

REVISTA TECNOLÓGICA CEA

Difusión vía red de cómputo

<http://www.revistatecnologicacea.mx>

ISSN 25940414

Año 10, Núm. 30, Volumen I

Diciembre 2025

Número Especial



DIRTECTORIO

Ing. Raúl René Robles Lacayo
Directora

Mtra. Wendy Mondragón Moreno
Subdirectora Académica

Mtro. Alejandro Guerrero Barrón
Subdirector de Planeación y Vinculación

Mtro. Fernando Germán Flores Guillen
Subdirector Administrativo

COMITÉ EDITORIAL

Ahuitzolt de Jesús Joaquín Ramos
Judith Vázquez Aguilar

María Concepción González Cuevas
Israel Servín Gómez

Luis Felipe Noriega Román

COMITÉ EDITORIAL EXTERNO

Roberto Hernández Sampieri
Universidad de Celaya

Sergio Méndez Valencia
Universidad de Guanajuato

Ramón Olvera Mejía
Universidad Latina de México

Raúl Rodolfo Jesús Heras Garrido
Universidad Iberoamericana

María del Carmen Lira Mejía
Universidad Tecnológica del Norte de Gto.

REVISTA TECNOLÓGICA CEA

Editor y formador
Dr. Israel Servín Gómez

Tecnológico Nacional de México Instituto
Tecnológico de Roque

Dirección: km. 8 Carretera Celaya- Juventino
Rosas

Revista Número 30, Diciembre 2025.

Revista Tecnológica CEA, Año 10, número 30, vol. I, Diciembre 2025, es una revista de número especial, publicada y editada por el Tecnológico Nacional de México dependiente de la Secretaría de Educación Pública, a través del Instituto Tecnológico de Roque, Av. Universidad No. 1200, quinto piso, Col. Xoco, Alcaldía Benito Juárez, C.P. 03330, Ciudad de México, Tel. 5536002500 Ext. 65064, d_vinculacion05@tecnm.mx, Editor Dr. Israel Servín Gómez. Reserva de derechos al uso exclusivo No. 04-2016- 071113482900-203, ISSN 2594 0414 ambos otorgado por el Instituto Nacional de Derechos de Autor.

Responsable de la última actualización de este número Lic. Thamara Molina Grimaldo, Jefa del Departamento de Comunicación y Difusión del Instituto Tecnológico de Roque, con domicilio en Km. 8 carretera Celaya Juventino Rosas, C.P. 38110 Roque, Celaya Guanajuato, México, tel. 461 6116361 ext. 116 fecha de última actualización 01 de Diciembre de 2025.

El objetivo de la *Revista Tecnológica CEA* es la generación de conocimiento científico teórico y aplicado, para soporte de los contenidos de los planes y programas de estudio que se imparten en Tecnológico Nacional de México.

Las publicaciones de los artículos son sometidas a revisión por un comité de arbitraje, el proceso de evaluación del artículo guardará estrictamente el anonimato y el contenido es responsabilidad de los autores y no necesariamente reflejan la postura del editor de la publicación.

Se autoriza la reproducción parcial o total de los contenidos e imágenes de la publicación con crédito de la fuente.

Revista Indizada en





Editorial

La ciencia, la tecnología y la innovación son conceptos estrechamente relacionados a la industria de los alimentos, pues desde que la materia prima, frutas, hortalizas, cereales, carnes, leche, es recolectada para ser enviada a la cadena de producción, ya sea para consumo en fresco o procesado, se sigue generando conocimiento para mejorar la vida de anaquel, optimizar el proceso de transformación y mantener las cualidades nutricionales de los alimentos, dar valor agregado a los alimentos, y asegurar la inocuidad del producto final ya sea para consumo humano o animal. Así 3er Congreso Internacional Producción y Transformación de Alimentos para la Seguridad Alimentaria (CIPTASA) se representó una vitrina los actores involucrados en la producción de alimentos a nivel nacional e internacional.

Actores involucrados, estudiantes de licenciatura Ingeniería en Industrias Alimentarias (IIA) y posgrados del Tecnológico Nacional de México / I. T. de Roque, estudiantes de carreras afines a la Industrias de los Alimentos de otras instituciones de educación superior; docentes del departamento de Ingenierías quienes imparten cátedra en IIA en el Tecnológico de Roque y docentes visitantes, quienes además compartieron su experiencia presentando trabajos de investigación relacionados con la industria agroalimentaria; investigadores reconocidos a nivel nacional e internacional por su experiencia en diversas áreas, que va desde el potencial que existe en mejorar el color de maíces para el desarrollo de alimentos funcionales; como, a pesar que la tortilla es un producto tradicional y cotidiano, se sigue desarrollando investigación para mejorar el producto final o derivados; las tendencias de la ciencia de los alimentos para atender la inseguridad alimentaria; la importancia del aseguramiento de la inocuidad en los alimentos para evitar infección con Enfermedades de Transmisión por Alimentos (ETA's); hasta el uso de la inteligencia artificial en los sistemas de producción agroalimentaria que permite reducir costos y monitorear de manera más eficaz el proceso de producción para asegurar la calidad e inocuidad del alimento.

Así, el 3er CIPTASA contó con la participación de 200 participantes y asistentes de las siguientes Instituciones de Educación Superior: Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agropecuarias y Pecuarias (CENID-SAI, INIFAP); Universidad Politécnica De Pénjamo (UPP); Instituto Tecnológico del Valle del Yaqui (ITVY); Instituto Tecnológico Superior



de Guanajuato (ITSG); Instituto Tecnológico Superior de Huichapan (ITSH); Universidad Veracruzana (UV); CINVESTAV-IPN Querétaro; y Universidad de Guanajuato (UG). Los participantes de esta institución portaron 36 trabajos libres, de los cuales, 24 fueron presentados en la sesión de cartel y 12 como ponencias, además en esta ocasión, con el fin de brindar una opción a estudiantes, egresados y público en general, fueron impartidos los cursos de Elaboración de cerveza artesanal, Evaluación Sensorial de Alimentos, Taller de Frutas y Hortalizas.

Sin temor a equivocarme, la experiencia de recibir y convivir con estudiantes, docentes e investigadores de amplia experiencia en sus respectivos campos fue y será un gozo compartido por las personas que facilitaron al desarrollo de este gran evento como son la Administración del Tecnológico Nacional de México / I. T. de Roque, el personal de Recursos Materiales y Servicios, Fomento Productivo, los miembros de la Academia de Ingenierías, la valiosa participación de nuestros estudiantes de Staff, los docentes de los Departamento Académicos que fungieron como jueces en el concurso de carteles, y a los editores de la revista Tecnológica CEA del TecNM-Roque con cuyo apoyo se logró la publicación de esta memoria.

Aprovechando la inercia que deja la entusiasta participación de los asistentes en la 3ª Edición del CIPTASA, nos quedamos con el gran compromiso de seguir presentando el CIPTASA como una opción para divulgar el conocimiento generado en el área de la Ciencia, la Tecnología y la Innovación en la Industria Alimentaria y promover la atención a la Seguridad Alimentaria.

