en su puesto actual entre 0 a 12 meses 82% (f=40) y con una experiencia total en trabajos de construcción, la mayoría contaba con 5 a 9 años 47% (f=23).

Los resultados de la categoría organización del tiempo de trabajo, que contiene el dominio de *“Interferencia relación trabajo-familia”* objeto de la presente investigación, derivados de la aplicación de la *Guía de Referencia II*, muestran los niveles de exposición al riesgo, para los trabajadores encuestados, exhibe un nivel predominante alto, con un 32%, en donde estos trabajadores han experimentado exigencias laborales en lo referente a las extensas jornadas laborales y en palabras de Diaz y Carrasco (2022) exponen que las repercusiones por dichas condiciones incrementan el conflicto en la relación familiar proporcionalmente a los horarios de trabajo que tengan establecidos los trabajadores en sus empresas (Figura 1).

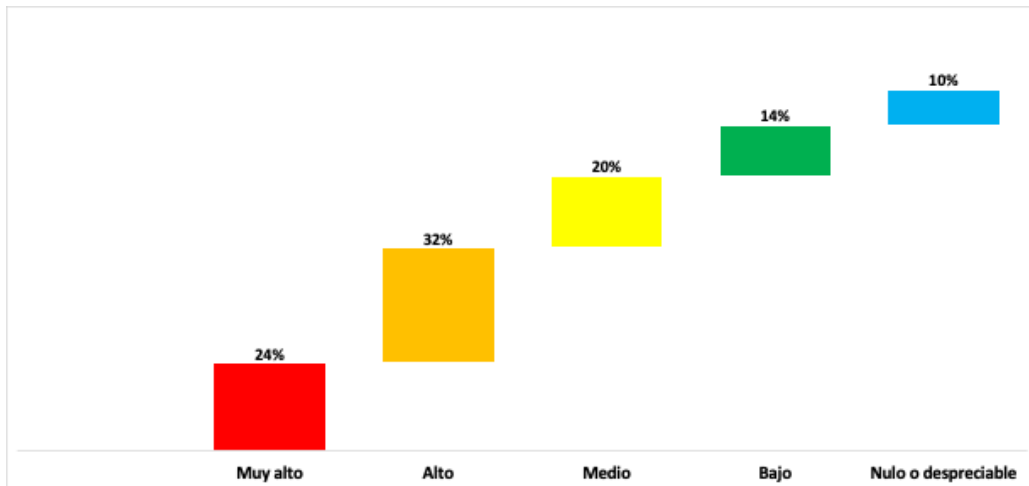


Figura 1. Nivel de exposición al riesgo categoría Organización del Tiempo de Trabajo.
 Fuente: elaboración propia con datos de la guía de referencia aplicada.

Los niveles de riesgo en los trabajadores encuestados representado en la figura 1, exponen una alta exposición a los FRPS en la categoría antes expuesta; estos altos niveles, llegan a repercutir en el conflicto relación trabajo-familia, cuya exposición genera afectaciones tanto a nivel físico, con trastornos de sueño, enfermedades cardiovasculares, trastornos a nivel musculoesqueléticos y aumento en abuso de sustancias adictivas (INSST, 2023).

Para los dominios de jornada de trabajo, el nivel de exposición al riesgo, mismo que estuvieron expuestos los trabajadores investigados, se ubicó en muy alto con un 54% y el dominio de interferencia relación trabajo-familia, el porcentaje más significativo se ubicó en riesgo alto con el 42% (Figura, 2).

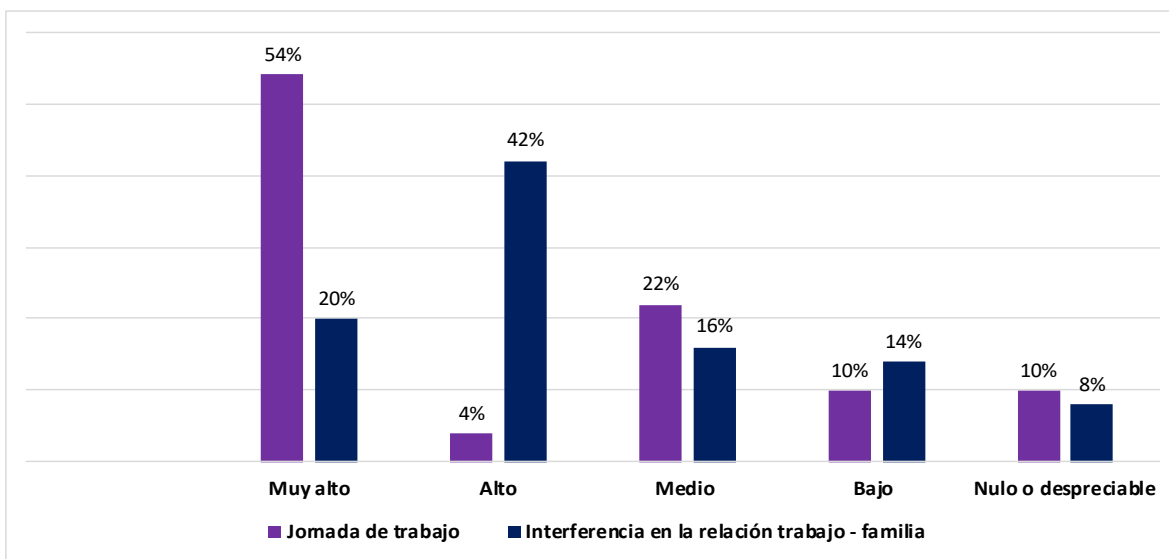


Figura 2. Nivel de exposición al riesgo dominios Jornada de Trabajo e Interferencia Relación trabajo-familia.
 Fuente: elaboración propia con datos de la guía de referencia aplicada.

Los resultados (Figura, 2) muestran en los trabajadores, que estos consideraban las jornadas de trabajo les afectaban en mayor medida que la interferencia relación trabajo-familia, sin considerar que uno y otro dominio están ligados de manera intrínseca; las jornadas de trabajo extensas y de manera sostenida, generan afectaciones físicas y psicoemocionales, y de estrés que llegan a sentir los trabajadores por las demandas laborales, Peña et al., (2022).

Evaluados la categoría de “Organización del tiempo de trabajo” y los dominios de “Jornada de trabajo” y de “Interferencia relación trabajo-familia”, se procedió a cruzar la información con la categoría de “Factores propios de la actividad” y sus respectivos dominios de “Falta de control sobre el trabajo” y el de “Carga de trabajo”, esto para establecer una relación con las categorías por las afectaciones que consiguieran a presentar los trabajadores por

los altos niveles de exposición al riesgo manifestados en los resultados.

Los trabajadores sujetos de investigación estuvieron expuestos a altos niveles de exposición al riesgo, en donde el 33%, en la categoría Factores propios de la actividad, el más significativo el 33% en un nivel alto (Figura 3). Estos resultados se apoyan en el modelo Demanda-Control de Karasek (1979) el cual describe situaciones que llegan a presentarse mediante afectaciones físicas y estresores en los trabajadores e incrementan en estos los niveles de riesgo psicosocial en el ámbito laboral, expuesto por Patlán Pérez (2020) quien construye una escala de medición de los estresores laborales a partir de los FRPS, en el cual propone intervenciones para reducirlos, además del desarrollo del aprendizaje y el rediseño de los puestos en que no se ejerce acciones de manera activa y en el que solo se reciben órdenes.

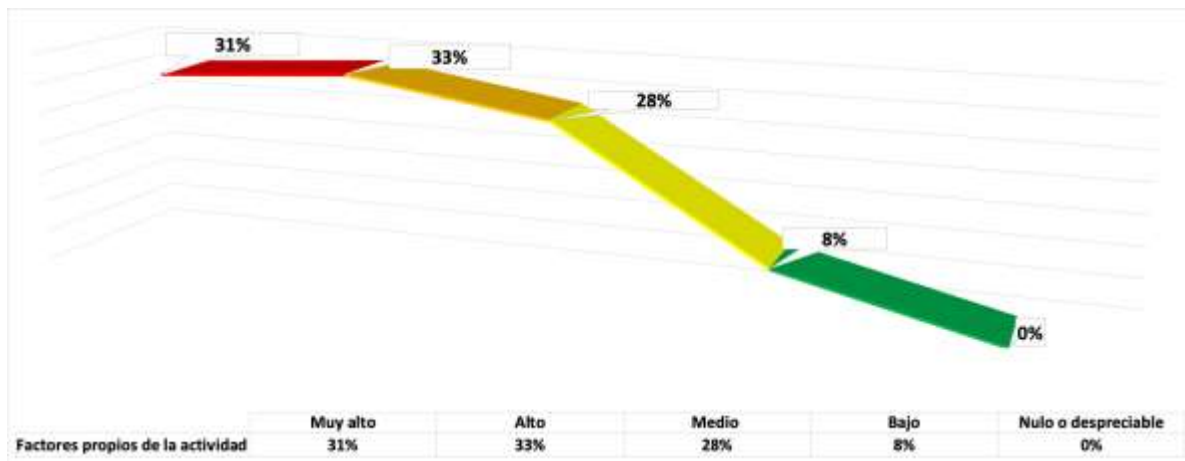


Figura 3. Nivel de exposición a la categoría Factores propios de la actividad.

Fuente: elaboración propia con datos de la guía de referencia aplicada.

Los trabajadores sometidos a presiones laborales en relación con las cargas laborales, los horarios que se manejan y la necesidad de atender situaciones familiares en horario laboral (INSST, 2023) conllevan una presencia de riesgos psicosociales cuando los trabajadores sienten la imposibilidad de inferir en la planificación de sus tareas, por lo

que el conflicto trabajo-familia provoca efectos adversos en la salud física y bienestar psicoemocional, sobre todo cuando intervienen otros FRPS en el entorno laboral (Islas et al., 2024; INSST, 2023). Además, este conflicto no solo afecta la familia, sino el ambiente de trabajo, consiguiendo tener un

impacto destructivo en la satisfacción laboral de los trabajadores (Huerta & Vargas, 2024).

En Chile, autores como Diaz y Carrasco (2022) notaron que la sobrecarga laboral, la ambigüedad y conflicto de rol, fueron los principales pronosticadores del conflicto en la relación trabajo-familia. Para los dominios de “Carga de trabajo” y “Falta de control sobre el trabajo” (Figura 4) los mayores porcentajes se ubicaron en nivel alto con un

42% y en muy alto con el 54%, respectivamente, esto se asocia con el exceso de las capacidades laborales de los trabajadores por encima del desempeño de sus actividades, lo que se relacionan con los conflictos que se generan en la relación trabajo-familia, al forjar en los trabajadores conflictos psicológicos, dispersión de la energía y disminución del rendimiento laboral (INSST, 2020).

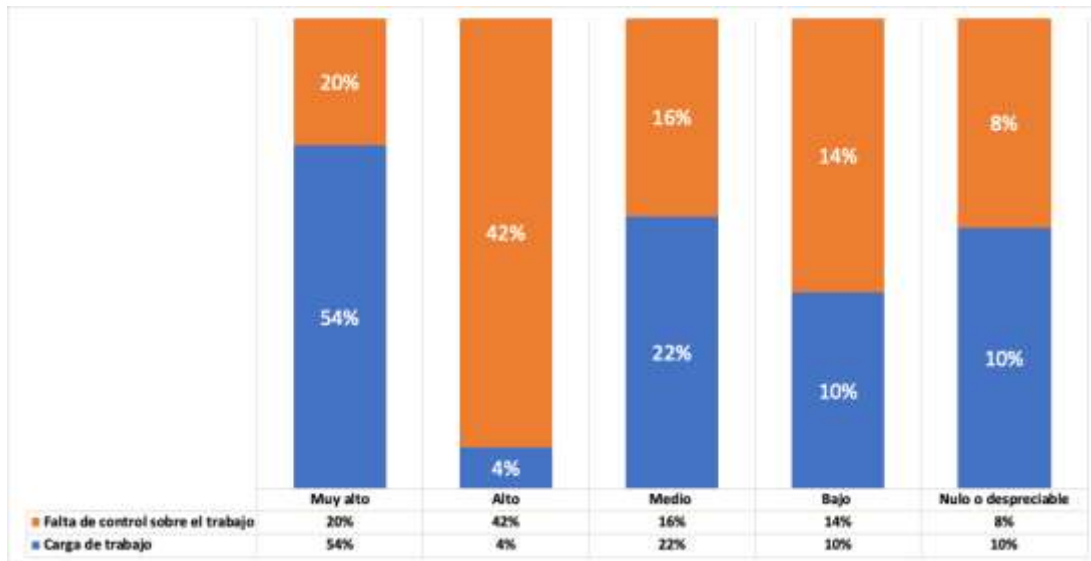


Figura 4. Nivel de exposición al riesgo dominios Carga de trabajo y Falta de control sobre el trabajo.

Fuente: elaboración propia con datos de la guía de referencia aplicada.

Estos efectos adversos en la relación trabajo-familia llegan a originarse derivados de la sobrecarga de trabajo, generando afectaciones en el bienestar psicoemocional, social, familiar y organizacional de los trabajadores (Chan *et al.*, 2020).

4. Discusión

Si bien la NOM-035-STPS-2018 representa un avance normativo en la identificación de FRPS en contextos laborales mexicanos, su aplicación presenta limitaciones metodológicas y sectoriales que deben ser consideradas críticamente. Desde una perspectiva metodológica, el instrumento presenta una estructura rígida de reactivos que dificulta captar modalidades

contextuales, como la precarización, subcontratación, o violencia simbólica, especialmente en el sector de la construcción donde las condiciones de trabajo suelen ser más volátiles y fragmentadas. Además, su enfoque predominantemente individualista no contempla dinámicas colectivas ni estructurales que inciden en el bienestar psicosocial.

Los resultados presentados muestran niveles de exposición al riesgo altos; tomando en cuenta que la muestra encuestada estuvo conformada en su mayoría por hombres, es de notarse que esto no ha sido determinante para que los trabajadores presenten afectaciones en la interferencia relación trabajo-familia. Es

de notarse que estos datos son concordantes con las apreciaciones de los trabajadores al considerar que las jornadas y demandas de trabajo son excesivas, por lo que la interferencia relación trabajo-familia, y las cargas laborales no se pueden considerar de manera aisladas, en donde Peña et al., (2022) exponen que las cargas de trabajo afectan el bienestar de los trabajadores y la insatisfacción emocional se ven reflejadas en el menoscabo de sus relaciones familiares causados por el estrés de la conciliación en la familia y el trabajo. Sin embargo, estas condiciones no siempre son captadas por los reactivos estandarizados del instrumento, por lo que adaptar la NOM-035 con módulos sectoriales complementarios y que incluyan indicadores específicos para contextos de alta exigencia física, informalidad laboral o exposición a riesgos múltiples, puede ser beneficioso para el sector.

La falta de conciliación entre el trabajo y la familia es un FRPS que afecta la salud y el bienestar psicoemocional de los trabajadores, cuando la carga de trabajo, la limitada autonomía y control sobre sus tareas, debe ser prioridad por parte de los tomadores de decisiones en las empresas para la adecuada gestión del riesgo psicosocial (INSST. 2023).

En este estudio se identificaron niveles elevados de exposición al riesgo psicosocial, lo que puede provocar un malestar laboral, derivado de la falta de un adecuado equilibrio entre la vida familiar y laboral, y cuando esto ocurre llega a afectar el bienestar general de los trabajadores (Rodríguez *et al.*, 2022), sin ser exclusivo de los trabajadores del sector. Cuando existe la primera condición aqueja, incluso hasta la forma de relacionarse entre pares, lo que implica un deterioro de las relaciones personales, sociales y laborales que se revertirían en la autonomía de las tareas encomendadas, la definición clara de los objetivos y metas laborales, así como una adecuada concordancia de las

responsabilidades en los diferentes ámbitos como son los personales, familiares y laborales.

De acuerdo con el INSST (2023) expone que el conflicto trabajo-familia o familia trabajo, se genera cuando un ámbito interfiere con el otro, no obstante, en las empresas recae la responsabilidad y la importancia de mantener los FRPS, incluido el de interferencia trabajo-familia y sus afectaciones en los trabajadores, en niveles bajos, dado que, la prevención de los riesgos, tanto laborales como psicosociales, repercute de manera positiva en el adecuado desarrollo organizacional y en el incremento de la productividad.

La teoría expuesta por Kahn (1964) y sus colaboradores exponen que cuando los trabajadores se ven en la necesidad de desempeñar roles laborales y familiares, es ineludible que las expectativas que se tienen en estos sean más altas de lo desempeñado cotidianamente y en consecuencia se presenta el conflicto en la relación trabajo-familia. Las presiones a los trabajadores derivadas de las características laborales de una industria como la construcción, exige a directivos y supervisores instruir a los trabajadores un ritmo de trabajo que raya en lo excesivo, provocando fatiga e incremento en los FRPS, sobre todo cuando estas demandas permanecen por encima de las competencias y habilidades de los trabajadores (INSST, 2020) que llegan a interferir en la relación trabajo-familia y la adecuada correspondencia que debe existir en los ámbitos de los trabajadores.

5. Conclusiones

El presente estudio tuvo como objetivo evaluar la relación trabajo-familia como indicador de riesgo psicosocial en trabajadores de la construcción, analizando el conflicto en dicha relación y sus consecuencias, utilizando la *Guía de*

Referencia II, sugerida por la NOM-035-STPS-2018. Los resultados evidencian niveles elevados de exposición al riesgo derivados del análisis en la categoría de interferencia relación trabajo-familia, lo que implica afectaciones significativas en el bienestar psicoemocional y laboral de los trabajadores participantes, especialmente por la dificultad para conciliar responsabilidades familiares y laborales en condiciones organizacionales exigentes. Los resultados expuestos, muestran desequilibrio en los trabajadores en relación con las relaciones familiares y laborales, revelando la inestabilidad en las interacciones y la conciliación negativa, causantes de estrés e insatisfacción en éstos (INSST, 2023).

La literatura especializada ha documentado la bidireccionalidad del conflicto trabajo-familia, distinguiendo la relación con el conflicto familia-trabajo y el conflicto trabajo-familia, (Dominguez, Lozano & Ramirez, 2020; Boix *et al.*, 2021; INSST, 2023), esto por concurrir requerimientos contrapuestos que interfieren en la interferencia del trabajo en relación con la familia, en donde las responsabilidades laborales se llevan a la casa, para que este sea atendido en el ámbito familiar lo que causa estrés y preocupación por el mismo, cuestiones que perturban la dinámica familiar. En contraposición está el conflicto familia-trabajo en el que se considera que las responsabilidades familiares entorpecen las laborales al tener que pasar tiempo extra en el trabajo y no asistir a compromisos con la familia. La NOM-035-STPS-2018, no contempla en sus preguntas ambas direcciones de afectaciones, solo se aborda desde la relación trabajo-familia, limitando su capacidad diagnóstica, para la prevención en las afectaciones por este conflicto en relación con los FRPS, puesto que las empresas solo pueden tomar acciones desde la prevención de las condiciones laborales con las medidas preventivas y correctivas que apliquen para

garantizar las condiciones favorables en beneficio de los trabajadores (INSST, 2023). Esta restricción metodológica impide captar afectaciones que surgen cuando las responsabilidades familiares interfieren en el desempeño laboral, lo que es relevante en sectores con condiciones de alta exigencia y baja previsibilidad.

Condiciones que adquieren mayor grado de exposición en trabajadores de la construcción por las características particulares del sector, como las extensas jornadas laborales, movilidad territorial o culturales, así como la escasa previsibilidad en los horarios, que la NOM-035, hasta ahora no examina, por lo que se propone adaptarla con indicadores específicos para contextos de alta exigencia física, informalidad laboral o alta exposición de accidentabilidad. Sin embargo, esta relación abordada desde el ámbito del género, ha sido poco explorado en industrias predominantemente masculinas; autores como Pezo y Paredes (2024) y Aguilar-Morales (2022) exponen que existen contrastes en la forma de percepción acerca de la relación trabajo-familia, “Los varones perciben una interacción negativa entre su familia y su trabajo, y las mujeres, lo contrario” (Pezo & Paredes, 2024, p.2). En una industria como la construcción en donde la fuerza laboral está compuesta, en su mayoría por hombres, se puede asumir que esta relación y afectaciones es menos relevante en dicho contexto, los resultados de esta investigación muestran altos niveles de afectación en una muestra conformada en su mayoría por hombres, lo que refuerza la necesidad de implementar políticas organizacionales que promuevan la conciliación laboral y familiar sin distinción de género. Es responsabilidad de los centros de trabajo proporcionar un ambiente de confianza y apertura, implementando políticas en las que los trabajadores consigan conciliar su trabajo y responsabilidades familiares de una manera adecuada y con esto

consigan el bienestar psicoemocional para desempeñarse (Guanquiza, 2024). “Un equilibrio saludable entre la vida laboral y familiar está estrechamente relacionado con el bienestar psicológico y emocional” (Huerta & Vargas, 2024, p. 418), lo que se traduce que al mejorar las condiciones laborales aumenta el sentido de pertenencia en los trabajadores, lo que repercute de manera positiva en las organizaciones (Gabini, 2020).

De acuerdo con lo expuesto a lo largo de esta investigación, es imperante que las organizaciones transformen sus prácticas laborales para adaptarse a las nuevas dinámicas operativas y tecnológicas, priorizando el bienestar humano, una visión estratégica que no debe olvidar la implicación de una mejora en la eficiencia y productividad de las organizaciones, conllevando una oportunidad de crecer y evolucionar para las organizaciones de manera inteligente y productiva. Un rol transformador que beneficia a los trabajadores, en aspectos como flexibilidad horaria, disminución de la carga laboral, sin afectar los plazos de entrega, autonomía laboral, derecho a la capacitación, acceso a beneficios laborales, sin distinción de género, más allá de los roles tradicionales (Torres, Jain & Leka, 2019).

Por último, expuesto lo anterior, se puede concluir que existen altos grado de exposición al riesgo psicosocial en la categoría de interferencia relación trabajo-familia, mismos que están presentes en trabajadores de la industria de la construcción mexicana, lo cual parte del supuesto hipotético en el cual está enfocada está investigación. Sin embargo, es importante destacar que la presente investigación tuvo como principal limitación, lo reducido en la muestra participante para la obtención de los resultados, lo que restringe la representatividad de los resultados, por lo que no se pretende extrapolar los hallazgos al conjunto del sector, sino generar insumos

para investigaciones comparativas y recomendaciones locales. Adicionalmente, se reconoce que el instrumento sugerido por la NOM-035-STPS-2018, y el cual fue usado en esta investigación, —aunque normativamente válido— presenta limitaciones en su capacidad de identificación de los riesgos y niveles de exposición de manera específica. Esta falta de precisión puede dificultar la identificación certera de los FRPS, en relación con la interferencia relación trabajo-familia, mismos ítems que deben ampliarse, ya que la cantidad de preguntas son limitadas y genéricas, para el universo de trabajadores mexicanos, lo que resultaría en la incorrecta identificación de las afectaciones, y podría llegar a entorpecer las recomendaciones en relación con medidas preventivas y correctivas para la disminución de las afectaciones en los trabajadores. Finalmente, se propone como futuras líneas de investigación realizar el comparativo de los resultados mostrados en esta investigación, aplicación de instrumentos mixtos y adaptaciones sectoriales y territoriales, que permitan una evaluación más situada en relación al estudio de la interferencia en la relación trabajo-familia en otros ámbitos laborales.

Referencias

- Aguilar-Morales, N. (2022). Interacción trabajo-familia en investigadores de una universidad pública. *Opción: Revista de Ciencias Humanas y Sociales*, 29, 179–199. <https://doi.org/10.5281/zenodo.7300888>.
- Boix Vilella, S., Barrera García, R., León Zarceño, E., & Serrano Rosa, M. Á. (2021). *Conciliación trabajo-familia y salud psicosocial en los inicios del COVID-19: Un estudio piloto con profesores y no profesores*. *Perfiles Educativos*, 43(174), 26-41.

- <https://doi.org/10.22201/iissue.24486167e.2021.174.59993>
- Chan APC, Nwaogu JM, Naslund JA. (2020). Mental Ill-Health Risk Factors in the Construction Industry: Systematic Review. *J Constr Eng Manag.* 2020 Mar;146(3):04020004. doi: 10.1061/(asce)co.1943-7862.0001771. Epub 2020 Jan 6. PMID: 33408438; PMCID: PMC7785059
- <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7785059/>
- Chen, Y., Zhang, F., Wang, Y., & Zheng, J. (2020). Work–family conflict, emotional responses, workplace deviance, and well-being among construction professionals. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(19), 7094. <https://doi.org/10.3390/ijerph17197094>
- Concepción-Barrón, L. & Mariscal-Haro, E. (2024). La doble presencia o interferencia en la relación trabajo-familia como riesgo psicosocial en las mujeres trabajadoras. *Dictamen Libre*, (35: julio-diciembre). pp. 207-214.
- <https://doi.org/10.18041/2619-4244/dl.35.12178>
- Díaz-Pincheira, F. J., & Carrasco-Garcés, M. E. (2022). Efecto mediador del engagement entre la Felicidad Subjetiva y el Conflicto Trabajo - Familia/ Familia- Trabajo en una muestra de profesores chilenos. *Psicología desde el Caribe*, 39(1), e203. Epub July 17, 2022. Retrieved August 22, 2024. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0123-417X2022000100004&lng=en&tlng=es.
- Domínguez-Aguirre, L. R., Lozano-Jiménez, I., & Ramírez-Campos, Álvaro F. (2020). El rol del conflicto trabajo-familia en la relación del clima organizacional y las intenciones de salida. *Cuadernos De Gestión*, 20(3), 87–97. <https://doi.org/10.5295/cdg.181004ld>
- European Agency for Safety and Health at Work. (2024). *Mental health in the construction sector: Preventing and managing psychosocial risks*. https://osha.europa.eu/sites/default/files/documents/Mental-health-construction_EN.pdf
- Frone, M. R. (2003). Work–family balance. In J. C. Quick & L. E. Tetrick (Eds.), *Handbook of occupational health psychology* (pp. 143–162). American Psychological Association. <https://doi.org/10.1037/10474-006>
- Gabini, S. (2020). Articulación trabajo-familia y satisfacción laboral: El rol del compromiso afectivo. *Liberabit*, 26(1), e352. <https://dx.doi.org/10.24265/liberabit.2020.v26n1.06>
- Gobierno de México, (2021). Índice de condiciones de empleo analizará el grado de vulnerabilidad laboral en México. <https://www.gob.mx/conasami/prensa/indice-de-condiciones-de-empleo-analizara-el-grado-de-vulnerabilidad-laboral-en-mexico?idiom=es>
- Greenhaus, J. H., & Beutell, N. J. (1985). Sources of conflict between work and family roles. *Academy of Management Review*, 10(1), 76–88. <https://doi.org/10.5465/amr.1985.4277352>

- Guanokuiza, L.L. (2024) 'Implicaciones de la personalidad en la seguridad y salud ocupacional', *Revista Científica de Salud BIOSANA*, 4(3), pp. 160–168. Available at: <https://doi.org/10.62305/BIOSANA.V4I3.167>.
- Huerta-Zúñiga, C. G., & Vargas-Jiménez, E. (2024). *Reflexiones en torno a factores que propician la conciliación familia-trabajo y sus efectos en trabajadores de la hotelería*. Universidad Nacional Autónoma de México. <https://ru.iiec.unam.mx/6606/>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (27 de marzo 2024). *Encuesta nacional de ocupación y empleo (ENOE) 2023. Población de 15 años y más de edad* [Archivo PDF]. <https://www.inegi.org.mx/programas/enoe/15ymas/>
- Instituto Nacional De Seguridad y Salud En El Trabajo. (INSST) (2020). Método para la evaluación y gestión de factores psicosociales en pequeñas empresas. Manual de usuario. <https://www.insst.es/documents/94886/710902/M%C3%A9todo+para+la+evaluaci%C3%B3n+y+gesti%C3%B3n+de+factores+psicosociales+en+peque%C3%B1as+empresas/b6cb930b-6076-47c0-9679-16ab4fea93f2>
- Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo (INSST), O.A., M.P. (2023). Conflicto trabajo-familia o doble presencia como riesgo psicosocial: Marco conceptual y consecuencias. <https://www.insst.es/documents/94886/566858/NTP%201185%20Conflict%20o%20trabajofamilia%20o%20doble%20presencia%20como%20riesgo%20psicosocial%20Marco%20conceptual%20y%20consecuencias.pdf/8447bff7-727d-addc-da50-07d81391a653?version=1.0&t=1694586519256>
- Islas-Magaña, P. J., Di Marco, D., Arenas-Moreno, A., & Cervantes Ríos, J. C. (2024). *El uso de medidas de conciliación trabajo-familia en hombres latinoamericanos: una revisión sistemática*. Dilemas contemporáneos: Educación, Política y Valores, 11(3). <https://doi.org/10.46377/dilemas.v11i3.4185>
- Jiménez-Figueroa, A., & Gómez-Urrutia, V. (2021). Incidencia del bienestar subjetivo y equilibrio trabajo-familia en cuanto a la cultura trabajo-familia en trabajadores del poder judicial chileno. *Revista Costarricense de Psicología*, 40(1), 23–36. <https://doi.org/10.22544/rcps.v40i01.02>
- Jiménez-Figueroa, A. & Hernández-Reveco, A. (2020). Percepción de equidad de género y equilibrio trabajo-familia en trabajadores pertenecientes a empresas públicas y privadas de Chile. *Ciencias Psicológicas*, 14(2), e2201. Epub 28 de mayo de 2020. <https://doi.org/10.22235/cp.v14i2.2201>
- Kahn RL, Wolfe DM, Quinn RP, Snoek JD, Rosenthal RA. Organizational stress: Studies in role conflict and ambiguity. New York: Wiley; 1964
- Karasek, R. A. 1979. «Job demands, job decision latitude, and mental strain: Implications for job redesign», *Administrative Science Quarterly*, vol. 24, núm. 2, págs. 285-308.
- Kunkcu, H., Koc, K., & Gurgun, A. P. (2025). Work–family conflict and high-quality relationships in construction project management. *Engineering*,

- Construction and Architectural Management*, 32(6), 3937–3956. <https://doi.org/10.1108/ECAM-03-2023-0326>
- Medina-Garrido, J. A., Biedma-Ferrer, J. M., & Sánchez-Ortiz, J. (2020). I can't go to work tomorrow! Work-family policies, well-being and absenteeism. *Sustainability (Switzerland)*, 12(14). <https://doi.org/10.3390/su12145519>
- National Institute for Occupational Safety and Health. (2023, February 15). *Psychosocial hazards often overlooked in construction industry*. Centers for Disease Control and Prevention. <https://blogs.cdc.gov/niosh-science-blog/2023/02/15/construction-psychosocial-hazards/>
- Neculman, B., Sierra-Varela, L., Schnettler, B., & Villegas-Flores, N. (2025). Relationship Between Work–Family Conflict and Support on Construction Professionals' Family Satisfaction: An Integrated Model in Chile. *Buildings*, 15(1), 14. <https://doi.org/10.3390/buildings15010014>
- Organización Internacional del Trabajo y Organización Mundial de la Salud. (1984). *Factores psicosociales en el trabajo: Naturaleza, incidencia y prevención. Informe del Comité Mixto OIT-OMS sobre Medicina del Trabajo, novena reunión Ginebra, 18-24 de septiembre de 1984* [Archivo PDF]. <http://www.factorespsicosociales.com/wp-content/uploads/2019/02/FPS-OIT-OMS.pdf>
- Patlán-Pérez, J. (2020). Claroscuros de las NOM-035-STPS-2018 Factores de riesgo psicosocial en el trabajo: Identificación, análisis y prevención. *Red de Investigación en Salud en el Trabajo*, 2(Especial 2), 15-16. <https://rist.zaragoza.unam.mx/index.php/rist/article/view/202>
- Peláez, C. y García, C. (2020) “El estudio de. La precariedad laboral en México: desafíos para pensar el siglo XXI” en *Revista Veredas*, año 21, núm. 40, pp. 94-124. <https://veredasojs.xoc.uam.mx/index.php/veredas/article/view/613/575>
- Peña-Ponce, D. K., Toala-Pincay, M. Y., & Toala-Pincay, B. A. (2022). Sobrecarga de trabajo: efectos sobre la productividad y calidad de vida. *RECIMUNDO*, 6(suppl 1), 29-40. [https://doi.org/10.26820/recimundo/6.\(suppl1\).junio.2022.29-40](https://doi.org/10.26820/recimundo/6.(suppl1).junio.2022.29-40)
- Pérez-Rodríguez, V., Palací-Descals, F., & Topa-Cantisano, G. (2017). Cultura de conciliación y conflicto trabajo/familia en trabajadores con turnos laborales. *Acción psicológica*, 14(2), 193-200. <https://www.redalyc.org/pdf/3440/344054646013.pdf>
- Pezo-Arteaga, E., & Paredes Limo, E. F. (2024). *Relación trabajo-familia en trabajadores de empresas privadas: Una revisión sistemática*. *Revista Argentina de Ciencias del Comportamiento*, 16(4), 1-18. <https://doi.org/10.32348/1852.4206.v16.n4.41837>
- Rashmi, K., & Kataria, A. (2022). Work–life balance: a systematic literature review and bibliometric analysis. *International Journal of Sociology and Social Policy*, 42(11–12), 1028–1065. <https://doi.org/10.1108/IJSSP-06-2021-0145>
- Rodríguez, V., Barroilhet, J., Carrasco, R., Guzmán, A., Carvajal, C., & Galaz, D.

(2022). Rol mediador del conflicto trabajo-familia en la relación entre justicia organizacional y estrés laboral. *Rev. CES Psico*, 15(2), 113-134. <https://dx.doi.org/10.21615/cesp.5920>

Secretaría de Trabajo y Previsión Social (2018). NOM-035-STPS-2018, Factores de riesgo psicosocial en el trabajo. Identificación, análisis y prevención. DOF, 23 de octubre de 2018. Vigente. Secretaría de Trabajo y Previsión Social. http://www.diariooficial.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5541828yfecha=23/10/2018

Torres, L. D., Jain, A., & Leka, S. (2019). (Un) doing gender for achieving equality at work: The role of corporate social responsibility. *Business Strategy and Development*, 2(1), 32-39. <https://doi.org/10.1002/bsd2.40>



Revista Internacional de Investigación e Innovación Tecnológica

Página principal: www.riit.com.mx

ISO 9001 en México ¿Rentabilidad Real o Formalismo Costoso? Claves estratégicas ante la versión 2026

ISO 9001 in Mexico: Real Profitability or Costly Formality? Strategic keys for the 2026 version

Guirette-Barbosa, O.A.^{**}, Castañeda-Burciaga, S.^a, Cruz-Domínguez, O.^a, Durán-Muñoz, H.A.^b, Carrera-Escobedo, J.L.^a, Velázquez-Macías, J.^a, Celaya-Padilla, J.M.^b, Lara-Torres, C.G.^a

^a Universidad Politécnica de Zacatecas, Plan del Pardillo s.n. Fresnillo, Zacatecas, C.P. 99056.

^b Universidad Autónoma de Zacatecas, Jardín Juárez #147, Zacatecas, C.P. 98000.

omarguirette@upz.edu.mx*; scastaneda@upz.edu.mx; ocruz@upz.edu.mx; hduran@hotmail.com; jlcarrera@upz.edu.mx; jvelazquez@upz.edu.mx; jose.celaya@uaz.edu.mx; clara@upz.edu.mx

Innovación Tecnológica: Investigación aplicada al sector empresarial y tiene como elemento de innovación en el estudio de la nueva norma **ISO 9001:2026** y sus cambios anticipados.

Área de Aplicación: Ingeniería en gestión, la ingeniería industrial, la ingeniería en logística y sector empresarial, gestión de la calidad y administración.

Recibido: 19 junio 2025

Aceptado: 19 noviembre 2025

Abstract

This paper analyzes whether ISO 9001 certification actually represents a profitable transformation for those organizations that implement and obtain certification. Forty-five companies in north-central Mexico were analyzed. A quantitative, non-experimental, cross-sectional design was used to measure the real assessments and advantages in various key variables such as customer satisfaction, process performance, profits, and sales growth. The indicators evaluated showed significant improvements in all of them, although these were determined by various causes, including the maturity of the management system, the sector, and the reasons that led the company or institution to seek certification. In addition, a comparative analysis (which complements and anticipates) was carried out between the current version of ISO 9001:2015 and the anticipated changes in ISO 9001:2026. Key features are highlighted, including digital transformation, sustainability, and ethical leadership. In conclusion, it was found that ISO 9001 certainly generates value; however, this is only the case when implementation is carried out from a dynamic

perspective and is aligned with the competencies that are present in today's scenario. Suggestions are presented that will make the transition to the new version of the standard less difficult, in addition to extending the benefits.

Keywords: Benefits, ISO 9001:2026, Multivariate analysis, Profitability.

Resumen

En el presente trabajo se analiza si la certificación en el estándar ISO 9001 en realidad representa una transformación rentable para aquellas organizaciones que lo implementan y que se certifican. Se analizaron 45 empresas del centro norte de México. Se hace uso de un diseño cuantitativo, no experimental y de corte transversal, en el que se miden las apreciaciones y ventajas reales en diversas variables centrales como: satisfacción del cliente, desempeño de los procesos, utilidades, incremento en ventas y percepción de preparación ante los cambios ISO 9001:2026. En las variables evaluadas se pudieron notar resultados de mejoras importantes, en todos ellos, si bien determinados por diversas causas, entre ellas, la madurez del sistema de gestión, el sector y, los motivos orillaron a la empresa o institución para certificarse. Además, se llevó a cabo un análisis comparativo (el cual complementa y anticipa) entre la versión vigente ISO 9001:2015 y los cambios anticipados en la ISO 9001:2026. Se realizan particularidades clave, entre ellas: transformación digital, sostenibilidad y cadena de suministros. Como conclusión se observó que el ISO 9001, desde luego que genera valor; sin embargo, sí y sólo sí, cuando la implementación se hace bajo una perspectiva dinámica y alineada con las competencias que están presentes en el escenario vigente al día de hoy. Se presentan sugerencias que harán menos difícil la transición a la nueva versión del estándar, amén de extender los beneficios citados.

Palabras clave: Análisis multivariante, Beneficios, ISO 9001:2026, Rentabilidad.

1. Introducción

En el mundo actual, globalizado y caracterizado por la competencia cada día más intensa y con una mayor exigencia de calidad por parte de los clientes y/o usuarios; las organizaciones se sienten inclinadas a adquirir herramientas que hagan posible mejorar sus procesos al mismo tiempo que se aseguran de proporcionar servicios en los cuales confiar, o productos a adquirir, según sea el caso. Al hablar de herramientas, el estándar internacional ISO 9001 se ha llegado a consolidar, a través de los últimos treinta años, como un referente imprescindible en la puesta en práctica de Sistemas de Gestión de Calidad (SGC). Esto, a partir de su primera

publicación, en 1987. El estándar ha sido adoptado por múltiples entidades a nivel internacional, de tal forma que actualmente la cifra asciende a más de un millón, e incluso a la fecha es la certificación con mayor reconocimiento y aceptación a nivel mundial (1,249,317 certificados, ISO, 2024).

La eficiencia más importante que se le atribuye al estándar ISO 9001 es la propuesta que hace de fomentar la mejora continua (Lizárraga et al., 2020), de incrementar la capacidad de operación (Urdaneta et al., 2020), de posibilitar el hecho de que los márgenes de satisfacción del cliente sean mayores y, de volver más asequible la

inclusión a nuevos mercados (Badillo 2023). No obstante, al estudiar sus efectos precisos, surgen interrogantes significativas en cuanto a cuál es el impacto real que esta certificación tiene sobre el desempeño de las organizaciones. El argumento central del presente análisis es cuando menos intrigante: ¿Qué tan rentable es tener ISO 9001 en México? Diciéndolo de otra manera, ¿los recursos destinados al desarrollo, a la implementación y al mantenimiento de un SGC bajo el estándar mencionado otorga beneficios reales, que se puedan medir y sostener?

No son pocos los estudios en donde se ha tratado de encontrar, o revelar respuestas a tal interrogante. En algunos se muestran pruebas de marcados incrementos en ingresos, en productividad y en lo que se llama fidelización del cliente (Milovanović et al., 2023). Otros hacen observaciones respecto a que el retorno de la inversión a menudo no está del todo claro, y que, a veces, los beneficios son sobre todo simbólicos, más no operativos (Spansel & Ahmed, 2020; Hernández et al., 2021). También, hay estudios que hacen énfasis en que la motivación real para certificar responde, en ocasiones, a factores externos, entre los que se pueden encontrar: requisitos comerciales o reputacionales, más que a una real y verdadera cultura de calidad (Bravi & Murmura, 2021; Hussain et al., 2020).