**Dr. Ahuizolt Joaquín Ramos.
Presidente del Comité Técnico**



Contenido

BIOPROCESAMIENTO DE DOS RESIDUOS AGRÍCOLAS PARA OBTENER ADITIVOS NUTRICIONALES CON ALTO CONTENIDO DE LOVASTATINA

Por *Amaury Ábrego-García, Patricia López-Perea, José L. Escobar-Álvarez, Gustavo G. Medina-Mendoza*.....1

CARACTERIZACIÓN MORFOLÓGICA DE NANOPARTÍCULAS DE PLATA SINTETIZADAS CON EXTRACTO DE FLOR DE *Delonix regia*

Por: *Karen M. Valencia-Rodríguez, Ahuiztolt de J. Joaquín-Ramos, María G. Gómez-Espinoza, Miguel Á. Guzmán-Altamirano, y Juan G. Ramírez-Pimentel*9

EVALUACIÓN NUTRICIONAL DE PAN LIBRE DE GLUTEN A BASE DE HARINA DE MAÍZ, HARINA DE ARROZ, SEMILLA DE CALABAZA

Por: *Gómez-Cerritos, S. V.; Herrera-Enciso, V. Altamirano-Romo, S. E. García Rosas, M. D.*.....14

HARINA DE FRIJOL PINTO Y GRILLO EN EL DESARROLLO DE ALIMENTOS REESTRUCTURADOS SOSTENIBLES

Por: *Cruz-Callejas, Miguel; Velázquez de la Cruz, Gonzalo; Flores Hernández, Elsa Nelly; Martínez Maldonado Miguel Ángel*.....21

DISEÑO DE UNA PLANTA PRODUCTORA DE PASTA ELABORADA CON HARINA DE ALFALFA

Por: *Ana Camila Palacios Soto, María Guadalupe Rubio Velázquez, Erika Ramos Ojeda, Fabiola Herrera Enciso*.....29

ANÁLISIS DE PROCESOS DE DECISIÓN ALIMENTARIA EN MÉXICO CON INTELIGENCIA ARTIFICIAL PARA LA EVALUACIÓN DEL ETIQUETADO FRONTAL

Por: *Salvador Ortiz Santos, Georgina del Carmen Mota Valtierra, Humberto Aguirre Becerra, Ma. Cristina Vázquez Hernandez*.....36

PARTICULARIDADES EN PARÁMETROS QUÍMICOS EN MAÍCES NATIVOS DE COLOR CON CONTRIBUCIÓN EN LA INDUSTRIA ALIMENTARIA

Por: *Silvia Nayely García-Venegas, Mariano Mendoza Elos, Gilberto Rodríguez Pérez, Susana Elizabeth Altamirano Romo, Francisco Cervantes Ortiz, Gerónimo Arámbula Villa*.....45

PROPIEDADES CUANTITATIVAS Y QUÍMICAS EN TRITICALES (X *Triticosecale wittmack*) COMO PERSPECTIVA NUTRICIONAL

Por: *Alma Angélica Silva-Amaro, Francisco Cervantes-Ortiz, Gilberto Rodríguez-Pérez, César Leobardo Aguirre-Mancilla, Susana Elizabeth Altamirano-Romo*.....51

CALIDAD DE TORTILLA Y VALOR NUTRICIONAL DE SEIS HÍBRIDOS EXPERIMENTALES DE MAÍZ BLANCO EN EL TECN-M-ROQUE

Por: *Palacio Cervantes José Luis; Alvarado-Bárceñas, Estéfana; Chablé-Moreno Francisco*.....62

FORMULACIÓN DE UN ENVASE ALIMENTARIO SOSTENIBLE

Por: *Cristofer Pérez-Pérez, Carlos Alberto Flores-Gómez, Ma. Cristina Vázquez-Hernández, Alicia Flores-López, Luis Alberto Noriega-González*.....74



FORMULACIÓN Y ELABORACIÓN DE UN SUPLEMENTO ALIMENTICIO CON CARACTERÍSTICAS FUNCIONALES ELABORADO CON SUERO DE LECHE Y ADICIONADO CON ESPIRULINA

Por: Jessica Marian Reyes Macotela, Andrea Lara Rodríguez, Carlos A. Flores Gómez, Christian O. Díaz Ovalle, Ma. Cristina Vázquez Hernández.....82

SISTEMA INTELIGENTE PARA EL MONITOREO SOSTENIBLE DE MACRONUTRIENTES NPK EN SUELOS DE CULTIVO DE CÍTRICOS DE NARANJA VALENCIA EN EL NORTE DE VERACRUZ

Por: Miguel A. Rojas-Hernández; Xóchilt Siordia-Vásquez; Silvia Barrios-Velázquez; Ma. Cristina Vázquez-Hernández; David Reyes Santiago.....92

LICOR DE FRUTO DE GARAMBULLO (*Myrtillocactus geometrizans*) A PARTIR DE DOS MÉTODOS DE MACERACIÓN

Por: Patricia López-Perea, Amaury Ábrego-García, José L. Escobar-Álvarez.....105*

OBTENCIÓN DE PECTINA A PARTIR DE NARANJA AGRIA CRIOLLA (CITRUS AURANTIUM L.)

Por: Fabiola Herrera Enciso¹, Erika Ramos Ojeda, Christian Oliver Díaz Ovalle.....110



BIOPROCESAMIENTO DE DOS RESIDUOS AGRÍCOLAS PARA OBTENER ADITIVOS NUTRICIONALES CON ALTO CONTENIDO DE LOVASTATINA

Amaury Ábrego-García^{1*}, Patricia López-Perea¹, José L. Escobar-Álvarez¹, Gustavo G. Medina-Mendoza²

¹ Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias - Campo Experimental Bajío. Celaya, Guanajuato, 38010, México.

² Departamento de Biotecnología y Bioingeniería. CINVESTAV-IPN, Ciudad de México, 07360, México.

*autor de correspondencia: abrego.amaury@inifap.gob.mx

Resumen

Actualmente se ha priorizado desarrollar estrategias para mitigar las emisiones de metano entérico ruminal del sector ganadero, el gas de efecto invernadero con mayor impacto ambiental emitido por los rumiantes. La lovastatina (Lov) es un inhibidor específico de arqueas metanogénicas. El objetivo del presente trabajo fue evaluar la producción de Lov y compuestos orgánicos mediante fermentación en estado sólido (FES) a partir de sub productos agrícolas y dos cepas de *Aspergillus terreus* (CDBB H-194 y CDBB H-1976). La combinación de la cepa CDBB H-194 y rastrojo de avena mostró el mayor rendimiento de Lov. El análisis GC-MS identificó un par de compuestos del rastrojo de avena fermentado que podrían afectar negativamente bacterias y hongos ruminales (éter de trimetilsilil 1,3-dipalmitina e hidrazida de ácido esteárico). En conclusión, bajas proporciones dietarias de rastrojo de avena fermentado podrían utilizarse como suplemento enriquecido con Lov en dietas para mitigar las emisiones de metano ruminal.

Palabras clave

Aspergillus terreus, Fermentación, Lovastatina, Residuos agrícolas

Abstract

Currently, strategies to mitigate ruminal enteric methane emissions from the livestock sector, the greenhouse gas with the greatest environmental impact emitted by ruminants, have been prioritized. Lovastatin (Lov) is a specific inhibitor of methanogenic archaea. The objective of



this study was to evaluate the production of Lov and organic compounds through solid-state fermentation (SSF) using agricultural byproducts and two strains of *Aspergillus terreus* (CDBB H-194 and CDBB H-1976). The combination of the CDBB H-194 strain and oat stover showed the highest Lov yield. GC-MS analysis identified two compounds in the fermented oat stover that could negatively affect ruminal bacteria and fungi (trimethylsilyl 1,3-dipalmitin ether and stearic acid hydrazide). In conclusion, low dietary proportions of fermented oat stover could be used as a Lov-enriched supplement in diets to mitigate ruminal methane emissions.

Keywords

Aspergillus terreus, Fermentation, Lovastatin, Agricultural waste

Introducción

El rastrojo de avena y el salvado de trigo son alimentos comunes para los rumiantes. Estos se caracterizan por un alto contenido de lignocelulosa y una baja digestibilidad (Godoy y col., 2018). Por lo tanto, se requiere de diferentes pretratamientos para mejorar su valor nutricional y digestibilidad. De esta manera, la FES ha sido una opción para mejorar la digestibilidad ruminal mediante la deslignificación enzimática de forrajes altos en fibra (Van y col., 2015).

Por otra parte, un biocompuesto importante de la FES es la Lov. Esta es un fármaco para el tratamiento de hipercolesterolemia en seres humanos (Patel y Kothari, 2017). Otra característica esencial de la Lov es que puede mitigar las emisiones de metano ruminal (Ábrego-García y col., 2021a). Específicamente, la Lov altera la síntesis de la membrana celular de las arqueas metanogénicas e inhibe el crecimiento de metanógenos (Ábrego-García y col., 2021b). Sin embargo, el uso de Lov puro como aditivo anti metanogénico para los rumiantes es limitado debido a su alto costo (Ábrego-García y col., 2021b). El objetivo del presente trabajo fue evaluar la producción de Lov y compuestos orgánicos mediante FES a partir de salvado de trigo y rastrojo de avena y dos cepas de *Aspergillus terreus* (CDBB H-194 y CDBB H-1976).