Han sido ampliamente investigados los antecedentes académicos y prácticos que demuestran la medida de documentar, de implementar, certificar y de mantener un SGC conforme al estándar ISO 9001 (Pila Vallejo, 2022; Zamora et al., 2022; Sánchez Lizárraga et al., 2020; Tahrir & Barus, 2023). De igual forma, se han evidenciado múltiples beneficios, como la disminución de defectos, la mejora del desempeño de procesos, el ahorro de costos y la ampliación de mercado (Velásquez Baca & Salinas Villegas, 2020;

Abbasi & Al-Nagrash, 2022; Chowdhary & Kumar, 2023). No obstante, dichas ventajas se vuelven notorias con mayor fuerza en empresas grandes y maduras, mientras que, en las pequeñas y medianas, o en aquellas con limitada cultura de calidad, el impacto suele ser más difuso (Kartha, 2022; Pascua et al., 2024; Cabecinhas et al., 2021).

Existen estudios que mencionan que aquellas organizaciones donde se experimentan beneficios sustanciales lo obtienen debido a un compromiso gerencial mayor, a un liderazgo más efectivo y una mejor alineación estratégica del SGC con los objetivos del negocio. Fonseca et al. (2021), al respecto, destacan que las empresas medianas y grandes reportan, tras la certificación, ahorros importantes, incremento en ventas y mejoras operativas. Pero, incluso, también se ha hecho evidente que en diversos contextos los beneficios tienden a estancarse luego de un tiempo, sobre todo, si no se tiene una estrategia clara de mantenimiento y evolución del SGC (Chowdhary & Kumar, 2023; Midor & Wilkowski, 2021; Chen et al., 2020).

Este documento parte de inicio en un estudio llevado a cabo en 45 organizaciones del centro norte de México, donde se aplicaron técnicas estadísticas robustas, con el objetivo de estimar los beneficios reportados por empresas con certificación ISO 9001. Entre aquellos hallazgos a mencionar se encuentran mejoras superiores al 20% en variables como la satisfacción del cliente, la eficiencia en procesos, el incremento de ventas y el crecimiento de ingresos. No obstante, estos resultados no son universales: intervienen en ello, además, factores tales como la clase de organización, el nivel de madurez del sistema de gestión y las razones iniciales que se tuvieron para adoptar la mencionada certificación.

Lo anterior invita a una reflexión profunda acerca de la manera en que las organizaciones

hacen uso del estándar ISO 9001: ¿es acaso una herramienta indispensable auténtica o una obligación formal que carece de impacto transformador? La observación indica que para que la certificación produzca valor, es imprescindible tener un liderazgo dinámico, integrarse con la planificación institucional y, además contar con una cultura organizacional implicada con la mejora continua.

Al mismo tiempo, se debe tomar en cuenta que ISO 9001 no especifica una metodología que mida la efectividad de su implementación. Plantea requisitos generales, sin embargo, deja a las organizaciones la responsabilidad de concretar los indicadores que se utilizarán para validar la eficiencia de su sistema (Wang et al., 2021; Chowdhary & Kumar, 2023; Naveen et al., 2021). Tal flexibilidad, aunque de utilidad, de la misma manera se convierte en debilidad cuando no se han establecido mecanismos sólidos de seguimiento y evaluación.

La discusión adquiere relevancia concreta, tomando en cuenta que la Organización Internacional de Normalización está trabajando en la próxima versión de la norma: ISO 9001:2026 (se especula la liberación del Final Draft Standar, FDIS, en julio del 2025). La revisión mantendrá los fundamentos de la edición 2015, enfoque por procesos y pensamiento basado en riesgos, aunque añadirá también otras dimensiones como la sostenibilidad, la transformación digital (IA), el análisis del ciclo de vida y la alineación con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) (Başaran, 2021; Anwer, 2024; Bravi & Murmura, 2021). Se está a la expectativa de que la nueva versión del estándar demande

una responsabilidad social y ambiental mayor, unificación más fuerte con los sistemas de información y, eventualmente, una redefinición del concepto mismo de "calidad".

En tales circunstancias, es necesario replantearse el papel del estándar ISO 9001, no nada más como un sistema de certificación reconocido a nivel internacional, sino como un real y verdadero recurso de valor organizacional. Las interrogantes que originan este documento, invitan a que se tenga una visión estratégica: ¿vale la pena certificarse?, ¿qué puede esperarse de una certificación ISO 9001 en el contexto actual y futuro?, y, antes que nada, ¿qué condiciones deben estar presentes para que tal inversión en realidad genere resultados tangibles?

Según han ido evolucionando los estándares, para dar respuestas a una economía global en constante transformación y desarrollo, es necesario que lo hagan también las organizaciones que se encargan de implementarlas. ISO 9001:2026 propiciará una oportunidad capital para que las organizaciones reflexionen acerca del propósito y objetivos de SGC, agregando magnitudes que hasta ahora permanecen en la periferia, tales como la resiliencia organizacional, el liderazgo ético y la creación de valor compartido, así como los ODS y la inclusión de la IA en las actividades torales de las organizaciones.

En la figura 1 se puede apreciar el ciclo evolutivo del estándar ISO 9001 en sus distintas versiones y actualizaciones.

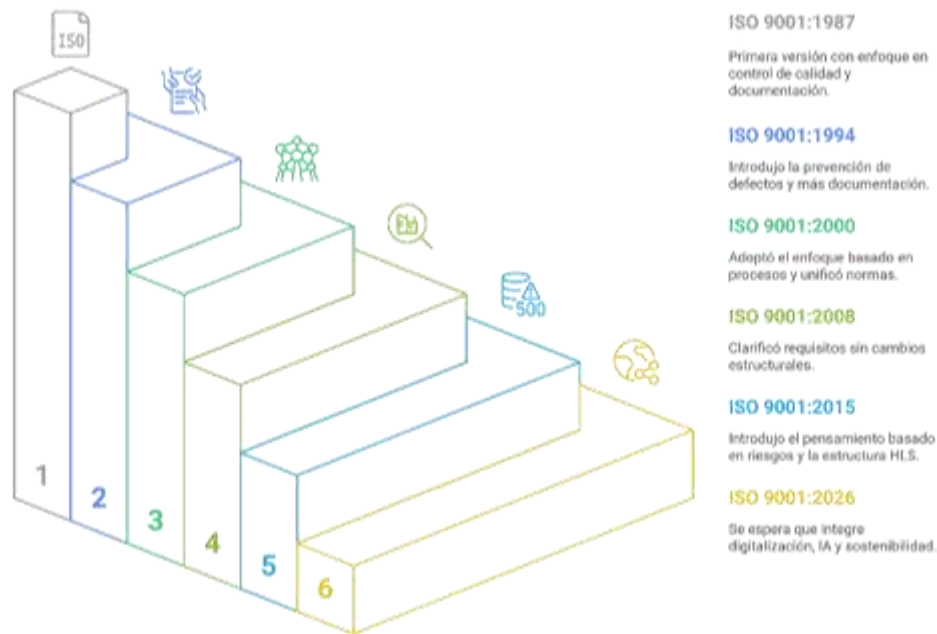


Figura 1. Evolución del estándar ISO 9001.

Como punto de inicio, la experiencia empírica revisada en este artículo puede mostrar pistas relevantes sobre las áreas en las que el ISO 9001 ha sido efectivo y en cuáles no tanto como se esperaba. La información presentada es clave para preparar la transición hacia un modelo más integral, exigente y alineado con los desafíos del siglo XXI que contendrá el estándar ISO 9001:2026.

2. Materiales y métodos

Para buscar respuesta a la pregunta principal de este trabajo, a saber, si la certificación ISO 9001 realmente genera beneficios tangibles para las organizaciones (mismos que promete ISO en su página web <https://www.iso.org/standard/62085.html>), se realizó un estudio con características cuantitativas y enfoque transversal/exploratorio (Hernández & Mendoza, 2023). Este diseño de investigación se seleccionó con el objetivo de observar, reconocer y analizar el fenómeno de forma natural, sin modificar las variables involucradas, lo anterior permitió la recopilación fiable de datos pertinentes y

evaluaciones de los SGC certificados en organizaciones del centro norte de México.

La investigación se enfocó en organizaciones certificadas bajo el estándar ISO 9001 en la región centro norte de México. La zona fue elegida por su creciente actividad industrial y de servicios, así como por su importante participación en programas relacionados con la calidad. El estándar ISO 10014:2021 (ISO, 2021; sin fines contractuales), que especifica las directrices para convertir la gestión de la calidad en beneficios económicos reales, fue utilizada como punto de partida y como base para elaborar un cuestionario que se diseñó como instrumento de medición.

El instrumento se compone de tres secciones: la primera recoge información general sobre la organización (tipo, sector, antigüedad, tamaño y motivación para la certificación); la segunda incluye una adaptación del Cuestionario de Evaluación Integral ISO 10014, que utiliza una escala Likert de 1 a 5, donde 1 denota "totalmente en desacuerdo" y 5 denota "totalmente de acuerdo" (aquí se integró una sección con 6 dimensiones sobre los cambios esperados en la versión 2026); y

la tercera analiza los beneficios específicos identificados, como la mejora de los procesos, el aumento de las ventas, el aumento de los ingresos y una mayor satisfacción del cliente.

La muestra objeto de estudio estuvo constituida por 45 organizaciones que previamente estaban certificadas bajo el estándar ISO 9001:2015. Para asegurarse de respuestas pertinentes, los cuestionarios fueron enviados directamente a los coordinadores o responsables del SGC de cada organización, pues es el perfil administrativo que mejor conoce el SGC.

Para establecer la relevancia y confiabilidad del instrumento, se realizó un estudio piloto en el que participaron seis organizaciones de diversas industrias antes de su aplicación

final. De este estudio preliminar se calculó el coeficiente alfa de Cronbach, arrojando un valor de 0,987, lo que indica una excelente consistencia interna (Kılıç, 2016), ver tabla 1.

Tabla 1. Confiabilidad del instrument.

Confiabilidad	
Cronbach's Alpha	Number of Items
.987	80

Fuente: Elaboración propia en Stagraphics XVII.

Se aplicó la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk a los ítems de la encuesta, confirmándose una distribución adecuada (normal) para el uso de pruebas estadísticas paramétricas. El resultado fue lo suficientemente sólido como para avanzar con la aplicación completa del instrumento (ver tabla 2).

Tabla 2. Prueba de normalidad Shapiro-Wilk.

Item	Parámetro	G.L.	Sig.
Item 1	.822	6	.091
Item 10	.640	6	.081
Item 21	.866	6	.212
Item 31	.775	6	.085
Item 41	.866	6	.212
Item 51	.640	6	.001
Item 61	.683	6	.054
Item 71	.701	6	.066
Item 80	.683	6	.094

Fuente: Elaboración propia SPSS Ver. 24, los resultados de la prueba de Kolmogorov-Smirnov fueron omitidos por el tamaño de muestra ($n < 25$).

Se hizo entrega del cuestionario en formato físico, en las instalaciones de las empresas que participaron y se respondió en presencia de los investigadores bajo un esquema semidirigido. Lo anterior permitió aclarar dudas en tiempo real reforzando la comprensión de los ítems, minimizando al mismo tiempo el riesgo de sesgos por interpretación. La duración promedio para completar el instrumento fue de 30 a 40 minutos por participante.

El análisis de datos se llevó a cabo utilizando software especializado (SPSS versión 24 de

IBM SPSS Statistics, IBM Corp., 2016 y Statgraphics Centurion de StatPoint Technologies, Inc., 2016), valiéndose de distintas técnicas estadísticas, mismas que incluyeron la prueba t de Student de una muestra, regresión múltiple y la prueba multivariada T^2 de Hotelling. Tales herramientas posibilitaron examinar de forma integral los efectos percibidos de la certificación en las variables clave del estudio, y, además, contrastarlos con los beneficios promovidos por ISO, así como las expectativas sobre la transición al esquema 2026.

Abordando el tema de las hipótesis, se definieron cuatro premisas básicas que se relacionaron con los beneficios más frecuentemente asociados a la certificación ISO 9001:

H₁: Las organizaciones certificadas experimentan un incremento en la satisfacción del cliente mayor al 20%.

H₂: La implementación del SGC mejora el desempeño de procesos en más de un 20%.

H₃: La certificación incrementa las ventas totales por encima del 20%.

H₄: Las organizaciones certificadas reportan un aumento significativo en ingresos.

De igual forma, se establecieron cuatro preguntas de investigación complementarias que guiarían la interpretación de resultados:

¿Cuáles son las variables que contribuyen con mayor peso al éxito de un SGC basado en ISO 9001?

¿Se presentan diferencias sectoriales (público vs. privado) en la percepción de los beneficios?

¿Se hallan alineados los beneficios reportados con los objetivos declarados por ISO?

¿Se consideran preparadas las organizaciones para enfrentar una transición a la versión 2026?

El diseño metodológico utilizado posibilita, no sólo verificar estas hipótesis, sino también, identificar patrones sectoriales y organizacionales que explican por qué en algunas organizaciones el ISO 9001 genera resultados sólidos, mientras que en otras su efecto es limitado o marginal. La combinación de análisis descriptivo, inferencial y multivariado asegura una visión robusta del impacto de la norma ISO 9001 y su preparación para la versión 2026 en el contexto mexicano actual.

3. Resultados

Una vez recolectada la información de las 45 organizaciones certificadas bajo ISO 9001 en

la región centro norte de México, se procedió al análisis estadístico de la misma. Enseguida, se presentan los principales hallazgos agrupados por categoría analítica.

3.1 Análisis demográfico

En su mayor parte, las organizaciones que participaron corresponden al sector privado (65%), mientras que un 35% pertenece al sector público. Esta distribución posibilita distinguir diferencias en la motivación para certificarse y en la forma en que se aprecian los beneficios del sistema de gestión de calidad (Figura 2).



Figura 2. Distribución por sector (público vs. privado).

La variable de tamaño organizacional expresó un promedio de 198 empleados, no obstante que este dato presentó valores extremos, los cuales afectaron el promedio. Para corregir esta distorsión, se aplicó la técnica de Winsorización, misma que arrojó una media más robusta de 118 empleados y una desviación estándar de 120. Lo anterior, permitió una representación más precisa de la realidad operativa de las organizaciones pequeñas y medianas que dominan el entorno regional (Figura 3).

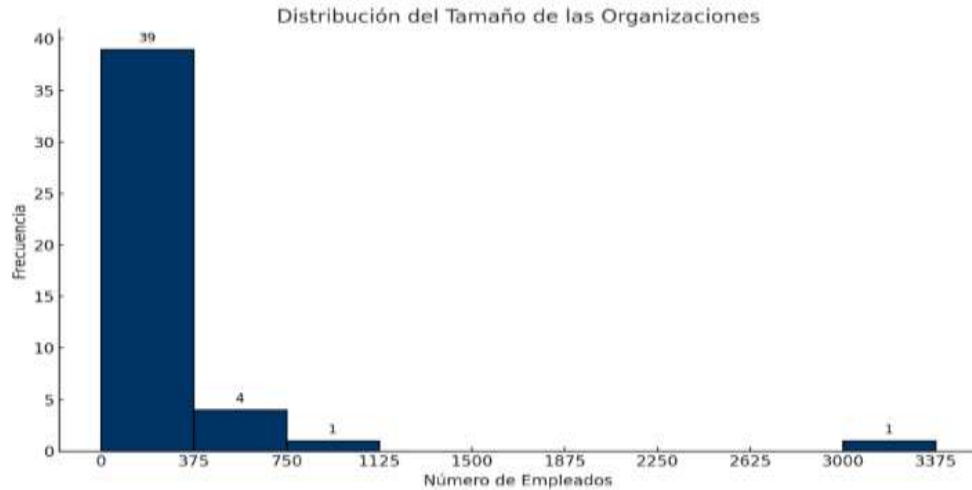


Figura 3. Número de empleados por organización (método Winsor).

La edad promedio de las organizaciones certificadas era de 24 años, lo cual indica

cierto nivel de madurez institucional al momento de adoptar un SGC (Figura 4).

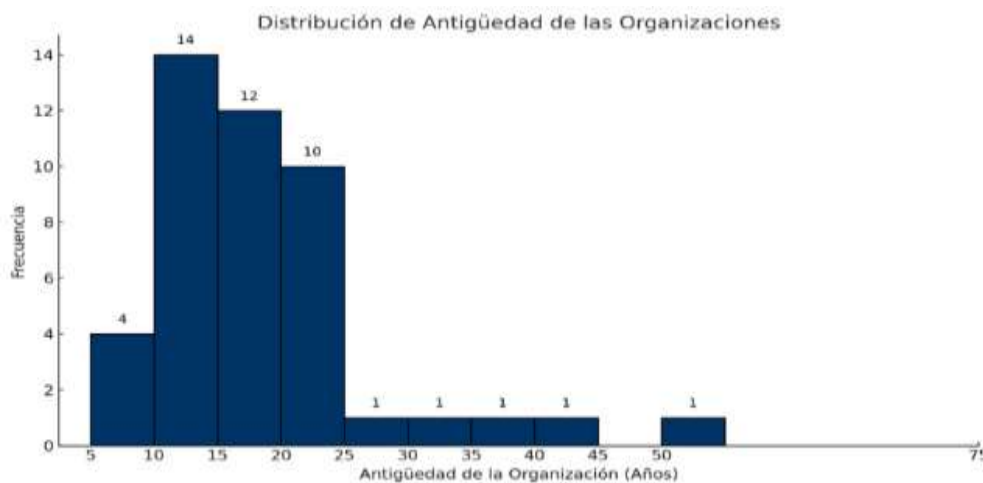


Figura 4. Antigüedad promedio de las organizaciones participantes.

En cuanto a los coordinadores del SGC, la experiencia media fue de seis años (Figuras 5 y 6), lo cual hace evidente que muchas organizaciones asignan esta función a

personal interno con conocimiento de la operación, si bien, no siempre con experiencia específica en gestión de calidad.

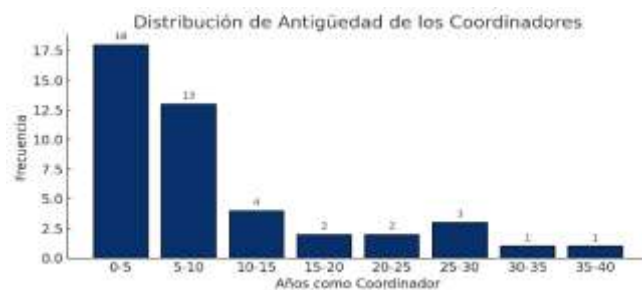


Figura 5 y 6. Antigüedad del SGC y del coordinador del SGC.

La variable subsecuente, "Motivo para Buscar la Certificación", tiene como propósito revelar las razones que impulsan a las organizaciones a diseñar e implementar un

Sistema de Gestión de la Calidad (SGC). La distribución de frecuencias que describe los motivos identificados se presenta en la Figura 7.



Figura 7. Motivo de certificación.

3.2 Análisis de hipótesis paramétricas, beneficios de la certificación ISO 9001

Para esta investigación, se empleó el método estadístico conocido como prueba t de Student, este método es adecuado para poblaciones con distribución normal y tamaños de muestra pequeños, en los cuales se utiliza la desviación estándar muestral en lugar del parámetro poblacional. Específicamente, se seleccionó la prueba t

para una muestra, la cual evalúa si la media de una población es igual a un valor específico bajo la hipótesis nula.

Si el valor p es menor que el nivel de significancia (denotado como α o alfa), se puede rechazar la hipótesis nula. Esto proporciona evidencia de que el parámetro evaluado difiere significativamente del valor hipotetizado. Un resumen estadístico se muestra en la Tabla 3.

Tabla 3. Resultado de pruebas de hipótesis vs línea base de referencia del 20%.

Hipótesis	H ₀	H ₁	Estadísticos descriptivos	t	Intervalo de confianza 95%	Decisión
H1. Incremento en la satisfacción del cliente	$\mu \leq 20\%$	$\mu > 20\%$	$\mu = 49.55,$ $s = 26.03$	$t(44) = 7.61,$ $p = .000$	[21.73, 37.38]	Se rechaza H ₀ , no se rechaza H ₁
H2. Incremento en las ventas	$\mu \leq 20\%$	$\mu > 20\%$	$\mu = 37.40,$ $s = 19.15$	$t(44) = 7.61,$ $p = 1.22 \times 10^{-7}$	[11.65, 23.15]	Se rechaza H ₀ , no se rechaza H ₁
H3. Mejora en el desempeño de procesos	$\mu \leq 20\%$	$\mu > 20\%$	$\mu = 51.17,$ $s = 24.94$	$t(44) = 8.35,$ $p = 2.06 \times 10^{-11}$	[23.68, 38.67]	Se rechaza H ₀ , no se rechaza H ₁
H4. Incremento en los ingresos	$\mu \leq 20\%$	$\mu > 20\%$	$\mu = 43.51,$ $s = 19.28$	$t(44) = 8.17,$ $p = .11 \times 10^{-10}$	[17.72, 29.31]	Se rechaza H ₀ , no se rechaza H ₁

Fuente: Elaboración propia en Stagraphics XVII.

Los resultados muestran una percepción positiva sobre los beneficios obtenidos. La satisfacción del cliente y la mejora de procesos destacan como los indicadores más impactados tras la certificación. De igual forma, las ventas e ingresos también reportan

mejoras superiores al valor de referencia, aunque con mayor variabilidad entre sectores.

La Tabla 4 muestra un resumen concluyente donde se puede observar cada beneficio analizado y compararlo con los promovidos por la norma ISO 9001.

Tabla 4. Interpretación de pruebas de hipótesis.

Hipótesis	Interpretación	Observación
H1. Incremento en la satisfacción del cliente	Dada una muestra de 45 observaciones con una media de 49.55 y una desviación estándar de 26.0, el estadístico t calculado fue 7.62413. Como el valor p es menor que 0.05, se rechaza la hipótesis nula con un nivel de confianza del 95%. Esto indica que las organizaciones certificadas bajo la norma ISO 9001 presentan un aumento en la satisfacción del cliente superior al 20% como resultado del SGC (valor $p < 0.05$).	Es consistente con lo mencionado por ISO.
H2. Incremento en las ventas	Dada una muestra de 45 observaciones con una media de 37.4 y una desviación estándar de 19.15, el estadístico t calculado fue 6.09518. Como el valor p es menor que 0.05, se rechaza la hipótesis nula con un nivel de confianza del 95% (valor $p < 0.05$).	Es consistente con lo mencionado por ISO.
H3. Mejora en el desempeño de procesos	Dada una muestra de 45 observaciones con una media de 51.17 y una desviación estándar de 24.94, el estadístico t calculado fue 8.69551. Como el valor p es menor que 0.05, se rechaza la hipótesis nula con un nivel de confianza del 95%. Esto indica que las organizaciones certificadas bajo ISO 9001 muestran una mejora en sus procesos mayor al 20% como resultado de implementar y certificar un SGC basado en dicha norma.	Es consistente con lo mencionado por ISO.
H4. Incremento en los ingresos	Dada una muestra de 45 observaciones con una media de 43.51 y una desviación estándar de 19.28, el estadístico t calculado fue 8.17997. Como el valor p es menor que 0.05, se rechaza la hipótesis nula con un nivel de confianza del 95%. Esto indica que las organizaciones certificadas bajo ISO 9001 presentan un incremento en sus ingresos superior al 20% como resultado directo de un SGC certificado.	Es consistente con lo mencionado por ISO.

Fuente: Elaboración propia.

Lo anterior nos permite observar que los beneficios reportados en esta investigación coinciden con los mencionados en la página <https://www.iso.org/standard/62085.html> de la propia ISO.

3.3 Modelo de regresión múltiple, ¿qué variables contribuyen a lograr dichos beneficios?

El siguiente paso en el análisis de los resultados fue determinar el grado de relación entre la variable incremento de los ingresos y las posibles variables influyentes. Para ello, se empleó una técnica de regresión lineal múltiple para desarrollar un modelo predictivo que identificara las variables con mayor impacto. Esta prueba estadística se llevó a cabo utilizando el esquema descrito en la tabla 5.

Tabla 5. Relación de variables incluidas en el modelo de regresión lineal.

Variable dependiente	Variable independiente
Incremento en los ingresos	Antigüedad de la organización
	Antigüedad del entrevistado
	Años del SGC (Sistema de Gestión de la Calidad)
	Naturaleza de la organización (pública o privada)
	Incremento en las ventas
	Incremento en la satisfacción del cliente
	Mejora en el desempeño de procesos
	Motivo de la certificación
	Número de empleados

Fuente: Elaboración propia.

Entre las variables que se consideraron estuvieron: antigüedad organizacional, edad del sistema de gestión, satisfacción del cliente, mejora de procesos, motivo de

certificación y sector económico. El modelo con mejor ajuste presentó un R^2 ajustado del 66.5% y fue definido como:

$$\text{Incremento en los ingresos} = 20.05 + 0.0583 (\text{Antigüedad de la organización}) - 0.1396 (\text{Antigüedad del entrevistado}) - 1.2075 * (\text{Años de implementación del SGC}) - 1.92449 * (\text{Naturaleza pública o privada}) + 0.592997 * (\text{Incremento en las ventas}) + 0.390123 * (\text{Satisfacción del cliente}) - 0.204386 * (\text{Desempeño de procesos}) + 0.673728 * (\text{Motivo de la certificación}) + 0.00208379 * (\text{Número de empleados}).$$

Dado que el valor p en la Tabla 6 ANOVA es menor a 0.05, existe una relación

estadísticamente significativa entre las variables con un nivel de confianza del 95.0%.

Tabla 6. Análisis de varianza de la regresión lineal múltiple.

Fuente	Suma de cuadrados	gl	Cuadrado medio	F	Valor p
Modelo	11,438.6	9	1270.96	9.02	.0000
Residual	4930.62	35	140.875	—	—
Total (Corregido)	16,369.2	44	—	—	—

Fuente: Elaboración propia en Stagraphics XVII.

La estadística R^2 indica que el modelo ajustado explica el 69,8787% de la variabilidad en el aumento de los ingresos. El R^2 ajustado, que es más adecuado para

comparar modelos con diferentes números de variables independientes, es del 62,1333%. El error estándar (SE) de la estimación indica que la desviación estándar de los residuos es

de 11,8691. El error absoluto medio (MAE) de 8,60434 representa el valor medio de los residuos.

Para determinar si el modelo puede simplificarse, se observa que el valor p más alto entre las variables independientes es 0,6971, correspondiente a la variable antigüedad en la organización.

Aumento de los ingresos = $20,05 - 0,1396$ (antigüedad del entrevistado) $- 1,2075$ (años de implementación del SGC) $- 1,92449$ * (Carácter público o privado) $+ 0,592997$ * (Aumento de las ventas) $+ 0,390123$ * (Satisfacción del cliente) $- 0,204386$ * (Rendimiento del proceso) $+ 0,673728$ * (Motivo de la certificación) $+ 0,00208379$ * (Número de empleados).

Se destaca que los factores como la mejora de los procesos, el crecimiento de las ventas y la satisfacción del cliente, son los que se encuentran estrechamente relacionados con la madurez del SGQ, se perfilan como los principales contribuyentes al éxito de un SGQ. Además, el sector económico de la organización también influye en el impacto del SGQ.

3.4 Análisis multivariado sectorial

Esta sección de la investigación se centró en determinar si los beneficios obtenidos de la certificación ISO 9001 son equivalentes entre los sectores público y privado. Para ello, se llevó a cabo un análisis multivariante utilizando la prueba T^2 de Hotelling, que permite la comparación simultánea de múltiples variables relacionadas. Este análisis, implementado en el software NCSS 2019, comparó variables clave, como el número de empleados, la antigüedad de la organización, los años con el SGC, la antigüedad del coordinador de calidad, la motivación para la certificación y el aumento de los ingresos (mismas que se obtuvieron del análisis anterior).

Dado que el valor p es mayor o igual a 0,05, este término no es estadísticamente significativo con un nivel de confianza del 95,0%. En consecuencia, se excluye la variable antigüedad en la organización, lo que da como resultado el siguiente modelo simplificado:

La prueba T^2 de Hotelling permite la evaluación simultánea de múltiples indicadores (como los mencionados en este estudio en los SGC), lo que proporciona una evaluación más precisa y completa del rendimiento de un SGC. Si bien este método estadístico se ha aplicado ampliamente en campos como la biomedicina y la estadística, su uso en el ámbito de la gestión de la calidad y los procesos, concretamente en la evaluación de los SGQ según la norma ISO 9001, representa un enfoque innovador. Los resultados proporcionaron pruebas estadísticamente significativas para confirmar que si existen diferencias entre los sectores mediante la evaluación de las medias multivariantes de ambas categorías económicas.

Este enfoque identificó variaciones notables en los beneficios comunicados, lo que pone de relieve la utilidad del método multivariante para analizar la complejidad de los datos recopilados. Tras ejecutar la prueba en el software citado, se obtuvieron las estadísticas descriptivas que se recogen en la tabla 7.

Tabla 7. Estadística descriptiva estratificada por sector.

Variable	Media		Desv. estándar	
	(Privado)	(Público)	(Privado)	(Público)
Número de empleados	241.862	116.688	531.077	91.581
Antigüedad de la organización	20.724	28.375	10.264	16.219
Años de implementación del SGC	5.586	7.625	4.844	4.660
Antigüedad del entrevistado	6.621	11.188	6.304	10.193
Motivo de la certificación	2.276	4.250	1.791	1.612
Incremento en los ingresos	45.000	40.813	22.835	10.291
Frecuencia (n)	29	16	29	16

Fuente: Elaboración propia en NCSS.

La tabla anterior presenta las medias y desviaciones estándar de las variables principales de este estudio. Sin embargo, a diferencia de las estadísticas demográficas

analizadas previamente, el comportamiento de cada variable se estratifica por sector económico, como se indica a continuación (tabla 8).

Tabla 8. Prueba T² de Hotelling.

Supuesto de covarianza	T ²	gl.	gl.	Valor p (prueba paramétrica)	Valor p (aleatorización)
Igual	20.622	6	43.0	.016	.011
Desigual	21.619	6	31.0	.022	.012

Fuente: Elaboración propia en NCSS, Nota: los resultados de la prueba de aleatorización se basan en simulación de 10 000 muestras de Monte Carlo.

La comparación entre los sectores público y privado reveló diferencias clave en las variables analizadas. En cuanto al número de empleados, el sector privado duplica al público, representando la mayoría de las organizaciones certificadas con una media de 197 empleados. En cuanto a la antigüedad de la organización, las entidades públicas tienen una media de 28 años, superando los 20 años registrados en el sector privado. En cuanto a la antigüedad del coordinador de calidad, el sector público tiene una media de 11 años, casi el doble de los 6 años del sector privado.

Las razones para la certificación muestran un comportamiento similar en ambos sectores: predominan los requisitos de los clientes y la mejora de los procesos, con frecuencias

congruentes en los promedios tabulados. Por último, el aumento de los ingresos muestra una ligera ventaja para el sector privado (45) en comparación con el sector público (40), lo que confirma que ambos sectores experimentan beneficios tangibles al implementar sistemas de gestión de la calidad.

El estudio sugiere que de acuerdo con el tipo de organización que se trate, esto influye de manera significativa en la manera en que se enfoca y gestiona el sistema de calidad. En las organizaciones privadas, el impacto se halla ligado fuertemente a sus objetivos comerciales, mientras que, en las públicas, el eje principal es la mejora institucional y el cumplimiento normativo. Los resultados

presentan un panorama amplio y diferenciado sobre los efectos de la certificación ISO 9001.

3.5 ¿Qué tan preparadas están las organizaciones para la nueva versión ISO 9001:2026?

Para responder a esta interrogante (y última de este trabajo) se desarrolló una investigación documental y así identificar los posibles cambios que tendrá la nueva revisión del estándar ISO 9001:2026, revisando en las fuentes oficiales de la ISO se resumió la tabla 9.

Tabla 9. Cambios anticipados en ISO 9001:2026.

Área de Enfoque	ISO 9001:2015 (Actual)	ISO 9001:2026 (Cambios Anticipados)	Fuentes
1.- Gestión de Riesgos	Pensamiento basado en riesgos introducido (Cláusula 6.1)	Énfasis más fuerte; medidas proactivas para convertir riesgos en oportunidades. Potencial de orientación más clara sobre oportunidades.	ISO/TC 176 SC2 Working Draft 2024
2.- Sostenibilidad/ESG	Enfoque explícito limitado; cambio climático añadido vía AMD1:2024 (Cláusula 4)	Requisitos explícitos para la gestión ambiental, responsabilidad social, reducción de residuos, eficiencia energética, cadena de suministro ética. Consideración formal de riesgos/oportunidades relacionadas con el clima.	ISO/CD 9001:2026
3- Transformación Digital/Tecnologías Emergentes	Implícito, pero no detallado explícitamente	Integración de Industria 4.0, IA, IoT, análisis de Big Data. Requisito de validar software para monitoreo/medición.	ISO/WD 9001:2026
4.- Cultura de Calidad/Liderazgo Ético	Liderazgo y Compromiso (Cláusula 5.1.1)	Nuevo requisito para que la alta dirección fomente la cultura de calidad y el comportamiento ético. Referencia a ISO 10010.	ISO/TS 9002 + ISO 10010
5.- Participación de las Partes Interesadas	Comprensión de las necesidades/expectativas de las partes interesadas (Cláusula 4.2)	Mayor énfasis en priorizar las perspectivas de todas las partes interesadas (clientes, empleados, proveedores, comunidad). Mecanismos avanzados de retroalimentación.	ISO/CD 9001:2026
6.- Resiliencia de la Cadena de Suministro	Control de procesos provistos externamente (Cláusula 8.4)	Nuevos criterios para evaluar riesgos de proveedores, monitorear desempeño, asegurar coherencia.	ISO 28000 + ISO/IEC 27036-2

Fuente: Elaboración propia.

De la tabla anterior se extrajeron seis dimensiones que se integraron en el cuestionario aplicado, de las cuales se obtuvieron las percepciones de las 45

organizaciones y su antelación a la transición del estándar ISO 9001:2026 queda registrado en la figura 8.

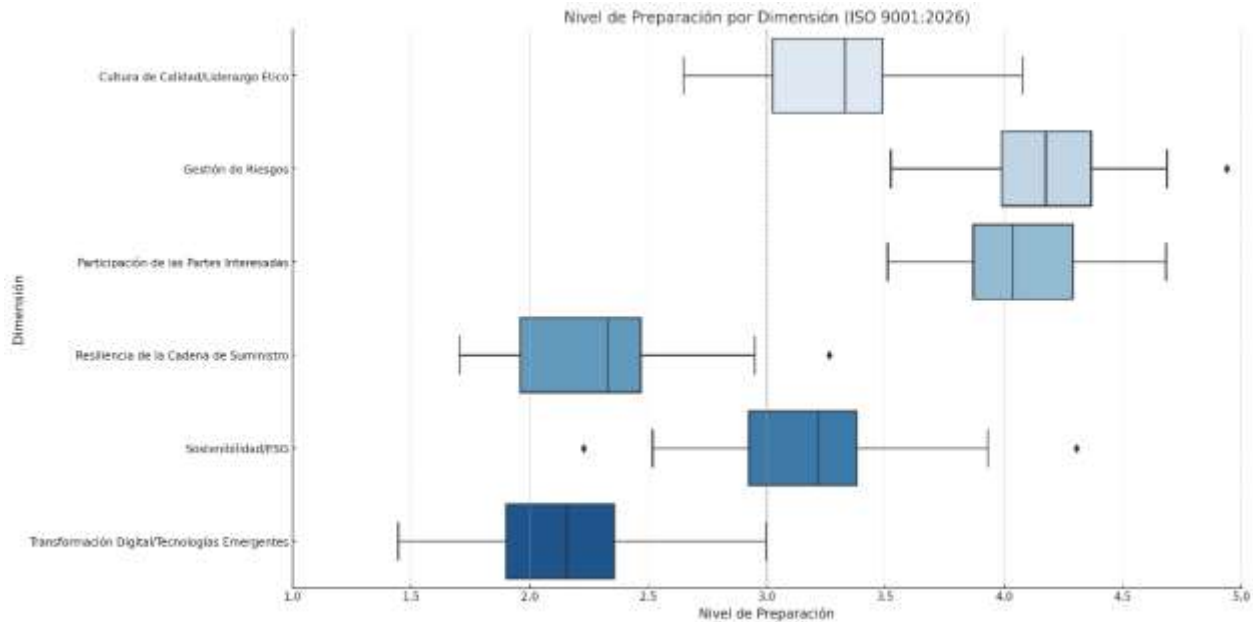


Figura 8. Percepción de nivel de preparación para la transición ISO 9001:2026.

Las mediciones muestran como la mayoría de las organizaciones encuestadas perciben un alto nivel de preparación en la gestión de riesgos. Lo anterior derivado de una correcta implementación del pensamiento basado en riesgos de la versión 2015, por lo que se espera estén dando pasos hacia la conversión de dichos riesgos en oportunidades estratégicas, anticipándose a lo que se espera en la versión 2026.

Referente a la dimensión de sostenibilidad, las organizaciones muestran una preparación intermedia/moderada (ocasionada por el adendum de la versión 2015 que se realizó en 2021 al estándar ISO 9001:2015). Es cierto que algunas ya integran prácticas sostenibles (sobre todo las que cuentan con sistemas de gestión integrales), aun así, existe una brecha respecto a los nuevos requisitos esperados en la ISO 9001:2026.

Con respecto a la dimensión de la transformación digital, es la medición que presenta los niveles más bajos de preparación (de acuerdo con la escala de percepción). Las organizaciones aún no integran de forma coherente las TIC's (tecnologías de la

información) como inteligencia artificial (IA) o internet de las cosas (IoT) en sus SGC. Esta discrepancia representa un reto para la actualización a la ISO 9001:2026 (tiene relación en el contexto económico de país en desarrollo).

Referente a la cultura de calidad percibida, el hecho de contar con un SGC les propicia a las organizaciones evidencia de que existe una base sólida en cuanto a compromiso directivo con la calidad. Particularmente se resalta que la nueva versión de la norma incluirá referencias a estándares como ISO 10010, que busca incrementar la cultura de calidad ya lograda a una perspectiva integral y humana.

Una de las mediciones más altas es la relacionada con la dimensión de las partes interesadas pues la mayoría ha integrado bien en sus SGC el requisito de la versión 2015, en este apartado se destaca la tendencia a relacionar dicha dimensión con la gestión de riesgos de los SGC buscando que la gestión del riesgo se enfoque al logro de transformar esos riesgos en oportunidades estratégicas que permitan incrementar el éxito de la organización.

Por último, la dimensión de resiliencia de la cadena de suministro es la menos desarrollada. Las organizaciones aún tienen dificultades para implementar controles sistemáticos sobre proveedores, monitoreo de desempeño y evaluación de riesgos. Dado que la nueva versión de la norma incorporará algunos criterios de estándares como ISO 28000 e ISO/IEC 27036, será crucial que las organizaciones innoven sus procesos de gestión de proveedores y aseguren la continuidad operativa de la cadena de suministro.

4. Discusión

Los resultados presentados en el capítulo anterior posibilitan confirmar que la certificación ISO 9001 genera los beneficios percibidos como significativos y favorables dentro de las organizaciones mexicanas estudiadas. Sin embargo, tales beneficios no se presentan de manera homogénea dentro de dichas organizaciones, además, se hallan condicionados por variables estructurales y contextuales, entre ellos: el sector, la madurez del sistema y la motivación inicial para obtener la certificación.

La observación de que la mejora en los procesos y la satisfacción del cliente superan de forma significativa el umbral del 20% es congruente con estudios previos que reconocen tales indicadores como los más influenciados por los sistemas de gestión de calidad (Fonseca et al., 2021; Bravi & Murmura, 2021). Sin embargo, los resultados observados sugieren, que el incremento en ingresos y ventas, si bien es positivo, no consigue los niveles reportados en estudios hechos en otras regiones del mundo (ya sea por la estratificación de sectores económicos o por el tamaño de las organizaciones). Lo anterior podría deberse a diferencias en la estructura del mercado (privadas), en la disponibilidad de recursos tecnológicos o en prácticas de implementación más orientadas

al cumplimiento documental (comentario común escuchado en los SGC) que a la mejora continua genuina.

De igual forma, la regresión múltiple confirma que la madurez del sistema no garantiza necesariamente mayores beneficios en las organizaciones. Así, cuando un SGC permanece estático y no se adapta a las nuevas condiciones de su entorno, puede estancarse y convertirse en una carga operativa/administrativa (una segunda contabilidad). El análisis multivariado estratificado por sector mostró una clara diferencia en los SGC de organizaciones públicas y privadas. Mientras que las primeras tienden a valorar más la eficiencia de procesos y el cumplimiento normativo, las segundas se enfocan más en resultados financieros.