Metodología

Inóculo y propagación de cultivos

Las cepas de *Aspergillus terreus* (CDBB H-194 y CDBB H-1976) se obtuvieron de la Colección Nacional de Cepas Microbianas del CINVESTAV. Se cultivaron en un medio PDA en cajas Petri a 30°C/6 días. Posteriormente, se realizó la suspensión de las esporas; se adicionó 5 mL de solución estéril tween-80 (0.1 %), se agitó manualmente la caja Petri por 1 minuto. Las esporas fueron contadas en una cámara de Neubauer y un microscopio de contraste de fases, se ajustaron a una concentración aproximada de 10^7 esporas/mL y se tomaron 2 mL de la suspensión de esporas como inóculo (Mouafi y col., 2016).

El rastrojo de avena y salvado de trigo se obtuvieron de la granja experimental de la Universidad Autónoma Chapingo, Texcoco, Edo. de México. El rastrojo de avena fue molido y se utilizó una criba de 0.4 cm de diámetro. Las muestras se conservaron en bolsas de plástico en refrigeración a 4°C.

Fermentación en estado sólido

Se utilizaron matraces Erlenmeyer de 250 mL, se les agregó 5 g de sustrato en base a peso seco, el contenido de humedad fue ajustado a 70 % con la siguiente solución mineral (g/L); KH_2PO_4 2.1, MgSO_4 0.3, CaCl_2 0.3, FeSO_4 0.11, ZnSO_4 0.5, NaNO_3 0.5, metionina 1.5 y glicerol: 20 mL/L (Jirasatid y col., 2013), el pH se ajustó a 6. Después, los matraces cargados con los sustratos y el medio fueron esterilizados a 121°C por 15 min y se inocularon con 2 mL de la suspensión de espора. Los matraces fueron incubados a 30°C las primeras 48 horas, seguido a 28°C por un día, después a 26°C por el resto de la incubación (Xu y col., 2005). El contenido de los matraces fue agitado manualmente dos veces al día.

Extracción y cuantificación de lovastatina

Cada muestra fue secada a 60 °C/24 h y molida en un mortero. Se pesó 1 g de sustrato molido, se depositó en un matraz de 200 mL, se le agregaron 40 mL de acetato de etilo y se mantuvieron en agitación por 2 horas a 200 rpm. El acetato de etilo se evaporó en un rotavapor, los extractos fueron re suspendidos en 5 mL de acetonitrilo:H₂O (80:20 v/v) y se



filtraron con un acrodisco de acetato (Millipore, MA, USA) poro 0.45 μm (Jaivel y Marimuthu, 2010). Posteriormente, se cuantificó la Lv mediante un equipo de HPLC-UV (Varian Analytical Instruments, Model 9010, CA, USA) de acuerdo con la metodología de Yang y Hwang (2006). Se utilizó una columna Gemini 5U C18 (Phenomenex, CA, USA) y como fase móvil acetoneitrilo: H₂O (70:30 v/v) acidificada con H₃PO₄ al 0.1 % (flujo de 0.5 mL/min). La longitud de onda fue 235 nm. El volumen de inyección fue de 50 μL . El estándar de Lv se obtuvo de Sigma-Aldrich (St. Louis MO, USA) (Patil y col., 2015).

Identificación de compuestos orgánicos a partir de sustratos pos-fermentados mediante GC-MS.

Las muestras del extracto de FES se derivatizaron con 60 μL de piridina y 160 μL de N,O-bis (trimetilsilil) trifluoroacetamida con trimetilclorosilano. Se inyectaron en un cromatógrafo Clarus 580 GC-MS (Perkin Elmer, Waltham, MA, EE. UU.) acoplado a un detector de masas Clarus SQ 8S (Perkin Elmer, Waltham, MA, EE. UU.) con columna Elite-5 MS (30 m \times 0,32 mm \times 0,25 μm). Se utilizó gas helio a un caudal constante de 0,55 mL/min. El programa de temperatura del horno se ajustó a una temperatura inicial de 80 °C/3 min, con una rampa de 5 °C hasta 180 °C y, posteriormente, a una temperatura de 10 °C/min hasta 280 °C, mantenida durante 10 min. La temperatura del puerto de inyección fue de 250 °C. Los compuestos se identificaron comparando su fragmentación espectral de masas con base a la biblioteca del National Institute of Standards and Technology (NIST)

Análisis estadístico

Los datos de producción de Lv se analizaron mediante un diseño completamente al azar y se utilizó el procedimiento PROC GLM de SAS studio (SAS Institute Inc., 2018). La comparación de medias múltiples se realizó con la prueba de Tukey ($p < 0.05$).

Resultados

La producción de Lov en FES durante 16 días de incubación se muestra en la Tabla 1. La cepa CDBB H-194 con rastrojo de avena como sustrato al día 16 obtuvo el mayor rendimiento entre ambas cepas y sustratos (23.8 mg/g de MS). No obstante, la producción de Lv con la misma



cepa (CDBB H-194) y salvado de trigo fue tres veces menor (5.8 mg/g de MS). El alto rendimiento de Lov en este experimento podrían deberse por una parte a la composición del medio de FES (ver Metodología). La combinación de la cepa CDBB H-1976 y salvado de trigo resultó en el segundo mejor rendimiento de Lov (9.1 mg/g MS) a los 16 días.

Tabla 1. Producción de Lov en FES con dos cepas de *A. terreus* y dos sub productos agrícolas.

Tiempo (días)	CDBB H-194		CDBB H-1976	
	ST	RA	ST	RA
0	0.1a	0.1a	0.2a	0.3a
6	5.4b	10b	5.4b	3.4b
12	7c	16.9c	8.7b	4.9c
16	5.8c	23.9d	9.1b	6.8c

Medias con literales distintas por columnas son estadísticamente diferentes ($P < 0.05$). ST, salvado de trigo. RA, rastrojo de avena.

Con base a los resultados anteriores, se seleccionó el tratamiento CDBB H-194 + rastrojo de avena para mostrar resultados de GC-MS. El perfil de compuestos orgánicos se muestra en la Tabla 2. Se identificaron un total de 23 compuestos: 1 estatina y 3 polioles, 15 ácidos orgánicos y otros cuatro compuestos.

El análisis GC-MS confirmó la presencia de simvastatina, una estatina semisintética (Subhan y col., 2013). Se ha reportado que *A. terreus* podría producir Lov con la formación concomitante de simvastatina como metabolito secundario en experimentos de fermentación sumergida con granos enteros de avena (Gulyamova y col., 2013). Además, se ha comprobado que la simvastatina (10 mg/L de medio de cultivo) reduce la producción de metano *in vitro* ($p < 0,05$) con una dieta que contenía 70% de forraje y 30% de concentrado como sustrato e inóculo de fluido ruminal de vacas Holstein (Joch y col., 2021).

Por otra parte, solo se identificaron un par de compuestos que podrían afectar negativamente a las bacterias y hongos ruminales: (i) éter trimetilsilílico de 1,3-dipalmitina y (ii) hidrazida de ácido esteárico en el rastrojo de avena posfermentado (Jubie y col., 2012).

Tabla 2. Identificación de compuestos orgánicos FES con CDBB H-194 y rastrojo de avena.

NP	TR (min)	Compound name	# CAS	Area (%)
1	3.319	3,6-Dioxa-2,7-disilaoctane, 2,2,4,7,7-pentamethyl-	17887-27-3	0.509
2	9.891	Trimethylsilyl ether of glycerol	6787-10-6	6.020
3	13.593	Silane, [(11-bromoundecyl)oxy]trimethyl-	26305-83-9	0.631
4	15.303	Butanoic acid, 3-methyl-2-[(trimethylsilyl)oxy]-, trimethylsilyl ester	55124-92-0	0.621
5	15.979	Gulonic acid, 2,3,5,6-tetrakis-O-(trimethylsilyl)-, lactone	55528-75-1	1.648



6	18.915	bis [2-Trimethylsiloxy]ethyl sulfone	97916-04-6	11.670
7	20.861	Xylitol, 1,2,3,4,5-pentakis-O-(trimethylsilyl)-	14199-72-5	1.136
8	21.811	Propanoic acid, 2-[(trimethylsilyl)oxy]-, trimethylsilyl ester	17596-96-2	0.458
9	24.982	Hexacosanoic acid, methyl ester	5802-82-4	1.787
10	26.575	Heptadecanoic acid, trimethylsilyl ester	55517-58-3	3.270
11	27.313	9-Octadecenoic acid (Z)-, methyl ester	112-62-9	14.416
12	27.987	Linoleic acid ethyl ester	544-35-4	0.867
13	28.062	Ethyl 9-hexadecenoate	54546-22-4	1.271
14	28.447	9,12-Octadecadienoic acid (Z,Z)-, trimethylsilyl ester	56259-07-5	12.062
15	28.747	Oleic acid, trimethylsilyl ester	21556-26-3	2.250
16	32.134	Dodecanedioic acid, bis(trimethylsilyl) ester	22396-19-6	0.601
17	32.959	1-Monooleoylglycerol trimethylsilyl ether	54284-47-8	1.492
18	33.224	1-Monooleoylglycerol trimethylsilyl ether	54284-47-8	2.152
19	33.344	3á,4á-Bis(trimethylsiloxy)cholest-5-ene	33287-25-1	0.492
20	33.419	1-Monooleoylglycerol trimethylsilyl ether	54284-47-8	0.743
21	33.634	Dodecanedioic acid, bis(trimethylsilyl) ester	22396-19-6	0.630
22	35.180	Cholesterol trimethylsilyl ether	1856-05-9	2.149
23	35.415	9,12-Octadecadienoic acid (Z,Z)-, trimethylsilyl ester	56259-07-5	1.560
24	36.666	3Beta-hydroxy-5-cholen-24-oic acid	5255-17-4	1.243
25	37.196	Simvastatin	79902-63-9	4.141
26	38.156	Cystathionine, bis(trimethylsilyl) ester	73090-79-6	0.533
27	39.522	Dodecanedioic acid, bis(trimethylsilyl) ester	22396-19-6	0.470
28	40.722	Cholesterol trimethylsilyl ether	1856-05-9	1.822
29	41.027	Dodecanedioic acid, bis(trimethylsilyl) ester	22396-19-6	0.645
30	42.358	1,3-Dipalmitin trimethylsilyl ether	53212-95-6	1.148

NP, número de pico. RT, tiempo de retención

Conclusión

La comparación de dos cepas reveló que la cepa CDBB H-194 + rastrojo de avena como sustrato, presentó el mayor potencial de producción de Lov. El análisis de GC-MS confirmó la presencia de simvastatina en el rastrojo de avena pos-fermentado, lo que podría mejorar su contribución a la mitigación del metano ruminal. Además, solo se identificaron un par de compuestos que podrían afectar negativamente a las bacterias y hongos ruminales: (i) éter trimetilsilílico de 1,3-dipalmitina y (ii) hidrazida de ácido esteárico en el rastrojo de avena pos-fermentado.

Finalmente, debido a su alto rendimiento de Lov a partir de rastrojo de avena pos-fermentada con CDBB H-194, bajas proporciones dietarias de rastrojo de avena fermentado podrían utilizarse como suplemento enriquecido con Lov en diferentes dietas para mitigar las emisiones de metano ruminal.



Referencias

- Ábrego-García, A., Poggi-Varaldo, H.M., Mendoza-Vargas, A., Mercado-Valle, F.G., Ríos-Leal, E., Ponce-Noyola, T. y Calva-Calva, G. (2021a). Effects of Fermented Oat Straw as a Lovastatin Carrier on in vitro Methane Production and Rumen Microbiota. *Front. Energy Res.*, 9, 630701.
- Ábrego-García, A., Poggi-Varaldo, H.M., Robles-González, V., Ponce-Noyola, T., Calva-Calva, G., Ríos-Leal, E., Estrada-Bárceñas, D. y Mendoza-Vargas, A. (2021b) Lovastatin as a supplement to mitigate rumen methanogenesis: An overview. *J. Anim. Sci. Biotechnol.*, 12, 123.
- Godoy, M.G., Amorim, G.M., Barreto, M.S. y Freire, D.M.G. (2018). Agricultural residues as animal feed: Protein enrichment and detoxification using solid-state fermentation. En Pandey, A., Larroche, C., Soccol, C. (Eds.), *Current Developments in Biotechnology and Bioengineering*, 235–256.
- Gulyamova, T., Ruzieva, D., Nasmetova, S., Sattarova, R., Lobanova, K., Abdulmyanova, L. y Rasulova, G. (2013). Lovastatin production by *Aspergillus terreus* in solid state and submerged fermentations. *Int. J. Eng. Sci. Technol.*, 5, 19–24.
- Jirasatid, S., Nopharatana, M., Kitsubun, P., Vichitsoonthonkul, T. y Tongta, A. (2013) Statistical optimization for monacolin k and yellow pigment production and citrinin reduction by *monascus purpureus* in solid-state fermentation. *J. Microbiol. Biotechnol.*, 23, 364–374.
- Joch, M., Vadroňová, M., Výborná, A. y Jochová, K. (2021), Inhibition of in vitro rumen methane production by three statins. *Ann. Anim. Sci.*, 22, 271–282.
- Jubie, S., Ramesh, P.N., Dhanabal, P., Kalirajan, R., Muruganatham, N., Shanish, A. (2012). Synthesis, antidepressant and antimicrobial activities of some novel stearic acid analogues. *Eur. J. Med. Chem.*, 54, 931–935.
- Mouafi, F.E., Ibrahim, G.S. y Elsoud, M.M.A. (2016). Optimization of lovastatin production from *Aspergillus fumigatus*. *J. Genet. Eng. Biotechnol.* 14, 253–259.
- Patel, M. y Kothari, C. (2017). Critical review of statins: A bio-analytical perspective for therapeutic drug monitoring. *Trends Anal. Chem.*, 86, 206–221.
- Patil, R.H., Krishnan, P. y Maheshwari, V.L. (2011). Production of lovastatin by wild strains of *Aspergillus terreus*. *Nat. Prod. Commun.*, 6, 183–186.



- Subhan, M., Faryal, R. y Macreadie, I. (2013). Exploitation of *Aspergillus terreus* for the production of natural statins. *J. Fungi.*, 2, 13.
- Van Kuijk, S., Sonnenberg, A., Baars, J., Hendriks, W. y Cone J. (2015). Fungal treated lignocellulosic biomass as ruminant feed ingredient: A review. *Biotechnol. Adv.* 33, 191–202.
- Xu, B.J., Wang, Q.J., Jia, X.Q., Sung, C.K. (2005). Enhanced lovastatin production by solid state fermentation of *Monascus ruber*. *Biotechnol. Bioprocess Eng.*, 10, 78–84.



CARACTERIZACIÓN MORFOLÓGICA DE NANOPARTÍCULAS DE PLATA SINTETIZADAS CON EXTRACTO DE FLOR DE *Delonix regia*

Karen M. Valencia-Rodríguez ^{1,*}, Ahuitzolt de J. Joaquín-Ramos ¹, María G. Gómez-Espinoza ², Miguel Á. Guzmán-Altamirano ³, y Juan G. Ramírez-Pimentel ¹

¹ División de Estudios de Posgrado e Investigación y Departamento de ingenierías, Tecnológico Nacional de México/I. T. Roque, carretera Celaya-Juventino Rosas km 8, Celaya, Guanajuato, CP 38110, México.

² Departamento de Ingeniería Agroindustrial, Universidad Politécnica de Pénjamo, Carretera Irapuato - La Piedad km 44, El Derramadero. Pénjamo, Guanajuato, CP 36921, México.

³ Departamento de Ing. mecatrónica, Tecnológico Nacional de México/ITS Irapuato, Carretera Irapuato-Silao km.12.5, Col. El Copal, Irapuato, Guanajuato, CP 36821, México.

*Autor de correspondencia: d25981021@roque.tecnm.mx

Resumen

Las nanopartículas de plata se distinguen por sus propiedades antibacterianas, con aplicaciones destacadas en el ámbito alimentario. Entre sus características más relevantes, el tamaño y la forma resultan determinantes para sus propiedades fisicoquímicas y biológicas. En este estudio, el análisis mediante microscopía electrónica de transmisión de campo brillante reveló que las nanopartículas sintetizadas con extracto de flor de *Delonix regia* presentaron una morfología esférica, con un tamaño medio de 19.125 nm. Estos resultados confirman que el extracto floral de *D. regia* actúa como un bioreductor eficaz, capaz de favorecer la síntesis verde de nanopartículas de plata con características morfológicas definidas.