Un aspecto crítico para considerar, que surge de los datos, es que la mayor parte de las organizaciones que participaron en el estudio desconocen o no utilizan herramientas complementarias como la ISO 10014 o ISO 9004, las cuales podrían ayudarles a transitar a un enfoque de gestión orientado a la generación de valor (los autores suponemos que lo anterior es derivado de que tanto la ISO 10014 y la ISO 9004 carecen de fines contractuales). En ese orden de ideas, los resultados indican una oportunidad de mejora en la estructura, forma, integración y despliegue estratégico del SGC con resultados/objetivos económicos.

La tabla 9 utilizada para comparar las versiones 2015 y 2026 del estándar ISO 9001 presenta un valor incalculable para que las organizaciones, puedan a partir de la misma, comprender de forma más eficiente la esencia de los cambios que se aproximan. Nos brinda un marco de análisis (gap análisis) de gran nivel, ello posibilitará a las organizaciones a identificar de manera sencilla y rápida qué áreas/procesos de sus SGC actuales

requerirán mayor atención y adaptación. Al resumir los cambios clave, se contribuye a priorizar los recursos y esfuerzos para dicha transición, enfocándose en áreas como la integración digital o la sostenibilidad que pudieran implicar una inversión o cambio cultural significativos.

Es importante destacar la limitación impuesta por el alcance geográfico y sectorial de la muestra. Como se mencionó, el estudio se centró en 45 organizaciones del centro-norte del país, donde el desempeño general de los sistemas de gestión suele ser tradicionalmente más bajo que en otras regiones y sectores. A pesar de las ventajas que ello representó, los resultados no se pueden generalizar para otras regiones del país o para sectores altamente especializados, como el automotriz, aeroespacial o farmacéutico. Además, por la naturaleza no experimental y transversal del diseño elegido, los datos recopilados reflejan las percepciones de los encuestados en un solo momento del tiempo.

Aunque el cuestionario se diseñó para garantizar un alto nivel de fiabilidad de alfa =.987, el hecho es que la evaluación de algunos beneficios, como la satisfacción del cliente o la mejora de procesos, dependió en cierta medida la perspectiva del coordinador del sistema de calidad. Además, aunque se incluyeron las variables relacionadas con los cambios esperados en la futura norma ISO 9001:2026, la información sobre este nuevo estándar sigue siendo prematura, por lo tanto, los resultados deben tomarse con precaución, y las investigaciones futuras deben incorporar las métricas objetivas, estudios longitudinales y análisis intersectoriales que aumentarían automáticamente la validez externa de este fenómeno.

5. Conclusiones y recomendaciones

Los hallazgos de este trabajo confirman que la certificación en el estándar ISO 9001

representa una herramienta eficaz para generar beneficios organizacionales, siempre que su implementación esté alineada con una estrategia integral de calidad y mejora continua. En las organizaciones evaluadas, se observaron mejoras superiores al 20% en variables como satisfacción del cliente, desempeño de procesos, ventas e ingresos, lo cual valida empíricamente muchas de las afirmaciones promovidas por el citado estándar.

Sin embargo, también se identificaron aspectos críticos que requieren atención. La madurez del sistema no siempre está asociada con la generación de mayor valor; en algunos casos, la permanencia sin renovación del enfoque genera estancamiento. Además, la falta de conocimiento o aplicación de normas complementarias como ISO 10014 o ISO 9004 revela una oportunidad clara de formación y fortalecimiento técnico para ampliar los beneficios de los SGC.

Frente a la inminente publicación del estándar ISO 9001:2026, las organizaciones deberán realizar un diagnóstico estratégico de su sistema actual, considerando áreas como sostenibilidad, digitalización, y resiliencia de la cadena de suministro. La tabla de análisis de brechas presentada en este artículo, tabla 9, puede servir como herramienta de partida para planear dicha transición, en este sentido, se proponen las siguientes recomendaciones: *“Revisión exhaustiva del SGC actual, evaluando su alineación con la estrategia organizacional y su capacidad de adaptación al cambio. Integración proactiva de tecnologías emergentes en los procesos de calidad, con base en los principios de la Industria 4.0 o el IoT. Adopción gradual de los lineamientos de la ISO 9001:2026, priorizando las áreas de mayor impacto estratégico de acuerdo a los procesos del SGC”*.

De la misma forma, se sugiere que las organizaciones interesadas en mantener su competitividad adopten un enfoque proactivo (innovador) para entender los futuros requisitos del estándar. Lo anterior incluye el análisis de documentos de trabajo del comité ISO/TC 176, la participación en seminarios de actualización y la ejecución de autoevaluaciones internas bajo el marco de la nueva versión.

La transición hacia el estándar ISO 9001:2026 no debería entenderse como una obligación normativa, sino como una oportunidad para innovar en el compromiso con la calidad, para fortalecer los valores organizacionales y para mejorar las estructuras de gestión. Si se prevé, comprende e implementa con antelación, esta transición podrá convertirse en una ventaja competitiva en un entorno donde los estándares son cada día más exigentes. Con base en la evidencia expuesta anteriormente, puede afirmarse que sí, efectivamente, el ISO 9001 ofrece rentabilidad más que un formalismo costoso, pero sólo si cuando se implementa se hace con compromiso, enfoque estratégico y visión a largo plazo. La certificación no es un fin, sino un medio para construir mejores organizaciones, más competitivas, resilientes y sostenibles e integradas a un entorno global dinámico.

Referencias

- Anwer, A. (2024). ISO 9000: (1987-2016) A trend's Review. *Journal of Policy Research*.
<https://doi.org/10.61506/02.00236>.
- Badillo, A. (2023). Cultura organizacional enfocada al cliente y su relación con la iso 9001-2015 en ACR proyectos. *Revista Científica Retos de la Ciencia*.
<https://doi.org/10.53877/rc.7.14.2023.010104>.
- Başaran, B. (2021). The past, present and future ISO 9001 quality management system standard. *Business And Management Studies: An International Journal*, 9, 227-247.
<https://doi.org/10.15295/BMIJ.V9I1.1756>.
- Bravi, L., & Murmura, F. (2021). Evidences about ISO 9001:2015 and ISO 9004:2018 implementation in different-size organisations. *Total Quality Management & Business Excellence*, 33, 1366 - 1386.
<https://doi.org/10.1080/14783363.2021.1954900>.
- Cabecinhas, M., Sampaio, P., & Casadesús, M. (2021). A Model to Assess the Impacts of ISO Management Systems Standards. 2021 IEEE *International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management (IEEM)*, 1208-1215.
<https://doi.org/10.1109/IEEM50564.2021.9672900>.
- Chen, Y., Wu, L., & Zhai, Q. (2020). Does ISO 9000 Certification Benefit Service Firms?
- Chowdhary, Y., & Kumar, B. (2023). Advancement and benefits associated with ISO 9000 series. *Asian Journal of Pharmaceutical Research*.
<https://doi.org/10.52711/2231-5691.2023.00008>.
- Fonseca, L., Cardoso, M., Pereira, M., & Ávila, P. (2021). ISO 9001 certification benefits: A principal component analysis. *FME Trans.*, 4, 835–841.
- Hernández, C., Lazos, J., & Cueto, D. (2021). La Convergencia en los procesos de Certificación ISO y

- Acreditación CONAIC en Instituciones de Educación Superior IES.: *The convergence at the processes of ISO Certification and CONAIC Accreditation at Institutions of Superior Education ISE.*, 3, 36-54. <https://doi.org/10.32671/TERC.V3I2.132>.
- Hernández Sampieri, R., & Mendoza Torres, C.P. (2023). *Metodología de la investigación: Las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta*. McGraw-Hill.
- Hussain, T., Eskildsen, J., & Edgeman, R. (2020). The intellectual structure of research in ISO 9000 standard series (1987–2015): a Bibliometric analysis. *Total Quality Management & Business Excellence*, 31, 1195 - 1224. <https://doi.org/10.1080/14783363.2018.1469977>.
- IBM Corp. (2016). *IBM SPSS Statistics for Windows* (Version 24.0) [Computer software]. IBM Corp.
- International Organization for Standardization. (2024). *The ISO Survey of Management System Standard Certifications* – 2024. <https://www.iso.org/the-iso-survey.html>
- International Organization for Standardization. (2015). *Quality management systems, Requirements* (ISO Standard No. 9001:2015). Retrieved June 10, 2025, from <https://www.iso.org/standard/62085.html>
- ISO/TC 176/SC2. (2024). Working Draft on ISO 9001:2026. Comité Técnico ISO para Gestión de la Calidad y Aseguramiento de la Calidad.
- ISO/CD 9001:2026. Committee Draft. Organización Internacional de Normalización.
- ISO/WD 9001:2026. Working Draft. Organización Internacional de Normalización.
- ISO/TS 9002:2016. Guidelines for the application of ISO 9001:2015. Organización Internacional de Normalización.
- ISO 10010:2022. Quality management — Guidance to understand, evaluate and improve organizational culture. Organización Internacional de Normalización.
- ISO 28000:2022. Security and resilience — Security management systems — Requirements. Organización Internacional de Normalización.
- ISO/IEC 27036-2:2014. Information security for supplier relationships — Part 2: Requirements. Organización Internacional de Normalización.
- ISO 10014:2021. Quality management — Guidelines for realizing financial and economic benefits.
- Kartha, C. (2022). An Empirical Investigation of the Impact of ISO 9001 Certification: A Comparative Study.
- Kılıç, S. (2016). Cronbach's alpha reliability coefficient. *J. Mood Disord.*, 6(1), 47.
- Midor, K., & Wilkowski, G. (2021). Recertification of a Quality Management System based on ISO 9001 - is it a must for a modern manufacturing company? *Production Engineering Archives*, 27, 217 - 222.

- <https://doi.org/10.30657/pea.2021.27.29>.
- Milovanović, V., Paunović, M., & Casadesús, M. (2023). Measuring the Impact of ISO 9001 on Employee and Customer Related Company Performance. *Quality Innovation Prosperity*. <https://doi.org/10.12776/qip.v27i1.1808>.
- Naveen, K., Senanayake, R., & Selvan, C. (2021). Process performance evaluation in mechanical engineering industries in accordance with ISO 9001. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 1057. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/1057/1/012067>.
- Pascua, A., Madés, K., Basquez, S., Funes, M., Malang, B., & Malang, J. (2024). Assessing The Impact of ISO 9001:2015 Implementation on the Service Delivery of The National Irrigation Administration (NIA) Regional Office VIII. *International Journal of Multidisciplinary: Applied Business and Education Research*. <https://doi.org/10.11594/ijmaber.05.11.05>.
- Sánchez Lizárraga, M., Romero, J., Mendoza, D., & Lopez, Y. (2020). ISO 9001 Standard: exploratory analysis in the manufacturing sector in Mexico. *Dyna*, 87, 202-211. <https://doi.org/10.15446/DYNA.V87N213.83230>.
- Vallejo, I. (2022). Aplicabilidad del sistema de gestión de calidad bajo la norma ISO 9001:2015 en Asoseram, empresa de servicios de alimentación de Ecuador. *Revista Científica Retos de la Ciencia*.
- <https://doi.org/10.53877/rc.6.13.20220701.05>.
- StatPoint Technologies, Inc. (2016). *Statgraphics Centurion XVII (Version 17.0)* [Computer software]. StatPoint Technologies, Inc.
- Spansel, C., & Ahmed, S. (2020). ISO 9001 Quality Management System Certification: Is It Worth It?
- Tahrir, M., & Barus, M. (2023). The Effectiveness of Implementing the Quality Management System ISO 9001; 2015 in Supervising Road and Bridge Projects in South Sulawesi Province. *International Journal of Economic, Technology and Social Sciences (Injects)*. <https://doi.org/10.53695/injects.v3i2.857>.
- Urdaneta, Y., & Martínez-Sánchez, R. (2020). La Norma ISO 9001:2015 y la mejora de procesos en el Programa Ingeniería de Producción de la Universidad Centroccidental Lisandro Alvarado (Venezuela), 5, 1-27.
- Wang, J., Liu, F., & Wu, J. (2021). A Strategy Tripod Perspective on ISO 9001 Adoption: Evidence From Chinese Manufacturing Firms. *IEEE Transactions on Engineering Management*, PP, 1-15. <https://doi.org/10.1109/TEM.2021.3093581>.
- Zamora, A., Álvarez, L., & Rodríguez, F. (2022). Quality Management System to Improve Processes from a Prospective Approach. *ESPOCH Congresses: The Ecuadorian Journal of S.T.E.A.M.* <https://doi.org/10.18502/epoch.v2i2.11430>.



Revista Internacional de Investigación e Innovación Tecnológica

Página principal: www.riit.com.mx

Desarrollo de control en sistema de fertirriego para invernadero hidropónico de pimiento (*Capsicum Annuum L.*)

Development of a fertigation control system for hydroponic micro tunnel greenhouse for pepper cultivation (*Capsicum Annuum L.*)

Gerardo-Parra, C., Padilla-Rochín, J.D., Castro-Palazuelos, D.E., Picos-Ponce, J.C., Rochín-Medina, J.J., Barreto-Salazar, L.E., Rubio-Astorga, G.J.*

Departamento Unidad de Posgrado. Tecnológico Nacional de México/ITCuliacán; C.P. 80220, Culiacán Rosales, Sinaloa. 13 de mayo de 2025.

m18170161@culiacan.tecnm.mx; m15170916@culiacan.tecnm.mx; david.cp@culiacan.tecnm.mx;
julio.pp@culiacan.tecnm.mx; jesus.rm@culiacan.tecnm.mx; luis.bs@culiacan.tecnm.mx;
guillermo.ra@culiacan.tecnm.mx*

Innovación tecnológica: Sistema de fertirriego con controlador difuso para reducir el consumo de fertirriego.

Área de aplicación industrial: La implementación de este controlador se puede realizar en campo abierto, invernaderos y sistemas hidropónicos.

Recibido: 20 mayo 2025

Aceptado: 28 octubre 2025

Abstract

One of the most widely used methods to estimate crop water requirements is the FAO Penman–Monteith evapotranspiration method. However, this method has limitations due to abrupt changes in climatic conditions. That can lead to inadequate irrigation and reduced crop productivity. This project proposes a substrate moisture control system that regulates irrigation using an intelligent control algorithm in a laboratory-scale micro-tunnel hydroponic greenhouse. The objective is to develop a fertigation control system for a hydroponic greenhouse that satisfies moisture and water consumption requirements. To achieve this, a mathematical model is established to describe the substrate moisture dynamics. Subsequently, it is evaluated using PID (Proportional–Integral–Derivative), FL (Fuzzy Logic), and NN (Neural Network) controllers. Next, the control algorithm is designed and programmed for the PLC (Programmable Logic Controller). Finally, it is implemented in a laboratory-scale micro-tunnel greenhouse, where fertigation consumption and crop growth rate are evaluated. As a result, the evapotranspiration method yielded an MSE of

19.68% and a water volume of 213.25 L. In substrate moisture control, an MSE of 3.27% and a 64.57 L water consumption were obtained. Finally, the two approaches were compared, revealing that the controlled method reduced fertigation consumption by over 60% relative to the traditional approach. The limitations of this study are the fact that the greenhouse is laboratory scale, with an area of 6 square meters, and that climatic conditions during the experiment were not favorable for optimal crop development.

Keywords: Control, Evapotranspiration, Fuzzy Logic, Moisture, PLC.

Resumen

Una de las metodologías que más se utiliza para estimar las necesidades de un cultivo, es el método de la FAO de evapotranspiración propuesto por Penman-Monteith. Sin embargo, este método presenta limitaciones debido a los cambios abruptos ante las condiciones climáticas. Estos cambios pueden provocar riegos deficientes y afectar la productividad de los cultivos. Este proyecto propone un sistema de control de humedad del sustrato, para regular el riego mediante un algoritmo de control inteligente, en un invernadero hidropónico tipo micro túnel a escala laboratorio. El objetivo es el desarrollar un sistema de control de fertirriego para invernadero hidropónico que cumpla con los requerimientos de humedad y consumo hídrico. Para ello, se establece un modelo matemático para describir la dinámica de humedad en el sustrato. Posteriormente, se evalúa con controladores PID (Proporcional-Integral-Derivativo), LD (Lógica Difusa) y RN (Redes Neuronales). Después, se diseña y programa el algoritmo de control para el PLC (Controlador lógico programable). Finalmente, se implementa en un invernadero micro túnel a escala laboratorio. Donde, se evalúa el consumo de fertirriego y la tasa de crecimiento del cultivo. Como resultado, el método de evapotranspiración logra un ECM de 19.68% y un volumen de 213.25 L. En el control de humedad del sustrato, se obtiene un ECM de 3.27% y un consumo de 64.57 L. Por último, se comparan las dos metodologías de las cuales, el método controlado reduce más del 60% el consumo de fertirriego con respecto al método tradicional. Las limitaciones de este estudio se centran en que el invernadero es a escala laboratorio, además, cuenta con una superficie de 6 metros cuadrados y las condiciones climáticas durante el experimento no favorecen el desarrollo óptimo del cultivo.

Palabras clave: Control, Evapotranspiración, Humedad, Lógica difusa, PLC.

I. Introducción

La agricultura es una de las actividades más importantes del sector agropecuario en México. Sin embargo, consume más del 75% del agua dulce disponible en el país debido a su creciente demanda (SEMARNAT, 2020). Por ello, se busca mejorar técnicas y herramientas para satisfacer la escasez de alimentos y recursos hídricos, así como para enfrentar problemas del campo, como el

cambio climático, la erosión del suelo y la sequía (Núñez-González et al., 2019).

Una de las soluciones a estos retos es la hidroponía, un sistema de cultivo sin suelo que utiliza sustratos para anclar las plantas. Estos sustratos, al igual que la tierra, requieren un sistema de riego eficiente (Alberto et al., 2023). En este tipo de agricultura, es indispensable un sistema de

fertirriego, debido a que el sustrato es un material inerte y carece de nutrientes esenciales para el desarrollo de las plantas (van Os et al., 2019). Esta característica, sin embargo, presenta una ventaja: permite al productor ajustar la composición de nutrientes según las necesidades específicas del cultivo.

Los cultivos hidropónicos son muy utilizados en la actualidad, gracias a sus beneficios. Además, es posible incorporar la tecnificación en los sistemas de fertirriego, para darle al cultivo los nutrientes necesarios según su variedad (Soto-Bravo & Monge-Palma, 2023). También, es posible utilizar este tipo de técnicas agrícolas en lugares remotos, donde carecen de suministros básicos como la electricidad (Dwiratna et al., 2022).

Las metodologías tradicionales para la aplicación de sistemas de riego se basan principalmente en modelos de evapotranspiración, donde se estima el requisito hídrico que un cultivo necesita y así compensar las pérdidas de evaporación y la transpiración de las plantas (Allen et al., 1998). Este método depende de las variables climáticas como; radiación solar, temperatura, humedad relativa y velocidad del viento (Azua Barron et al., 2020). Estas variables pueden cambiar abruptamente, afectar la precisión de los modelos y, en consecuencia, la cantidad de agua aplicada al cultivo. Una estimación inexacta puede llevar a deficiencias o excesos de riego, con impactos negativos en la productividad y la salud de las plantas (Cohen-Manrique et al., 2020).

Una de las diferencias entre la automatización y el control se considera en el uso y propósito. En este caso en la automatización se considera el accionamiento de dispositivos al seguir un tiempo o secuencia preestablecida, sin importar las condiciones del sistema

(Rodríguez-Fernández et al., 2014). Es decir, un sistema de fertirriego automatizado se puede activar sin considerar el estado de la humedad en el sustrato. En cambio, el control tiene como objetivo alcanzar un valor deseado de la variable de interés. En este caso, el controlador compara el valor medido con el deseado, y realiza ajustes para minimizar la diferencia entre ambos (error), donde se busca que este sea igual a cero (Dorf et al., 2005).

El utilizar un algoritmo de control que se aplica a la variable de humedad en el sustrato, ofrece una alternativa, al mantener la humedad adecuada en la zona radicular del cultivo. Esto previene un exceso de humedad y evita el desarrollo de enfermedades, además mejora la eficiencia en el uso del agua. Esta metodología requiere el uso de un algoritmo de control, como lo es el controlador PID, uno de los más comunes en la industria (Ogata, 2010). Su principal limitación es el uso en sistemas lineales, lo cual se supera con controladores inteligentes, capaces de adaptarse a sistemas no lineales sin requerir un modelo matemático preciso (Souza et al., 2020).

A pesar de sus beneficios, las implementaciones de controladores inteligentes en tecnologías como los controladores lógicos programables (PLC) son limitadas (Ordoñez Avila & Portillo, 2020). Sin embargo, se ha demostrado que algoritmos de control inteligente, como las redes neuronales artificiales, han tenido un impacto positivo en la agricultura (Vázquez Rueda et al., 2018). Estos algoritmos mejoran los sistemas de riego tecnificados, al lograr mayores ahorros de agua y energía en comparación con los sistemas tradicionales (Krishnan et al., 2020).

El objetivo de este proyecto es el desarrollar un controlador inteligente del sistema de fertirriego, para invernadero tipo micro túnel

que cumpla con los requerimientos de humedad del producto primario. Se implementan dos metodologías: evapotranspiración y control de humedad del sustrato. Estas se evalúan con base en la tasa de crecimiento del cultivo (TCC) durante un periodo de 21 días. Las mediciones se realizan en 12 plantas distribuidas en macetas, donde se utiliza un sistema de fertirriego por goteo. Al final, se determina la TCC, se analiza el comportamiento de la humedad en el sustrato y el volumen de fertirriego aplicado para su posterior comparación.

Este trabajo, presenta en la segunda sección el diseño en SketchUp del invernadero hidropónico a escala laboratorio. Además, del modelado matemático del sistema de fertirriego, la evaluación de los controladores simulados, el diseño y simulación del

controlador difuso para el PLC y la implementación del sistema de fertirriego. En la tercera sección, se presenta implementación, para los métodos aplicados al sistema de fertirriego, así como su validación y discusión.

II. Materiales y equipos

Evaluación de modelos matemáticos

Para evaluar el modelo matemático del sistema de fertirriego, lo primero es realizar el diseño en software del sistema de fertirriego, para ello se utiliza SketchUp. Primeramente, se realiza la estructura del invernadero a escala laboratorio, donde las medidas son las siguientes: 3 metros de largo, 2 metros de ancho y una superficie de 6 metros cuadrados. En la Figura 1 se muestran las dimensiones del invernadero.

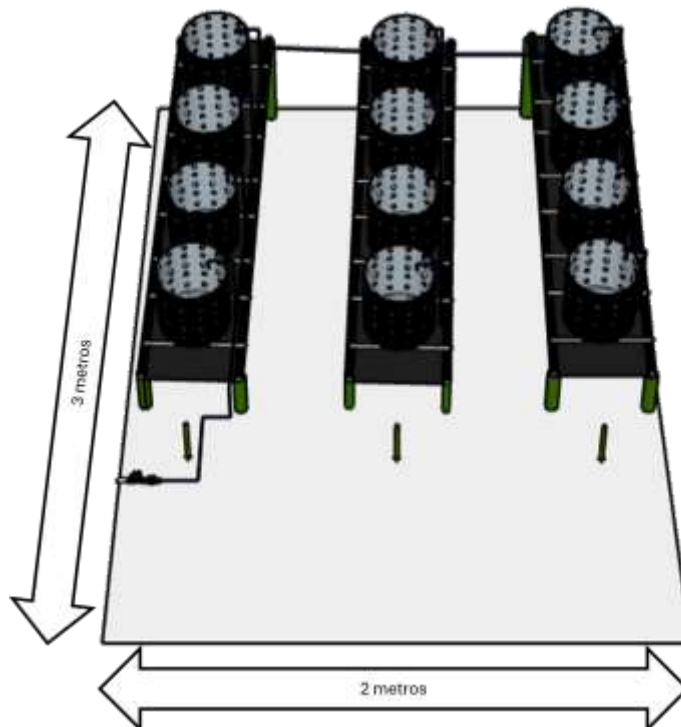


Figura 1. Dimensiones del área experimental para el invernadero escala laboratorio.

Para complementar el diseño del sistema, se selecciona un invernadero con las siguientes características: tipo micro túnel, superficie de

6 metros cuadrados, una estructura de acero y una cubierta de plástico lechoso al 25% sombra. Además, se contemplan los

siguientes materiales: un equipo de bombeo para riego, tubería para instalación eléctrica e hidráulica, sensores, macetas y un reservorio

para el fertirriego. Lo anterior mencionado se puede observar en la Figura 2.

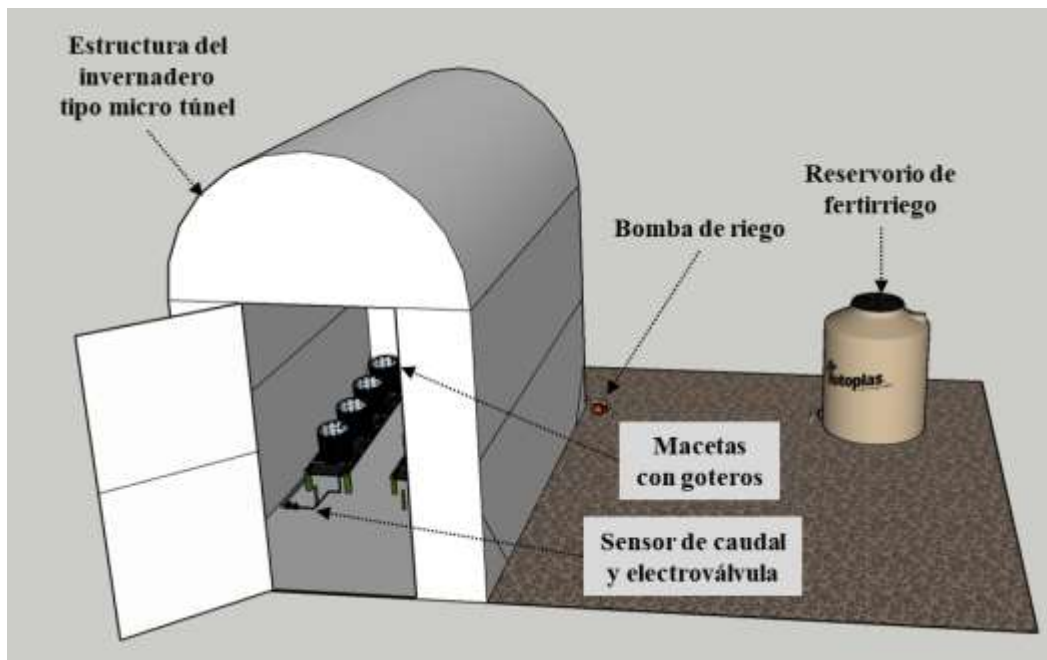


Figura 2. Diseño general del invernadero micro túnel a escala laboratorio en Sketch Up.

Posteriormente se establecen las ecuaciones del modelo matemático que describen la dinámica del comportamiento de la humedad en el sustrato con el sistema de fertirriego; en la Figura 3 se muestra cómo se ejemplifica de forma análoga la maceta en un sistema de llenado a nivel de tanque, donde Q_e y Q_s representan el caudal de entrada y salida del sistema, V_e y V_s las válvulas de entrada y salida del tanque/maceta, y H la altura del agua/sustrato dentro de la maceta/tanque.

La analogía entre la dinámica de humedad en el sustrato y el llenado de un tanque se basa en la similitud de ambos sistemas como depósitos que almacenan y liberan agua en función de la demanda. En el caso del tanque, el agua se acumula hasta alcanzar un nivel máximo y se libera mediante un mecanismo controlado. De igual manera, en el sustrato, el agua se almacena hasta llegar a la capacidad de campo y está a disposición de las plantas según sus necesidades. Esta comparación

permite utilizar técnicas de control, como las empleadas en el manejo de tanques, para gestionar la humedad en un sistema agrícola.

En este estudio se utiliza perlita como sustrato, un material inerte y poroso empleado en sistemas hidropónicos. De acuerdo con el Perlite Institute (2019), la perlita presenta una capacidad de retención de agua entre 20% y 50% del volumen, esta depende del tamaño del grano y grado de expansión. Las macetas cuentan con un diámetro de 30 cm y una profundidad de 20 cm, lo que corresponde a un volumen aproximado de 14 litros. Para estimar el comportamiento hidráulico del sustrato, se realizó una prueba preliminar de drenaje, donde se utiliza un recipiente con el mismo volumen de perlita saturada con agua, así se determina un drenaje aproximado del 23% del volumen aplicado.

Para determinar el porcentaje de humedad del sustrato, se utiliza la Ec. (1) propuesta por

Martínez-González et al. (2010), la cual se muestra a continuación:

$$\%humedad\ de\ sustrato = \frac{(masa\ de\ sustrato\ saturado - masa\ de\ sustrato\ seco)}{masa\ de\ sustrato\ seco} \times 100 \quad (\text{Ec. 1})$$

Esta ecuación permite calcular el contenido gravimétrico de humedad, es decir, la masa de

agua presente en el sustrato en relación con su masa seca.

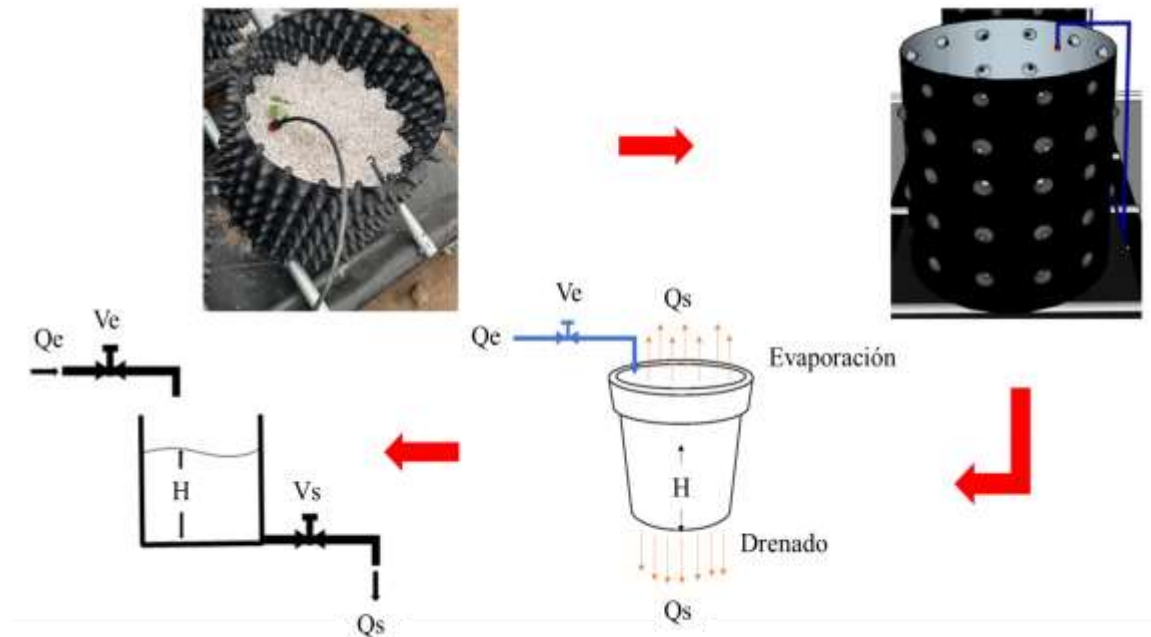


Figura 3. Analogía del comportamiento hídrico de una maceta con un sistema de nivel en tanque.

Se utiliza la Ec. (2) descrita por Merritt (1967), para describir el caudal que pasa a través de una válvula, cómo se muestra a continuación:

$$Q = C_v A(x) \sqrt{2 \Delta P / \rho} \quad (\text{Ec. 2})$$

Dónde:

Q = Caudal

C_v = Constante de descarga

$A(x)$ = Área de la sección transversal

ΔP = Diferencia de presiones

ρ = Densidad del fluido

En la Ec. (3) se plantea la ecuación general que describe los flujos equivalentes en el sistema:

$$A \frac{dh}{dt} = Q_e - Q_s \quad (\text{Ec. 3})$$

Donde $Q_e = K_{v1} \alpha_1$ y $Q_s = K_{v2} \alpha_2 \sqrt{2gh}$. Q_e y Q_s corresponden a los caudales de entrada y salida, respectivamente, K_{v1} y K_{v2} las constantes de flujo de las válvulas de entrada y salida, α_1 y α_2 los coeficientes de apertura de las válvulas, g la aceleración gravitacional y h la altura. Al sustituir estas expresiones en la Ec. (4), se obtiene:

$$A \frac{dh}{dt} = K_{v1} \alpha_1 - K_{v2} \alpha_2 \sqrt{2gh} \quad (\text{Ec. 4})$$

Dado que la Ec. (5) incluye una raíz cuadrada, el sistema es considerado no lineal. Para obtener una función de transferencia, es necesario linealizar la ecuación. Esto se

realiza al identificar un punto de equilibrio, donde el flujo de entrada sea igual al flujo de salida:

$$K_{v1} \alpha_1 = K_{v2} \alpha_2 \sqrt{2gH_0} \quad (\text{Ec. 5})$$

La Ec. (5) se resuelve para H_0 , y como resultado se tiene la Ec. (6):

$$H_0 = \left(\frac{K_{v1} \alpha_1}{K_{v2} \alpha_2 \sqrt{2g}} \right)^2 \quad (\text{Ec. 6})$$

Alrededor del punto de equilibrio H_0 , La Ec. (4) se linealiza al aplicar series de Taylor, al asumir α_2 como constante. Esto lleva a la siguiente forma linealizada:

$$A \frac{d\Delta h}{dt} \approx K_{v1} \Delta \alpha_1 - \frac{K_{v2} \alpha_2 \sqrt{2g}}{2\sqrt{h}} \Delta h \quad (\text{Ec. 7})$$

Una vez se linealiza la Ec. (7), el siguiente paso es aplicar la transformada de Laplace,

donde se obtiene la función de transferencia, como se muestra en Ec. (8):

$$\frac{h(s)}{\alpha_1(s)} = \frac{K_{v1}}{As + \frac{K_{v2} \alpha_2 \sqrt{2g}}{2\sqrt{h}}} \quad (\text{Ec. 8})$$

Al sustituir los valores específicos del sistema en el punto de equilibrio:

$$\frac{h(s)}{\alpha_1(s)} = \frac{0.0704}{s + 0.15} \quad (\text{Ec. 9})$$

$$A = 0.071 \text{ m}^2$$

$$k_{v1} = 0.005 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$$

$$k_{v2} = 0.0005 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$$

$$g = 9.81 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$$

$$h = 0.1 \text{ m}$$

Se obtiene:

Al obtener modelo matemático descrito en la Ec. (9), se evalúan los algoritmos de control PID, redes neuronales y lógica difusa.

Los valores de las constantes (K_p , K_i y K_d) de sintonización del controlador PID se obtienen mediante el comando *autotuning* de MATLAB/Simulink y se muestran en la Tabla 1.

Tabla 1. Valores de ganancia del controlador PID.

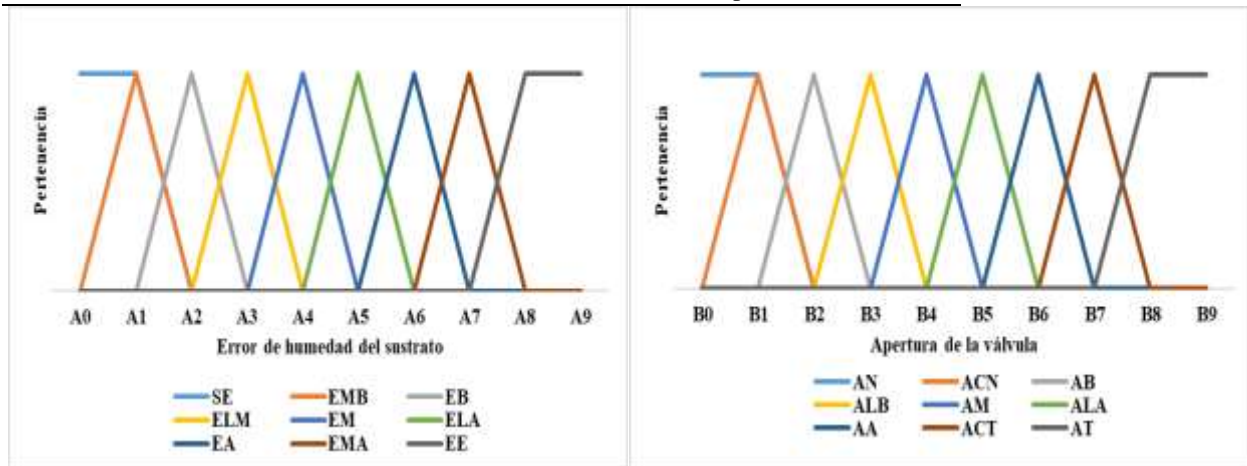
	Kp	Ki	Kd
Valor de la ganancia	0.000378525193915267	0.00767610348007699	0

En la Tabla 2 se presentan las nomenclaturas para los conjuntos difusos, donde se describen las funciones de pertenencia para la entrada y salida, junto con sus abreviaturas. La Figura 4a ilustra los conjuntos de entrada, etiquetados como A0 a A9. En la Figura 4b se

muestran los conjuntos de salida, etiquetados como B0 a B9. Finalmente, las reglas para el control de humedad se establecen y describen mediante las funciones de membresía, como se observa en el Tabla 3.

Tabla 2. Nomenclatura de los conjuntos difusos.

Abreviatura	Significado	Abreviatura	Significado
SE	Sin-Error	AN	Apertura-Nula
EMB	Error-Muy-Bajo	ACN	Apertura-Casi-Nula
EB	Error-Bajo	AB	Apertura-Baja
ELM	Error-ligeramente-Bajo	ALB	Apertura- Ligeramente-Baja
EM	Error-Medio	AM	Apertura-Media
ELA	Error-Ligeramente-Alto	ALA	Apertura-Ligeramente-Alta
EA	Error-Alto	AA	Apertura-Alta
EMA	Error-Muy-Alto	ACT	Apertura-Casi-Total
EE	Error-Extremo	AT	Apertura-Total



a) Conjuntos de entrada.

b) Conjuntos de salida.

Figura 4. Funciones de pertenencia de las variables de entrada y salida.

Tabla 3. Reglas de control para el fertirriego.

Error de la humedad del sustrato	Apertura de la válvula
SE	AN
EMB	ACN
EB	AB
ELM	ALB
EM	AM
ELA	ALA
EA	AA
EMA	ACT
EE	AT

Para este controlador es necesario obtener datos de entrenamiento, los cuales, se obtuvieron por medio del comportamiento del sistema en otros controladores y se utiliza la herramienta *Neural Network Start* de Matlab, donde se obtienen valores del error

cuadrático medio (ECM) y correlación (R) mostrados en el Tabla 4.

Tabla 4. Resultados del ECM y R para la RNA.

	Muestras	ECM	R
Entrenamiento	245	2.19668e-7	9.99546e-1
Validación	52	2.15500e-7	9.99407e-1
Prueba	52	1.71145e-7	9.99650e-1

La referencia que se utiliza corresponde al 75% de la humedad del sustrato. Esta evaluación se realiza en Matlab Simulink, y el diagrama de bloques del controlador se presenta en la Figura 5. Para el controlador PID, LD y RN únicamente se reemplaza el bloque correspondiente.

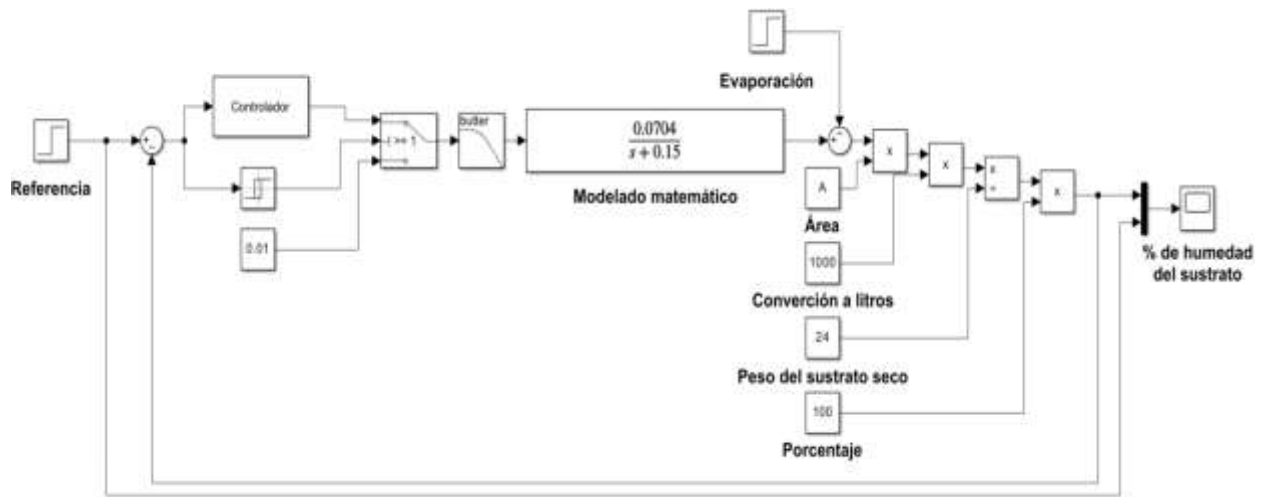


Figura 5. Diagrama de bloques del sistema a controlar.