Palabras claves

Caracterización, AgNps, Síntesis verde, Morfología

Abstract

Silver nanoparticles are characterized by their remarkable antibacterial properties, which provide them with significant potential for applications in the food sector. Among the most critical factors influencing their physicochemical and biological properties are size and morphology. In the present study, bright-field transmission electron microscopy analysis revealed that the nanoparticles synthesized using *Delonix regia* flower extract exhibited a predominantly spherical morphology, with an average size of 19.125 nm. These results confirm that the floral extract of *D. regia* acts as an effective bio-reducing



agent, promoting the green synthesis of silver nanoparticles with well-defined morphological characteristics.

Key words

Characterization, AgNps, Green synthesis, Morphology

Introducción

El potencial de las nanopartículas radica en sus novedosas propiedades fisicoquímicas y biológicas, las cuales difieren significativamente de las que presentan los materiales a escala macroscópica (Zawadzka et al., 2021). Gracias a estas propiedades, las nanopartículas de plata (AgNps) se emplean ampliamente como agentes eficaces contra el crecimiento microbiano (Xuan *et al.*, 2023). Entre las características más relevantes que determinan el potencial antimicrobiano de las AgNps se encuentran la forma, el tamaño y la carga superficial. Asimismo, se ha observado que estos parámetros varían considerablemente de un tipo de AgNps a otra (Salayová et al., 2021).

Actualmente se han propuesto múltiples mecanismos de acción para explicar la actividad antimicrobiana de estos materiales, incluidos: alteración de la membrana celular microbiana, penetración de la membrana, interacción con ADN y/o proteínas, generación ROS (especies reactivas de oxígeno) y radicales libres, o modulación de las vías de transducción de señales microbianas (Guzmán-Altamirano et al., 2023). La eficacia de estos mecanismos antimicrobianos depende en gran medida de sus características morfológicas y dimensionales. Por ejemplo, aquellas con menor tamaño reaccionan con mayor rapidez, liberando más iones Ag^+ , lo que potencia su capacidad antimicrobiana (Menichetti *et al.*, 2023). De la misma manera, la forma de las AgNps influye directamente en el nivel de interacción entre la nanopartícula y la membrana celular microbiana (Xuan *et al.*, 2023). En este sentido, se ha demostrado un mayor número de caras expuestas favorecen la capacidad de interacción de las nanopartículas con la superficie bacteriana y, en consecuencia, se incrementa su actividad antimicrobiana (Tang & Zheng, 2018).

Considerando que los métodos físicos y químicos empleados en la síntesis de AgNps suelen ser poco rentables y están asociados con la generación de daño al medio y a la salud, la síntesis verde surge como un enfoque alternativo económico, ecológico y sencillo. Este método reemplaza el uso de reactivos químicos y fuentes intensivas de energía por extractos de plantas o microorganismos (Ren et al., 2019; Zawadzka et al., 2021)



En este contexto, contar con métodos de síntesis que permitan obtener nanopartículas de tamaño y forma definidos resulta esencial (Menichetti *et al.*, 2023). Por ello, la caracterización de nanomateriales se convierte en un aspecto clave para su desarrollo y aplicación, ya que posibilita el análisis de sus propiedades físicas y químicas (Al Thaher *et al.*, 2020).

Entre las técnicas de caracterización más utilizadas se encuentra la microscopía electrónica de transmisión, la cual permite analizar la forma, el tamaño y la superficie de las AgNps mediante micrografías. Este método utiliza una lente electromagnética para concentrar un haz de electrones sobre la muestra. Al atravesarla, los electrones pueden penetrarla y alcanzar una pantalla fluorescente ubicada en la base del microscopio. Las variaciones en la densidad electrónica generan el contraste necesario para formar la imagen de la muestra (Joudeh & Linke, 2022).

Metodología

El tamaño y la morfología de las AgNps sintetizadas con extracto de flor de *D. regia* se determinaron mediante microscopía electrónica de transmisión en campo brillante (BF-TEM). Para el análisis, se depositó una alícuota sobre una rejilla de cobre recubierta con carbono y se dejó secar a temperatura ambiente antes de la observación. Posteriormente, se obtuvieron las micrografías de las AgNps para evaluar sus características morfológicas y dimensionales.

Resultados

Los resultados revelaron que las AgNps sintetizadas con extracto floral de *D. regia* presentaron una morfología esférica y un tamaño de partícula en el rango de 11 a 33 nm, con un tamaño promedio de 19.12 nm (Figura 1). Menichetti *et al.* (2023) establecieron que las nanopartículas con morfología esférica y triangular presentan una mayor capacidad de unión a la membrana bacteriana en comparación con aquellas de otras formas, por lo que es posible que la morfología esférica de las AgNps de extracto floral de *D. regia* favorezca su actividad biológica.

Estudios semejantes han reportado AgNps con tamaño y forma similares (Aguilar *et al.*, 2018; Eisa *et al.*, 2019; Mahiuddin *et al.*, 2020). En todos los casos, las AgNps obtenidas mostraron una alta efectividad biológica, relacionada principalmente con su tamaño y forma.

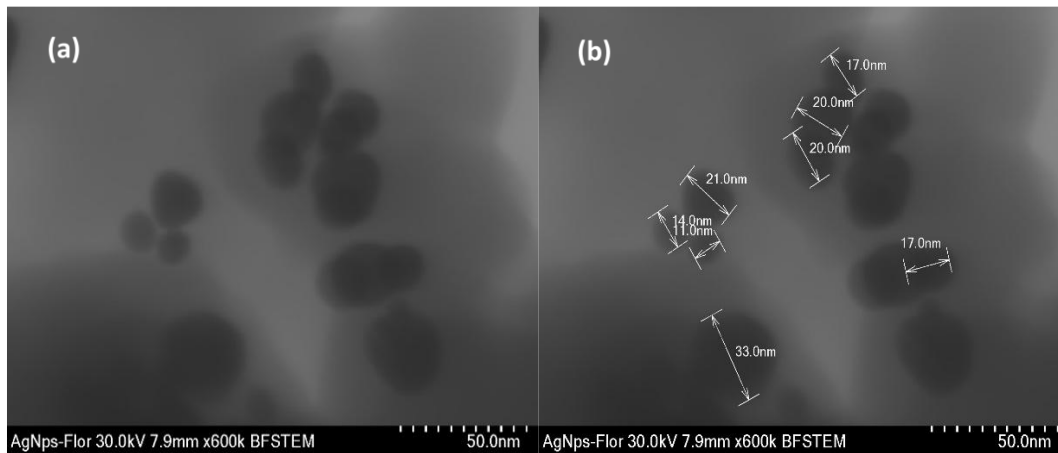


Figura 3. Micrografías BFSTEM de AgNps mediadas con extracto de flor de *D. regia*. (a) escala 50 nm; (b) tamaño AgNps escala 50nm; (c) escala 1μm.

Conclusiones

La síntesis de nanopartículas de plata con un tamaño promedio cercano a 19 nm y morfología esférica demostró que el extracto floral de *D. regia* actúa como un agente reductor natural eficaz, favoreciendo la obtención de AgNps mediante un proceso de síntesis verde y con propiedades morfológicas bien definidas. Asimismo, se comprobó que la caracterización del tamaño y la morfología de las nanopartículas resulta fundamental, ya que ambos parámetros influyen directamente en su potencial biológico.

Por lo tanto, se concluye que resulta fundamental disponer de métodos de síntesis que permitan controlar tanto el tamaño como la forma de las nanopartículas, ya que estos factores inciden de manera significativa en sus propiedades biológicas. Finalmente, la literatura señala una relación directa entre el tamaño y la eficiencia antimicrobiana, donde a medida que disminuye el tamaño de las nanopartículas, aumenta su capacidad para inhibir el crecimiento bacteriano.

Referencias

- Aguilar, N. M., Arteaga-Cardona, F., Estévez, J. O., Silva-González, N. R., Benítez-Serrano, J. C., & Salazar-Kuri, U. (2018). Controlled biosynthesis of silver nanoparticles using sugar industry waste, and its antimicrobial activity. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 6(5), 6275–6281. <https://doi.org/10.1016/J.JECE.2018.09.056>
- Eisa, W. H., Zayed, M. F., Anis, B., Abbas, L. M., Ali, S. S. M., & Mostafa, A. M. (2019). Clean production of powdery silver nanoparticles using *Zingiber officinale*: The structural and catalytic properties. *Journal of Cleaner Production*, 241, 118398. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2019.118398>



- Guzmán-Altamirano, M. Á., Rebollo-Plata, B., Joaquín-Ramos, A. de J., & Gómez-Espinoza, M. G. (2023). Green synthesis and antimicrobial mechanism of nanoparticles: applications in agricultural and agrifood safety. In *Journal of the Science of Food and Agriculture* (Vol. 103, Issue 6, pp. 2727–2744). John Wiley and Sons Ltd. <https://doi.org/10.1002/jsfa.12162>
- Joudeh, N., & Linke, D. (2022). Nanoparticle classification, physicochemical properties, characterization, and applications: a comprehensive review for biologists. *Journal of Nanobiotechnology* 2022 20:1, 20(1), 1–29. <https://doi.org/10.1186/S12951-022-01477-8>
- Mahiuddin, M., Saha, P., & Ochiai, B. (2020). Green Synthesis and Catalytic Activity of Silver Nanoparticles Based on Piper chaba Stem Extracts. *Nanomaterials* (Basel, Switzerland), 10(9), 1–15. <https://doi.org/10.3390/NANO10091777>
- Ren, Y. yu, Yang, H., Wang, T., & Wang, C. (2019). Bio-synthesis of silver nanoparticles with antibacterial activity. *Materials Chemistry and Physics*, 235, 121746. <https://doi.org/10.1016/J.MATCHEMPHYS.2019.121746>
- Salayová, A., Bedlovičová, Z., Daneu, N., Baláž, M., Lukáčová Bujňáková, Z., Balážová, L., & Tkáčiková, L. (2021). Green synthesis of silver nanoparticles with antibacterial activity using various medicinal plant extracts: Morphology and antibacterial efficacy. *Nanomaterials*, 11(4), 1005. <https://doi.org/10.3390/NANO11041005/S1>
- Tang, S., & Zheng, J. (2018). Antibacterial Activity of Silver Nanoparticles: Structural Effects. In *Advanced Healthcare Materials* (Vol. 7, Issue 13). Wiley-VCH Verlag. <https://doi.org/10.1002/adhm.201701503>
- Zawadzka, K., Felczak, A., Nowak, M., Kowalczyk, A., Piwoński, I., & Lisowska, K. (2021). Antimicrobial activity and toxicological risk assessment of silver nanoparticles synthesized using an eco-friendly method with *Gloeophyllum striatum*. *Journal of Hazardous Materials*, 418, 126316. <https://doi.org/10.1016/J.JHAZMAT.2021.126316>



EVALUACIÓN NUTRICIONAL DE PAN LIBRE DE GLUTEN A BASE DE HARINA DE MAÍZ, HARINA DE ARROZ, SEMILLA DE CALABAZA

Gómez-Cerritos, S. V.*; Herrera-Enciso, V. Altamirano-Romo, S. E. García Rosas, M. D.

Departamento de Ingenierías, Tecnológico Nacional de México, Campus Roque, carretera Celaya-Juventino Rosas km 8.0, Celaya, Guanajuato, 38110, México.

**Autor de correspondencia: suemigomez28@gmail.com*

Resumen

El objetivo del trabajo fue evaluar las características de un pan libre de gluten a base de maíz, arroz, leche de semilla de calabaza. Las diferentes formulaciones se codificaron así: T, M, A, AM, AC, MC, AMC, donde T indica el uso de la harina de trigo, la M harina de maíz, la A harina de arroz, la C leche de semilla de calabaza, las combinaciones, los ingredientes en las formulaciones. Se determinaron los porcentajes de humedad, cenizas y grasa. Los valores más altos fueron de la siguiente manera: humedad 33.178 para la formulación MC, cenizas 0.9159 para la formulación M, y grasa de 23.193 para la formulación A. Se realizó además la evaluación textura mediante TPA encontrándose los siguientes valores máximos de dureza de 842.529 para T, de elasticidad de 0.898 para la fórmula T, de cohesividad 0.688 para T, y en resiliencia un valor de 0.328 para T. Estos resultados permiten conocer el comportamiento de panes elaborados con diferentes materiales.

Palabras clave:

Pan libre de gluten, Calidad nutricional, Análisis de Perfil de Textura

Abstract

The objective of this work was to evaluate the characteristics of a gluten-free bread based on corn, rice, and pumpkin seed milk. The different formulations were coded as follows: T, M, A, AM, AC, MC, AMC, where T indicates the use of wheat flour, M corn flour, A rice flour, C



pumpkin seed milk, and combinations and ingredients in the formulations. Moisture, ash, and fat determinations were made. The highest values were as follows: moisture 33.178 for the MC formulation, ash 0.9159 for the M formulation, and fat 23.193 for the AC formulation. Texture evaluation was also carried out using TPA, finding the following maximum values, hardness of 842.5293 for T, elasticity of 0.898 for formula T, cohesiveness of 0.6882 for T, and resilience of 0.328 for T. These results allow us to understand the behavior of breads made with different materials.

Keywords:

Gluten-free bread, Nutritional quality, Texture profile analysis

Introducción

Se tiene contemplado que alrededor del 30% de la población mundial posee la carga genética requerida para el desarrollo de la enfermedad celíaca (EC), sin embargo, solo entre 1 y 3 % llegan a manifestarla. La EC es una enfermedad crónica y autoinmune, una enteropatía del intestino resultante de la exposición de aquellos individuos con predisposición a dicha enfermedad. Por otro lado, los síntomas incluyen el dolor de cabeza, la anemia, la osteoporosis, la dermatitis herpetiforme, la diarrea y el síndrome de malabsorción que provocan la pérdida de peso y problemas de crecimiento (Galicia García, y col 2024). Por estas razones, existe una gran necesidad del desarrollo de productos para personas con trastornos relacionados con el consumo de gluten (Zegarra y col., 2019).

Además, es de llamar la atención que el contenido de proteína en el trigo ronda entre el 11% y el 12% y la eliminación de esta fuente de proteína resulta en la pérdida de una buena fuente proteica. Por ello, se ha considerado como alternativas para el desarrollo de productos de la panificación a otros cereales tales como el sorgo, el maíz, el arroz, el mijo y a los pseudocereales (quinoa, amaranto, etc.) (Zegarra y col., 2019). Para compensar la falta de – y tener la capacidad de formar una red proteica para generar volumen en el producto horneado –, los ingredientes sugeridos deben combinarse con agentes ligantes de agua y espesantes, como goma de algarrobo, goma, guar, pentosanos, goma xantana, almidones modificados, proteínas de leche, soya, pescado, emulsionantes y otros (Villanueva Flores, 2017).



Metodología

Preparación del pan. Para la preparación del pan se hizo la adición de todos los componentes en un bol y mezclarlos con ayuda de una batidora hasta obtener una mezcla homogénea que posteriormente fue colocada en los moldes y horneada a 350 °F por 20 minutos. Las distintas formulaciones y su codificación se pueden ver en la tabla 1.

Preparación de leche de semilla de calabaza. Se preparó empleando el método de Jasper y col., (2009) con modificaciones. Se pesaron 30 g de semillas de calabaza sin cascara, se agregaron 500 ml de agua potable y se licuaron completamente. La mezcla se pasó a través de un colador y el líquido obtenido se pasteurizó a 70 °C por 15 minutos, posteriormente la leche se guardó en un recipiente limpio y se guardó en refrigeración hasta el momento de su uso.

Tabla 1. Componentes en gramos de las diferentes formulaciones de mantecada libre de gluten.

Ingrediente	Cantidades por formulación (g)						
	T	M	A	MA	MC	AC	MAC
Harina de trigo	200						
Harina de maíz		200		100	200		100
Harina de arroz			200	100		200	100
Sal	1	1	1	1	1	1	1
Levadura	5	5	5	5	5	5	5
Huevo piezas	3	3	3	3	3	3	3
Azúcar	150	150	150	150	150	150	150
Leche	120	120	120	120			
Leche de semilla de calabaza					120	120	120
Jugo de naranja	20	20	20	20	20	20	20
Aceite	150	150	150	150	150	150	150

Análisis de composición de los panes. La humedad se determinó gravimétricamente mediano el secado de 2 gramos de muestra en un horno a 105 °C por 24 horas. La determinación del porcentaje de cenizas se realizó empleando una mufla a 600 °C por tres horas. El porcentaje de grasa se determinó empleando una mufla a 600 °C por tres horas. El porcentaje de grasa se determinó mediante el método de Soxhlet usando hexano como solvente y realizando la extracción de la materia grasa por 3 horas.