La evaluación del controlador PID muestra que tarda 229.41 segundos en alcanzar la referencia, presenta oscilaciones debido al encendido y apagado de la bomba, con un sobre impulso del 75.3059% y un valor mínimo del 72.7961% (Figura 6).

El controlador de lógica difusa, también ilustrado en la Figura 6, alcanza la referencia en 54.8 segundos. Aunque en estado estable persisten oscilaciones similares, el sistema

presenta un sobre impulso del 75.3059% y un valor mínimo del 72.7788%.

Por último, el controlador de redes neuronales artificiales (RNA) alcanza la referencia en 115.77 segundos, con un sobre impulso del 75.5544% y un valor mínimo del 72.9215%, con oscilaciones características del encendido y apagado de la bomba, como se muestra en la Figura 6.

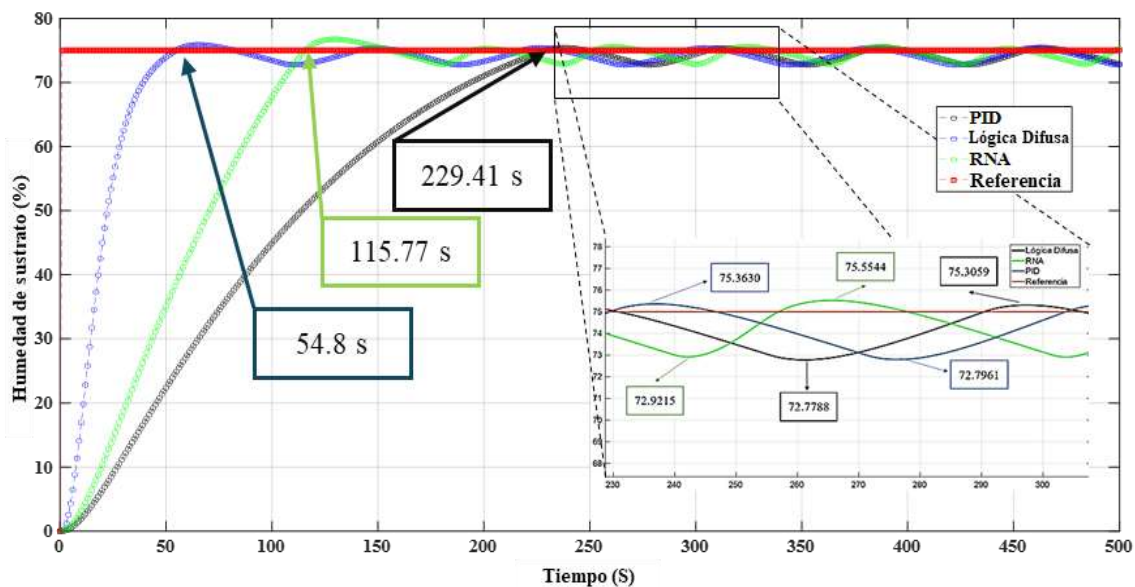


Figura 6. Comparación de los controladores PID, lógica difusa y redes neuronales artificiales.

Finalmente, en el Tabla 5 se comparan los errores de los controladores evaluados. El controlador de lógica difusa presenta el mejor desempeño, al alcanzar la referencia en menor tiempo. Además, el error negativo en estado estable es el menor, entre los tres

controladores. Pero tiene un mayor error positivo, esto resulta en períodos más largos con la bomba apagada. Por estas razones, se selecciona el controlador de lógica difusa para su implementación.

Tabla 5. Error positivo y negativo de los controladores.

Controlador	Error Negativo	Error Positivo
PID	0.3630	2.2039
Redes neuronales	0.5544	2.0785
Lógica difusa	0.3059	2.2212

Simulación del modelado

Para la simulación del modelo, el programa se enlaza con el software Factory IO, para simular el llenado del tanque y registrar los datos generados. Estos se analizan y comparan con los resultados del modelo

matemático mediante gráficas realizadas en MATLAB. En la Figura 7 se presenta la comparación de ambos resultados, donde se observa que el controlador cumple con el control de humedad en el sustrato de manera simulada, lo que valida su funcionamiento.

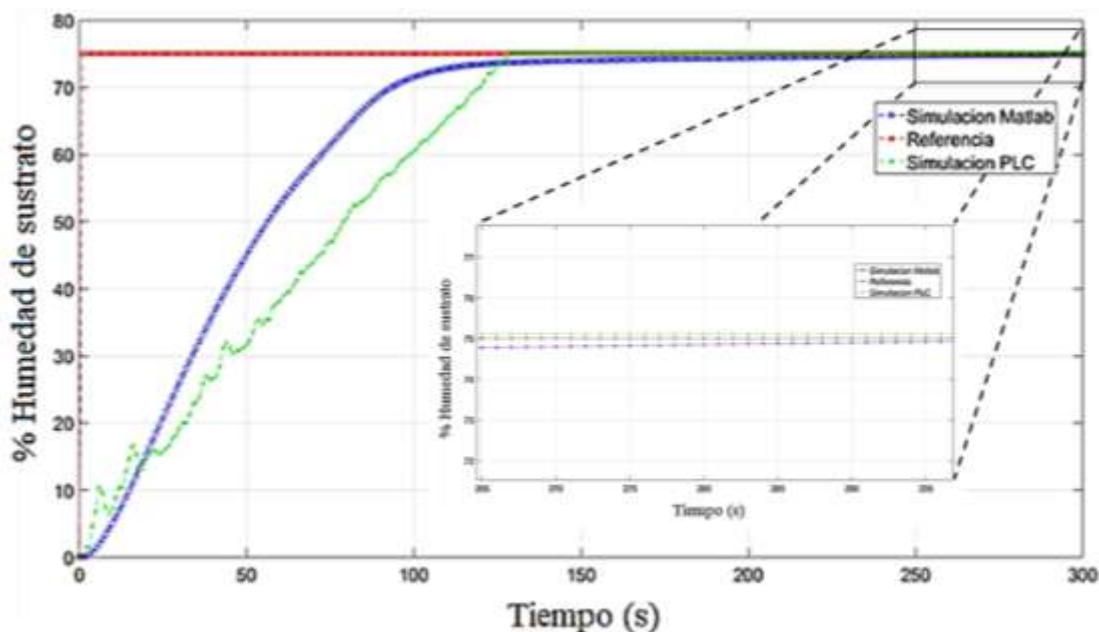


Figura 7. Comparación de la respuesta: simulación del modelo matemático y PLC.

Implementación del sistema de fertirriego

Una vez se comprueba el controlador en simulación, se realiza la implementación de este programa, para ello es necesario

instrumentar el invernadero, lo cual requiere la instalación de sensores, tuberías hidráulicas y eléctricas, cableado e instalar un tablero de control, como se muestra en Figura 8.

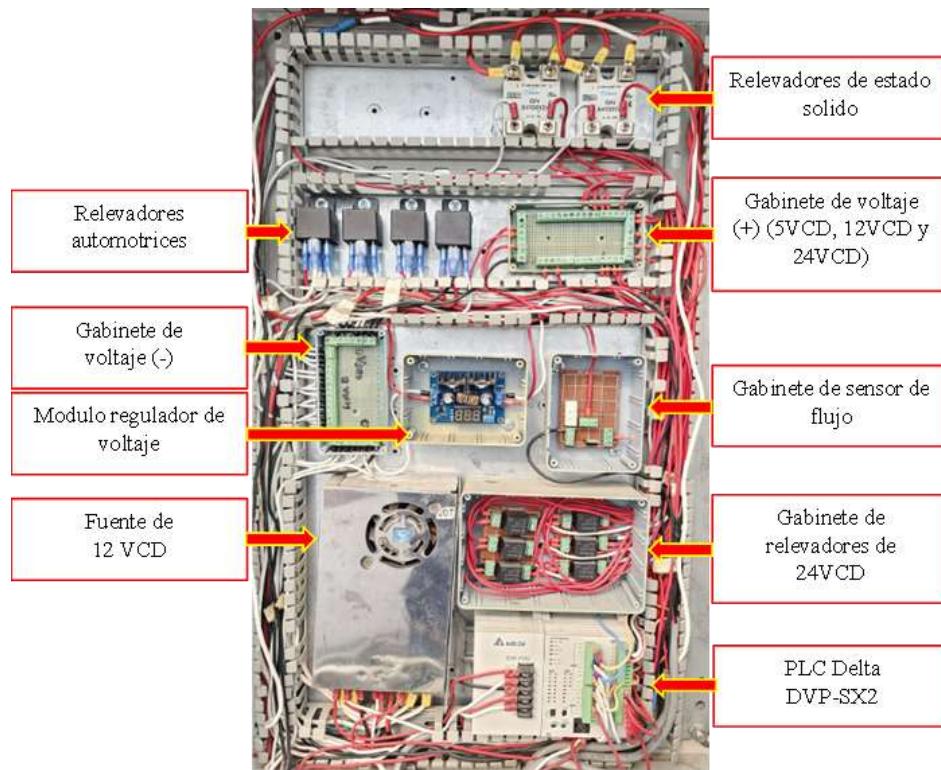


Figura 8. Disposición interna del tablero de control.

El sistema de fertirriego incluye varios componentes importantes (sensores y actuadores). Se utiliza un sensor YF-S201 de la marca Sea para medir el caudal, el cual es un sensor de efecto Hall con un rango de 1 a 30 L · min⁻¹ y un margen de error de un 5% o ± 10 pulsos. También, dos sensores de humedad del suelo de la marca Wavgat, con sondas de resistencia analógica con una precisión de ± 3%. Para la temperatura y humedad se utiliza un sensor THD-DD2-C de la marca Autonics, cuenta con salidas analógicas de 4 a 20 mA independientes para cada variable, un rango de medición para la temperatura de -19.9 a 60.0 °C, para la humedad relativa de 0.0 a 99.9 % RH. La frecuencia de muestreo para todos los sensores fue de 1 lectura por minuto. Estos datos se registran y procesan en tiempo real para alimentar los algoritmos de control implementados.

Los actuadores del invernadero son los siguientes: una bomba periférica marca

Múnich de 0.5 HP con rosca de 1" y un caudal de 42 L · min⁻¹, una válvula electromagnética de 1" de dos posiciones, y una electroválvula proporcional marca HSH-Flo de ½" con servomotor, con posiciones ajustables en un rango de 0 a 5 VDC.

En la implementación del sistema de fertirriego se utiliza un PLC de la marca Delta modelo DVP-SX2. Este dispositivo no cuenta con una función integrada para control difuso, lo que hizo necesario programar manualmente las ecuaciones del controlador en lenguaje Ladder.

Además, debido a que los PLC Delta del modelo DVP-SX2 no soportan programación en SCL, se realiza la implementación en lenguaje escalera (Ladder) para garantizar la funcionalidad del sistema. Además, se diseña una interfaz gráfica en una HMI de la marca Delta, que permite supervisar y controlar cada una de las metodologías de fertirriego utilizadas en el proyecto.

La Figura 9a muestra una interfaz gráfica en HMI para la programación del riego con el método FAO (evapotranspiración), mientras que en la Figura 9b, se tiene la pantalla donde se establecen los valores para la entrada y la

salida de los conjuntos difusos del controlador. Se escalan los valores de la a salida analógica en el PLC en un rango de 0 a 1000, al rango de 0 a 100 % para la apertura de la válvula proporcional.



a) Horarios de riego del método de evapotranspiración. b) Funciones de membresía de entrada y salida.

Figura 9. Programación del sistema de fertirriego.

III. Métodos experimentales

Diseño del algoritmo de control difuso para el controlador

Una vez que se selecciona el controlador, se procede al diseño de la programación que define las operaciones establecidas por el algoritmo de control. Para ello, se desarrolla un controlador difuso adaptado a la dinámica del sistema. El proceso de lógica difusa comienza con la fuzzificación, donde se

asignan valores a las variables lingüísticas al utilizar ecuaciones que representan las funciones de membresía. Estas ecuaciones se derivan de las rectas que forman triángulos en un plano. Las funciones de membresía se describen en la Ec. (10), correspondiente al error, es decir, la diferencia entre el valor deseado y el medido. De forma general, las funciones de membresía tienen una estructura común, como se muestra en la Figura 10 y se representa así:

$$\text{Función de membresía} = \begin{cases} 0, & A < a_1 \text{ o } A > a_n \\ \frac{A - a_i}{a_{i+1} - a_i}, & a_i \leq A \leq a_{i+1} \\ \frac{a_{i+2} - A}{a_{i+2} - a_{i+1}}, & a_{i+1} \leq A \leq a_{i+2} \end{cases} \quad (\text{Ec. 10})$$

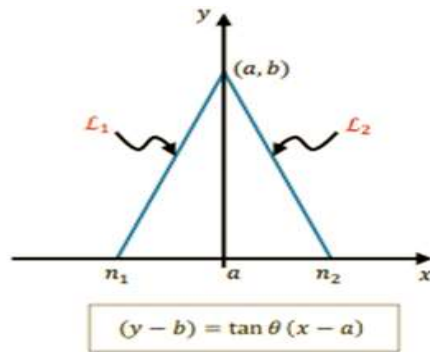


Figura 10. Función de membresía común.

Con las funciones de membresía definidas, se implementan las reglas de inferencia que relacionan las entradas con las salidas. Estas reglas están resumidas en la Tabla 3. La inferencia se basa en el valor de pertenencia que se calcula para las funciones de entrada, y se aplica como altura en las funciones de salida. En términos de programación, esto implica asignar de manera directa, el valor de las ecuaciones de entrada al conjunto de salida correspondiente.

Para la parte de la defuzzificación y obtener el valor final, se utiliza el método del cálculo de centroides, como se describe en Beer et al. (2007). Los centroides se calculan al separar las áreas en formas geométricas simples, como triángulos y rectángulos.

La Ec. (11) determina el área de un trapecio:

$$A = \frac{(b_1 + b_2) h}{2} \quad (\text{Ec. 11})$$

Por otro lado, el cálculo de la base superior, necesaria para determinar el centroide, se realiza con la Ec. (12):

$$x = B + \frac{h_1}{h_2} (A - B) \quad (\text{Ec. 12})$$

Validación de control

Finalmente, se mide de manera diaria la longitud de 12 plantas de Chile Serrano, para

$$\begin{aligned} \text{Para: } L_1 \\ (y - b) &= \frac{b}{a - n_1} (x - a) \\ y &= \frac{b(x - n_1)}{a - n_1} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Para: } L_2 \\ (y - b) &= \frac{-b}{n_2 - a} (x - a) \\ y &= \frac{b(n_2 - x)}{n_2 - a} \end{aligned}$$

calcular la tasa de crecimiento del cultivo de la etapa vegetativa durante 21 días después del trasplante (el trasplante se realiza 40 días después de la siembra); en paralelo, se mide el consumo de fertirriego durante todo el experimento a través de un sensor de caudal. Este procedimiento se realiza para el método de evapotranspiración y el control de humedad del sustrato.

Es importante señalar que este estudio no incorpora plantas testigos ni se realizan ajustes por diferencias en biomasa. Ambos sistemas se evalúan bajo las mismas condiciones ambientales y de cultivo. En la Figura 11 se muestra la disposición e instalación de las macetas con sus respectivas líneas de riego y goteros.

El experimento se llevó a cabo en las instalaciones del Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de Culiacán, Sinaloa, México (24°48'N, 107°23'O). Se realizaron dos ensayos independientes correspondientes a los métodos evaluados. Para el método que se basa en evapotranspiración, el periodo de siembra corresponde del 1 al 21 de abril de 2023, con temperaturas máximas y mínimas de 46 °C y 14 °C, respectivamente, y una humedad relativa ambiente entre 85% y 12%. En el caso del método de control por humedad del sustrato, el periodo experimental se desarrolló del 6 al 26 de mayo de 2023,

registrándose temperaturas entre 52 °C y 18 °C y una humedad relativa entre 82% y 10%.



Figura 11. Disposición de las plantas.

Para implementar el método de evapotranspiración se utiliza la ecuación Ec.

(13). de acuerdo con la metodología FAO Penman-Monteith (Allen et al., 1998).

$$ET_o = \frac{0.408 \Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34 u_2)} \quad (\text{Ec. 13})$$

Donde:

ET_o = Evapotranspiración de referencia (mm · día⁻¹)

R_n = Radiación neta sobre la superficie del cultivo (MJ · m² · día⁻¹)

G = Flujo de calor del suelo (MJ · m² · día⁻¹)

T = Temperatura media del aire a 2 m de altitud (°C)

u_2 = Velocidad del viento a 2 m de altitud (m · s⁻¹)

e_s = Presión de vapor de saturación (kPa)

e_a = Presión de vapor real (kPa)

$e_s - e_a$ = Déficit de presión de vapor (kPa)

Δ = Pendiente de la curva de presión de vapor (kPa · °C⁻¹)

γ = Constante psicrométrica (kPa · °C⁻¹)

Una vez se calcula la evapotranspiración de referencia ET_o , se puede obtener la evapotranspiración del cultivo ET_c mediante la Ec. (14):

$$ET_c = K_c * ET_o \quad (\text{Ec. 14})$$

Dónde:

ET_c = Evapotranspiración del cultivo (mm · día⁻¹)

K_c = Coeficiente único del cultivo

IV. Resultados y discusión

Resultados de la implementación de los sistemas de fertirriego

Durante el experimento, el consumo promedio de fertirriego es de 8.66 L · día⁻¹ para las 12 plantas, distribuido en dos

riegos diarios durante 21 días. Con el método de evapotranspiración, el comportamiento de la humedad en el sustrato muestra rangos, entre 80% y 100%, lo que puede favorecer la generación de patógenos y representar un uso excesivo del recurso hídrico. El error cuadrático medio (ECM) fue de 19.68% en relación con la referencia de 75% (Figura 12a).

Por otro lado, al implementar el método de control de humedad en el sustrato, se ajusta una histéresis de la bomba entre 71.90% y 72.5%, para disminuir el sobre impulso ocasionado por residuos en las líneas de riego. En este caso, los valores de humedad oscilan entre 71% y 79%, con un ECM de 3.72%. La Figura 12b presenta el comportamiento de la humedad del sustrato para el método de control mediante lógica difusa.

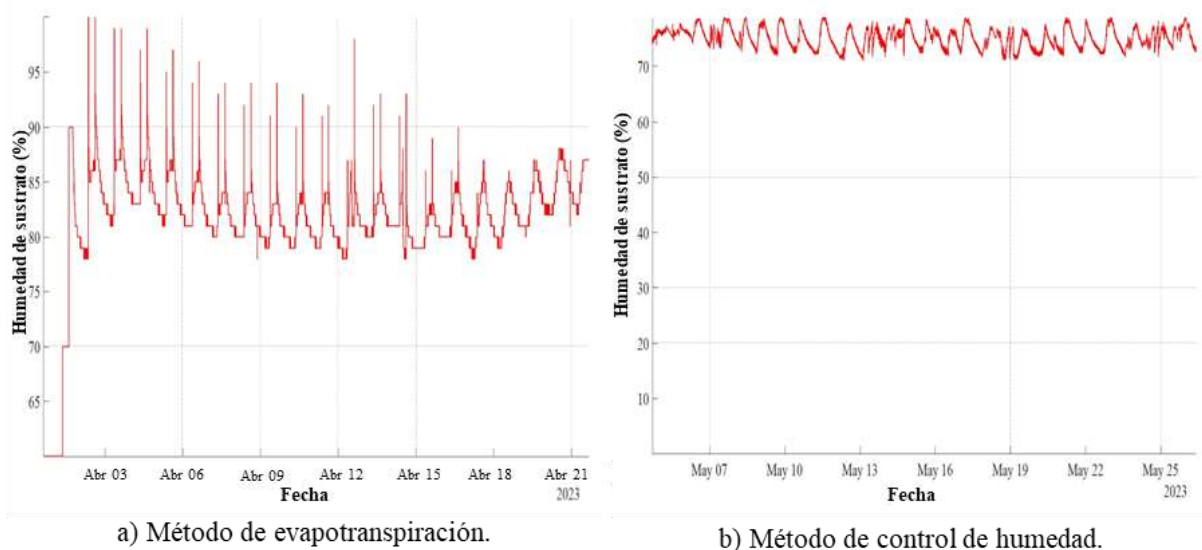


Figura 12. Lectura de la señal de humedad del sustrato durante la fase experimental.

Uno de los principales parámetros evaluados en este trabajo es el ahorro en el consumo del recurso hídrico. En investigaciones previas, como la de Rivai et al. (2019), se simula un control PI en una bomba y se compara con un método temporizado de riego por goteo, donde se logra un ahorro del 46.2% en el consumo hídrico, al implementar el controlador en lugar del método tradicional. Por su parte, Balbis (2019) compara el consumo hídrico de un control EMPC (*Economic Model Predictive Control*) con un controlador *on-off* mediante el método de evapotranspiración, donde el objetivo es mantener una lámina de agua de 24 mm en el suelo, el resultado es que el EMPC logra un

ahorro del 15% en comparación con el controlador *on-off*. Así mismo, Souza et al. (2020) implementan un controlador Mandani *Fuzzy Logic* para regular el volumen de riego y, al compararlo con un método de evapotranspiración, obtiene un ahorro del 18%.

En este proyecto, se compara el control de la humedad del sustrato con un método de evapotranspiración, el resultado es un ahorro del 69.72% en el consumo de fertirriego. Este resultado representa una mejora en el ahorro del recurso hídrico en comparación con los trabajos mencionados. Además, a diferencia de las investigaciones previas, este estudio se

realiza a escala laboratorio, lo que añade el elemento práctico y aplicable a sistemas reales.

Resultados de la validación de los sistemas de fertirriego

La investigación implementa dos metodologías, evapotranspiración y control de humedad, para el suministro de fertirriego por goteo en un sistema hidropónico. Estas metodologías se evalúan en cultivos de pimiento (*Capsicum Annuum L.*), con el propósito dese analizar la tasa de crecimiento del cultivo (TCC). Para calcular este parámetro, se utiliza la Ec. (15) (Hunt, 1990). El análisis incluye la medición de la longitud del tallo de 12 plantas en un invernadero hidropónico durante un periodo de 21 días. La Figura 13 muestra el proceso de medición de las plantas.

$$TCC = \frac{L_2 - L_1}{T} \quad (\text{Ec. 15})$$

Dónde:

TCC = Tasa de crecimiento del cultivo

L_2 = Longitud 2 o final

L_1 = Longitud 1 o inicial

T = Tiempo



Figura 13. Medición de plántulas.

Al finalizar las mediciones se obtienen los resultados, como se muestra en la Figura 14. Donde, se puede apreciar, la dinámica de crecimiento de los cultivos durante el periodo establecido. Al calcular la TCC promedio para este método se obtiene un valor de $0.1369 \text{ cm} \cdot \text{día}^{-1}$. El cultivo con mayor TCC fue la planta 10, con $0.2714 \text{ cm} \cdot \text{día}^{-1}$, y el de menor fue la planta 3, con $0.0286 \text{ cm} \cdot \text{día}^{-1}$. De la misma forma se evalúa el consumo de fertirriego, al utilizar un total de 213.5 L, como se muestra en la Figura 15.

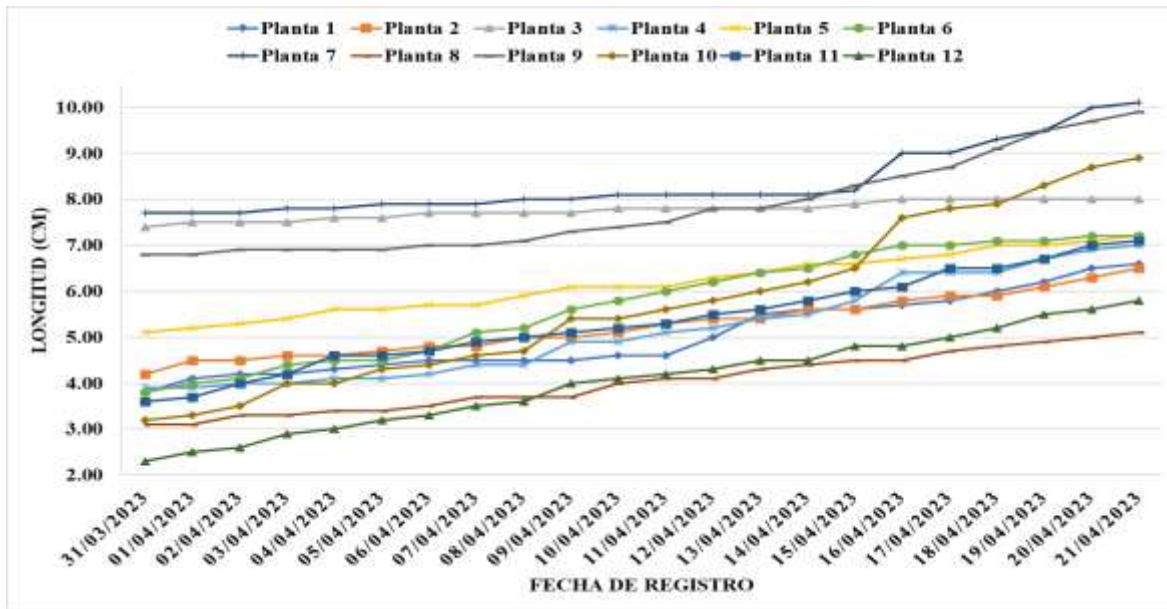


Figura 14. Longitud de las plantas con el método de evapotranspiración durante el experimento.

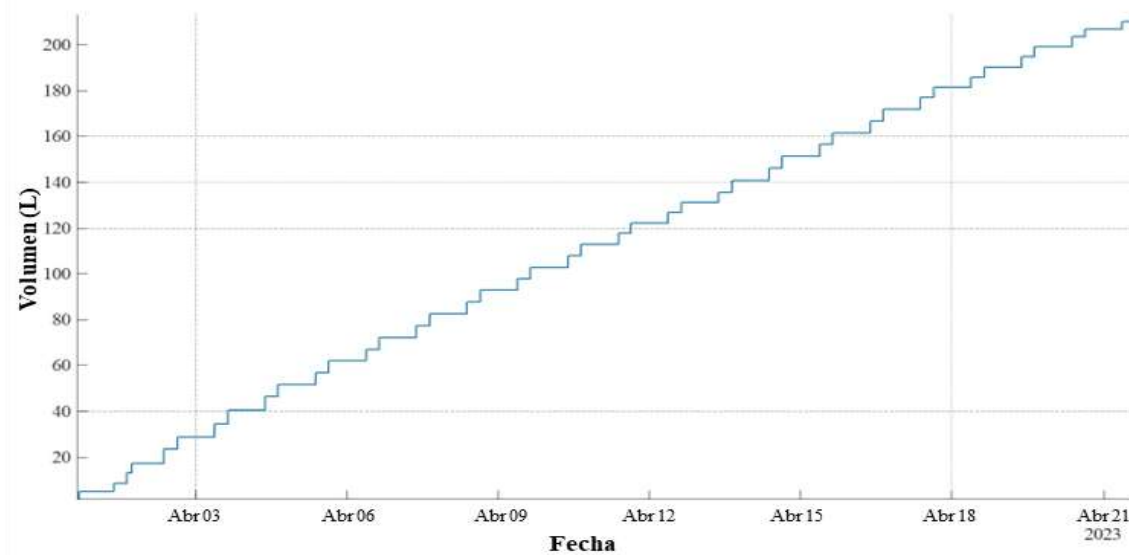


Figura 15. Volumen total de fertirriego aplicado al utilizar el método de evapotranspiración.

En la Figura 16 se muestra la dinámica de crecimiento de los cultivos con control de humedad en el sustrato. Para este método se obtuvo una TCC de $0.1196 \text{ cm} \cdot \text{día}^{-1}$. El cultivo con mayor TCC fue la planta 10, con $0.2333 \text{ cm} \cdot \text{día}^{-1}$, y el de menor TCC fue la planta 5, con $0.0733 \text{ cm} \cdot \text{día}^{-1}$. De la misma manera se evalúa el consumo de fertirriego. Para este método se obtiene un consumo de 64.57 L, este se muestra en la Figura 17.

Se muestra una disminución en la tasa de crecimiento (14.08% menor respecto al método de evapotranspiración) como un efecto esperado del riego con déficit hídrico controlado, donde el cultivo recibe un volumen de agua menor al total por evapotranspiración, lo cual mantiene la humedad del sustrato dentro de un rango favorable (71 %–79 %). En estas condiciones, la planta puede reducir su tasa de expansión foliar y elongación debido al cierre

estomático, asociado tanto al menor contenido hídrico disponible como al incremento de la temperatura máxima registrada durante el periodo experimental (52 °C frente a 46 °C en el método de evapotranspiración), condiciones que favorecen un mayor déficit de presión de vapor y una reducción temporal de la actividad fotosintética.

Estos resultados coinciden con lo reportado por Soto-Bravo & Monge-Palma (2023), quienes observaron reducciones de biomasa en pimiento bajo estrategias de riego deficitario, sin afectar significativamente el rendimiento final. De igual manera, Souza et al. (2020) y Krishnan et al. (2020) con los controladores inteligentes priorizan la eficiencia hídrica frente al crecimiento vegetativo.

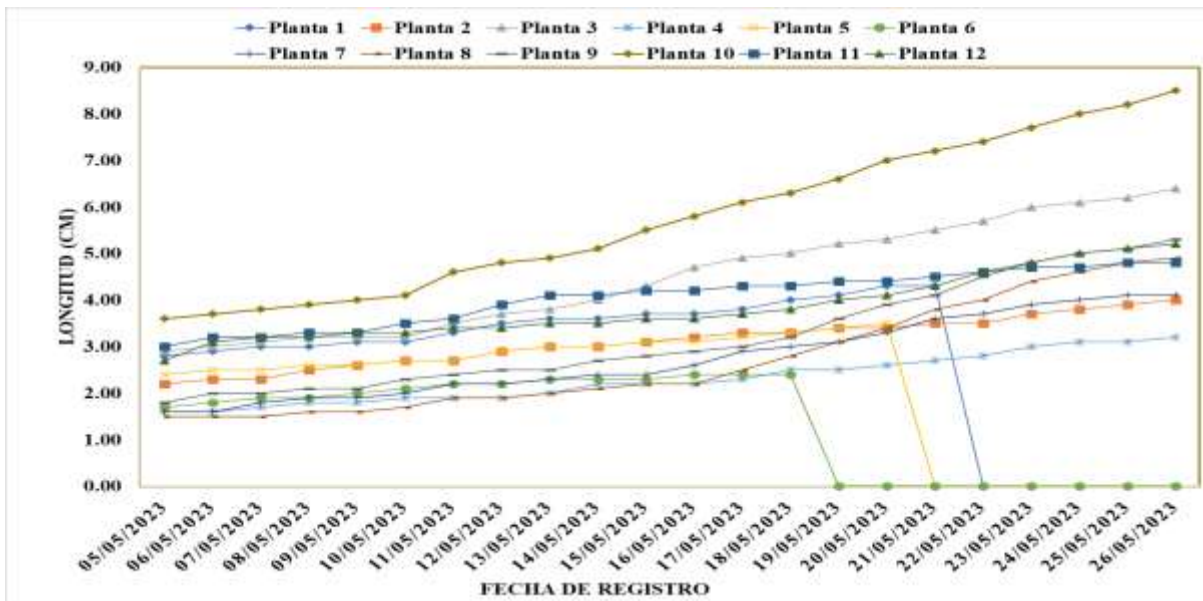


Figura 16. Longitud de las plantas con método de control de humedad durante el experimento.

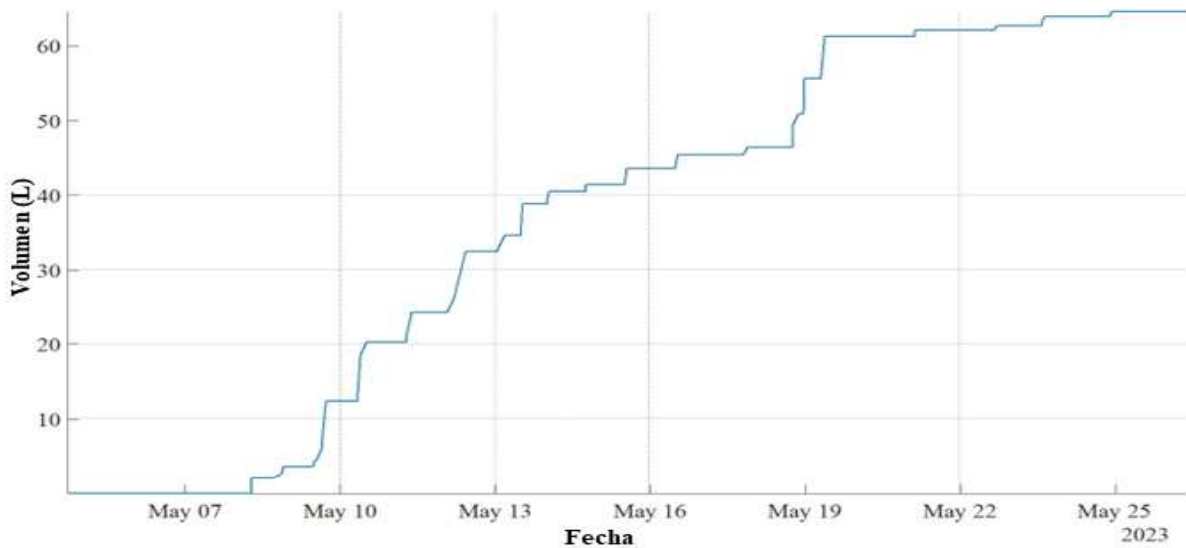


Figura 17. Volumen total de fertirriego aplicado al utilizar el método de control de humedad.

Otro parámetro para evaluar en este trabajo es el control de la humedad del sustrato. Donde, el porcentaje deseado, varía según el cultivo. Por ejemplo, Elhassan et al. (2018) implementan un control de humedad al utilizar una histéresis con un rango de 30% a 70%. De igual manera, Hamonangan et al. (2019) desarrollan un control *on-off* para una bomba y una válvula de riego que opera con una histéresis en su funcionamiento. Este estudio realiza 20 corridas y alcanza una precisión del 90%. También, Cohen-Manrique et al. (2020) ajustan un controlador PID, para satisfacer los requerimientos de humedad en un cultivo de ahuyama, e integra variables como la evapotranspiración y el balance hídrico. Este sistema, logra mantener un error menor al 2%.

Además, Souza et al. (2020) utilizan un controlador difuso para monitorear la humedad del suelo y evaluar el crecimiento del cultivo. El error del sensor es de 2.5%, y se registra una mejora del 10% en el crecimiento del cultivo en comparación con el método de evapotranspiración. En el presente trabajo, el controlador difuso alcanza un error cuadrático medio (ECM) de 3.27% al controlar la humedad del sustrato, esto mantiene un rango de humedad preciso. Esto representa una mejora al compararlo con el método de evapotranspiración, el cual presenta un ECM de 19.68%.

V. Conclusiones

En este estudio se diseña e implementa un controlador que se basa en lógica difusa, este se aplica a un sistema de fertirriego hidropónico para un invernadero de tipo micro túnel a escala laboratorio y se valida con un cultivo de pimiento (*Capsicum Annuum L.*). El sistema controlado se compara con una metodología tradicional que se basa en el modelo de evapotranspiración Penman-Monteith, donde se destaca el impacto en el uso del recurso hídrico y el

crecimiento del cultivo. Los resultados muestran que el sistema de lógica difusa obtiene un ahorro hídrico del 69.72%, esto presenta una mejora significativa frente a otros métodos reportados en la literatura. Sin embargo, no se observa un incremento en la tasa de crecimiento del cultivo, la cual fue 14.08% menor en comparación con el método de evapotranspiración. A pesar de esto, el control mantiene la humedad del sustrato en un rango estable y reduce el error cuadrático medio en comparación con el método de evapotranspiración, lo cual indica un manejo adecuado del recurso hídrico sin afectar el desarrollo del cultivo.

El uso de la lógica difusa en sistemas de fertirriego tiene potencial de aplicación en otros sistemas agrícolas, especialmente en condiciones donde la disponibilidad de agua es limitada y se requiere una mejora en la precisión del riego. Además, pueden ser implementados en sistemas no lineales sin la necesidad de un modelo matemático, lo que genera una alternativa para la producción en invernaderos. No obstante, la principal limitación del estudio es la falta de comparación con otros controladores.

Como trabajo futuro, se propone integrar técnicas de control adicionales, como la que se basa en redes neuronales artificiales y control PID, con el fin de evaluar su desempeño comparativo en términos de eficiencia hídrica y crecimiento del cultivo. Asimismo, se sugiere extender la experimentación a ciclos productivos completos, con el propósito de validar la aplicabilidad del sistema en distintos contextos agrícolas. Finalmente, se recomienda incluir plantas testigo y realizar ajustes de biomasa, para evaluar el desempeño y la precisión de los controladores a implementar.

VI. Agradecimientos

Al Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías, Tecnológico Nacional de México, Campus Culiacán y al proyecto TecNM: 19224-24p, por el apoyo financiero brindado y al por las facilidades para la ejecución del proyecto.

VII. Referencias

Alberto, M., Nava, G., Alberto, O., Espinosa, R., & Nieto, N. D. (2023). manual de producción de plantas medicinales con técnica de hidroponía. <https://www.researchgate.net/publication/370490962>

Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D., & Smith, M. (1998). Crop Evapotranspiration (guidelines for computing crop water requirements).

Azua Barron, M., Arteaga-Ramirez, R., Vázquez-Peña, M. A., & Quevedo-Nolasco, A. (2020). Calibración y evaluación de modelos matemáticos para calcular evapotranspiración de referencia en invernaderos. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 11(1), 125–137. <https://doi.org/10.29312/remexca.v11i1.1906>

Balbis, L. (2019). Economic Model Predictive Control for Irrigation Systems. 2019 8th International Conference on Modeling Simulation and Applied Optimization (ICMSAO), 1–4. <https://doi.org/10.1109/ICMSAO.2019.8880332>

Beer, F. P. ., Johnston, E. Rusell., Eisenberg, E. R. ., Mazurek, D. F. ., León Cardenas, Javier., & Murrieta Murrieta, J. Elmer. (2007). *Mécanica vectorial para ingenieros: estática*. McGraw-Hill Interamericana.

Cohen-Manrique, C. S., Burbano-Bustos, A. F., Salgado-Ordosgoitia, R. D., & Merlano-Porto, R. H. (2020). Control de riego en

cultivos de ahuyama en Sincelejo, Sucre (Colombia) gestionados a través del Internet de las Cosas. *Información Tecnológica*, 31(5), 79–88. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642020000500079>

Dorf, R. C. ., Bishop, R. H. ., Dormido Canto, S., & Dormido Canto, Raquel. (2005). *Sistemas de control moderno*. Pearson Educación.