Análisis de perfil de textura. El análisis del perfil de textura se realizó empleando el texturometro TA.XT plus y la metodología reportada por Pyo y col., (2024) con modificaciones. Se cortaron cubos de 2 x 2 x 2 cm del pan el mismo día de elaboración y se empleó una sonda



cilíndrica de 50 mm de diámetro y con tasa de compresión de 50% de la altura de la muestra. La velocidad de prueba fue de 1 mm/s y la velocidad de compresión fue de 5 gr. Se realizaron 6 repeticiones de cada análisis.

Análisis estadístico. Se realizó un análisis de varianza para cada variable evaluada con un nivel de significancia de $\alpha=0.05$. Se realizó una prueba de Tukey para evaluar las diferencias entre medias a un nivel de significancia $\alpha=0.05$.

Tabla 2. Resultados de los principales análisis de composición de las diferentes formulaciones.

Formulación	Humedad (%)	Cenizas (%)	Grasa (%)
T	28.039 ± 0.792 ^d	0.5084 ± 0.0143 ^d	20.153 ± 0.275 ^a
M	33.119 ± 1.255 ^a	0.9159 ± 0.0080 ^a	23.074 ± 0.060 ^a
A	32.383 ± 0.684 ^d	0.5685 ± 0.0087 ^d	23.193 ± 2.252 ^a
MA	28.412 ± 0.931 ^{bc}	0.7375 ± 0.0884 ^{bc}	20.532 ± 0.952 ^a
MC	33.178 ± 4.435 ^b	0.7988 ± 0.0381 ^b	21.623 ± 1.810 ^a
AC	28.419 ± 0.901 ^d	0.5267 ± 0.0241 ^d	21.438 ± 1.659 ^a
MAC	30.195 ± 3.175 ^c	0.6743 ± 0.0316 ^c	22.353 ± 2.213 ^a

Los valores representan las media ± la desviación estándar, las medias con la misma letra no son significativamente diferentes ($P<0.5$).

Resultados

Análisis de composición de los panes. En la Tabla 2 se observan los datos de porcentaje de humedad de las distintas formulaciones, los cuales se realizaron el mismo día de la elaboración. Los valores presentan diferencia significativa ($P<0.05$). Se observan los datos del valor más alto que es de 33.1186 de la formulación M, al valor más bajo fue de 28.0385 de la formulación T de humedad para las distintas formulaciones de mantecadas libres de gluten. Los valores obtenidos del porcentaje de cenizas mostraron una diferencia significativa ($P<0.05$) entre las formulaciones. Se observan los datos del valor más alto que es de 0.916 en la formulación M, al valor más bajo fue de 0.508 en la formulación T. Los componentes con mayor composición de cenizas es el maíz blanco con 1.34%, semilla de calabaza de Castilla con 5.10% y semilla de calabaza de la India con 4.9% (Instituto Nacional de Ciencias Médicas y Nutrición Salvador Zubirán, 2015). Esto podría explicar que en general las formulaciones más altas en cenizas son aquellas que incluyen el maíz y la semilla de calabaza contra las demás formulaciones. Los valores obtenidos del porcentaje de grasa. No mostraron diferencia significativa entre las distintas formulaciones de las diferentes mantecadas.



Análisis de perfil de textura (TPA). En la **tabla 3** se muestran los análisis de TPA determinado en el pan libre de gluten (mantecada) en las diferentes formulaciones. Donde se observó que los parámetros considerados fueron significativos en cada una de las formulaciones incluyendo a la mantecada comercial presentan diferencia significativa ($p < 0.05$).

Tabla 3. Resultados de textura en TPA de dureza, elasticidad, cohesividad y resiliencia.

Formulación	Dureza (kgf)	Elasticidad	Cohesividad	Resiliencia
T	842.5 ± 131.8 ^a	0.898 ± 0.013 ^a	0.688 ± 0.017 ^a	0.328 ± 0.016 ^a
M	751.2 ± 84.4 ^{ab}	0.861 ± 0.013 ^b	0.661 ± 0.024 ^{ab}	0.137 ± 0.010 ^d
A	611.7 ± 85.7 ^{bc}	0.822 ± 0.021 ^c	0.611 ± 0.016 ^b	0.277 ± 0.016 ^{ab}
MA	677.5 ± 55.8 ^{ab}	0.842 ± 0.026 ^{bc}	0.657 ± 0.049 ^{ab}	0.211 ± 0.027 ^c
MC	662.1 ± 115.0 ^{abc}	0.842 ± 0.009 ^{bc}	0.614 ± 0.027 ^{ab}	0.269 ± 0.013 ^b
AC	461.3 ± 106.2 ^{cd}	0.772 ± 0.015 ^d	0.508 ± 0.0441 ^c	0.320 ± 0.042 ^{ab}
MAC	597.1 ± 195.1 ^{bc}	0.819 ± 0.012 ^c	0.585 ± 0.085 ^b	0.280 ± 0.050 ^{ab}
COMERCIAL	336.7 ± 75.4 ^d	0.765 ± 0.022 ^d	0.416 ± 0.0156 ^d	0.323 ± 0.025 ^a

Los valores representan las media ± la desviación estándar, las medias con la misma letra no son significativamente diferentes ($P < 0.5$).

La dureza es la fuerza máxima del primer pico de compresión y se refiere a la fuerza que se debe aplicar entre los molares y entre la lengua y el paladar (Hleap y Velasco, 2010). Los productos que contienen en su formulación maíz resultan, tienen una mayor dureza en general. Sorpresivamente también la fórmula de trigo tuvo la mayor dureza. La cohesividad representa la fuerza con que están unidas las partículas, límite en el que se pueden deformar los productos antes de romperse (Hleap y Velasco, 2010). Nuevamente, la formulación a base de trigo tuvo una mayor cohesividad mientras que las formulaciones que integran maíz les siguieron en el valor de este parámetro. Las formulaciones a base de arroz y la formulación comercial tuvieron el menor valor de cohesividad. La elasticidad mide cuanta estructura original del alimento se ha roto durante la primera compresión (Hleap y Velasco, 2010). La tendencia tanto en este parámetro como en la resiliencia resulta similar a los casos anteriores, recordando que este último representa que tanto se puede recuperar el producto después de haber sido sometido a los procesos de compresión del material. Wazed e Islam (2021) indican panes a base de harina de arroz resultan con características mejores que las de panes a base de harina de



maíz. En nuestra investigación los valores de las formulaciones con presencia de arroz muestran más cercanía en valores a la muestra comercial.

Conclusiones

Las nuevas tendencias de alimentación han traído productos innovadores a base de harinas de diferentes cereales que son buenos para la salud, los resultados obtenidos pudieron de la incorporado exitosamente en formulaciones de las harinas de maíz y arroz se presenta como un alimento prometedor en la panificación mantecadas en sus atributos para calidad del producto y sin alteraciones en la textura. Los análisis muestran que su uso, maíz, arroz, leche de semillas de calabaza y naranja que al evaluar la textura, se observó que son ricos se observó que la dureza, elasticidad, cohesividad y resiliencia en cada una de las formulaciones y la mantecada comercial. Los productos con presencia de maíz en su formulación tienden a una mayor dureza, cohesividad, elasticidad y resiliencia. Mientras que las fórmulas con presencia de arroz en su estructura tienden a valores más cercanos con la muestra comercial evaluada en este estudio. Se requiere realizar un análisis sensorial con la finalidad de tener una mayor certeza sobre la aceptación sensorial de estos productos libres de gluten.