Dwiratna, S., Amaru, K., & Nanda, M. A. (2022). The Modified Hydroponic Kit Based on Self-Fertigation System Designed for Remote Areas. *Horticulturae*, 8(10). <https://doi.org/10.3390/horticulturae8100948>

Elhassan Ahmed, O. M., Osman, A. A., & Awadalkarim, S. D. (2018). A Design of an Automated Fertigation System Using IoT. 2018 International Conference on Computer, Control, Electrical, and Electronics Engineering (ICCCEEE), 1–5. <https://doi.org/10.1109/ICCCEEE.2018.8515772>

Hamonangan Nasution, T., Dahlan Parinduri, A., Adlin Harahap, L., & Fahmi Nasution, C. (2019). Design of soil moisture control prototypes for plant cultivation. 2019 The 3rd International Conference on Electrical, Telecommunication and Computer Engineering (ELTICOM), 82–85. <https://doi.org/10.1109/ELTICOM47379.2019.8943884>

Hunt, R. (1990). *Basic Growth Analysis*. Springer Netherlands. <https://doi.org/10.1007/978-94-010-9117-6>

Krishnan, R. S., Julie, E. G., Robinson, Y. H., Raja, S., Kumar, R., Thong, P. H., & Son, L. H. (2020). Fuzzy Logic based Smart Irrigation System using Internet of Things. *Journal of Cleaner Production*, 252, 119902. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.119902>

Martínez-González, F., Sosa-Pérez, F., & Ortiz-Medel, J. (2010). Comportamiento de

la humedad del suelo con diferente cobertura vegetal en la Cuenca La Esperanza. *Tecnología y Ciencias Del Agua*, 1(4), 89–103.

http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-24222010000400005&lng=es&nrm=iso

Merritt, H. E. (1967). *Hydraulic Control Systems*. John Wiley & Sons. www.manaraa.com

Núñez-González, G., Velázquez-Pérez, D., Pelayo-Cortés, F. J., & Barboza-Jiménez, P. (2019). Analysis of reference evapotranspiration behavior during the rainy season at five weather stations in the Lerma-Chapala basin. *Ingeniería Agrícola y Biosistemas*, 11(2), 147–159. <https://doi.org/10.5154/r.inagbi.2018.06.014>

Ogata, K. (2010). *Ingeniería de control moderna*. Pearson Educación.

Ordoñez Avila, J. L., & Portillo, E. S. (2020). Diseño e Implementación de un Controlador Difuso para Control de Frecuencia de un Motor en un PLC S7-1200. *Proceedings of the LACCEI International Multi-Conference for Engineering, Education and Technology*. <https://doi.org/10.18687/LACCEI2020.1.1.490>

Perlite Institute. *Water-Holding Capacity of Perlite*. 2019. Available online: <https://hessperlite.com/PDFs/Perlite-WaterHolding-Capacity.pdf>

Rivai, M., Suwito, Ashari, M., & Mustaghfirin, M. A. (2019). Drip Irrigation System using BLDC Motor-driven Direct Pumping and Soil Moisture Sensor. *ICOMITEE*, 221–226. <https://doi.org/10.1109/ICOMITEE.2019.8921024>

Rodríguez-Fernández, J., Cerdá-Filiu, L. M., & Sánchez-Horneros, R. (2014). *Automatismos industriales* (C. Lara

Carmona, Ed.; 1st ed.). Paraninfo. www.paraninfo.es

SEMARNAT. (2020). Decreto por el que se aprueba el Programa Nacional Hídrico 2020-2024.

https://sinav30.conagua.gob.mx:8080/pnh/PNH_2020_2024.pdf

Soto-Bravo, F., & Monge-Palma, J. I. (2023). Comportamiento morfofisiológico y productivo de chile dulce hidropónico en invernadero con diferentes estrategias de manejo del fertiriego. *Agronomía Costarricense*, 37–57. <https://doi.org/10.15517/rac.v47i1.53948>

Souza, G., Aquino, P. T., Filev Maia, R., Kamienski, C., & Soininen, J.-P. (2020). A fuzzy irrigation control system. *2020 IEEE Global Humanitarian Technology Conference (GHTC)*, 1–6. <https://doi.org/10.1109/GHTC46280.2020.9342960>

van Os, E. A., Gieling, Th. H., & Lieth, J. H. (2019). *Technical Equipment in Soilless Production Systems*. In *Soilless Culture* (pp. 587–635). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-63696-6.00013-X>

Vázquez Rueda, M. G., Ibarra Reyes, M., Flores García, F. G., & Moreno Casillas, H. A. (2018). Redes neuronales aplicadas al control de riego usando instrumentación y análisis de imágenes para un micro-invernadero aplicado al cultivo de Albahaca. *Research in Computing Science*, 147(5), 93–103. <https://doi.org/10.13053/rcs-147-5-7>



Revista Internacional de Investigación e Innovación Tecnológica

Página principal: www.riit.com.mx

Determinación de fenoles y flavonoides totales, capacidad antioxidante y análisis proximal de semilla de *Carica papaya* y *Citrullus lanatus*

Determination of total phenols and flavonoids, antioxidant capacity and proximate analysis of *Carica papaya* and *Citrullus lanatus* seed

Ramos-Rendón, M., Martínez-Flores, H.E., Lemus-Pérez, A.P., Contreras-Chávez, R., Tranquilino-Rodríguez, E., Sánchez-Vázquez, R.*

Facultad de Químico Farmacobiología, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Tzintzuntzan 173, Morelia, Michoacán, México. C.P. 58240. Teléfono 4433142152.
mireya.ramos@umich.mx; hector.martinez.flores@umich.mx; 1607941k@umich.mx; rafael.contreras@umich.mx; eunice.tranquilino@umich.mx; rosalynda.sanchez@umich.mx*

Innovación tecnológica: Valorización de residuos agroindustriales como fuentes potenciales de ingredientes funcionales.

Área de aplicación industrial: Alimentaria, farmacéutica y cosmética.

Recibido: 27 mayo 2025

Aceptado: 26 noviembre 2025

Abstract

Papaya (*Carica papaya*) and watermelon (*Citrullus lanatus*) are fruits whose pulp are eaten, while their seeds are discarded, without considering the fact that they are a source of nutrients and antioxidants. The objective of this research was to extract and quantify total phenolic compounds, total flavonoid, evaluate the antioxidant capacity and perform proximate chemical analysis of these seeds. The antioxidant capacity was determined by the (1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl) DPPH• and (2,2'-azino-bis-3-ethylbenzothiazoline -6- sulfonic acid) ABTS^{•+} radical inhibition methods, the phenolic and flavonoid content was quantified by the Folin Ciocalteu method and aluminum trichloride respectively and the proximal analysis using the techniques of the Association of Official Analytical Chemists (AOAC). The findings demonstrated that watermelon seed extract exhibited the highest concentrations of total phenolic compounds (22.83 mg EAG/g) and total flavonoid compounds (105.94 mg EQ/g), along with a better antioxidant capacity directly associated with the content of total phenolic compounds. In addition, proximate analysis

demonstrated that watermelon seeds is an important source of fatty acids (45.76%), papaya of fiber (26%), both of protein (31.73% watermelon, 26.45% papaya), and total phenolic and flavonoid compounds, and consequently of their antioxidant capacity. It is therefore recommended that both seeds be regarded as a functional ingredient source of nutrients and bioactive compounds, for use in the food, pharmaceutical, and cosmetic industries, contributing to their not being sources of waste that damage the environment.

Keywords: Antioxidants, Phenolic compounds, Proximal chemical analysis, Seeds.

Resumen

La papaya (*Carica papaya*) y sandía (*Citrullus lanatus*) son frutas cuya pulpa se ingiere, mientras que sus semillas son desechadas, sin considerar que son fuente de nutrientes y de antioxidantes. El objetivo de la presente investigación fue extraer y cuantificar compuestos fenólicos totales, flavonoides totales, evaluación de la capacidad antioxidante y análisis químico proximal de dichas semillas. La capacidad antioxidante se determinó por los métodos de inhibición del radical (1,1-difenil-2-picrilhidrazilo) DPPH[•] y (2,2'-azino- bis- 3-etilbenzotiazolina -6- ácido sulfónico) ABTS^{•+}, se cuantificó el contenido fenólico y flavonoides por el método Folin Ciocalteu y tricloruro de aluminio respectivamente, el análisis proximal mediante las técnicas de la Association of Official Analytical Chemists (AOAC). Los resultados mostraron que el extracto de semilla de sandía presentó el mayor contenido de compuestos fenólicos totales (22.83 mg EAG/g) y de compuestos flavonoides totales (105.94 mg EQ/g), así como una mejor capacidad antioxidante directamente relacionada con el contenido de compuestos fenólicos totales. Además, el análisis proximal indicó que la semilla de sandía es fuente importante de grasa (45.76%), la de papaya de fibra (26%), ambas de proteínas (31.73% sandía, 26.45% papaya) y de compuestos fenólicos y flavonoides totales con capacidad antioxidante considerándose a ambas semillas como un ingrediente funcional fuente de nutrientes y de compuestos bioactivos para ser utilizados como ingrediente alimentario y en la industria farmacéutica y cosmética, contribuyendo a que no sean fuentes de desecho que dañen el medio ambiente.

Palabras clave: Análisis químico proximal, Antioxidantes, Compuestos fenólicos, Semillas.

1. Introducción

La sandía es una fruta que aporta diversos beneficios a la salud debido a su bajo contenido calórico, su alto valor nutrimental y su elevado contenido de agua. La papaya como fruta tropical es reconocida como alimento funcional de alto valor nutritivo y con propiedades medicinales. Existen diferentes variedades de ambas frutas que difieren en sus características fisicoquímicas

y morfológicas. México se encuentra entre los principales países productores de sandía, la variedad Santa Amelia destaca por poseer la mayor cantidad de semillas [1], la variedad Maradol en papaya es la más ampliamente cultivada y comercializada [2].

Las semillas representan aproximadamente el 2% y del 8 al 15% en peso fresco en sandía y papaya respectivamente [2,3], constituyen

una de las partes menos aprovechadas, comúnmente son consideradas residuos agroindustriales cuyo manejo inadecuado repercute directamente en el equilibrio medioambiental. El aprovechamiento de estos subproductos con potencial debido a sus ingredientes funcionales los convierte en posibles alternativas de uso de innovación en la industria alimentaria y/o cosmética, contribuyendo a reducir el impacto ambiental [4,5]. Aunque, en la literatura existen diversos estudios sobre los frutos de sandía y papaya, sobre sus semillas, las investigaciones son muy limitadas. Principalmente, existen estudios sobre sus dimensiones físicas [6], de la composición de aceites [7,8] y de algunos fitoquímicos de semillas de sandía [9] y para semillas de papaya abarcando estudios para su uso en tratamiento de aguas residuales [10], para técnicas de extracción de aceites [11], para uso como ingrediente como fuente de proteína y de aminoácidos esenciales para alimentación de pollos [12] y de la capacidad antioxidante de extractos de las semillas [13,14,15].

Por lo anteriormente expuesto, además de compuestos nutricionales, las semillas de sandía y papaya podrían contener compuestos bioactivos importantes como lo son la fibra y los compuestos fenólicos con alta capacidad antioxidante, lo cual puede ser auxiliar en la prevención de diversas enfermedades asociadas al estrés oxidativo como son las cardiovasculares, el cáncer, diabetes y la obesidad [10]. Dado que, no se ha encontrado en la literatura revisada estudios que analicen de manera conjunta la composición fenólica total, de la capacidad antioxidante y de la

composición química proximal, lo novedoso de este estudio es que se abordarán tanto los atributos nutricionales (proteínas, lípidos, carbohidratos) como algunos compuestos bioactivos presentes en las semillas, lo que aportaría una visión más completa de la funcionalidad de estos residuos agroindustriales que permitiría considerarlos como ingredientes en la formulación de alimentos, de la industria farmacéutica y/o de la cosmeceútica.

El objetivo del presente trabajo fue determinar la presencia de compuestos fenólicos y flavonoides totales, la capacidad antioxidante y el análisis químico proximal de las semillas de *Carica papaya* y *Citrullus lanatus*, para valorar su potencial uso como fuente de nutrientes y compuestos bioactivos

2. Materiales y métodos

En la presente investigación se utilizaron sandía variedad Santa Amelia y papaya variedad Maradol obtenidas en el Mercado Independencia en la ciudad de Morelia, Michoacán, México. Las semillas se separaron del fruto, se colocaron en el horno hasta que estuvieran completamente duras y secas al tacto, las semillas de sandía en un horno a 50 °C tomaron un tiempo de 72 h, mientras que la semilla de papaya a 60 °C de 24 h, finalmente se molieron con una licuadora marca Osterizer Blender Classic hasta obtener un polvo fino, posteriormente se tamizaron en malla del número 60 de 250 µm, las muestras se guardaron en bolsas de polietileno de baja densidad (PBD), se almacenaron en refrigeración a -20 °C.

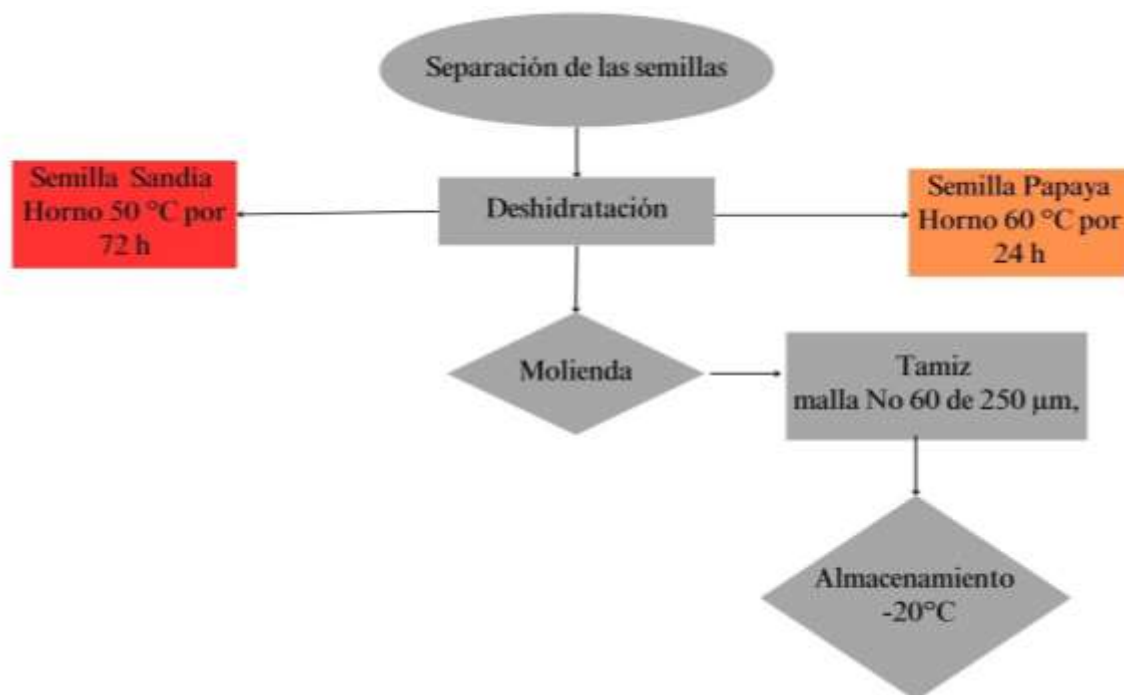


Figura 1. Tratamiento de las semillas de sandía y papaya.

2.1 Obtención de los extractos

El proceso de extracción de compuestos fenólicos y flavonoides fue para ambas semillas y se realizó en tubos Falcón, se colocaron 2 g de muestra con 20 mL de metanol al 97% dejando reposar la mezcla por 24 h en refrigeración a 4 °C. Posteriormente, el extracto se filtró con papel filtro de 1 µm. La muestra se concentró en un rotavapor marca Hahnvapor Hahnshin Scientific CO modelo HS-2001 NS hasta sequedad y el material seco se almacenó a 4 °C.

2.2. Determinación de fenoles totales y flavonoides

Se determinó el contenido de fenoles totales de los extractos de semilla por el método de Folin-Ciocalteu con modificaciones [16]. Se colocaron 250 µL de extracto de semilla de sandía con un factor de dilución de 20 y 250

µL de extracto de papaya con un factor de dilución de 5, ambas con metanol al 97%. A cada una de las muestras obtenidas se les agregaron 250 µL de reactivo de Folin-Ciocalteu y 250 µL de Na₂CO₃ a una concentración de 75 g/L, se homogeneizaron y colocaron en baño María por 30 min a 40 °C. Al transcurrir el tiempo se retiraron del baño, se añadieron 2 mL de H₂O desionizada a cada tubo y las absorbancias se leyeron en espectrofotómetro Spectronic 20 Genesis a 750 nm en condiciones de oscuridad. Los resultados se expresaron en miligramos de equivalente de ácido gálico mg EAG/g de muestra seca con curva de calibración. Se preparó una curva de calibración para ácido gálico entre 0 a 0.2 mg/mL en metanol mediante diluciones de 0, 20, 50, 70, 90, 110, 150 µg/mL, a partir de la cual se realizó una regresión lineal Figura 2.

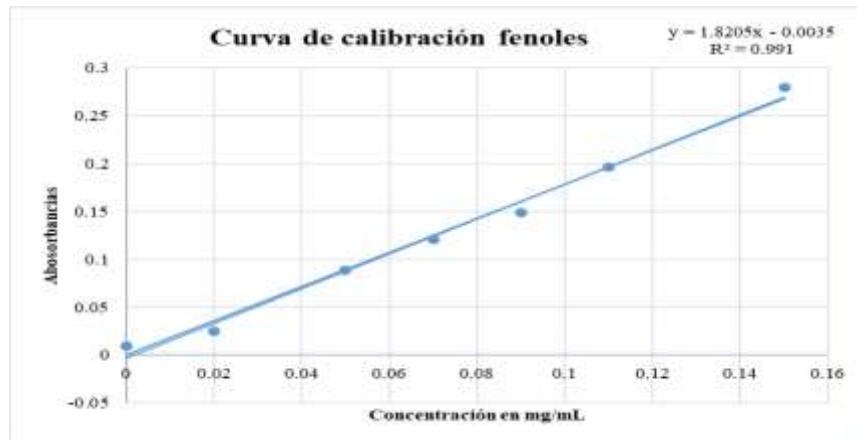


Figura 2. Curva de calibración con ácido gálico para cuantificación de compuestos fenólicos totales.

El contenido de flavonoides se evaluó de acuerdo con el método del tricloruro de aluminio [17] con modificaciones. Se colocaron 150 μ L de extracto de semilla de sandía y papaya con un factor de dilución de 20 y 10, respectivamente ambas con metanol al 97%. A cada muestra se les agregaron 150 μ L de NaNO_2 5%, 150 μ L de AlCl_3 10% y 1 mL de NaOH 0.1N. Finalmente, se leyeron las absorbancias a una longitud de onda de 510 nm en espectrofotómetro. Los resultados

fueron expresados como miligramos de equivalentes de quercetina (mg EQ)/g de muestra seca, medidas en condiciones de oscuridad. Los resultados se calcularon utilizando una curva de calibración con quercetina con un rango de concentración de 0 a 0.6 mg/mL mediante diluciones 0, 0.05, 0.1, 0.15, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5, 0.6 mg/mL a partir de la cual se realizó una regresión lineal Figura 3.

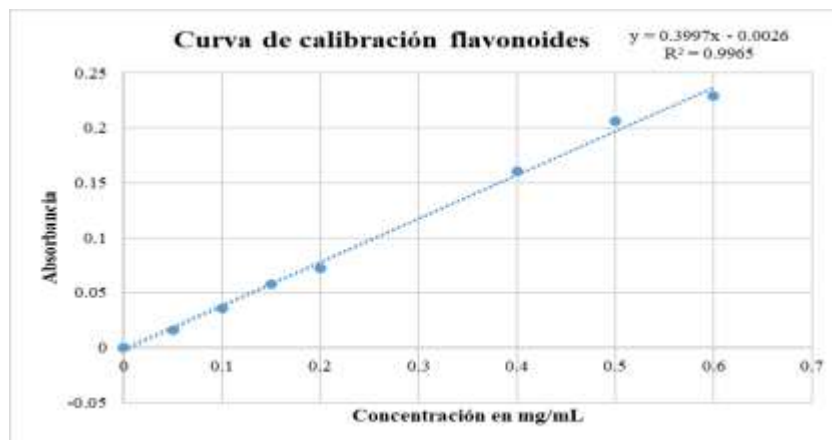


Figura 3. Curva de calibración con quercetina para determinar compuestos flavonoides totales.

2.3. Determinación de la capacidad antioxidante

La capacidad para capturar radicales libres de los extractos fue determinada utilizando como referencia DPPH y ABTS, ambos con modificaciones [18]. Para la capacidad antioxidante con el radical DPPH $^{\bullet}$, se

colocaron 50 μ L del extracto con 2950 μ L de DPPH, se dejó en incubación por 30 min en oscuridad a temperatura ambiente, se leyó la absorbancia en espectrofotómetro a 517 nm utilizando metanol como blanco. La determinación de la capacidad antioxidante con el radical ABTS $^{\bullet+}$, se determinó

colocando 100 μL de extracto con 1900 μL del reactivo ABTS, se leyó la absorbancia en espectrofotómetro a 734 nm utilizando como blanco etanol.

Los valores de absorbancia para ambos radicales se determinaron con el porcentaje de inhibición por medio de la siguiente ecuación:

$$\% \text{ de Inhibición} = \left[\left(\frac{\text{Abs Control} - \text{Abs Muestra}}{\text{Abs Control}} \right) \right] * 100 \quad (\text{Ec. 1})$$

La validez del método se garantiza mediante controles de calidad. Cada ensayo se realizó por triplicado (reportándose media \pm desviación estándar), e incorporó controles de blancos para asegurar la fiabilidad de los datos. Asimismo, se calibró el espectrofotómetro con estándares reconocidos (Trolox) y se establecieron curvas de calibración lineales para avalar la exactitud de las mediciones; adicionalmente, se verificó la estabilidad de las absorbancias a lo largo del análisis.

Sin embargo, los resultados obtenidos por este método se reportan como IC50 (concentración inhibitoria media), la concentración de compuestos antioxidantes que es capaz de inhibir el 50% del radical DPPH $^{\bullet}$ o ABTS $^{+\bullet}$ según sea el caso.

2.4. Análisis proximal de las semillas

El análisis proximal se realizó acorde a la metodología descrita por la (AOAC) [19] para humedad, extracto etéreo, proteína, cenizas y fibra, los carbohidratos se realizaron por diferencia, aplicando la siguiente fórmula carbohidratos = 100 - (Extracto etéreo + proteínas, cenizas y fibra).

Para la determinación de humedad se pesaron 3 g de muestra y se colocaron en un horno de secado marca FELISA a 105 $^{\circ}\text{C}$ durante 3 horas, el contenido de agua se calculó por diferencia de peso expresado en porcentaje de humedad. El contenido de cenizas se realizó con 3 g de muestra en la mufla marca FELISA a 550 $^{\circ}\text{C}$ durante 3 horas. La determinación

de proteína se realizó por el método Kjeldahl el cual consta de tres etapas: digestión, destilación y valoración, la materia nitrogenada total se obtiene con la AOAC [19]. El extracto etéreo se montó en el equipo de extracción Soxhlet con 3 g de muestra en papel filtro cerrado durante 5 horas a 37 $^{\circ}\text{C}$.

2.5. Análisis estadístico

El análisis de los datos para la capacidad antioxidante por captura de radicales DPPH y ABTS se realizó mediante una prueba t de Student para muestras independientes, considerando diferencias significativas con un nivel de probabilidad del 95% ($p < 0.05$). Los análisis se realizaron por triplicado.

El análisis químico proximal se realizó mediante un análisis de varianza de tipo ANOVA de una sola vía con nivel de probabilidad del 95% ($p < 0.05$) con el programa estadístico JMP versión 6.0.

Se determinó la correlación de Pearson para determinar la relación entre el contenido de fenoles y flavonoides con la capacidad antioxidante por DPPH $^{\bullet}$ y ABTS $^{+\bullet}$ de los extractos de ambas semillas.

3. Resultados y Discusión

3.1. Contenido de compuestos fenólicos totales y de compuestos flavonoides totales

En la Figura 4 se muestra el contenido de compuestos fenólicos y compuestos flavonoides de las semillas de papaya y

sandía. Se observó que el extracto de semilla de sandía posee un contenido de compuestos fenólicos y de flavonoides significativamente mayores ($p < 0.05$) que los extractos de papaya. En la literatura [20] se reportan valores de compuestos fenólicos en sandía de 14.94 mg EAG/g, 54.16 mg EAG/g y 39.49 mg EAG/g para la variedad Charleston gray, Crimson sweet y Black diamond respectivamente; mientras que en la variedad del presente trabajo Santa Amelia se presentaron en una concentración de 22.83 mg EAG/g; los diferentes valores en los contenidos de una variedad a otra se ve influenciada por factores como el origen geográfico que incluye las circunstancias climáticas dominantes durante la temporada de cultivo (humedad, aire, luz y temperatura), estado de maduración del fruto, protocolo de extracción y las diferencia genotípicas que impactan significativamente en la cantidad de fenoles y flavonoides presentes en las distintas variedades [21,22,23].

Los flavonoides son otro grupo de compuestos de importancia presentes en la semilla de ambas frutas, ejercen efectos terapéuticos en humanos incluyendo la prevención de varias enfermedades cardiovasculares, aquellas relacionadas con el envejecimiento, obesidad, diabetes y algunos tipos de cáncer [24]. Aun cuando la extracción de estos compuestos se ve favorecida por el metanol [25], en la Figura 4 se observa que el contenido de flavonoides totales en el extracto de semilla de sandía fue de 105.94 mg EQ/g, valor inferior al reportado en la literatura [26] de 178.92 mg EQ/g, para extractos obtenidos mediante extracción asistida por ultrasonido. Esta técnica es efectiva en la extracción de compuestos fenólicos, basada en el fenómeno de cavitación el cual implica la formación, crecimiento y colapso de millones de burbujas que permiten una interacción significativa entre el solvente y la muestra permitiendo su mejor extracción [27].

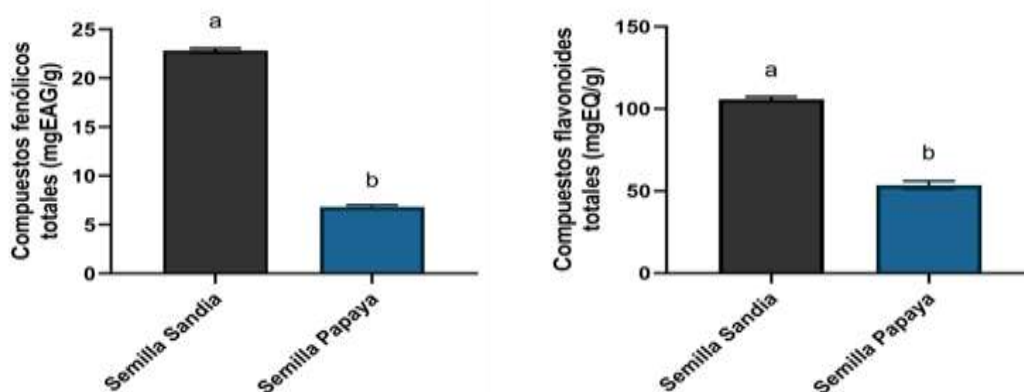


Figura 4. Compuestos fenólicos totales (izquierda) y compuestos flavonoides totales (derecha) de las semillas de sandía y papaya. Letras diferentes indican diferencias significativas según la prueba t de Student, $p < 0.05$. Realizado por triplicado.

La semilla de papaya constituye una fuente importante de diversos metabolitos secundarios, entre los que destacan los compuestos fenólicos, conocidos por sus propiedades antiinflamatorias, antioxidantes, anticancerígenas, antidiabéticas y antihelmínticas, entre otras [28]. En el

presente estudio, el contenido de compuestos fenólicos totales fue de 6.83 mg GAE/g, valor comparable al reportado por Jia et al, (2021) quienes obtuvieron 6.42 mg GAE/g utilizando etanol como solvente de extracción [14]. Diversas investigaciones han demostrado que el uso de metanol como

disolvente, bajo condiciones controladas, favorece la liberación y recuperación eficiente de compuestos con actividad antioxidante presentes en semilla de papaya, lo que se traduce en un mayor rendimiento de polifenoles y flavonoides totales [29].

Los flavonoides son compuestos bioactivos que se encuentran predominantemente en las semillas, hojas y flores de *Carica papaya* [30]. En el estudio realizado por Yoon et al. [14] se reportó un incremento en el contenido total de flavonoides en los extractos de semillas a medida que avanza el proceso de maduración [31]. El contenido de flavonoides en las semillas de papaya analizada fue de 53.46 mg EQ/g, lo que sugiere un alto potencial para el aprovechamiento de este subproducto en aplicaciones farmacéuticas y alimentarias.

3.2. Capacidad antioxidante de fenoles y flavonoides totales

La actividad antioxidante está basada en reacciones redox entre los extractos de semilla y los radicales DPPH[•] y ABTS^{•+}, ambos determinados por espectrofotometría, todos los extractos presentaron capacidad de neutralizar dichos radicales. La capacidad antioxidante de cada tipo de semilla, expresada como la concentración inhibitoria media (IC50), se muestra en la Figura 5. Con respecto a la semilla de papaya se encontraron valores de IC50 para DPPH de 0.46 ± 0.002 mg/mL y en ABTS de 0.11 ± 0.006 mg/mL, valores de IC50 mayores al comparar con variedades de otras regiones donde se reportan valores promedios de 0.29 mg/mL para el radical ABTS^{•+} en muestras de papayas de Senegal, estos estudios recientes han demostrado que el contenido de fenoles y flavonoides y su capacidad antioxidante depende de factores como la ubicación geográfica donde se cultiva, prácticas agrícolas y método de extracción [23]. En

semilla de sandía se obtuvieron valores de 0.25 ± 0.003 mg/mL y 0.08 ± 0.003 mg/mL para DPPH y ABTS, respectivamente, la literatura ha reportado valores de 0.6 (mg/mL) en DPPH [28] y de 0.10 mg/mL [32] para muestras de sandía de Nigeria. Considerando que valores más bajos de IC50 significan una mayor capacidad antioxidante, estos resultados implican una mayor eficacia en la inhibición de la actividad biológica medida mediante dichos radicales.

En cuanto a la sandía, investigaciones recientes han mostrado que las semillas tienen un alto contenido de compuestos bioactivos, incluidos fenoles, flavonoides y carotenoides, que contribuyen a su actividad antioxidante. Un estudio de 2025 destacó que las semillas de sandía poseen una capacidad antioxidante significativa, aunque los valores específicos de IC50 pueden variar según el método de extracción y las condiciones experimentales [33]. Además, la variabilidad en los resultados puede estar influenciada por factores como el tipo de solvente utilizado, la temperatura de extracción y la duración del proceso.

Así mismo, al comparar la capacidad antioxidante de ambas semillas se observa mayor potencia para inhibir el radical ABTS^{•+}, efecto contemplado en diferentes estudios que sugieren enfáticamente que, al contrastar con la evaluación mediante el ensayo DPPH y método ABTS resulta más preciso para medir la capacidad antioxidante de alimentos, especialmente de frutas [34]. En adición, la semilla de sandía presentó mayor capacidad para neutralizar los radicales libres en comparación con la papaya, lo cual está relacionado con la presencia de compuestos activos del tipo antioxidante aunado a que la semilla de sandía presentó tres veces más el contenido de compuestos fenólicos y el doble de flavonoides que la semilla de papaya.

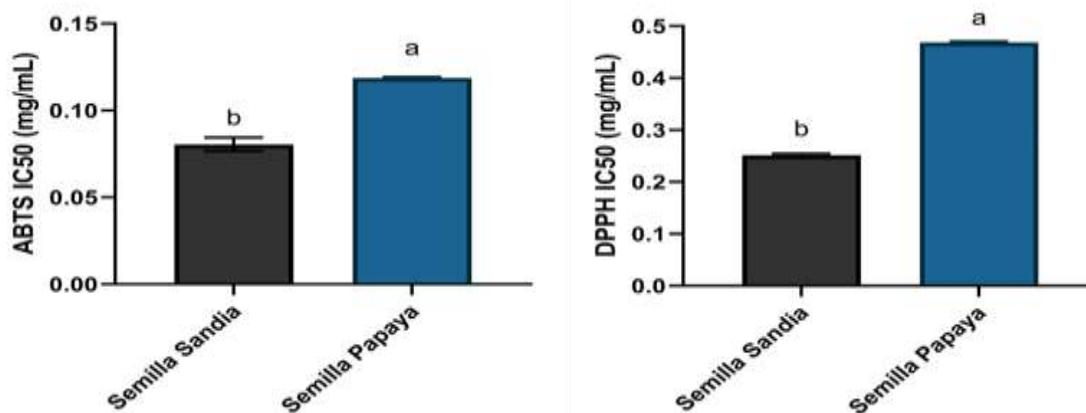


Figura 5. Capacidad antioxidante por captura de radicales ABTS (izquierda) y DPPH (derecha) de las semillas de sandía y papaya. Letras diferentes indican diferencias significativas según la prueba t de Student, $p < 0.05$. Realizado por triplicado.

Finalmente, se determinó la correlación de Pearson para evidenciar las relaciones entre las concentraciones de compuestos fenólicos y su capacidad antioxidante. En la Tabla 1 se observa que hubo una correlación alta de -0.74 en ABTS y de -0.94 en DPPH con los fenoles totales en semilla de sandía, la correlación negativa indica que, a mayor concentración de compuestos fenólicos,

menor será el IC₅₀, lo que implica una mayor capacidad antioxidante. Es decir, se necesita menos cantidad de extracto para neutralizar los radicales. Por lo tanto, el contenido de compuestos fenólicos y la actividad antioxidante, evaluada mediante la captura de radicales DPPH[•] y ABTS^{•+}, son inversamente proporcionales.

Tabla 1. Correlación del contenido de fenoles y flavonoides con la capacidad antioxidante por DPPH[•] y ABTS^{•+} de los extractos de semillas de sandía.

<i>Sandía</i>	Fenoles	Flavonoides	DPPH [•]	ABTS ^{•+}
Fenoles	1			
Flavonoides	-0.69	1		
DPPH [•]	-0.94	0.41	1	
ABTS ^{•+}	-0.74	0.99	0.48	1

Para el caso de los flavonoides, la correlación fue positiva, lo que significa que, a mayor cantidad de flavonoides, menor fue la actividad antioxidante, lo cual explica que aun cuando la concentración de flavonoides es mayor que los fenoles, la capacidad antioxidante de semilla de sandía para inhibir el radical ABTS^{•+} y DPPH[•], se encuentra

relacionada principalmente con la presencia de fenoles totales.

Diferentes estudios apoyan estos resultados, de la relación de la actividad antioxidante de semillas de diferentes variedades de sandía con los compuestos fenólicos en comparación con otros fitoquímicos como los

triterpenoides y alcaloides [35]. De igual forma, los resultados de la presente investigación pudieran estar relacionados con aquellos obtenidos por Priastomo et al. [36] cuyo análisis mostró una correlación alta entre el DPPH IC50 y fenoles totales y no hubo correlación entre la capacidad antioxidante y los flavonoides presentes en cáscara y corteza de sandía [36].

En semilla de papaya hubo una mayor concentración de flavonoides con una correlación de moderada a baja entre ABTS-

IC50 -0.58 y DPPH-IC50 -0.21(ver Tabla 2). Este estudio mostró que, en el extracto de semilla de papaya, la actividad antioxidante se debe tanto a los fenoles como a los flavonoides, por otro lado, en el extracto de semilla de sandía la actividad antioxidante se asoció directamente con los fenoles, lo cual se podría explicar debido a que los flavonoides en la semilla de sandía podrían estar unidos a moléculas de azúcar a través de procesos de glicosilación, lo que en algunos casos puede reducir su actividad antioxidante *in vitro* [37].

Tabla 2. Correlación del contenido de fenoles y flavonoides con la capacidad antioxidante por DPPH⁺ y ABTS⁺⁺ de los extractos de semillas de papaya.

<i>Papaya</i>	Fenoles	Flavonoides	DPPH ⁺	ABTS ⁺⁺
Fenoles	1			
Flavonoides	0.81	1		
DPPH ⁺	0.38	-0.21	1	
ABTS ⁺⁺	-0.94	-0.58	-0.66	1

Algunos estudios han demostrado una estrecha relación entre la capacidad antioxidante con los radicales DPPH[•] y ABTS^{•+} y la presencia de flavonoides totales en semilla de papaya con el uso de diferentes solventes y técnicas de extracción, de igual forma, aunque la cantidad de fenoles es mucho menor, existe una correlación alta -0.94 con el radical ABTS^{•+}.

Es importante evaluar la capacidad antioxidante frente a diferentes radicales debido a las diferencias en la polaridad de las moléculas antioxidantes. El radical DPPH[•] es de naturaleza poco polar, mientras que el radical ABTS^{•+} permite evaluar la actividad antioxidante de moléculas tanto polares como no polares [38].

De acuerdo con los resultados obtenidos, los extractos de las semillas de sandía contienen

principalmente compuestos fenólicos de naturaleza poco polar, que muestran una alta actividad antioxidante, sin embargo, también se observó una correlación alta con moléculas polares. El metanol, por ser un solvente polar protónico, posee la capacidad de extraer tanto compuestos fenólicos poco polares, como flavonoides en su forma de agliconas, estilbenos y tocoferoles, así como, compuestos de mayor polaridad, incluidos flavonoides glucosilados y diversos ácidos fenólicos. En particular, el metanol al 97% presenta una polaridad suficiente para solubilizar moléculas con estructuras aromáticas poco hidroxiladas, mientras que el 3% de agua presente en la mezcla incrementa la eficiencia de extracción de analitos hidrofílicos al favorecer la formación de puentes de hidrógeno y la solvatación de grupos funcionales polares [39].

En el caso de las semillas de papaya, los fenoles y flavonoides extraídos mostraron una correlación alta y media, respectivamente, con el radical ABTS⁺, lo que sugiere que la actividad antioxidante de ambos tipos de compuestos está relacionada con la presencia de tanto moléculas polares como no polares en el extracto.

En los extractos de ambas muestras de semilla, la presencia de fenoles y además de flavonoides en el caso de papaya, proporcionan una alta capacidad antioxidante comparada con otros fitoquímicos como los carotenoides y alcaloides [40,41]. Dado el contenido abundante de compuestos fenólicos totales, flavonoides y sus propiedades antioxidantes, se plantea la viabilidad de utilizar estos residuos para consumo humano y otras aplicaciones culinarias, farmacéuticas y/o cosméticas lo que puede representar una oportunidad de valorización económica.

3.3. Análisis químico proximal

Los resultados del análisis proximal de extractos de semilla de papaya y sandía en base seca se indican en la Tabla 3. Los valores del presente estudio para el extracto de sandía son muy cercanos a los reportados [42], 49%, 30%, 6% y 2.7% y por Omoniyi, S. A. [43] 50.48%, 32.38%, 6.10%, 4.90%, en cuanto a

lípidos, proteína, fibra cruda y cenizas, respectivamente.

En la semilla de papaya el contenido de lípidos (23.24%) y proteínas (26.45%) son valores cercanos a los obtenidos por Santos et al. [44] 20.5% y 23.3%, respectivamente y también de Morais et al. [45] 29.72% y 28.55%, respectivamente.

La semilla de sandía posee un alto porcentaje de lípidos (45.76%) y proteínas (31.73%) mientras que en las semillas de papaya su mayor contenido es de proteínas (26.45%) y fibra cruda (26%). El contenido de proteína de las semillas de ambas frutas analizadas son los más elevados al compararse con la semilla de aguacate (9.60%), maracuyá (13.10%) y melón (17.20%) [45]. Su contenido proteico sugiere que la harina obtenida de ambas semillas podría tener un uso relevante por su valor nutricional y propiedades funcionales como condimento en preparaciones culinarias y/o como suplemento dietético [46,47,48]. Con estos estudios se demuestra que las semillas de sandía y papaya son candidatas para utilizar como suplementos de proteínas en dietas donde haya un consumo insuficiente de dicho nutriente ya que presentan aminoácidos esenciales y no esenciales los cuales son utilizados para la construcción de proteínas y como intermediarios de su metabolismo [49].

Tabla 3. Análisis químico proximal de la semilla de sandía y papaya.

Componente	Sandía (%)	Papaya (%)
Extracto etéreo	45.76 ± 0.92 ^A	23.24 ± 0.10 ^B
Proteína	31.73 ± 0.03 ^A	26.45 ± 0.61 ^B
Carbohidratos	12.38 ± 1.00 ^B	14.71 ± 1.60 ^A
Fibra	5.50 ± 0.11 ^B	26.00 ± 0.98 ^A
Cenizas	4.6 ± 0.04 ^B	9.58 ± 0.04 ^A

Los valores en la misma fila seguidos de letras diferentes son significativamente diferentes según la prueba T- Student, p <0.05. Realizado por triplicado.

En lo que respecta al contenido de extracto etéreo de diferentes semillas de frutas, entre ellas melón (25-35 %), chía (30-32 %) y uva (17.5%) [40,41], se reconoce que la semilla de sandía contiene el mayor porcentaje (45.76%). Estudios recientes han demostrado que el perfil lipídico de semillas de papaya en su mayoría presenta ácidos grasos insaturados con características similares al de aceite de oliva lo cual pudiera ser una alternativa de comercialización [50]. Las semillas de ambas frutas poseen ácidos grasos esenciales como ácido linoleico, oleico y palmítico, entre otros que son indispensables en la alimentación y efectivos para disminuir afecciones cardiovasculares [51]. En consecuencia, futuros estudios para ambas semillas convertirán estos residuos agroindustriales parcialmente inexplorados en fuentes potenciales de antioxidantes, fibra y proteína.

4. Conclusiones

Los resultados del presente estudio demuestran la presencia de compuestos fenólicos y flavonoides en semillas de papaya y sandía, así como su relación con la capacidad antioxidante. La mayor actividad antioxidante en ambas semillas es aportada por los fenoles debido a su fuerte capacidad de eliminación de radicales libres respaldada por su correlación elevada entre DPPH y ABTS para semilla de sandía y con ABTS en semilla de papaya. Por otro lado, la semilla de sandía es fuente importante de lípidos mientras que la de papaya de fibra cruda y ambas presentan alto contenido proteico, con lo cual pueden ser consideradas como ingredientes prometedores en alimentos, con aplicaciones como suplementos alimenticios en harinas, snacks, panificación y/o extracción de aceites, otorgándoles así un valor económico.

5. Conflicto de interés

Las y los autores declaran que no existe ningún conflicto de intereses.

6. Referencias

- [1] Muhammad, N., Maham, N., Kashif, A., Aqsa, I., Faiqa, M., Muhamad, M. A. N. R., Hira, F., Aftab A. and Din, A. (2022). A comprehensive review on the watermelon phytochemical profile and their bioactive and therapeutic effects. *Korean J. Food Preserv.* 29(4):546-576. <https://doi.org/10.11002/kjfp.2022.29.4.546> https://www.ekosfop.or.kr/archive/view_article?pid=kjfp-29-4-546
- [2] Álvarez, H. J. C., Castillo, M. C. R. y Apaez, B. M. (2024). Evaluación de líneas seleccionadas de papaya para la conservación de características deseables. *inifap. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas.* 15(5). <https://doi.org/10.29312/remexca.v15i5.3723> <https://cienciasagricolas.inifap.gob.mx/index.php/agricolas/article/view/3723>
- [3] Pulido, S.A.A., Sánchez, M.D.L.L.H., Cárdenas, J.C.G., García, F.E., García, E.P.V. (2022). Producción y manejo del cultivo de papaya (*Carica papaya* L.). *Revista Biológico Agropecuaria Tuxpan,* 10(1), 164-169. <https://doi.org/10.47808/revistabioagro.v10i1.414>
- [4] Gagan, D. Ch. y Ranjana, S. (2024). Circular Beauty: Sustainable Resource Recovery and Waste Management in the Cosmetic

Industry. In book: *Technological Advancements in Waste Management: Challenges and Opportunities* (pp.379-399). DOI:[10.1007/978-981-97-6024-4_26](https://doi.org/10.1007/978-981-97-6024-4_26)
https://www.researchgate.net/publication/385941017_Circular_Beauty_Sustainable_Resource_Recovery_and_Waste_Management_in_the_Cosmetic_Industry

[5] Vinocunga, P. D. R. y Jiménez, T. F. M. (2025). Análisis de las propiedades funcionales de productos a partir de subproductos agroindustriales: Revisión sistemática. *Revista Amazónica Ciencia y Tecnología*. 10(1) pp 1-19. <https://doi.org/10.59410/RACYT-v10n01ep01-0153>
<https://revistas.uea.edu.ec/index.php/racyt/article/view/153>

[6] Razavi, S. M. A., Milani, E. (2006). Some physical properties of the watermelon seeds. *African Journal of Agricultural Research*, 1(3), 65-69.

<https://academicjournals.org/journal/AJAR/article-full-text-pdf/06539CE26636>

[7] Koocheki, A., Razavi, S. M. A., Milani, E., Moghadam, T. M., Abedini, M., Alamatyian, S., & Izadkhah, S. (2007). Physical properties of watermelon seed as a function of moisture content and variety. *International Agrophysics*, 21(4), 349-359.
<http://www.international-agrophysics.org/pdf-106567-37409?filename=Physical%20properties%20of.pdf>

[8] Petchsomrit, A., McDermott, M. I., Chanroj, S., Choksawangkarn, W. (2020). “Watermelon seeds and peels: fatty acid composition and cosmeceutical potential”. *OCL - Oilseeds and Fats, Crops and Lipids*, 27.
<https://doi.org/10.1051/ocl/2020051>

[9] Braide, W.O.I.J., Odiong, I.J. and Oranusi, S. (2012). Phytochemical and antibacterial properties of the seed of watermelon (*Citrullus lanatus*).

https://www.researchgate.net/publication/319873339_Phytochemical_and_Antibacterial_properties_of_the_seed_of_watermelon_Citrullus_lanatus

[10] Khee, Y.L., Kiew, P.L., Chung, Y.T. (2023). Valorizing papaya seed waste for wastewater treatment: a review. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 20(2), 2327-2346. <https://doi.org/10.1007/s13762-022-04178-9>

[11] Tan, C. X., Tan, S. T., Tan, S.S. (2020). An overview of papaya seed oil extraction methods. *International Journal of Food Science and Technology*, 55(4), 1506-1514.

<https://doi.org/10.1111/ijfs.14431>

[12] Sugiharto, S. (2020). Papaya (*Carica papaya* L.) seed as a potent functional feedstuff for poultry—A review. *Veterinary world*, 13(8), 1613.
<https://doi.org/10.14202/vetworld.2020.1613-1619>

- [13] Zhou, K., Wang, H., Mei, W., Li, X., Luo, Y., Dai, H. (2011). Antioxidant activity of papaya seed extracts. *Molecules*, 16(8), 6179-6192.
<https://doi.org/10.3390/molecules16086179>
- [14] Jia, Y. C. K., Perveen, N., Paliwal, N. and Khan, N. H. (2021). Phytochemical Analysis, Antioxidant and Antibacterial Activity Determination of Ethanol Extract of *Carica Papaya* Seeds. *Biomedical, Journal of Scientific and Technical Research*. 33(5), pp 26171-26174. DOI: 10.26717/BJSTR.2021.33.005459
<https://biomedres.us/fulltexts/BJSTR.MS.ID.005459.php>
- [15] Zhou, Y., Cao, Y., Li, J., Tuncay, A. O., Barrow, C., Dunshea, F. and Suleria, H. A. R. (2023). Screening and characterization of phenolic compounds by LC-ESI-QTOF-MS/MS and their antioxidant potentials in papaya fruit and their by-products activities. *Elsevier*. 52. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2023.102480>
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2212429223001311>
- [16] Brighente, I.M.C. Dias, M., Verdi, L. G., Pizzolatti, M. G. (2008). Antioxidant Activity and Total Phenolic Content of Some Brazilian Species. *Pharmaceutical Biology*. 45, 156-161. <https://doi.org/10.1080/13880200601113131>
- [17] Liu, M. Li, X. Q., Weber, C., Lee, C. Y., Brown, J. and Liu, R. H. (2002). Antioxidant and antiproliferative activities of raspberries. *J. Agric. Food Chem.* 50(10). pp 2926-2930. <http://dx.doi.org/10.1021/jf0111209>
- [18] Re, R., Pellegrini, N., Proteggente, A., Pannala, A., Yang, M., Rice-Evans, C. (1999) Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. *Free Radical Biology & Medicine*, 26(9-10), 1231-1237.
[https://doi.org/10.1016/s0891-5849\(98\)00315-3](https://doi.org/10.1016/s0891-5849(98)00315-3)
- [19] AOAC. Official Methods of Analysis of AOAC International. 2023. <https://www.aoac.org/official-methods-of-analysis/>
- [20] Tabiri, B., Agbenorhevi, J.K., Wireko-Manu, F.D., Ompouma, E.I. (2016). Watermelon Seeds as Food: Nutrient Composition, Phytochemicals and Antioxidant Activity. *International Journal of Nutrition and Food Sciences*, 5(2), 139-144.
<https://doi.org/10.11648/j.ijnfs.20160502.18>
- [21] Tlili, I., Hdidier, C., Lenucci, M. S., Riadh, I., Jebari, H. and Dalessandro, G. (2011). Bioactive compounds and antioxidant activities of different watermelon (*Citrullus lanatus* (Thunb.) Mansfeld) cultivars as affected by fruit sampling area. *Journal of Food Composition and Analysis* 24(3). pp 307-314.
<https://doi.org/10.1016/j.jfca.2010.06.005>
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0889157510002267?via%3Dihub>

- [22] Muhammad, N., Maham, N., Kashif, A., Farzana, S., Aqsa, I., Faiqa, M., Muhamad, M. A. N. R., Zarina, Y., Rabia, K. and Sadaf, J. (2022). Perfil nutricional de la sandía, actividad antioxidante y procesamiento. *Korean J. Food preserv.* 29(4) pp 531-545. <https://doi.org/10.11002/kjfp.2022.29.4.531> https://www-ekosfop-or.kr.translate.goog/archive/view_article?pid=kjfp-29-4-531&x_tr_sl=en&x_tr_tl=es&x_tr_hl=es&x_tr_pto=tc
- [23] Gaye, A.A., Cisse, O.I., Ndiaye, B., Ayessou, N.C., Cisse, M. and Diop, C.M. (2019) Evaluation of Phenolic Content and Antioxidant Activity of Aqueous Extracts of Three Carica papaya Varieties Cultivated in Senegal. *Food and Nutrition Sciences*, 10, 276-289. <https://doi.org/10.4236/fns.2019.103021>. https://www.researchgate.net/figure/Total-phenolic-and-total-flavonoid-content-of-three-varieties-of-Carica-papaya_tbl1_331709089
- [24] Manivannan, A., Lee, E.S., Han, K., Lee, H.E., Kim, D.S. (2020). Versatile Nutraceutical Potentials of Watermelon-A Modest Fruit Loaded with Pharmaceutically Valuable Phytochemicals. *Molecules*, 25(22), 5258. <https://doi.org/10.3390/molecules25225258>
- [25] Jurinjak Tušek, A., Šamec, D., & Šalić, A. (2022). Modern techniques for flavonoid extraction—to optimize or not to optimize?. *Applied Sciences*, 12(22), 11865. <https://doi.org/10.3390/app122211865>
- [26] Ramírez, A.M.G., Borroel G.V., Dimas, L.M.J., Nieto G.A. (2024). Extracción de compuestos antioxidantes en sandía y melón en la Comarca Lagunera. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 11(1), e3953. <https://doi.org/10.19136/era.a11n1.3953>
- [27] Oliveira, Ch. J., Corrêa, dS. M., Capelasso, dS. L., Lachos, P. D., Torres, M. P. C., da Fonseca, M. A. P., Forster, C. T., Vázquez, E. M., Velasco, G. dP. A., Fernández, B. G. y Rostagno, M. A. (2020). Extracción de flavonoides de fuentes naturales mediante técnicas modernas. *frontiers in Chemistry*. doi: [10.3389/fchem.2020.507887](https://doi.org/10.3389/fchem.2020.507887) https://pmc-ncbi-nlm-nih.gov.translate.goog/articles/PMC7546908/?x_tr_sl=en&x_tr_tl=es&x_tr_hl=es&x_tr_pto=tc
- [28] Malathi, V.M., Abhimannue, A. P. Sharma, K., Muricken D. G and Tomy, T. L. (2024). Papaya seeds: nutraceutical potential and health promoting activities. Valorization of Fruit Seed Waste from Food Processing Industry. Insights on Nutritional Profile, Biological Functions, and Applications. *Developments in Food Quality and Safety*. pp 285-313. <https://doi.org/10.1016/B978-0-443-15535-2.00009> <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/B9780443155352000098>

- [29] Robles, A. S. M., González, V. R. I., Ruíz, C. S., Estrada, A. M. I., Cira, Ch. L. A., Márquez, R. E., Del Toro, S. C. L., Ornelas, P. J. J., Suárez, J. G. M. and Ocaño, H. V. M. (2024). Optimization of Extraction Process for Improving Polyphenols and Antioxidant Activity from Papaya Seeds (*Carica papaya* L.) Using Response Surface Methodology. 12(12), 2729. <https://doi.org/10.3390/pr12122729>. <https://www.mdpi.com/2227-9717/12/12/2729>
- [30] Heethal, S. K., Krishnakumar, K. and Mathew, J. (2022). Flavonoids from the butanol extract of *Carica papaya* L. cultivar 'Red Lady' leaf using UPLC-ESI-Q-ToF-MS/MS analysis and evaluation of the antioxidant activities of its fractions. *Food Chemistry Advances*. Elsevier. 1. <https://doi.org/10.1016/j.focha.2022.100126>. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2772753X22001149>
- [31] Yoon, A. J., Sun, W. Ch., Seong, Ch. K and Young, J. L. (2022). Comprehensive Assessment of Antioxidant and Anti-Inflammatory Properties of Papaya Extracts. *Foods*, 11(20), 321. doi: [10.3390/foods11203211](https://doi.org/10.3390/foods11203211) https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC9601897/?utm_source=chatgpt.com
- [32] Chaves, J.O., De Souza, M.C., Da Silva, L.C., Lachos-Perez, D., Torres-Mayanga, P.C., Machado, A.P.D.F., Forster, C.T., Vazquez, E.M., Velasco, G. de P.A., Fernandez, B.G., Rostagno, M.A. (2020). Extraction of flavonoids from natural sources using modern techniques. *Frontiers in Chemistry*, 8, 507887. <https://doi.org/10.3389/fchem.2020.507887>
- [33] Nissar, J., Sidiqi, U. S., Dar, A. H., & Akbar, U. (2025). Nutritional composition and bioactive potential of watermelon seeds: a pathway to sustainable food and health innovation. *Sustainable Food Technology*, 3(2), 375–395. <https://doi.org/10.1039/d4fb00335g>.
- [34] Floegel, A. Kim D., Chung, S., Koo, S., Chun, O. (2011). Comparison of ABTS/DPPH assays to measure antioxidant capacity in popular antioxidant rich US foods. *Journal of Food Composition and Analysis*, 24(7), 1043-1048. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2011.01.008>.
- [35] Neglo, D., Okraku, T. C., Ken, E. E., Korley, K. N., Agyemang, B.A., Hunkpe, G., Amarh, F., Kwashie, P. and Sayanika, D. W. (2021). Comparative antioxidant and antimicrobial activities of the peels, rind, pulp and seeds of watermelon (*Citrullus lanatus*) fruit. *Scientific African*. 11. <https://doi.org/10.1016/j.sciaf.2020.e00582>
- <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2468227620303203?via%3Dihub>
- [36] Priastomo, M., Adlia, A., Lumbantobing, V., Adnyana, I.K. (2024). Determination of Total Phenols, Total Flavonoids and Antioxidant Activity of Watermelon

Peel and Rind from Several Cultivation Areas in Indonesia. *Indian Journal of Agricultural Research*, 58(5), 865-871. <https://doi.org/10.18805/IJARE.AF-872>

[37] Plaza, M., Pozzo, T., Liu, J., Ara, K. Z. G., Turner, C., & Karlsson, E. N. (2014). Substituent effects on in vitro antioxidizing properties, stability and solubility in flavonoids. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 62(15), 3321–3333. <https://doi.org/10.1021/jf405570u>

[38] Wolosiak, R., Drużyńska, B., Derewiaka, D., Piecyk, M., Majewska, E., Ciecierska, M., Worobiej, E., Pakosz, P. (2022). Verification of the Conditions for Determination of Antioxidant Activity by ABTS and DPPH Assays—A Practical Approach. *Molecules*, 27(1), 50. <https://doi.org/10.3390/molecules27010050>

[39] Alara, O. R., Abdurahman, N. H., & Ukaegbu, C. I. (2021). Extraction of phenolic compounds: A review. *Current research in food science*, 4, 200-214. <https://doi.org/10.1016/j.crfs.2021.03.011>

[40] Salihović, M., Pazalja, M., Ajanović, A. (2022). Antioxidant Activity of Watermelon Seeds Determined by DPPH Assay. *Kemija u Industriji*, 71(5–6), 295–300. <https://doi.org/10.15255/kui.2021.064>

[41] Srivastava, R., Jaiswal, N., Kharkwal, H., Kumar, D. N. and Srivastava, R. (2025). Phytomedical Properties of *Carica papaya* for Boosting Human Immunity Against Viral Infections 17(2), 271. <https://doi.org/10.3390/v17020271> <https://www.mdpi.com/1999-4915/17/2/271>

[42] Jacob A.G., Etong D.I., Tijjani A. (2015). Proximate, Mineral and Anti-nutritional Compositions of Melon (*Citrullus lanatus*) Seeds. *British Journal of Research*, 2(5), 142-151. https://www.researchgate.net/profile/Adikwu-Jacob/publication/283455369_Proximate_Mineral_and_Anti-nutritional_Compositions_of_Melon_Citrullus_lanatus_Seeds/links/5638af9e08ae7f7eb185d055/Proximate-Mineral-and-Anti-nutritional-Compositions-of-Melon-Citrullus-lanatus-Seeds.pdf

[43] Omoniyi, S. A. (2020). Nutrient and anti-nutritional composition of watermelon (*Citrullus lanatus*). Department of Home Science and Management, Federal University, Gashua, Yobe State, Nigeria. 5(1), 048-051. <http://ftstjournal.com/uploads/docs/51%20Article%208.pdf>

[44] Santos, C.M. dos, Abreu, C.M.P. de, Freire, J.M., Queiroz, E. de R., Mendonça, M.M. (2014). Chemical characterization of the flour of peel and seed from two papaya cultivars. *Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 34(2), 353–357. <https://doi.org/10.1590/fst.2014.0048>

- [45] Morais, D.R., Rotta, E.M., Sargi, S.C., Bonafe, E.G., Suzuki, R.M., Souza, N.E., Matsushita, M., Visentainer, J.V. (2017). Proximate composition, mineral contents and fatty acid composition of the different parts and dried peels of tropical fruits cultivated in Brazil. *Journal of the Brazilians Chemical Society*, 28(2), 308–318. <http://dx.doi.org/10.5935/0103-5053.20160178>
- [46] Hanaa, S. S. G., Osama I. A. S. and Sanaa, M. A. H. (2023). Cakes fortified with papaya seeds effectively protects against CCl4-induced immunotoxicity. *National Library of Medicine. PubMed*. 30(51), pp 111511-111524. doi: [10.1007/s11356-023-30172-w](https://doi.org/10.1007/s11356-023-30172-w) <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC10625515/>
- [47] Mérida, L. E., Soto, S. S., Martínez, J. V. M., Quintero, L. A. y Piloni, M. J. (2023). Caracterización química, funcional y de textura aproximada de la harina de semilla de papaya (*Carica papaya*) para la elaboración de pan. *Elsevier. Revista Internacional de Gastronomía y Ciencias de los Alimentos*. 31. <https://doi.org/10.1016/j.ijgfs.2023.100675> https://www-sciencedirect-com.translate.goog/science/article/abs/pii/S1878450X23000173?x_tr_sl=en&x_tr_tl=es&x_tr_hl=es&x_tr_pto=wa
- [48] Tusneem, K., Muhammad, T. H. and Ghulam, M. D. (2020). Utilization of watermelon seed flour as protein supplement in cookies. *Pure Appl. Biol.*, 9(1): 202-206. <http://dx.doi.org/10.19045/bspab.2020.90024>
- https://www.researchgate.net/publication/339828491_Utilization_of_watermelon_seed_flour_as_protein_supplement_in_cookies
- [49] Peters, D.E., Ogbeifun, H.E., Monanu, M.O. (2022). Nutrient Composition of Citrullus Lanatus (Water Melon) Seeds. *International Journal of Research in Life Science*, 9(3), 37–48. <https://doi.org/10.5281/zenodo.7037580>
- [50] Fonseca, M., Kobelnik, M., Guadagnucci, F. G., Spirandeli, C. M y Augusto, R. C. (2023). Oil extraction from seeds of *Carica papaya* L.: Obtaining the lipid profile and thermal evaluation. *Eclética Química*, 48 (3), pp. 81-90. <https://doi.org/10.26850/1678-4618eqj.v48.3.2023.p81-90> <https://www.redalyc.org/journal/429/42976803005/html/>
- [51] Robles, A. S. M., González, V. R. I., Ruíz, C. S., Estrada, A. M. I., Cira, Ch. L. A., Márquez, R. E., Del Toro, S. C. L., Ornelas, P. J. J., Suárez, J. G. M. and Ocaño, H. V. M. (2024). Optimization of Extraction Process for Improving Polyphenols and Antioxidant Activity from Papaya Seeds (*Carica papaya* L.) Using Response Surface Methodology. 12(12), 2729. <https://doi.org/10.3390/pr12122729> <https://www.mdpi.com/2227-9717/12/12/2729>



Revista Internacional de Investigación e Innovación Tecnológica

Página principal: www.riit.com.mx

Caracterización de granos y harinas de maíz raza Jala (*Zea mays* L.) del estado de Nayarit Characterization of Jala landrace maize grains and flours (*Zea mays* L.) from Nayarit, Mexico

Bello-Lara, J.^{a,b}, León-Fernández A.^{a,b*}, Jiménez-Zurita, J.^c, Balois-Morales, R.^c, López-Guzmán, G.^c, Zamora-Gazga, V.^d, Martínez-Ortíz, M.^e, Alcaraz-González, A.^f

^a Estancias Posdoctorales-Consejo Nacional de Humanidades, Ciencia y Tecnología, Coordinación de Apoyos.

^b Unidad de Tecnología de Alimentos, Secretaría de Investigación y Posgrado; Universidad Autónoma de Nayarit; Ciudad de la Cultura S/N, C. P. 63000, Tepic, Nayarit, México.

^c Unidad Académica de Agricultura, Programa de Posgrado en Ciencias Biológico Agropecuarias; Universidad Autónoma de Nayarit; Carretera Tepic-Compostela km 9, C. P. 63780, Xalisco, Nayarit, México.

^d Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Tepic, Laboratorio Integral de Investigación en Alimentos, División de Estudios de Posgrado, Av. Tecnológico No 2595, Col. Lagos del Country CP 63175, Tepic, Nayarit México, México.

^e Programa de Maíz. Campo Experimental Centro Altos de Jalisco. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Av. Biodiversidad 2470, Tepatitlán de Morelos, Jalisco. C.P. 47600. México. Departamento/Facultad, División, Campus, Universidad/Institución.

^f Centro de estudios tecnológico industrial y de servicios No. 100. Puerto Rico No 36, Miravalles CP 63184, Tepic, Nayarit.

juan.bello@uan.edu.mx; andres_leon@uan.edu.mx*; jose-jimenez@uan.edu.mx; rmbalois@uan.edu.mx; graciela.lopez@uan.edu.mx; vzamora@tepic.tecnm.mx; martinez.miguel@inifap.gob.mx; alejandro.alcaraz.ce100@dgeti.sems.gob.mx

Innovación tecnológica: Caracterización fisicoquímica, nutrimental y funcional del maíz raza Jala de Nayarit, generando insumos científicos para su valorización y potencial en desarrollos agroindustriales.

Área de aplicación industrial: Aplicación en la industria alimentaria y biotecnológica para obtención de harinas diferenciadas, productos nutraceuticos y biopolímeros de valor agregado.

Recibido: 10 abril 2025

Aceptado: 29 noviembre 2025

Abstract

Corn tortillas are a staple food in Mexico; in rural areas, the average consumption is 217.9 g per person per day (8 tortillas), whereas in urban areas it is 155.4 g (6 tortillas). In the state of Nayarit, the Jala maize landrace—known locally as “maíz de húmedo”—is traditionally cultivated and valued for its floury texture and sweet flavor. However, this landrace has undergone genetic drift associated with a shrinking cultivated area, farmland abandonment, and climate change, which have reduced ear size and threaten the conservation of native maize varieties.

To assess its agrifood potential, the morphological, physical, and physicochemical characteristics of the grain and flours produced from maize harvested in Jala and Compostela, Nayarit, were evaluated. Morphological parameters (ear length, number of rows and kernels, ear and cob diameters and weights), physical traits (test weight, flotation index, and 100-kernel weight), and flour properties (particle size, pH, titratable acidity, moisture, ash, lipid, and protein content) were analyzed.

Maize from Coapan exhibited longer ears, more rows, and a higher number of kernels per row, whereas maize from La Meseta showed larger ear and cob diameters, higher cob weight, and greater test weight. In the flours, La Meseta had higher moisture (10.7%) and lipid content, while Coapan had higher protein content (14.7%). These differences reflect the intra-race diversity of the Jala maize landrace and confirm that, despite variation between localities, this maize retains valuable nutritional and functional attributes that support its potential use and application in the food industry.

Keywords: Jala maize, Physicochemical characterization, Native maize, Nutritional value, Food industry.

Resumen

Las tortillas de maíz son un alimento esencial en México; en zonas rurales el consumo promedio es de 217.9 g por persona al día (8 tortillas) y en zonas urbanas de 155.4 g (6 tortillas). En Nayarit se cultiva el maíz raza Jala, conocido como “maíz de húmedo”, apreciado por su textura harinosa y sabor dulce. No obstante, esta raza ha experimentado deriva genética asociada a la disminución de la superficie cultivada, el abandono del campo y el cambio climático, factores que han reducido el tamaño de sus mazorcas y puesto en riesgo la conservación de los maíces nativos.

Con el objetivo de valorar su potencial agroalimentario, se evaluaron las características morfológicas, físicas y fisicoquímicas del grano y de las harinas obtenidas de maíces cosechados en Jala y Compostela, Nayarit. Se analizaron parámetros morfológicos (longitud de mazorca, número de hileras y granos, diámetros y pesos de mazorca y olote), físicos (peso hectolítrico, índice de flotación y peso de 100 granos) y de harinas (tamaño de partícula, pH, acidez titulable, humedad, cenizas, lípidos y proteínas).

Los maíces de Coapan mostraron mayor longitud de mazorca, más hileras y mayor número de granos por hilera, mientras que los de La Meseta presentaron mayores diámetros y peso de olote, así como un peso hectolítrico superior. En las harinas, La Meseta registró mayor humedad (10.7%) y contenido lipídico, mientras que Coapan destacó por un mayor contenido de proteína (14.7%). Estas diferencias reflejan la diversidad intra-raza y confirman que, a pesar de la variación entre localidades, el maíz Jala conserva atributos nutricionales y funcionales valiosos para su aprovechamiento y su potencial aplicación en la industria alimentaria.

Palabras clave: Maíz Jala, Caracterización fisicoquímica, Maíces nativos, Valor nutricional, Industria alimentaria.

Introducción

En México existe una gran diversidad de maíces, lo que se refleja en una amplia variación morfológica asociada a su tipo de polinización y a la adaptación a condiciones ambientales y ecológicas particulares de cada región (Torres-Morales *et al.*, 2022). La diversidad morfológica y agronómica de maíces nativos ha sido documentada en Tamaulipas (González-Martínez *et al.*, 2023), Morelos (Romero-Portillo *et al.*, 2018) y Chiapas (Torres-Morales *et al.*, 2022). En el estado de Nayarit se cultivan distintas variedades, entre las cuales destaca el maíz raza Jala por la longitud de sus mazorcas y su característico sabor dulce (Aguilar-Castillo *et al.*, 2006; Rice *et al.*, 2006). En el pasado, sus mazorcas alcanzaban hasta 60 cm de longitud; sin embargo, reportes recientes señalan un máximo de 45 cm, atribuible a un proceso de deriva genética que ha reducido la variabilidad y favorecido la fijación de alelos, con el consecuente aumento de homocigosis (Montes *et al.*, 2014).

La calidad organoléptica del maíz Jala lo convierte en un ingrediente con valor culinario en la elaboración de platillos y productos tradicionales de la región (Valdivia-Bernal *et al.*, 2010); constituye además una fuente energética importante, debido al almidón en el grano, que representa entre el 70 y 75 % del peso, seguido por las proteínas (8–12 %) y los lípidos (3–5 %) (López-Vázquez *et al.*, 2021). De acuerdo con la fracción del grano, se aprovechan distintas propiedades nutricionales: el endospermo está conformado en un 85–90 % por almidón, con pequeñas proporciones de proteína; el germen concentra la mayor parte de los lípidos (30–35 %) y proteínas (18–20 %), además de azúcares; mientras que el pericarpio aporta principalmente fibra dietaria (6–7 %) (Sánchez & Pérez, 2014). Adicionalmente, al igual que otros maíces criollos mexicanos como los de las razas

Chalqueño, Cónico y Tuxpeño, el maíz Jala presenta ventajas industriales asociadas a su textura, composición y rendimiento, características que han favorecido su uso tradicional y su preservación en sistemas agrícolas locales (González-Hernández *et al.*, 2018; Wellhausen *et al.*, 1952).

El proceso de transformación del maíz en harina, masa y finalmente tortilla depende tanto del tipo de grano como de factores tecnológicos, tales como molienda, adición de agua o aditivos, tiempo de remojo y tratamiento térmico. Estos influyen en la estructura del grano, en su composición química, en propiedades funcionales y valor nutricional (Rodríguez-Méndez *et al.*, 2013). Entre los métodos más relevantes destaca la nixtamalización, un procedimiento ancestral de origen mesoamericano que hoy en día se utiliza ampliamente para la producción de tortillas y otros alimentos tradicionales como el pozole (Fernández *et al.*, 2013). En comparación con el maíz de grano amarillo; el grano del maíz blanco sobresale en proteína, hierro, fósforo, calcio y tiamina, mientras que presenta valores menores en niacina, riboflavina y carotenoides, estos últimos precursores de vitamina A (Martínez-Damián *et al.*, 2018).

El maíz es considerado una de las principales fuentes de nutrientes en la dieta, con contenidos de proteína entre 9 y 10 % y niveles relevantes de magnesio, potasio y calcio (Chan-Chan *et al.*, 2021). No obstante, persisten pocos estudios orientados a razas nativas como el maíz Jala, lo cual limita el conocimiento sobre su potencial nutricional y funcional. En este contexto, el objetivo de este trabajo fue caracterizar de manera morfológica, física y químico-proximal el grano, las harinas y los productos derivados de maíz raza Jala recolectados en cuatro localidades de los municipios de Jala y Compostela, Nayarit. Este estudio descriptivo y comparativo busca generar información que

contribuya a la revalorización y aprovechamiento de esta raza nativa en la industria alimentaria.

Materiales y equipos

Material vegetal

El material vegetal consistió en mazorcas de maíz raza Jala recolectadas durante la temporada de cosecha 2020 en cuatro parcelas particulares: tres en el municipio de Jala (Jala, Coapan y La Meseta) y una en el municipio de Compostela, Nayarit. La selección de parcelas se basó en disponibilidad de siembra de la raza Jala y acceso directo a productores; en cada parcela se muestrearon aleatoriamente 20 mazorcas (N = 80), evitando daño visible por plagas o enfermedades. Las mazorcas fueron entregadas por los productores y trasladadas el mismo día al Laboratorio de Análisis Especiales de la Unidad de Tecnología de Alimentos de la UAN para su caracterización.

En laboratorio, las mazorcas se registraron y desgranaron manualmente. Una fracción de grano por localidad se reservó para mediciones físicas (peso hectolítrico, índice de flotación y peso de 100 granos). El grano restante se molió en molino de cuchillas y la harina se tamizó (< 250 μm ; malla 60) para asegurar homogeneidad. Las muestras se almacenaron en recipientes herméticos, a temperatura ambiente ($\approx 25\text{ }^\circ\text{C}$) y protegidas de luz, hasta su análisis fisicoquímico y bromatológico.

Caracterización morfológica del maíz

La caracterización morfológica se realizó siguiendo los descriptores establecidos por el Proyecto Global de Maíces Nativos (Rincón-Sánchez *et al.*, 2010) y la base de datos de la CONABIO (2021). Las características evaluadas fueron: longitud de la mazorca, número de hileras, número de granos por hilera, diámetro de mazorca, diámetro de olote, peso de mazorca y peso de olote.

Para cada localidad se seleccionaron de manera aleatoria 20 mazorcas representativas por parcela (N = 80). La longitud de la mazorca y el número de hileras y de granos por hilera se determinaron con cinta métrica graduada en milímetros. El diámetro de la mazorca y del olote se midió con vernier digital ($\pm 0.01\text{ mm}$). Los pesos de mazorca y olote se registraron en balanza analítica de precisión ($\pm 0.001\text{ g}$). El peso de mazorca y olote se registró en base húmeda, es decir, con el contenido de humedad presente al momento de la cosecha. Todas las mediciones se realizaron por triplicado para garantizar reproducibilidad.

Caracterización física del grano

El peso hectolítrico se determinó en una balanza analítica compacta HR-250A siguiendo el método 55-10 de la AACC (2005), expresado como el peso del grano por unidad de volumen (kg hL^{-1}). El índice de flotación se evaluó de acuerdo con Salinas *et al.* (1992), mediante la inmersión de granos en una solución salina de densidad controlada y registrando el porcentaje de granos flotantes. El peso de 100 granos se obtuvo contando manualmente 100 granos al azar y pesándolos en una balanza OHAUS SP 6001, siguiendo la metodología de Salinas-Moreno *et al.* (2010).

Para la obtención de harinas, los granos se sometieron a trituración en seco en un molino de martillos (VEYCO, MPV-150) equipado con malla de 250 μm (malla 60), de acuerdo con la técnica descrita por Salinas-Moreno *et al.* (2010). La harina obtenida se homogenizó y almacenó en recipientes herméticos a temperatura ambiente hasta su análisis.

Nixtamalización

El proceso de nixtamalización se realizó de acuerdo con la metodología descrita por Salinas-Moreno *et al.* (2010), con ligeras modificaciones. El grano de maíz se coció en

agua (relación 1:3 p/v) con la adición de 1% de hidróxido de calcio (Ca(OH)_2 , p/v). La mezcla se llevó a ebullición y se mantuvo en cocción durante 45 minutos, para posteriormente dejarse en reposo por 12 horas a temperatura ambiente. Transcurrido este tiempo, el grano se lavó con agua corriente hasta eliminar el exceso de cal y pericarpio, y se dejó escurrir hasta alcanzar humedad superficial mínima.

El maíz nixtamalizado se molió en seco en un molino de martillos (VEYCO, MPV-150) con malla de 250 μm , obteniéndose la harina nixtamalizada. Las muestras se almacenaron en recipientes herméticos a temperatura ambiente ($\approx 25^\circ\text{C}$), protegidas de la luz hasta su análisis.

Análisis fisicoquímico y bromatológico de la harina de maíz

Las harinas se obtuvieron a partir de dos tipos de molienda: seca y nixtamalizada (procedimiento descrito en el subapartado de Nixtamalización). En ambos casos, el grano se molió en un molino de martillos (VEYCO, MPV-150) con malla de 250 μm , y las harinas se almacenaron en recipientes herméticos a temperatura ambiente ($\approx 25^\circ\text{C}$), protegidas de la luz hasta su análisis.

En las determinaciones fisicoquímicas, se evaluó el rendimiento de harina, considerado un índice de aprovechamiento del grano durante la molienda (Ponce-Ramírez *et al.*, 2016), la distribución de tamaño de partícula (ISI, 1999; modificado por Fernández-Muñoz *et al.*, 2008), el índice de blancura (García-Tejeda *et al.*, 2011) y la acidez titulable (ISI, 1999b). Además, se determinaron las propiedades de adhesión y dureza en masas elaboradas con harinas rehidratadas (Martínez-Flores *et al.*, 2014).

En el análisis bromatológico, correspondiente a la composición química, se determinaron

cenizas (AOAC 923.03, 2005), humedad (AOAC 925.45, 2005), lípidos (AOAC 945.38, 2005), fibra cruda (NMX-F-046-S-1980; actualizada NMX-F-804-SCFI-2018) y proteína (AOAC 990.03, 2005).

Diseño experimental y Análisis estadístico

Para cada variable de respuesta se empleó un diseño completamente al azar. En los rasgos físico-funcionales ($n = 13$: peso hectolítrico, índice de flotación, peso de 100 granos, rendimiento de harina, distribución de tamaño de partícula, acidez titulable) se ajustó un ANOVA de dos factores (Molienda \times Localidad) con 2 niveles de molienda (seca y nixtamalización) y 4 localidades (Jala, Coapan, La Meseta, Compostela). De forma análoga, para las variables bromatológicas ($n = 6$) se aplicó ANOVA de dos factores (Molienda \times Localidad) bajo el mismo arreglo 2×4 . En aquellos casos en que solo se evaluó molienda seca, se utilizó ANOVA de un factor (Localidad). Cada determinación analítica se realizó por triplicado ($n = 3$ por localidad y por tipo de molienda), y estos valores individuales se utilizaron para los análisis estadísticos, con lo cual se garantiza un número suficiente de datos por combinación de factores.

Cuando el ANOVA resultó significativo ($\alpha = 0.05$), se efectuaron comparaciones múltiples Tukey HSD. Los resultados se reportan como media \pm desviación estándar (n indicado en cada tabla/figura). Los análisis se realizaron en Minitab® 21.3 (Minitab LLC, State College, PA, USA). La representación gráfica de los resultados se efectuó en Microsoft Excel (Microsoft 365).

Resultados

Caracterización morfológica del grano

En la longitud de las mazorcas de maíz raza Jala se observaron diferencias estadísticas significativas ($\alpha = 0.05$) entre localidades (Figura 1). El valor más alto se presentó en

Coapan (30.5 cm), seguido de Jala (29.5 cm) y La Meseta (28.83 cm), mientras que el valor más bajo correspondió a Compostela (25.67 cm). Estos resultados confirman que se evaluó exclusivamente la raza Jala cultivada en distintas localidades de Nayarit, lo que permite atribuir las diferencias observadas al efecto del ambiente y no a variabilidad entre razas. Wellhausen *et al.* (1951) describieron para la raza Jala una longitud promedio de 34.5 cm, con variaciones reportadas desde 30 cm hasta más de 50 cm en casos excepcionales. En comparación, los valores obtenidos en este estudio se encuentran por debajo del promedio histórico, lo que podría reflejar un proceso de deriva genética y cambios en las condiciones de cultivo a lo largo de las décadas. Otros autores han reportado longitudes menores en maíces nativos 18-22 cm (Montes *et al.*, 2014) y 19-22 cm (López *et al.*, 2017), lo que resalta el carácter distintivo de la raza Jala aún bajo condiciones menos favorables.

Las diferencias entre localidades se explican por las condiciones edafoclimáticas contrastantes. Jala y Coapan se encuentran entre 1050 y 1150 m.s.n.m., con clima cálido subhúmedo (C(w)) y precipitaciones de 800–1200 mm, aunque con suelos distintos: limo-arenosos en Jala y cambisoles en Coapan. Estas condiciones favorecen mazorcas más largas y un mayor número de hileras, como se observó en ambas localidades. En cambio, La Meseta presenta altitudes significativamente mayores (1400–1700 m.s.n.m.) y suelos andosoles húmicos, asociados a temperaturas ligeramente menores (22–26 °C) y buena retención de humedad, lo que se reflejó en granos con mayor densidad, harinas con mayor humedad (10.7%) y contenido lipídico (6.6%). Compostela, por su parte, presenta un clima más cálido, con altitudes de 1200–1500 m, suelos feozem y mayor precipitación anual (1200–1600 mm), condiciones que influyen en la composición proximal del grano. En

cereales como el maíz se ha documentado que la altitud, el régimen hídrico y la textura del suelo modulan rasgos como el tamaño de mazorca, peso de olote y características fisicoquímicas (López *et al.*, 2017). Por tanto, la expresión fenotípica del maíz Jala está estrechamente ligada al ambiente local, lo que confirma la importancia de caracterizar las condiciones específicas de cada sitio para su conservación y aprovechamiento.

En el diámetro de la mazorca no se observaron diferencias estadísticas significativas ($\alpha = 0.05$) entre localidades (Figura 1). Los valores oscilaron entre 5.36 cm (Jala y Coapan) y 5.63 cm (La Meseta), mientras que Compostela presentó 5.56 cm. Estos resultados son consistentes con los reportados por Ramírez-Mandujano *et al.* (2018), quienes observaron valores de 5.6 cm en retrocruzas 1/4 Jala y de 4.9 cm en Jala puro, lo que indica que el diámetro de mazorca en la raza Jala tiende a mantenerse estable en un rango de 5–6 cm, independientemente de la localidad de cultivo. Esta estabilidad sugiere un fuerte control genético en la expresión de esta característica, con menor influencia de las condiciones ambientales. En contraste, el diámetro del olote presentó diferencias estadísticas significativas entre localidades ($\alpha = 0.05$) (Figura 2). Compostela registró el mayor valor (3.50 cm), seguido de La Meseta (3.47 cm), mientras que Jala y Coapan mostraron 3.03 y 2.97 cm, respectivamente. Wellhausen *et al.* (1951) reportaron un diámetro de olote promedio de 2.8 cm para la raza Jala, valor similar al observado en Coapan. Estas diferencias indican que, a diferencia del diámetro de mazorca, el diámetro del olote puede estar más influenciado por las condiciones edafoclimáticas locales, reflejando la plasticidad fenotípica de este carácter en la raza Jala.

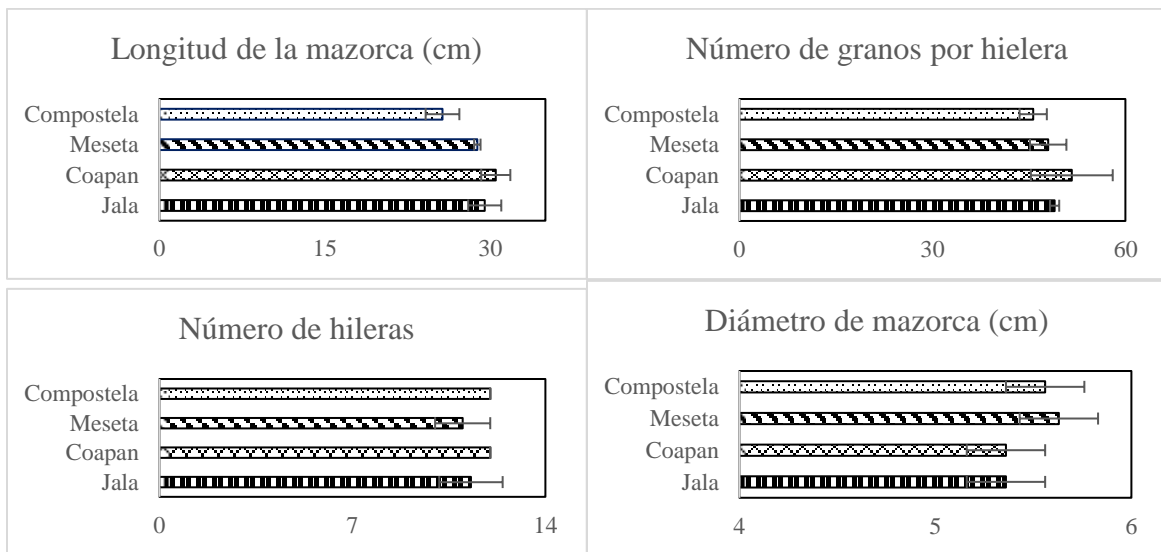


Figura 1. Análisis de los caracteres morfológicos de cuatro muestras de maíz raza jala cultivadas en diferentes zonas geográficas del estado de Nayarit. Las barras de error representan desviación estándar (DE); n = 3.

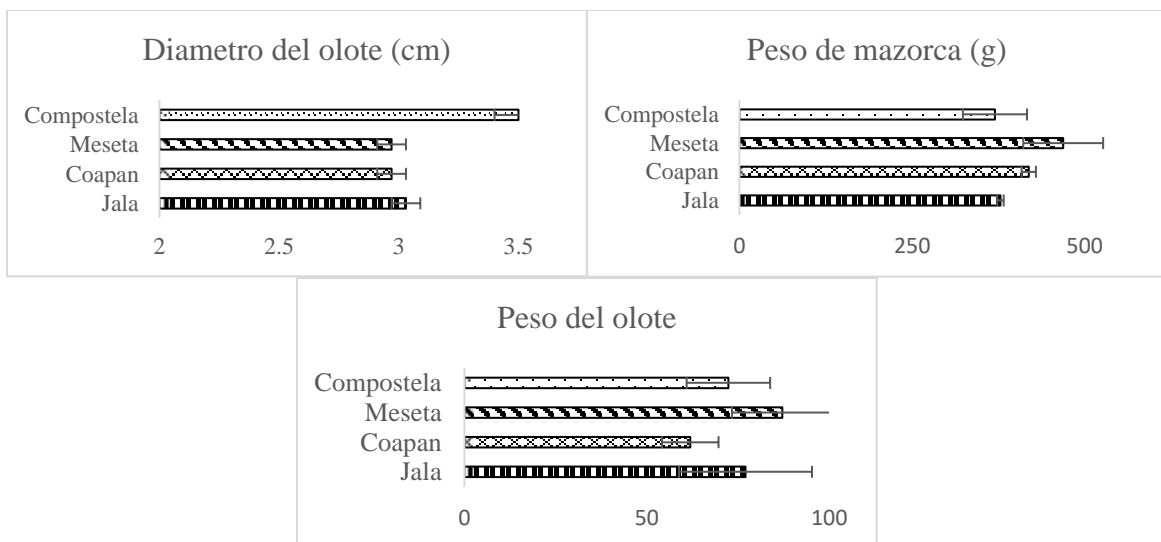


Figura 2. Análisis de los caracteres morfológicos de cuatro muestras de maíz raza jala cultivadas en diferentes zonas geográficas del estado de Nayarit. Las barras de error representan desviación estándar (DE); n = 3.

De acuerdo con López-Guzmán *et al.* (2018), las diferencias morfológicas entre muestras de maíz pueden atribuirse a condiciones ambientales asociadas con el estado hídrico del suelo, la radiación solar, temperatura, tipo de suelo y sistema de producción. En este estudio, las muestras de La Meseta y Compostela presentaron valores más altos de diámetro de olote, lo que se relaciona con sus condiciones edafoclimáticas favorables: mayor precipitación anual, suelos profundos

y fértiles, y temperaturas más cálidas. En Jala y Coapan, localizados a altitudes de 1,100–1,300 msnm con régimen de temporal (INEGI, 2020; SMN, 2021), la menor disponibilidad hídrica condiciona un menor diámetro de olote. En contraste, en Compostela, con mayor humedad relativa y suelos aluviales profundos (CONABIO, 2021), se registraron valores superiores, lo que confirma el efecto del ambiente sobre la expresión morfológica del maíz.

En el peso de la mazorca se observaron diferencias estadísticas significativas ($\alpha = 0.05$) entre localidades (Figura 2). El mayor valor correspondió a La Meseta (468.97 g), seguido de Coapan (405.91 g) y Jala (378.1 g), mientras que el más bajo se registró en Compostela (370.08 g). Estos valores son notablemente superiores a los reportados por Ramírez-Mandujano *et al.* (2018), quienes documentaron pesos de 118 g en Jala puro y 271 g en una cruz a $\frac{1}{2}$ Jala, así como a los reportados por López *et al.* (2017) con 104 g para la raza Jala. Las diferencias observadas pueden atribuirse a factores edafoclimáticos y de manejo agronómico, tales como la disponibilidad de nutrientes y agua en el suelo, la densidad de siembra que puede limitar el llenado del grano y la sincronía floral, fuertemente influenciada por la altitud y temperatura del sitio (Ramírez-Mandujano *et al.*, 2018). El hecho de que los valores obtenidos en este estudio superen a los reportados previamente sugiere que, bajo condiciones locales de Nayarit, la raza Jala conserva un alto potencial productivo, lo que refuerza su importancia en programas de conservación y aprovechamiento agroindustrial.

En el número de hileras por mazorca no se observaron diferencias estadísticas significativas ($\alpha = 0.05$) entre localidades (Figura 1). Se registraron valores de 12 hileras en Coapan y Compostela, 11.3 en Jala y 11 en La Meseta. Estos resultados coinciden con lo reportado por Ramírez-Mandujano *et al.* (2018), quienes documentaron un promedio de 12.4 hileras en la raza Jala, lo que confirma que este carácter se mantiene relativamente estable.

El número de hileras en la raza Jala (11–12 en este estudio) se encuentra dentro del rango característico reportado históricamente para esta raza (Wellhausen *et al.*, 1951; Ramírez-Mandujano *et al.*, 2018). En comparación con

otras razas de maíz mexicano, los valores son inferiores a los observados en razas de grano grande como Tuxpeño o Chalqueño, que alcanzan de 12 a 18 hileras (Kato *et al.*, 2009), pero superiores a los de razas de mazorca corta como Olotillo o Cacahuacintle, que presentan de 8 a 10 hileras (Sánchez *et al.*, 2000). Estas diferencias confirman el carácter intermedio de la raza Jala, en la cual la expresión de este rasgo es relativamente estable y menos susceptible a la variación ambiental, pero vulnerable al deterioro genético por pérdida de selección tradicional.

En el número de granos por hilera no se observaron diferencias estadísticas significativas ($\alpha = 0.05$) entre localidades (Figura 1). Coapan presentó el mayor promedio con 51.67 granos, seguido de Jala (49), La Meseta (48) y Compostela con 45.67 granos. Estos valores son superiores a los reportados por Ramírez-Mandujano *et al.* (2018), quienes documentaron entre 31.4 y 39.5 granos por hilera, así como a los informados por López *et al.* (2017) con 34.3 granos en promedio. El hecho de que no se observaran diferencias significativas entre localidades sugiere que este carácter, al igual que el número de hileras, se encuentra fuertemente determinado por el genotipo y es menos influenciado por el ambiente (Ramírez-Mandujano *et al.*, 2018). Esta estabilidad genética constituye un atributo importante para la raza Jala, ya que asegura la consistencia en el llenado de mazorca y contribuye a su potencial de rendimiento, independientemente de las condiciones edafoclimáticas locales.

En el peso del olote no se observaron diferencias estadísticas significativas ($\alpha = 0.05$) entre localidades (Figura 2). El mayor valor correspondió a La Meseta con 87.16 g y el menor a Coapan con 61.92 g, mientras que Jala y Compostela presentaron 77.06 g y 72.37 g, respectivamente. Aunque no hubo diferencias significativas, se observa una

variación numérica importante (≈ 25 g) entre localidades. Los valores reportados en este estudio, expresados en base húmeda, son considerablemente superiores a los documentados por Quiroz-Mercado *et al.* (2017), quienes evaluaron diez cultivares en el Estado de México y registraron pesos de olote de 16.59 a 18.63 g, lo cual refleja la marcada diferencia entre la raza Jala y otras variedades comerciales de menor tamaño. Córdoba *et al.* (2013) señalan que factores como el momento de cosecha, las condiciones de secado y el contenido de humedad ambiental influyen en el peso del olote, lo que explica las variaciones observadas entre diferentes estudios. En este caso, la ausencia de diferencias significativas puede atribuirse a que las mazorcas fueron almacenadas bajo condiciones similares, reduciendo el efecto de esas variables. El mayor peso de olote observado en la raza Jala confirma una de sus características distintivas y repercute en la relación grano/olote, aspecto relevante para su aprovechamiento en la industria alimentaria y para la selección.

Características físicas del grano

En el valor del peso hectolítrico no se observaron diferencias estadísticas significativas entre localidades ($\alpha = 0.05$) (Figura 3). El valor más elevado correspondió a La Meseta con 83.77 kg hL^{-1} , mientras que el más bajo fue el de Jala con 80.94 kg hL^{-1} ; Coapan y Compostela mostraron valores similares (81.77 y 81.78 kg hL^{-1} , respectivamente). Godínez-Galán *et al.* (2014) reportaron para la raza Jala un valor de 68.1 kg hL^{-1} , inferior al obtenido en este estudio. Este parámetro, empleado comúnmente en la industria de cereales, refleja la densidad aparente del grano y depende del acomodo en el recipiente y de la composición del endospermo. En este caso, la similitud entre localidades sugiere que no existen diferencias marcadas en el contenido

y organización de almidones, lípidos y proteínas (Agama-Acevedo *et al.*, 2013).

En el índice de flotación no se observaron diferencias estadísticas significativas ($\alpha = 0.05$) entre las muestras (Figura 3), registrándose en su mayoría valores de cero (Compostela, La Meseta y Coapan), mientras que Jala presentó un valor de 0.67%. Estos resultados contrastan con los reportados para otras razas: Agama-Acevedo *et al.* (2011) señalaron índices de 32 a 100% en maíces Chalqueño y Tabloncillo, mientras que Salinas-Moreno *et al.* (2013) documentaron valores de 7.16 a 73 % en maíces tropicales y subtropicales de Oaxaca. La ausencia de flotación en la mayoría de las localidades confirma el carácter de grano duro de la raza Jala, lo que se asocia con un alto contenido de amilosa y una fuerte compactación de los gránulos de almidón en la matriz proteica (Agama-Acevedo *et al.*, 2013). Esta característica dificulta la flotación, pero constituye una ventaja tecnológica en procesos de nixtamalización y molienda seca, al favorecer un mayor rendimiento en harina y una mejor calidad de masa.

En el peso de 100 granos no se observaron diferencias significativas ($\alpha = 0.05$) entre localidades (Figura 3). El valor más alto correspondió a La Meseta con 58.93 g, mientras que el más bajo fue Jala con 55.3 g; Coapan y Compostela presentaron valores intermedios de 57.88 g y 56.13 g, respectivamente. Estos resultados son superiores a los reportados por Godínez-Galán *et al.* (2014) para la misma raza (49.9 g), lo cual refleja una expresión favorable del potencial genético del maíz Jala en las localidades evaluadas. El peso de 100 granos es un indicador del llenado y desarrollo del grano, influido por factores como el suministro de nutrientes y la densidad de siembra. En este caso, los valores elevados sugieren condiciones de cultivo adecuadas y menor competencia entre plantas, lo que

permitió un mejor llenado de los granos y, por ende, un mayor peso promedio.

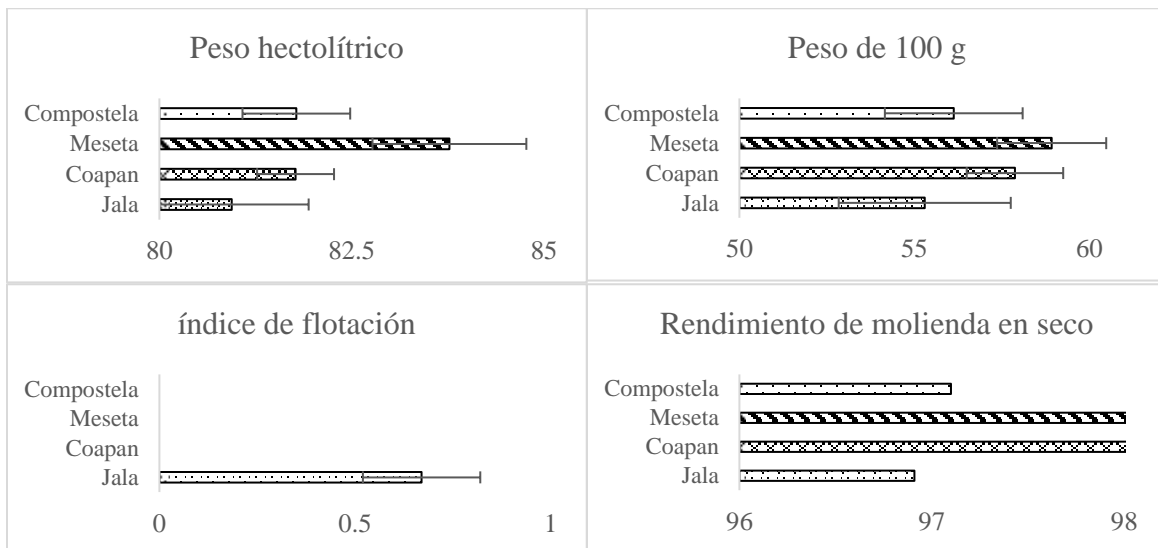


Figura 3. Propiedades físicas del grano de maíz de cuatro muestras de maíz raza Jala cultivadas en diferentes zonas geográficas del estado de Nayarit. Las barras de error representan desviación estándar (DE); n = 3.

Agama-Acevedo *et al.* (2011) reportaron pesos de 31.07 a 50.98 g, valores inferiores a los obtenidos en este estudio, lo que confirma que la raza Jala se distingue por granos de mayor tamaño. La similitud observada entre localidades se debe a la homogeneidad en el tamaño de los granos, lo cual confiere un peso consistente cuando se evalúan 100 granos (Salinas *et al.*, 1992). Esto sugiere que el ambiente no tuvo un efecto determinante sobre la expresión del genotipo responsable de esta característica.

En cuanto al rendimiento de la molienda en seco, no se observaron diferencias significativas ($\alpha = 0.05$) entre localidades (Figura 3), con valores de 98.32, 98.14, 97.1 y 96.91 % para Coapan, La Meseta, Compostela y Jala, respectivamente. Dichos valores se encuentran por encima del rango establecido por la FAO (1993) para harinas de maíz (86–95 %), lo que refleja la buena calidad tecnológica de los granos de la raza Jala. Factores como el estado del grano (impurezas y humedad), así como las

condiciones del molino, influyen en el rendimiento; sin embargo, la ausencia de diferencias estadísticas indica que los granos presentaron características fisicoquímicas similares de dureza y resistencia a la molienda (Cirilo & Izquierdo, 2023).

Análisis granulométrico de la harina

El análisis granulométrico (Figura 4) mostró que en las cuatro muestras más del 55% de la harina fue retenida en el tamiz 20 (850 μm), lo cual indica un predominio de partículas de gran tamaño. Los tamices 30, 40, 100 y 140 (600, 425, 150 y 106 μm) concentraron entre 10 y 4.6 % del material restante, con resultados consistentes entre localidades. La representación gráfica permite visualizar con mayor claridad que la Meseta presentó una retención ligeramente superior en el tamiz 20, aunque sin diferencias estadísticas frente a las otras localidades.

De acuerdo con el Codex CXS 154-1985 (enmendado en 2019), que establece que la harina integral debe cumplir con fracciones

mínimas de paso a tamices de 1700 μm (95%), 710 μm (45%) y 212 μm (35% máximo), las harinas obtenidas cumplen con tales parámetros y pueden considerarse integrales. Esto es relevante porque tales

harinas conservan fibra, vitaminas y minerales de las distintas fracciones del grano, aportando ventajas nutricionales y funcionales (Mansilla, 2018).

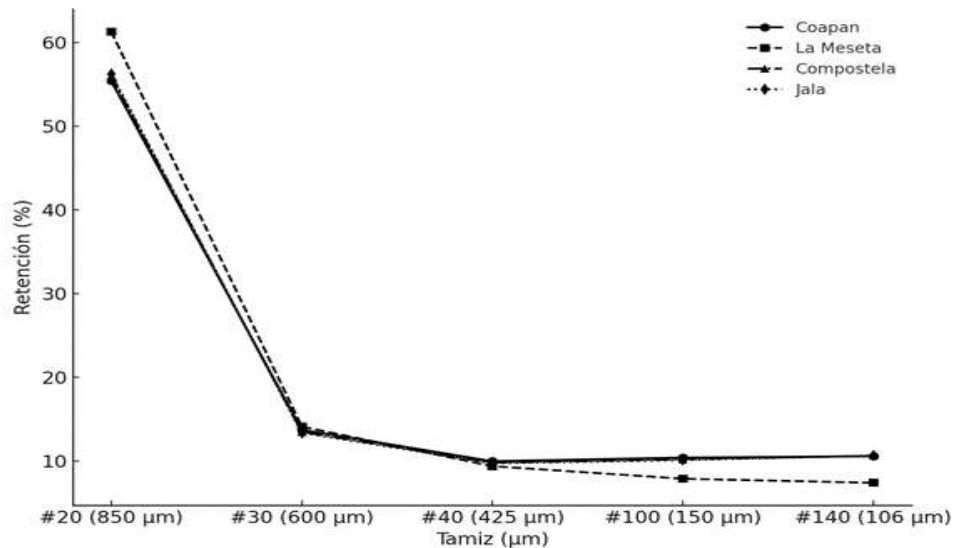


Figura 4. Distribución granulométrica de harina de maíz raza Jala.

Análisis bromatológico

En el valor de pH no se observaron diferencias estadísticas significativas entre las muestras ($\alpha = 0.05$) (Figura 5). El valor más alto correspondió a La Meseta con 6.50, mientras que el más bajo se presentó en Jala con 6.43; Coapan y Compostela registraron valores intermedios de 6.47 y 6.48, respectivamente. Estos resultados coinciden con lo reportado por Anaya-Esparza *et al.* (2024) en harinas de maíz azul de Oaxaca y Chihuahua, quienes registraron valores de 6.3 a 6.4. Por otra parte, Urías-Corona *et al.* (2016) identificaron la presencia de ácidos fenólicos como ferúlico y cumárico en el salvado de maíz, compuestos que pueden influir en los valores de pH al modificar la acidez intrínseca de las muestras.

En la determinación de acidez titulable se observaron diferencias estadísticas significativas ($\alpha = 0.05$) (Figura 5). La muestra de Jala presentó el valor más alto con

0.1054%, mientras que Coapan registró el más bajo con 0.0939%; La Meseta y Compostela mostraron valores intermedios de 0.1025% y 0.1021%, respectivamente. Anaya-Esparza *et al.* (2024) reportaron un valor superior (0.19%) para maíces azules, lo que resalta la variabilidad entre razas. Estas diferencias pueden atribuirse al contenido de ácidos grasos en el germen del grano, los cuales quedan expuestos tras la molienda (FAO, 2007). En particular, el mayor valor de acidez en Jala puede relacionarse con un contenido más elevado de ácidos libres, probablemente influenciado por la proporción de fibra que modifica la granulometría y la compactación de las partículas, aumentando la retención de humedad (Contreras-Jiménez *et al.*, 2019). Esto coincide con los valores más altos de humedad y acidez encontrados en las muestras de Jala y La Meseta.

Desde el punto de vista alimentario, la acidez titulable en harinas de maíz es un parámetro

relevante porque influye en la estabilidad del producto, la calidad de la masa y el desarrollo de compuestos aromáticos durante la cocción. Un incremento en la acidez puede acelerar reacciones de hidrólisis lipídica y favorecer notas sensoriales ligeramente ácidas, además de reducir la vida útil por mayor susceptibilidad a rancidez oxidativa. En productos derivados, como la tortilla, niveles

más altos de acidez pueden modificar la textura, elasticidad y firmeza de la masa, debido a que alteran la interacción entre almidón, proteínas y compuestos solubles. Por ello, las diferencias de acidez observadas entre localidades pueden traducirse en variaciones funcionales y sensoriales en los alimentos elaborados a partir de estas harinas.

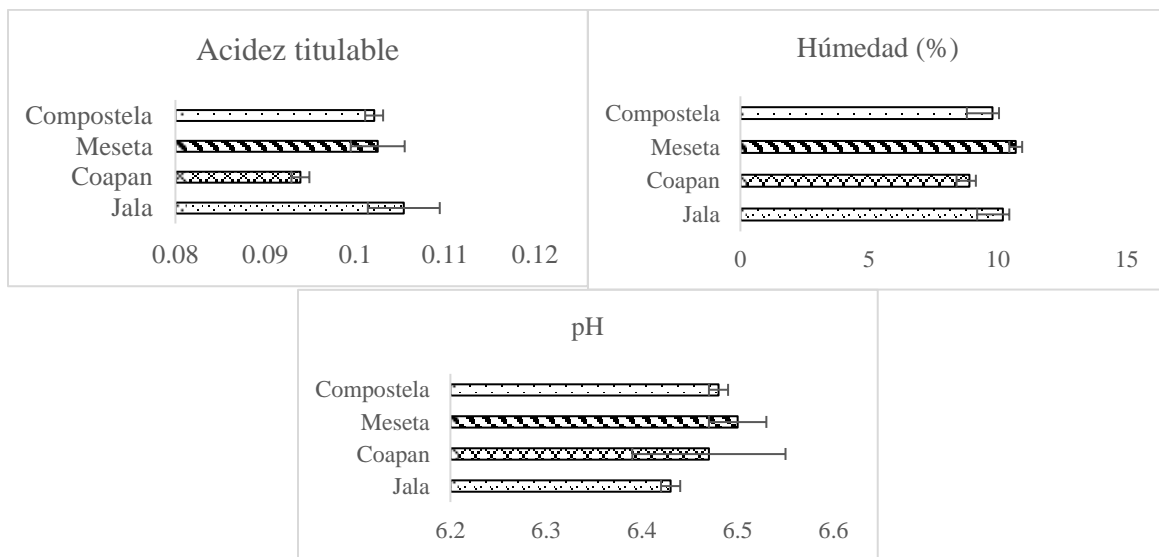


Figura 5. Valores proximales (pH, acidez titulable y humedad) en harinas de maíz raza Jala. Las barras de error representan desviación estándar (DE); n = 3.

Para el porcentaje de humedad se observaron diferencias estadísticas significativas entre las muestras ($\alpha = 0.05$) (Figura 5). El valor más alto correspondió a La Meseta con 10.7%, mientras que el más bajo fue registrado en Coapan con 8.9%. Jala y Compostela presentaron valores intermedios de 10.2% y 9.8%, respectivamente. Chan-Chan *et al.* (2021) reportaron valores de 6.68 a 8.48 % en variedades de maíz híbrido y predecesor, mientras que Antuna *et al.* (2008) documentaron en la raza Jala un valor de 10.9%, similar al observado en La Meseta y Jala. Agama-Acevedo *et al.* (2011) señalaron un rango de 7.22 a 10.67 % y Montoya-López *et al.* (2014) registraron un valor de 11.6% en harina de maíz amarillo. Las diferencias entre muestras pueden atribuirse al momento de

cosecha (Valdivia *et al.*, 2010), ya que las de La Meseta fueron recolectadas en diciembre de 2019, Jala en septiembre, y Coapan y Compostela en agosto del mismo año.

En el contenido de cenizas totales se observaron diferencias estadísticas significativas entre las muestras ($\alpha = 0.05$) (Figura 6). Compostela presentó el valor más alto con 2.3%, mientras que el más bajo correspondió a Coapan con 1.7%. Jala y La Meseta mostraron valores similares de 2.2%. Chan-Chan *et al.* (2021) reportaron contenidos de cenizas entre 1.29 y 1.50% en variedades de maíz híbrido y predecesor. Agama-Acevedo *et al.* (2011) informaron valores de 1.4 a 1.82 %, mientras que Anaya-Esparza *et al.* (2024) documentaron entre

1.09 y 1.16 % en maíz azul de distintas regiones de México (Oaxaca y Chihuahua). Por su parte, Miranda *et al.* (2015) reportaron 1.94% en harina de maíz nicaragüense. La variación entre muestras puede atribuirse a factores edáficos, como el tipo de suelo, el contenido de nutrientes y su biodisponibilidad para ser absorbidos por la planta (Below, 2002). En este sentido, la menor proporción de cenizas en Coapan sugiere una posible disminución en el contenido mineral del suelo de esa localidad. De acuerdo con el Codex CXS 154-1985, el contenido máximo permitido de cenizas en harinas integrales de maíz es de 3%, por lo que todas las muestras evaluadas cumplen con este estándar internacional.

El contenido de cenizas es un indicador de la fracción mineral de la harina, lo cual resulta relevante no solo como criterio de calidad nutricional, sino también en la formulación de alimentos, ya que aporta elementos esenciales como calcio, magnesio y potasio. Por lo tanto, el cumplimiento de los valores normativos y la variación entre localidades reflejan tanto la calidad de la materia prima como las condiciones agronómicas del sitio de origen.

En el contenido de lípidos se observaron diferencias estadísticas significativas ($\alpha = 0.05$) (Figura 6). La Meseta presentó el valor más alto con 5.8%, mientras que el más bajo lo presentó Jala con 3.6%; Coapan y Compostela registraron valores intermedios de 4.4 y 5.4 %, respectivamente. Estos resultados se encuentran dentro de los rangos reportados por Chan-Chan *et al.* (2021) para

variedades de maíz híbrido y predecesor (5–7 %) y son comparables con lo señalado por Anaya-Esparza *et al.* (2024) en maíces azules nativos de México (3.97–4.16 %). Otros autores han descrito valores superiores, como Montoya-López *et al.* (2014) con 7.7% y Miranda *et al.* (2015) con 6.58%.

Desde una perspectiva práctica, el contenido de lípidos constituye un parámetro relevante tanto para la calidad tecnológica como para el valor nutricional de la harina. Por un lado, los lípidos aportan energía y ácidos grasos esenciales, además de participar en la estructura del endospermo y en la capacidad de absorción de agua durante la elaboración de masa (Serna-Saldívar, 2016). Por otro, influyen en la estabilidad de almacenamiento, ya que niveles elevados pueden incrementar la susceptibilidad al enranciamiento hidrolítico y oxidativo, reduciendo la vida útil del producto (FAO, 2007; Martínez-Flores *et al.*, 2012). También se ha reportado que el contenido lipídico modifica propiedades funcionales como la extensibilidad, cohesión y firmeza en masas nixtamalizadas, impactando la textura final de tortillas y otros derivados (Martínez-Flores *et al.*, 2012).

Así, las variaciones observadas entre localidades no solo reflejan diferencias genotípicas y ambientales, sino que también implican ajustes potenciales en el manejo poscosecha, en las condiciones de almacenamiento y en las aplicaciones industriales de estas harinas, especialmente en productos donde la calidad de la masa y la estabilidad oxidativa son determinantes.

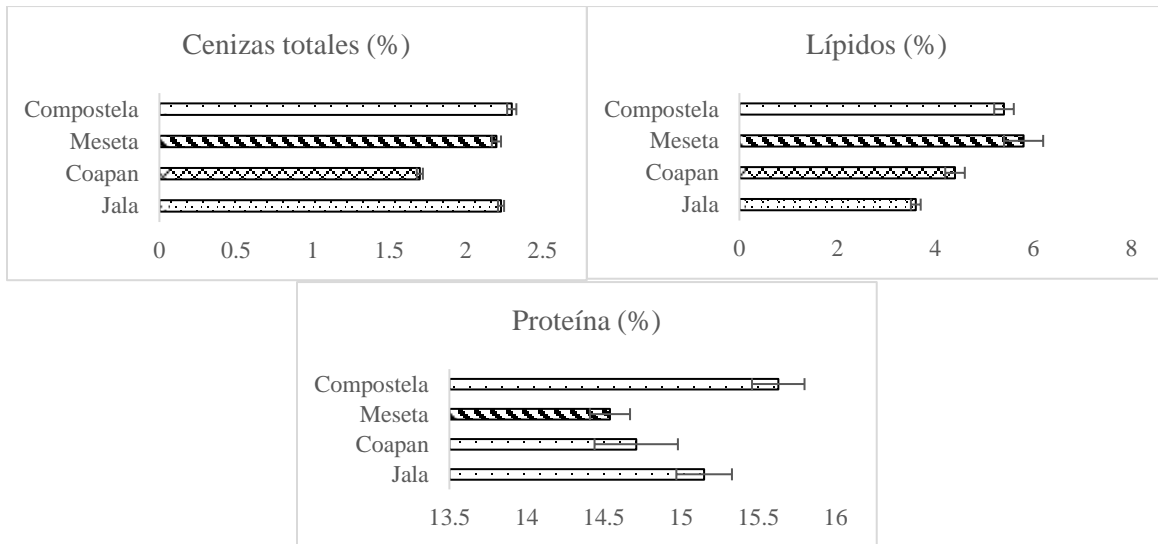


Figura 6. Valores proximales (Cenizas, contenido de lípidos y proteína) en harinas de maíz raza Jala. Las barras de error representan desviación estándar (DE); n = 3.

Las diferencias entre muestras pueden deberse a la disponibilidad y contenido de nutrientes en el suelo, además de las condiciones climáticas en las que se desarrolló la planta. En particular, se ha documentado que ciertos tipos de estrés ambiental pueden inducir un aumento en la acumulación de ácidos grasos, como respuesta adaptativa de la planta (Aguilar *et al.*, 2015; Kränzlein *et al.*, 2023). La similitud entre Compostela y La Meseta podría estar relacionada con condiciones similares de nutrición en el suelo, o bien con un efecto del genotipo, que favorece una mayor acumulación de nutrientes grasos cuando la planta crece fuera de su área de adaptación óptima (Aguilar *et al.*, 2015; Jin *et al.*, 2023).

En comparación con estudios previos, Chan-Chan *et al.* (2021) reportaron porcentajes de proteína de 9.77 a 11.37 % en variedades de maíz híbrido y predecesor cultivadas en Yucatán. De manera similar, López-Alarcón *et al.* (2018) informaron un valor de 8.40% en maíz amarillo, mientras que otros autores han documentado un rango de 7 a 12 % en diferentes razas de maíz, reflejando la influencia tanto genética como ambiental (Vázquez-Carrillo *et al.*, 2010). En este

estudio, los valores obtenidos fueron ligeramente superiores, lo que sugiere un aporte potencialmente más elevado de aminoácidos en las harinas evaluadas.

Las variaciones observadas entre localidades no solo reflejan diferencias genotípicas y ambientales, sino que también tienen implicaciones para el manejo poscosecha y la estandarización industrial. En este contexto, preservar la diversidad genética de los materiales criollos, como la raza Jala, resulta fundamental para mantener su variabilidad bioquímica y su potencial de uso, ya que estudios recientes han documentado una reducción en su variabilidad genética y señalan la necesidad de emprender estrategias de conservación para evitar su erosión (Suárez-González *et al.*, 2025).

Conclusiones

Los maíces de la raza Jala de Coapan y La Meseta destacaron en sus características morfológicas y en atributos físicos del grano, confirmando su relevancia como recurso genético regional. Tecnológicamente, las harinas obtenidas cumplieron con los criterios del Codex para considerarse integrales, con rendimientos altos, granulometría adecuada y

composición proximal dentro de rangos reportados, con variaciones asociadas a factores edafoclimáticos.

En términos nutricionales, las harinas mostraron un aporte significativo de proteínas y minerales, lo que respalda su valor como ingrediente para alimentos de calidad. Además, las propiedades tecnofuncionales observadas indican que la raza Jala posee potencial para aplicaciones industriales como tortillas artesanales, productos nixtamalizados y mezclas para panificación.

De manera práctica, fortalecer su aprovechamiento en los mercados locales y en la alimentación de las familias productoras puede contribuir tanto a la autosuficiencia alimentaria como a la conservación de este material criollo, al mantener vigente su uso económico y cultural.

Agradecimientos

A los productores de maíz raza Jala de Coapan y La Meseta por su colaboración, y a la Lic. Magdalia Elizabeth Ibarra Palomares por el apoyo brindado en la coordinación y logística de las visitas a las regiones productoras.

Referencias

1. Torres-Morales, B., Rocandio-Rodríguez, M., Santacruz-Varela, A., Córdova-Téllez, L., Coutiño-Estrada, B., & López-Sánchez, H. (2022). Diversidad morfológica y agronómica de siete razas de maíz del estado de Chiapas. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 13(4), 687-699. <https://doi.org/10.29312/remexca.v13i4.2956>

2. González-Martínez, J., Rocandio-Rodríguez, M., Contreras-Toledo, A. R., Joaquín-Cancino, S., Vanoye-Eligio, V., Chacón-Hernández, J. C. & Hernández-Bautista, A. (2020). Diversidad morfológica y agronómica de maíces nativos del altiplano

de Tamaulipas, México. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 43(4): 361-370. <https://doi.org/10.35196/rfm.2020.4.361>

3. Romero-Portillo, J. F., Castillo-Gutiérrez, A., Carapia-Ruiz, V. E., Andrade-Rodríguez, M., Ortega-Paczka, R., Gómez-Montiel, N. O. Perdomo-Roldan, F. y Suárez-Rodríguez, R. (2018). Variación morfológica en colectas de maíz ancho nativo del estado de Morelos, México. *Pensamiento Actual*, 18(31): 35-45. <https://doi.org/10.15517/pa.v18i31.35637>

4. Aguilar-Castillo, J. A., Carballo-Carballo, A., Castillo-González, F., Santacruz-Varela, A., Mejía-Contreras, J.A., Crossa-Hiriarte J., & Baca-Castillo, G. (2006). Diversidad fenotípica y variantes distintivas de la raza Jala de maíz. *Agricultura Técnica en México*, 32, 57-66. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S0568-25172006000100006&script=sci_arttext

5. Rice, E. B., Smith, M. E., Mitchell, S. E., & Kresovich, S. (2006). Conservation and change: a comparison of in situ and ex situ conservation of Jala maize germplasm. *Crop Science*, 46(1), 428-436. <https://doi.org/10.2135/cropsci2005.06-0116>

6. Montes, L. A., Hernández, J. A., López, S. H., Santacruz, V. A., Vaquera, H. H., & Valdivia, B. R. (2014). Expresión fenotípica in situ de características agronómicas y morfológicas en poblaciones del maíz raza Jala. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 37(4), 363-372. <https://doi.org/10.35196/rfm.2014.4.363>

7. Valdivia-Bernal, R., Caro-Velarde, F., Medina-Torres, R., Ortiz-Catón, M., Espinosa-Calderón, A., Vidal-Martínez, V. A., & Ortega-Corona, A. (2010). Contribución genética del criollo Jala en variedades eloteras de maíz. *Revista Fitotecnia Mexicana*. 33(4), 63-67.

<https://doi.org/10.35196/rfm.2010.Especial4.63>

8. López-Vázquez, D. E., Aguirre-Mandujano, E., Lobato-Calleros, C., & Hernández-Rodríguez, L. (2021). Propiedades fisicoquímicas y funcionalidad de almidón de maíz cacahuacintle. *In Congreso Internacional de Investigación de Ciencias Básicas y Agronómicas*. (pp. 31-41). https://dicea.chapingo.mx/wp-content/uploads/2021/10/Memoria_2021_Mesa4-Quimica.pdf

9. Sánchez-Ortega, I., & Pérez-Urría, E. (2014). Maíz I (*Zea mays*). *Reduca (Biología Serie Botánica*, 7(2), 151-171. <https://hdl.handle.net/20.500.14352/33739>

10. González-Hernández, J., Morales-Ramos, V., Salinas-Moreno, Y., López-Martínez, L., & Arellano-Velázquez, K. (2018). Caracterización física, industrial y nutricional de maíces nativos de México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 9(2), 351-365. <https://doi.org/10.29312/remexca.v9i2.816>

11. Wellhausen, E. J., Roberts, L. M., & Xolocotzi, E. H. (1951). Razas de maíz en México, su origen, características y distribución. Secretaría de Agricultura y Ganadería. México.

12. Rodríguez-Méndez, L. I., Figueroa-Cárdenas, J. D., Ramos-Gómez, M., & Méndez-Lagunas, L. L. (2013). Nutraceutical properties of flour and tortillas made with an ecological nixtamalization process. *Journal of Food Science*, 78(10), C1529-C1534. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.12241>

13. Fernández-Suárez, R., Morales-Chávez, L.A., & Gálvez-Mariscal, A. (2013). Importancia de los maíces nativos de México en la dieta nacional. Una revisión indispensable. *Fitotecnia Mexicana*, 36(3),

275-283.

<https://www.scielo.org.mx/pdf/rfm/v36s3-a/v36s3-aa4.pdf>

14. Martínez-Damián, M. A., Téllez-Delgado, R., & Mora-Flores, J. S. (2018). Maíz blanco y maíz amarillo sustitutos o complementos. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 9(4), 879-885. <https://doi.org/10.29312/remexca.v9i4.1404>

15. Chan-Chan, M., Moguel-Ordóñez, Y., Gallegos-Tintoré, S., Chel-Guerrero, L., & Betancur-Ancona, D. (2021). Caracterización química y nutrimental de variedades de maíz (*Zea mays* L.) de alta calidad de proteína (QPM) desarrolladas en Yucatán, México. *Biotecnia*, 23(2), 11-21. <https://doi.org/10.18633/biotecnia.v23i2.1334>

16. Rincón-Sánchez, F., Castillo-González, F., & Ruíz-Torres, N. A. (2010). Diversidad y distribución de los maíces nativos en Coahuila, México. SOMEFI, Chapingo, México.

17. Comisión Nacional para el conocimiento y uso de la biodiversidad (CONABIO). (2021). *Maíces*. México. <https://www.biodiversidad.gob.mx/diversidad/alimentos/maices>

18. American Association of Cereal Chemists (AACC). (2005). *Approved methods of the AACC*. 10th edit. St. Paul M.N.

19. Salinas, M. Y., Martínez, B. F., & Gómez, E. J. (1992). Comparación de métodos para medir dureza del maíz (*Zea mays* L.). *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*, 42(1), 59-63. <https://www.alanrevista.org/ediciones/1992/1/art-11/>

20. Salinas-Moreno, Y., Gómez-Montiel, N. O., Cervantes-Martínez, J.E., Sierra-Macías,

- M., Palafox-Caballero, A., Betanzos-Mendoza, E., & Coutiño-Estrada, B. (2010). Calidad nixtamalera y tortillera en maíces del trópico húmedo y sub-húmedo de México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 1(4), 509-523. <https://www.scielo.org.mx/pdf/remexca/v1n4/v1n4a5.pdf>
21. Ponce-Ramírez, J. C., Málaga-Juárez, J. A., Huamani-Huamani, A. L., & Chuqui-Diestra, S. R. (2016). Optimización de la concentración de la α -amilasa y lactosuero en el mejoramiento de las características tecnológicas, nutricionales y sensoriales del pan francés. *Agroindustrial Science*, 6(2), 185-194. <https://doi.org/10.17268/agroind.science.2016.02.03>
22. International Starch Institute (ISI). (1999). Determination of starch size distribution by screening. ISI 32-1e. In: Laboratory methods. Science Park, Aarhus, Dinamarca.
23. Fernández-Muñoz, J. L., San Martín-Martínez, E. I., Díaz-Góngora, J. A., Calderón, A., & Ortiz, H. (2008). Evaluación de las distribuciones de tamaño de partícula de harina de maíz nixtamalizado por medio de RVA. *Sociedad Mexicana de Ciencia y Tecnología de Superficies y Materiales*, 21(3): 25-30. <https://www.scielo.org.mx/pdf/sv/v21n3/v21n3a4.pdf>
24. García-Tejeda, Y. V., Zamudio-Flores, P. B., Bello-Pérez, L. A., Romero-Bastida, C. A., & Solorza-Feria, J. (2011). Oxidación del almidón nativo de plátano para su uso potencial en la fabricación de materiales de empaque biodegradables: caracterización física, química, térmica y morfológica. *Revista Iberoamericana de Polímeros*, 12(3), 125-135. <https://reviberpol.org/wp-content/uploads/2019/07/2011-garcia-tejana.pdf>
25. International Starch Institute (ISI). (1999b). Determination of pH in starch and syrup. ISI 26-5e. In: Laboratory methods. Science Park, Aarhus, Dinamarca.
26. Martínez-Flores, H. E., Martínez-Bustos, F., Figueroa, C. J. D., & González-Hernández, J. (1998). Tortillas from extruded masa as related to corn genotype and milling process. *Journal Food Science*, 63, 130-133. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1998.tb15692.x>
27. AOAC (Association of Official Analytical Chemists). (2005). Official Methods of Analysis. Gaithersburg, MA, USA.
28. NMX-F-090-S-1978 actualizada por NMX-F-804-SCFI-2018. Determinación de fibra cruda en alimentos. Food stuff determination of crude fiber. Normas Mexicanas. Dirección General de Normas. Secretaria de Economía. Diario Oficial.
29. López-Guzmán, J. A., Aguilar-Castillo, J. A., García-Zavala, J. J., Lobato-Ortiz, R., & Sánchez-Guzmán, P. (2017). Comportamiento agronómico de poblaciones de maíz raza Jala en Nayarit y Estado de México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 8(7), 1537-1548. <https://doi.org/10.29312/remexca.v8i7.510>
30. Ramírez-Mandujano, C. A., González-Cortés, J. C., & Gómez-Santiz, J. A. (2018). Longitud de mazorca en cruces de maíz Jala con una variedad criolla mejorada. *Ciencia Nicolaita*, 75, 147-163. <https://doi.org/10.35830/cn.vi75.431>
31. López-Guzmán, J. A., Aguilar-Castillo, J. A., García-Zavala, J. J., & Lobato-Ortiz, R. (2018). Adaptabilidad y estabilidad de

longitud de mazorca de maíz raza Jala en cinco ambientes. *Revista Bio Ciencias*, 5(3), 1-14.

<http://dx.doi.org/10.15741/revbio.05.03.02>

32. INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía). 2020. Anuario estadístico y geográfico de Nayarit 2020. Disponible en: <https://www.inegi.org.mx>. Consultado el 15 de agosto de 2025.

33. SMN (Servicio Meteorológico Nacional). 2021. Normales climatológicas por estado: Nayarit (1981–2010). Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). Disponible en: <https://smn.conagua.gob.mx>. Consultado el 15 de agosto de 2025.

34. Kato, T. A., Mapes, C., Mera, L. M., Serratos, J. A., & Bye, R. A. (2009). Origen y diversificación del maíz: una revisión analítica. Universidad Nacional Autónoma de México, Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO).

35. Sánchez, G. J. J., Goodman, M. M., & Stuber, C. W. (2000). Isoenzymatic and morphological diversity in the races of maize of Mexico. *Economic Botany*, 54(1), 43–59. <https://doi.org/10.1007/BF02866601>

36. Quiroz-Mercado, J., Pérez-López, D. de J., González-Huerta, A., Rubí-Arriaga, M., Gutiérrez-Rodríguez, F., Franco-Martínez, J. R. P., & Ramírez-Dávila, J. F. (2017). Respuesta de 10 cultivares de maíz a la densidad de población en tres localidades del centro mexicano. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 8(7), 1521-1535. <https://doi.org/10.29312/remexca.v8i7.508>

37. Córdoba, J. A., Salcedo, E., Rodríguez, R., Zamora, J. F., Manríquez, R., Contreras, H., & Delgado, E. (2013). Caracterización y valoración química del olote: degradación hidrotérmica bajo condiciones subcríticas.

Revista Latinoamericana de Química, 41(3), 171-184.

<https://www.scielo.org.mx/pdf/rlq/v41n3/v41n3a4.pdf>

38. Godínez-Galán, R. Y., García-Rodríguez, J. G., Raya-Pérez, J. C., Morales-Rodríguez, I., Ramírez-Pimentel, J. G., Torres-Castillo, J. A., & Aguirre-Mancilla, C. L. (2014). Caracterización física, fisiológica y de las proteínas de semillas de maíz (*Zea mays* L.) de Guanajuato e Hidalgo, México. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria de México*, 2, 17-23.

39. Agama-Acevedo, E., Juárez-García, E., Evangelista-Lozano, S., Rosales-Reynoso, O. L., & Bello-Pérez, L. A. (2013). Características del almidón de maíz y relación con las enzimas de su biosíntesis. *Agrociencia*, 47(1), 01-12.

<https://www.scielo.org.mx/pdf/agro/v47n1/v47n1a1.pdf>

40. Salinas-Moreno, Y., Aragón-Cuevas, F., Ybarra-Moncada, C., Aguilar-Villarreal, J., Altunar-López, B., & Sosa-Montes, E. (2013). Caracterización física y composición química de razas de maíz de grano azul/morado de las regiones tropicales y subtropicales de Oaxaca. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 36(1): 23-31.

<https://www.scielo.org.mx/pdf/agro/v47n1/v47n1a1.pdf>

41. Agama-Acevedo, E., Salinas-Moreno, Y., Pacheco-Vargas, G., & Bello-Pérez L. A. (2011). Características físicas y químicas de dos razas de maíz azul: morfología del almidón. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 2(3), 317-329.

https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S09342011000300002&script=sci_arttext&utm

42. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). (1993). El maíz en la nutrición humana. Colección FAO: Alimentación y nutrición, N°25. Roma, Italia.
43. Cirilo, A.G., Izquierdo, N., 2023. Capítulo 15: Calidad de grano. En: Ecofisiología y manejo del cultivo de maíz (eds. Andrade, F., Otegui, M.E., Cirilo, A., Uhart, S.). Versión digital, pp 385-408.
44. CXS 154-1985. (2019). Norma para harina integral de maíz. Codex alimentarius. Normas Internacionales de los Alimentos. p. 1-4.
45. Mansilla, P. S. (2018). Evaluación del valor nutricional de maíces especiales (*Zea mays* L.): selección para calidad agroalimentaria. Tesis para obtener el grado de Doctor en Ciencias Agropecuarias. Córdoba, Argentina.
46. Anaya-Esparza, L. M., Gómez-Rodríguez, V. M., Ramírez-Vega, H., Hernández-Estrada, S., Hernández-Villaseñor, L. A., & de la Mora-Villagrana, B. Z. (2024). Propiedades nutricionales, fisicoquímicas, funcionales, compuestos fenólicos y actividad antioxidante de harinas de tres accesiones de maíz azul nativo de México. *INGENIERÍA: Ciencia, Tecnología e Innovación*, 11(1), 23-39. <https://doi.org/10.26495/z1k1kc46>
47. Urías-Corona, V., Basilio Heredia, J., Muy-Rangel, D., & Niño-Medina, G. (2016). Ácidos fenólicos con actividad antioxidante en salvado de maíz y salvado de trigo. *Ecosistemas y recursos agropecuarios*, 3(7), 43-50. <https://www.scielo.org.mx/pdf/era/v3n7/v3n7a5.pdf>
48. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). (2007). Guía técnica para producción y análisis de almidón de yuca. Boletín de Servicios Agrícolas de la FAO N°163. Roma, Italia.
49. Contreras-Jiménez, B., Torres-Vargas, O. L., & Rodríguez-García, M. E. (2019). Physicochemical characterization of quinoa (*Chenopodium quinoa*) flour and isolated starch. *Food Chemistry*, 298, 124982. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.124982>
50. Antuna-Grijalva, O., Rodríguez-Herrera, S. A., Arámbula-Villa, G., Palomo-Gil, A., Gutiérrez-Arías, E., Espinosa-Banda, A., Navarro-Orona, E.F., & Andrio-Enríquez, E. (2008). Calidad nixtamalera y tortillera en maíces criollos de México. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 31(3), 23-27.
51. Montoya-López, J., Quintero-Castaño, V. D., & Lucas-Aguirre, J. C. (2014). Caracterización de harina y almidón de frutos de banano Gros Michel (*Musa acuminata* AAA). *Acta Agronómica*, 64(1), 11-21. <http://dx.doi.org/10.15446/acag.v64n1.38814>
52. Miranda, C. S., Esquivel, Q. J., Ruíz, U. J., & Rivers, C. E. (2015). Análisis proximal de granos de arroz, frijol, maíz y café comercializados en el mercado Roberto Huembes de Managua. *Revista Universidad y Ciencia*, 8(13), 41-46. [10.5377/uyc.v9i14.4560](https://doi.org/10.5377/uyc.v9i14.4560)
53. Below, F. E. (2002). Fisiología, nutrición y fertilización nitrogenada del maíz. *Informaciones Agronómicas*, 54, 3-9.
54. Serna-Saldívar, S. O. (2016). *Cereals: Processing and nutritional quality*. CRC Press. 132-134 pp.
55. Martínez-Flores, H. E., Martínez-Bustos, F., & Figueroa-Cárdenas, J. D. (2012).

Changes on the physical and chemical properties of extruded corn flour during storage. *Journal of Food Engineering*, 108(3), 603–609. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2011.09.015>

56. Kränzlein, M., Schmöckel, S. M., Geilfus, C.-M., Schulze, W. X., Altenbuchinger, M., Hrenn, H.; Roessner, U., & Zörb, C. (2023). Lipid remodeling of contrasting maize (*Zea mays* L.) hybrids under repeated drought. *Frontiers in Plant Science*, 14, 1050079. <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1050079>

57. Jin, Y., Li, X., Yu, W., Liu, X., Chen, Z., Zhao, J., & Xu, Y. (2023). Complex genetic architecture underlying the plasticity of multiple agronomic traits in maize across environments. *Plant communications*, 4(3), 1-14. [10.1016/j.xplc.2022.100473](https://doi.org/10.1016/j.xplc.2022.100473)

58. López-Alarcón, M., Montalvo-Velarde, I., Bernal-Gracida, L., & Barbosa-Cortés, M.D.L. (2018). Maíz nixtamalizado

suplementado con un concentrado de proteínas de sardina para mejorar el valor biológico de las tortillas. *Gaceta Médica de México*, 154(3), 327-334. <https://doi.org/10.24875/GMM.17003373>

59. Vázquez-Carrillo, M. G.; Pérez-Cruz, J. P.; Hernández-Chávez, J. M.; Marrufo, M. L.; Martínez-Ramos, E. (2010). Calidad de grano y de tortillas de maíces criollos del altiplano y valle del Mezquital, México. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 33(Especial): 49–56. <https://doi.org/10.35196/rfm.2010.Especial4.49>

60. Suárez-González, G., López-Guzmán, G., León-Fernández, A., & Bautista-Rosales, P. (2025). Diversidad genética de maíz (*Zea mays* L.) raza Jala mediante marcadores moleculares ISSR. *RIIT Revista Internacional de Investigación e Innovación Tecnológica*, 13(73), 25-39. <https://revistas.uadec.mx/index.php/RIIT/article/view/101>



Revista Internacional de Investigación e Innovación Tecnológica

Página principal: www.riit.com.mx

Antimicrobial Effects of Ethanol Extracts from *Uncaria tomentosa*, *Haematoxylum brasiletto*, and *Cymbopogon citratus* on Multidrug-Resistant Clinical Strains

Efectos antimicrobianos de extractos etanólicos de *Uncaria tomentosa*, *Haematoxylum brasiletto* y *Cymbopogon citratus* sobre cepas clínicas multirresistentes a medicamentos

García-Hernández, D.G.¹, Martínez- Santoyo, J.A.¹, Rivas-Morales, C.¹, Sánchez-García, E.¹, Leos-Rivas, C.¹, Flores-Gutiérrez, F.M.², Méndez-López, L.F.², Heya, M.S.^{2*}

¹ Facultad de Ciencias Biológicas, Departamento de Química, Universidad Autónoma de Nuevo León, San Nicolás de los Garza 66455, Nuevo León, México; DGG-H (<https://orcid.org/0000-0001-8409-139X>).

² Facultad de Salud Pública y Nutrición, Universidad Autónoma de Nuevo León, Ave. Pedro de Alba S/N & Ave. Manuel L. Barragán, San Nicolás de los Garza 64460, Nuevo León, México; MSH (<https://orcid.org/0000-0002-6886-4724>), FMFG (<https://orcid.org/0009-0008-9620-4759>).

david.garciahrz@uanl.edu.mx; javier.martinezsa@uanl.edu.mx; catalinarivas@yahoo.com.mx; eduardo.sanchezgrc@uanl.edu.mx; catalinaleosrivas@yahoo.com; ffloresg@uanl.edu.mx;

luis.mendezlop@uanl.edu.mx; michel.heyax@uanl.edu.mx*

Technological innovation: Pharmacological development of antibiotics based on medicinal plants.

Industry application area: This research focuses on the pharmacological effects of plant extracts as a novel alternative for the treatment of bacterial infections.

Received: March 26, 2025

Accepted: November 27, 2025

Resumen

Antecedentes: La resistencia antimicrobiana es una de las principales amenazas para la salud y el desarrollo globales. Según la Organización Mundial de la Salud (OMS), la resistencia bacteriana fue directamente responsable de 1.27 millones de muertes en todo el mundo en 2019. Como resultado, la industria farmacéutica ha renovado su interés en los productos naturales y su potencial aplicación en la búsqueda de nuevos medicamentos más eficientes para combatir las enfermedades humanas. Este estudio tuvo como objetivo determinar la actividad antimicrobiana de tres extractos etanólicos de plantas: palo de Brasil, uña de gato y zacate limón, contra bacterias multirresistentes a medicamentos. **Métodos.** La actividad biológica se determinó según el protocolo M26-A del Instituto de Estándares de Laboratorio Clínico. **Resultados.** Se observó inhibición del crecimiento para *H. brasiletto* (50 mg/mL) contra bacterias Gram-positivas, como *S. aureus* ATCC BAA-44,

utilizando los métodos de difusión en placa y microdilución en pozos, con una concentración mínima inhibitoria de 6.25 mg/mL y un halo de inhibición de 31 mm de diámetro. De manera similar, *P. aeruginosa* 27853, *E. faecalis* 29212 y *A. baumannii* 27853 mostraron inhibición a una concentración de 12.5 mg/mL y 6.25 mg/mL respectivamente, y diámetros de inhibición de 12, 21 y 16 mm, respectivamente. *U. tomentosa* presentó actividad bacteriostática, reduciendo la población a unas pocas colonias típicas del patógeno a una concentración de 200 mg/mL. *C. citratus* no mostró actividad bactericida o bacteriostática contra las bacterias en estudio. Los antibiogramas realizados en cepas de referencia (ATCC) mostraron resistencia a la mayoría de los antibióticos, pero susceptibilidad al antibiótico Ciprofloxacina. **Conclusión:** Basándonos en los resultados obtenidos, se recomiendan los extractos de plantas medicinales como una alternativa para tratamientos y/o como adyuvantes para problemas infecciosos causados por cepas multirresistentes a medicamentos.

Palabras clave: Multirresistente; Extracto vegetal; potencial antibacteriano.

Abstract

Background: Antimicrobial resistance represents one of the most significant threats to global health and development. According to the World Health Organization (WHO), bacterial resistance was directly responsible for 1.27 million deaths worldwide in 2019. Consequently, the pharmaceutical industry has renewed its interest in natural products and their potential application in the search for more effective drugs to combat human diseases. This study aimed to determine the antimicrobial activity of three ethanolic plant extracts—Brazilwood (*Haematoxylum brasiletto*), cat's claw (*Uncaria tomentosa*), and lemongrass (*Cymbopogon citratus*)—against multidrug-resistant bacteria. **Methods:** Biological activity was determined following the M26-A protocol of the Clinical and Laboratory Standards Institute (CLSI). **Results:** Growth inhibition was observed for *H. brasiletto* (50 mg/mL) against Gram-positive bacteria, such as *S. aureus* ATCC BAA-44, using agar diffusion and microdilution methods, with a minimum inhibitory concentration (MIC) of 6.25 mg/mL and an inhibition zone of 31 mm in diameter. Similarly, *P. aeruginosa* 27853, *E. faecalis* 29212, and *A. baumannii* 27853 showed inhibition at concentrations of 12.5 mg/mL and 6.25 mg/mL, respectively, with inhibition zone diameters of 12 mm, 21 mm, and 16 mm, respectively. *U. tomentosa* exhibited bacteriostatic activity, reducing the bacterial population to a few typical pathogen colonies at a concentration of 200 mg/mL. *C. citratus* did not demonstrate bactericidal or bacteriostatic activity against the bacteria under study. Antimicrobial susceptibility testing performed on reference strains (ATCC) revealed resistance to most antibiotics but susceptibility to ciprofloxacin. **Conclusion:** Based on the results obtained, medicinal plant extracts are recommended as alternatives for treatment and/or as adjuvants for infectious diseases caused by multidrug-resistant strains.

Keywords: Multidrug-resistant, Plant extract, Antibacterial potential.

1. Introduction

Plant-based medicine has been a common practice for centuries, and its importance in the fight against antimicrobial resistance cannot be underestimated. Indeed, antimicrobial resistance is a global problem that affects millions of people every year, and it is estimated that if no measures are taken to address this problem, antimicrobial resistance could become the leading cause of death worldwide by 2050 (WHO, 2024). In this context, plant-based medicine represents a promising alternative. Plants have been used for centuries to treat a wide range of diseases and have demonstrated effectiveness against numerous pathogens, including bacteria, viruses, and fungi (Arip et al., 2022; García-Hernández et al., 2025). Additionally, plants offer the advantage of being a renewable and sustainable source of medicinal compounds, making them a more attractive option than synthetic drugs (Chaachouay & Zidane, 2024). A notable example of the effectiveness of plant-based medicine is the use of *Artemisia annua* in the treatment of malaria (Chan et al., 2020; Martini et al., 2020; Roesch et al., 2025; Sun et al., 2025; Xu et al., 2025). In fact, *A. annua* is now used in many countries to treat malaria and has been shown to be a safer and more effective option than synthetic drugs (Sankar Sangeetha & Saravanakumar Padmavathi, 2025; Vashisth & Mishra, 2025; Villarreal et al., 2024). Another example is the use of curcumin, a bioactive compound found in turmeric, to treat inflammation and infection, (including bacterial and viral infections) (Deng et al., 2025; Fu et al., 2021; Obrzut et al., 2025).

Furthermore, plant-based medicine may help prevent antimicrobial resistance. For example, studies have reported that administering extracts of plants such as Echinacea and *Salvia* can reduce antimicrobial resistance in bacteria such as *Escherichia coli*. (Arip et al., 2022; Vaou et

al., 2021). Therefore, plant-based medicine represents a promising approach to address antimicrobial resistance. Plants have been used for centuries to treat a variety of diseases and have been shown to be effective against a wide range of pathogens. Additionally, plants are a renewable and sustainable source of medicines, making them a more attractive option than synthetic drugs.

Accordingly, this work aimed to determine the antimicrobial potential of *U. tomentosa*, *H. brasiletto*, and *C. citratus*, on multidrug-resistant bacteria of interest to public health as described like potential verotoxin produced by *E. coli* O157-H7, the potential of *U. tomentosa* as a natural products source and the benefits to health by Lemmongrass (Marques et al., 2025; Tazi et al., 2024), about the ethanol as a solvent, we decide to use it due to its polarity and low toxicity (Semenova et al., 2024).

2. Materials and Methods

2.1. Extraction of Plant Extracts

The dried and ground plant material was commercially obtained from Pacalli (Monterrey, Nuevo León, Mexico): (1) scientific name: *Cymbopogon citratus*, common name: Zacate limón; (2) scientific name: *Uncaria tomentosa*, common name: Uña de gato; (3) scientific name: *Haematoxylum brasiletto*, common name: Palo de Brasil. Extraction was performed by maceration. For this purpose, 30 g of dried and ground plant material were placed in a 500 mL Erlenmeyer flask with absolute ethanol (CTR Scientifics) to completely cover the plant material for one week. Subsequently, the solvent was removed from the obtained extract using a rotary evaporator (Yamato model RE200). Each crude extract was completely dried in a drying oven at a temperature below 50 °C (BTC-9100, TERLAB, Zapopan, Mexico) to determine its yield in accordance with Equation 1. The

extracts were stored in clean containers until use (Verde-Star et al., 2016).

$$\% R = \frac{(100)(g \text{ extract})}{g \text{ plant}} \quad (\text{Eq. 1})$$

The *U. tomentosa* extract was commercially obtained from Pacalli. To determine its concentration, 1 mL of the extract was placed in three pre-weighed vials and dried. The concentration was then calculated using a gravimetric method and expressed in mg/mL.

2.2. Antimicrobial activity

The biological activity was determined based on the M26-A Methods for Determining Bactericidal Activity of Antimicrobial Agents: Approved Guideline from the Clinical and Laboratory Standards Institute, with certain modifications (M26A, 1999). The strains were obtained from the Dr. José Eleuterio González University Hospital (UANL). *Pseudomonas aeruginosa* ATCC 27853, methicillin-resistant *Staphylococcus aureus* (MRSA) ATCC BAA-44, *Acinetobacter baumannii* ATCC 15308, and *Enterococcus faecalis* ATCC 29212 were used, in addition to their clinical isolates.

2.2.1. Agar diffusion

For this test, 100 μL of a bacterial suspension (1×10^6 CFU) were placed on plates containing Müller-Hinton agar medium. Then, 6 mm-diameter wells were made in the medium and 20 μL of each extract were added at concentrations of 50, 25, 12.5, and

6.25 mg/mL. As a negative control, 20 μL of the solvent used to dissolve the extracts were used. The plates were incubated for 24 hours at 37 °C. Subsequently, the inhibition zones were measured with a ruler and expressed in mm for each extract.

2.2.2. Determination of the Minimum Inhibitory Concentration (MIC).

The extracts that showed the largest inhibition zone by the plate diffusion method were subjected to determination of the minimum inhibitory concentration (MIC). In a 96-well microplate, 100 μL of the bacterial suspension (1×10^6 CFU) were added, followed by 100 μL of each extract sample prepared as serial dilutions ranging from 50 to 0.048 mg/mL. The microplates were then incubated for 24 hours at 37 °C, including a negative control and a growth control. To determine the MIC of each extract, absorbance was read on an ELx800 microplate reader (BIO-TEK) at 600 nm. The lowest concentration at which the absorbance was equal to that of the blank was considered the MIC.

3. Results and discussion

The organic extraction of the different plants used in the present study was carried out by maceration using 30 g of each dried plant. According to the results obtained (Table 1), low extraction yields were obtained, i.e., 3.66% and 8.5% for *C. citratus* and *H. brasiletto*, respectively.

Table 1. Yields of ethanolic extracts from the plants under study.

Plants	Part used	Yield (w/w, %)
<i>U. tomentosa</i>	NA	NA
<i>C. citratus</i>	Aerial	8.5
<i>H. brasiletto</i>	Aerial	3.66

NA = not applicable

In this study, growth inhibition was primarily observed for *S. aureus* ATCC BAA-44, with MIC values of 6.25 mg/mL and a maximum

inhibition zone diameter of 31 mm for *H. brasiletto* (50 mg/mL) using the plate diffusion method. Inhibitory activity was also

observed in *P. aeruginosa* 27853, *E. faecalis* 29212, and *A. baumannii* 27853 strains, with an MIC of 3.125 mg/mL and inhibition zone diameters of 12 mm, 21 mm, and 16 mm, respectively.

The *H. brasiletto* extract showed the highest activity among the three extracts; therefore,

its MIC was determined (Table 2) and it effectively inhibited bacterial growth. These results are consistent with previous studies that have demonstrated the antimicrobial activity of *H. brasiletto* ethanolic extracts (Gómez-Aguilar & Beltrán-Rodríguez, 2025; Heredia et al., 2005; Yasunaka et al., 2005).

Table 2. Mean inhibition zone diameters of *U. tomentosa*, *C. citratus*, and *H. brasiletto* at different concentrations.

Strains	Concentrations of <i>U. tomentosa</i> (mg/mL)				Concentrations of <i>C. citratus</i> (mg/mL)				Concentrations of <i>H. brasiletto</i> (mg/mL)			
	200	100	50	25	200	100	50	25	200	100	50	25
<i>E. faecalis</i> 29212	12	8	7	0	0	0	0	0	21	13	10	0
<i>A. baumannii</i> 15-308	8	5	0	0	0	0	0	0	16	12	10	8
<i>S. aureus</i> BAA-44	8	5	0	0	0	0	0	0	31	25	21	18
<i>P. aeruginosa</i> 27853	10	0	0	0	0	0	0	0	12	9	4	0
<i>P. aeruginosa</i> *	17	12	8	2.33	0	0	0	0	13	7	0	0
<i>E. faecalis</i> *	0	0	0	0	0	0	0	0	20	16	12	10
<i>A. baumannii</i> *	9	0	0	0	0	0	0	0	16	10	8	0
Methicillin-resistant <i>Staphylococcus aureus</i> (MRSA)*	15	8	0	0	0	0	0	0	22	19	15	11

n = 3; diameters are expressed in millimeters. *Clinical isolate.

Regarding *U. tomentosa*, bacteriostatic activity was observed, with inhibition zones in which the bacterial population was reduced to a few typical colonies of the pathogen at the highest tested concentration (200

mg/mL). These results are consistent with previous studies that have demonstrated the antimicrobial activity of the plant's methanolic extracts (Rojas et al., 2016). No activity was observed for *C. citratus*.

Table 3. Minimum inhibitory concentrations (MICs) of the extracts with the greatest inhibitory activity.

Plant	Strain ATCC	MIC (mg/mL)
<i>H. brasiletto</i>	<i>P. aeruginosa</i>	3.125
	<i>E. faecalis</i>	3.125
	<i>A. baumannii</i>	3.125
	<i>S. aureus</i>	6.25
n = 3		

In another study, 32 extracts from 22 Mexican medicinal plants (15 different families) were analyzed to determine their antibacterial activity against *E. coli* and *S. aureus*. All extracts showed greater activity against *Staphylococcus*; among them was

Brazilwood (González et al., 2022; Mora Saavedra, 2024).

The plant extract and the positive control (cephalexin) showed greater effectiveness against Gram-positive bacteria. Because the

agar diffusion test is a semi-quantitative analysis, the polarity and chemical characteristics of the botanical extraction with absolute ethanol may have influenced the diffusion of the test compounds (Alvis et al., 2012; Aouadi et al., 2024).

The agar diffusion test was initially used to evaluate the inhibitory activity of the plant extracts. This assay is easy to perform and is frequently used to detect the antimicrobial activity of natural products.

Table 4. Antibiogram inhibition results for *P. aeruginosa* ATCC 27853, *E. faecalis* ATCC 29212, *A. baumannii* ATCC 15-308, and *S. aureus* ATCC BAA-44.

Antibiotic	<i>P. aeruginosa</i> ATCC 27853	<i>E. faecalis</i> ATCC 29212	<i>A. baumannii</i> ATCC 15-308	<i>S. aureus</i> ATCC BAA-44
Ampicillin	R	R	R	R
Carbenicillin	R	R	R	R
Cephalosporin	R	R	R	R
Cefotaxime	R	R	R	R
Ciprofloxacin	++++	++++	++++	R
Cephalexin	R	+++	+++	++++
Nitrofurantoin	R	++++	R	R
Amikacin	+++	R	+++	+++
Gentamicin	++++	R	++	R
Netilmicin	++++	R	++++	R
Norfloxacin	++++	++++	++++	R
Sulfamethoxazole/ Trimethoprim	R	R	R	+

Inhibition: R = resistant; + = 1–4 mm; ++ = 5–6 mm; +++ = 7–10 mm; ++++ > 10 mm.

Regarding the antibiograms performed on ATCC strains, the strains showed resistance to most antibiotics; however, they were sensitive to ciprofloxacin, cephalexin, amikacin, and norfloxacin (Table 4).

The mechanism of action of these drugs includes inhibiting bacterial DNA replication by targeting DNA gyrase, as well as binding to the 30S ribosomal subunit to form a non-functional 70S initiation complex, thereby interfering with protein synthesis. (Gad et al., 2024; Khwaza et al., 2024; Nayeem et al., 2024)

4. Conclusions

The inhibitory activity of three ethanolic extracts (*U. tomentosa*, *H. brasiletto*, and *C. citratus*) was determined against *P.*

aeruginosa, *E. faecalis*, *A. baumannii*, and *S. aureus*, including both ATCC reference strains and clinical isolates. The results were discussed based on inhibitory capacity, with *H. brasiletto* showing the highest efficacy and strong bactericidal activity against Gram-positive bacteria; activity was also observed against Gram-negative bacteria across the assays, with an MIC between 3.125 and 6.25 mg/mL. In contrast, *U. tomentosa* showed a bacteriostatic effect at 200 mg/mL, reducing the bacterial population around the wells. This concentration may have an adjuvant effect when combined with other antimicrobial drugs. Despite reports by other authors, no considerable inhibitory effect of *C. citratus* was observed under the conditions tested. For future work, it is recommended to study plants from the same family to compare

their phytochemical profiles and evaluate their antimicrobial capacity.

Reference

- Alvis, A., Martínez, W., & Arrazola, G. (2012). Obtención de Extractos Hidro-Alcohólicos de Limoncillo (*Cymbopogon citratus*) como Antioxidante Natural. *Información Tecnológica*, 23(2), 3–10. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642012000200002>
- Aouadi, A., Saoud, D. H., Rebiai, A., Abd El-Mordy, F. M., Laouini, S. E., Achouri, A., Mustafa, Y. A. A., Hadjadj, S., & Mustafa, A. A. (2024). Impact of different extraction solvents and concentrations on the total phenolics content and bioactivity of the Algerian lemongrass (*Cymbopogon citratus*) extracts. *Ovidius University Annals of Chemistry*, 35(1), 16–26. <https://doi.org/10.2478/auoc-2024-0003>
- Arip, M., Selvaraja, M., Mogana, R., Tan, L. F., Leong, M. Y., Tan, P. L., Yap, V. L., Chinnapan, S., Tat, N. C., Abdullah, M., Dharmendra, K., & Jubair, N. (2022). Review on Plant-Based Management in Combating Antimicrobial Resistance - Mechanistic Perspective. *Frontiers in Pharmacology*, 13(September), 1–23. <https://doi.org/10.3389/fphar.2022.879495>
- Chaachouay, N., & Zidane, L. (2024). Plant-Derived Natural Products: A Source for Drug Discovery and Development. *Drugs and Drug Candidates*, 3(1), 184–207. <https://doi.org/10.3390/ddc3010011>
- Chan, Y. T., Wang, N., Tan, H. Y., Li, S., & Feng, Y. (2020). Targeting Hepatic Stellate Cells for the Treatment of Liver Fibrosis by Natural Products: Is It the Dawning of a New Era? In *Frontiers in Pharmacology* (Vol. 11). Frontiers Media S.A. <https://doi.org/10.3389/fphar.2020.00548>
- Deng, X., Ratnayake, J., & Ali, A. (2025). Curcumin-Loaded Drug Delivery Systems for Acute and Chronic Wound Management: A Review. *Bioengineering*, 12(8), 860. <https://doi.org/10.3390/bioengineering12080860>
- Fu, Y. S., Chen, T. H., Weng, L., Huang, L., Lai, D., & Weng, C. F. (2021). Pharmacological properties and underlying mechanisms of curcumin and prospects in medicinal potential. *Biomedicine and Pharmacotherapy*, 141(June), 111888. <https://doi.org/10.1016/j.biopha.2021.111888>
- Gad, S., Desoqi, M., fawzy, mohammed, Ghourab, M., Hassan, T. H., & elsayy, H. (2024). Focus on Advancements in Amikacin Sulfate Delivery and Safety. *Records of Pharmaceutical and Biomedical Sciences*, 8(3), 132–143. <https://doi.org/10.21608/rpbs.2024.308403.1312>
- García-Hernández, D. G., Pawlukiewicz, A. J., & Villarreal-Ibarra, E. C. (2025). Plants as a Friendly and Emerging Alternative for Disease Management in Humans. In *Natural Alternatives and Nanotechnology Applied to the One Health Approach* (pp. 107–113). Springer Nature Switzerland. https://doi.org/10.1007/978-3-032-03675-9_6
- Gómez-Aguilar, A., & Beltrán-Rodríguez, L. (2025). Palo Brasil *Haematoxylum*

- brasiletto* H. Karst. *Revista Etnobiología*, 23, 113–118.
- González, M. del R. G., Gutiérrez, M. L. Y., & Gonzalez-Santiago, O. (2022). Efecto antimicrobiano de los extractos metanólicos de corteza de *Haematoxylum brasiletto*. *Revista de Ciencias Farmacéuticas y Biomedicina*, 4(1), 26–29.
- Heredia, N., Escobar, M., Rodríguez-Padilla, C., & García, S. (2005). Extracts of *Haematoxylon brasiletto* inhibit growth, verotoxin production, and adhesion of enterohemorrhagic *Escherichia coli* O157:H7 to HeLa cells. *Journal of Food Protection*, 68(7), 1346–1351. <https://doi.org/10.4315/0362-028X-68.7.1346>
- Khwaza, V., Mlala, S., & Aderibigbe, B. A. (2024). Advancements in Synthetic Strategies and Biological Effects of Ciprofloxacin Derivatives: A Review. *International Journal of Molecular Sciences*, 25(9), 4919. <https://doi.org/10.3390/ijms25094919>
- M26A. (1999). *M26-A Methods for Determining Bactericidal Activity of Antimicrobial Agents; Approved Guideline This document provides procedures for determining the lethal activity of antimicrobial agents. September.*
- Marques, O., Figueirinha, A., Pina, M. E., & Batista, M. T. (2025). *Uncaria tomentosa* as a Promising Natural Source of Molecules with Multiple Activities: Review of Its Ethnomedicinal Uses, Phytochemistry and Pharmacology. *International Journal of Molecular Sciences*, 26(14), 6758. <https://doi.org/10.3390/ijms26146758>
- Martini, M. C., Zhang, T., Williams, J. T., Abramovitch, R. B., Weathers, P. J., & Shell, S. S. (2020). Artemisia annua and Artemisia afra extracts exhibit strong bactericidal activity against *Mycobacterium tuberculosis*. *Journal of Ethnopharmacology*, 262(July), 113191. <https://doi.org/10.1016/j.jep.2020.113191>
- Mora Saavedra, L. F. (2024). *EVALUACIÓN ANTIMICROBIANA E IDENTIFICACIÓN PARCIAL DE MOLÉCULAS BIOACTIVAS DE Salvia rosmarinus SPENN. (1835), Haematoxylum brasiletto H. KARST. (1862) Y Ocimum basilicum L. (1753) SOBRE BACTERIAS PATÓGENAS EN LA PRODUCCIÓN DE Oreochromis niloticus L. (1758).* [Tesis de Maestría]. Universidad Autónoma de Nuevo León.
- Nayeem, A., S, A. S., Vellapandian, C., Singh, S., Elossaily, G. M., & Prajapati, B. G. (2024). Comprehensive Insights into Cephalosporins: Spectrum, Generations, and Clinical Applications. *Current Drug Therapy*, 20. <https://doi.org/10.2174/0115748855339119241204071146>
- Obrzut, O., Gostyńska-Stawna, A., Kustrzyńska, K., Stawny, M., & Krajka-Kuźniak, V. (2025). Curcumin: A Natural Warrior Against Inflammatory Liver Diseases. *Nutrients*, 17(8), 1373. <https://doi.org/10.3390/nu17081373>
- Roesch, C., Ashraf, K., Vantaux, A., Marin, A. A., Maher, S. P., Franetich, J.-F., Kloeung, N., Ke, S., Vo, H. T. M., Barale, J.-C., Mazier, D., & Witkowski, B. (2025). Assessment of the in vitro activity and selectivity of Artemisia afra and Artemisia annua aqueous extracts against artemisinin-resistant

- Plasmodium falciparum. *Malaria Journal*, 24(1), 150. <https://doi.org/10.1186/s12936-025-05375-w>
- Rojas, J., Velasco, J., Buitrago, A., Mender, T., & Rojas, J. (2016). Evaluación de la actividad antimicrobiana de plantas medicinales seleccionadas del Jardín Botánico del Orinoco, municipio Heres, Estado Bolívar. *Revista de la Facultad de Farmacia*, 58, 2+.
- Sankar Sangeetha, V., & Saravanakumar Padmavathi, Y. (2025). Artemisia annua: Illuminating the Spectrum of Pharmacological Wonders. *Food and Drug Safety*, 2(1), 40–53. <https://doi.org/10.55121/fds.v2i1.421>
- Semenova, M. N., Kuptsova, T. S., & Semenov, V. V. (2024). Toxicity of organic solvents and surfactants to the sea urchin embryos. *Chemosphere*, 353, 141589. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2024.141589>
- Sun, J., Xufeng, J., Qiu, Z., Gao, Q., Zhu, Z., He, J., Gao, S., & Sui, X. (2025). Artemisiae Annuae Herba: from anti-malarial legacy to emerging anti-cancer potential. *Theranostics*, 15(15), 7346–7377. <https://doi.org/10.7150/thno.115414>
- Tazi, A., El Moujahed, S., Jaouad, N., Saghrouchni, H., Al-Ashkar, I., Liu, L., & Errachidi, F. (2024). Exploring the Bioactive Potential of Moroccan Lemon Grass (*Cymbopogon citratus* L.): Investigations on Molecular Weight Distribution and Antioxidant and Antimicrobial Potentials. *Molecules*, 29(17), 3982. <https://doi.org/10.3390/molecules29173982>
- Vaou, N., Stavropoulou, E., Voidarou, C., Tsigalou, C., & Bezirtzoglou, E. (2021). Towards advances in medicinal plant antimicrobial activity: A review study on challenges and future perspectives. *Microorganisms*, 9(10), 1–28. <https://doi.org/10.3390/microorganisms9102041>
- Vashisth, D., & Mishra, S. (2025). Unlocking the potential of Artemisia annua for artemisinin production: current insights and emerging strategies. *3 Biotech*, 15(6), 164. <https://doi.org/10.1007/s13205-025-04332-3>
- Verde-Star, M. J., García-González, S., & Rivas-Morales, C. (2016). Metodología científica para el estudio de plantas medicinales. In *Investigación en plantas de importancia médica* (pp. 1–40). OmniaScience. <https://doi.org/10.3926/oms.335>
- Villarreal, J. P. V., Medina Soto, B. A., Heya, M. S., Galindo-Rodríguez, S. A., Velázquez, U. C., Cárdenas Noriega, K. A., & García-Ponce, R. (2024). Phytotherapeutic potential of Artemisia ludoviciana and Cordia boissieri extracts against the dermatophyte Microsporum canis. *Journal of Veterinary Research (Poland)*. <https://doi.org/10.2478/jvetres-2024-0046>
- WHO. (2024, May 17). *WHO updates list of drug-resistant bacteria most threatening to human health*. <https://www.who.int/news/item/17-05-2024-who-updates-list-of-drug-resistant-bacteria-most-threatening-to-human-health>
- Xu, F., Shan, X., Li, J., Li, J., Yuan, J., Zou, D., & Wang, M. (2025). The plant

matrix of *Artemisia annua* L. for the treatment of malaria: Pharmacodynamic and pharmacokinetic studies. *PLOS One*, 20(5), e0322835. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0322835>

Yasunaka, K., Abe, F., Nagayama, A., Okabe, H., Lozada-Pérez, L., López-Villafranco, E., Muñiz, E.

E., Aguilar, A., & Reyes-Chilpa, R. (2005). Antibacterial activity of crude extracts from Mexican medicinal plants and purified coumarins and xanthenes. *Journal of Ethnopharmacology*, 97(2), 293–299. <https://doi.org/10.1016/j.jep.2004.11.014>