Referencias

- Galicia García, T. Trejo Alarcón, V. Ramírez-Wong, B. Estrada Moreno, L. Leal Ramos Y. Portillo Arroyo, B. Soto Figueroa, C. (2024). Evaluación fisicoquímica y sensorial de un pan libre de gluten a base de pseudocereales y subproductos de la agroindustria. *European Public and Social Innovation Review* 9, 01 – 16. DOI: 10.31637/epsir-2024-1172.
- Hleap, J. I., Velasco, V. A. (2010). Análisis de las propiedades de textura durante el almacenamiento de salchichas elaboradas a partir de tilapia roja (*Oreochromis* sp.). *Biotecnología en el Sector agropecuario y agroindustrial*, 8(2), 46-56.
- Instituto Nacional de Ciencias Médicas y Nutrición Salvador Zubiran (2015). Tablas de composición de alimentos y productos alimenticios. Obtenido de: <https://www.incmnsz.mx>



- Jasper, E. L. E. C. H. I., Cornelius, A. D. A. M. U., & Salam, S. B. (2020). Quality evaluation of bread fortified with pumpkin (*Cucurbita pepo*) seed milk. *GSJ*, 8(2), 4778-4795.
- Pyo, S.-H. Moon, C.-R. Park, S. W. Choi, S.-W. Park, J.-D., Sung, J.-M. Choi, E.-J. Son, Y.-J. (2024). Quality and staling characteristics of white bread fortified with lysozyme-hydrolyzed mealworm powder (*Tenebrio molitor* L.). *Current Research in Food Science* 8: 100685. DOI: 10.1016/j.crfs.2024.100685.
- Wazed, M. A., & Islam, M. R. (2021). Influence of barley, corn and rice flour on physical, chemical and sensory characteristics of gluten-free bread. *Malaysian Journal of Halal Research*, 4(2), 36-41.
- Zegarra, S. Muñoz, A. M. Ramos-Escudero, F. (2019). Elaboración de un pan libre de gluten a base de harina de cañihua (*Chenopodium pallidicaule* Aellen) y evaluación de la aceptabilidad sensorial. *Revista Chilena de Nutrición* 46 (5): 561 – 570. DOI: 10.4067/S0717-75182019000500561.



HARINA DE FRIJOL PINTO Y GRILLO EN EL DESARROLLO DE ALIMENTOS REESTRUCTURADOS SOSTENIBLES

Cruz-Callejas, Miguel^{1a}; Velázquez de la Cruz, Gonzalo²; Flores Hernández, Elsa Nelly^{1b}; Martínez Maldonado Miguel Ángel^{1b}.

^{1a} Estudiante Licenciatura de Gastronomía. Tecnológico Nacional de México / ITS de Huichapan, Domicilio Conocido S/N Col. El Saucillo, Huichapan, Hidalgo, 42411, México

^{1b} División de Gastronomía. Tecnológico Nacional de México / ITS de Huichapan, Domicilio Conocido S/N Col. El Saucillo, Huichapan, Hidalgo, 42411, México

² Centro de Investigación en Ciencia Aplicada y Tecnología Avanzada, Unidad Querétaro, Cerro Blanco 141, Colinas del Cimataro, Santiago de Querétaro, Qro. Querétaro, 76090, México.

**Autor de correspondencia: mamartinez@iteshu.edu.mx*

Resumen

El desarrollo de productos reestructurados a partir de proteínas no convencionales ofrece una alternativa sostenible para diversificar la oferta alimentaria. Este estudio evaluó la combinación de harina de frijol pinto (*Phaseolus vulgaris*) y harina de grillo (*Acheta domesticus*) para establecer condiciones óptimas de procesamiento y caracterizar sus propiedades fisicoquímicas y funcionales. La harina de frijol, obtenida mediante remojo, cocción escalonada, molienda y tamizado, presentó capacidad de retención de agua de 1.95 ± 0.10 g/g, de aceite de 0.67 ± 0.12 g/g y gelificación mínima al 15 % (p/v). Se elaboraron reestructurados con proporciones HF:HG (100:0–0:100) y tratamiento térmico (50 °C/1 h + 90 °C/30 min). Formulaciones con ≥ 75 % HF mostraron estructuras firmes, mientras que mayores niveles de grillo redujeron la cohesión. La adición de 1–2 % de transglutaminasa microbiana mejoró textura y cohesividad; la formulación 75:25 (HF:HG) con 1 % MTGasa exhibió el mejor desempeño funcional.

Palabras Clave

Harina de grillo, Harina de frijol pinto, Transglutaminasa microbiana, Proteínas sostenibles, Productos reestructurados



Abstract

The development of restructured products from unconventional protein sources offers a sustainable alternative to diversify the food supply. This study evaluated the combination of pinto bean (*Phaseolus vulgaris*) and cricket (*Acheta domesticus*) flours to establish optimal processing conditions and characterize their physicochemical and functional properties. Bean flour, obtained by soaking, stepwise cooking, milling, and sieving, showed a water-holding capacity of 1.95 ± 0.10 g/g, oil-holding capacity of 0.67 ± 0.12 g/g, and minimum gelation concentration of 15 % (w/v). Restructured products were prepared with HF:HG ratios (100:0–0:100) and thermal treatment (50 °C/1 h + 90 °C/30 min). Formulations containing ≥ 75 % HF produced firm and sliceable structures, whereas higher cricket proportions reduced cohesion. The addition of 1–2 % microbial transglutaminase improved texture and cohesiveness, although darkening occurred. The 75:25 (HF:HG) formulation with 1 % MTGase exhibited the best functional performance, highlighting its potential for developing sustainable restructured products.

Keywords

Cricket flour, Pinto bean flour, Microbial transglutaminase, Functional properties, Sustainable proteins, Restructured products

Introducción

La búsqueda de fuentes proteicas sostenibles ha cobrado relevancia ante el incremento de la demanda mundial de alimentos y la necesidad de reducir el impacto ambiental asociado a la producción pecuaria (Lisboa et al., 2024). Es por ello que los insectos comestibles representan una alternativa viable por su elevado contenido proteico, bajo requerimiento de agua y tierra, y reducidas emisiones de gases de efecto invernadero (Pan et al., 2022). Entre ellos, el grillo doméstico (*Acheta domesticus*) destaca por su composición equilibrada y su versatilidad funcional. Su harina posee buenas propiedades de solubilidad, emulsificación y gelificación, lo que la convierte en un ingrediente prometedor para el desarrollo de matrices proteicas



estructuradas (Bresciani et al., 2022; Zielińska et al., 2022). No obstante, su incorporación en sistemas alimentarios requiere optimizar la formulación y el procesamiento para preservar la cohesión estructural y la aceptabilidad sensorial (Baigts-Allende, et al., 2022). Por otro lado, las leguminosas, particularmente el frijol pinto (*Phaseolus vulgaris*), constituyen una fuente vegetal de proteínas con propiedades tecnofuncionales destacadas, como la capacidad de retención de agua, la emulsificación y la formación de geles (Aliabbasi et al., 2024). Las fracciones globulares 7S y 11S presentan un comportamiento modulable mediante tratamiento térmico, lo que permite ajustar la textura y estabilidad de emulsiones o productos reestructurados (Zhang et al., 2024a, 2024b).

El uso de transglutaminasa microbiana (MTGasa) como agente de reticulación proteica ha demostrado mejorar la textura, cohesividad y capacidad de retención de agua en productos tanto de origen animal como vegetal (Vasić et al., 2023). Esta enzima cataliza la formación de enlaces ϵ -(γ -glutamil)-lisina entre proteínas, reforzando la red tridimensional del gel y aumentando la firmeza de los sistemas alimentarios (Vijayan et al., 2024; Rodríguez-Castillejos et al., 2017). La combinación de harinas de frijol pinto y grillo, junto con la acción estructurante de la MTGasa, constituye una estrategia prometedora para desarrollar alimentos reestructurados sostenibles y funcionales. Este estudio tiene como objetivo evaluar las condiciones de procesamiento y las propiedades funcionales de sistemas mixtos de harina de frijol pinto y harina de grillo.

Metodología

Preparación de harinas.

El frijol pinto (*Phaseolus vulgaris*) se limpió manualmente, se remojó en agua potable (1:3, p/p) durante 5 h y se sometió a cocción escalonada (180 °C/1 h + 100 °C/2 h). Los granos cocidos se molieron y tamizaron (malla 80, 180 μ m) para obtener una harina homogénea. La harina de grillo (*Acheta domesticus*) se utilizó comercialmente deshidratada.

Propiedades tecnofuncionales



Se determinaron la capacidad de retención de agua (CRAg), aceite (CRAc) y la capacidad de gelificación mínima (CGM) mediante métodos gravimétricos y térmicos adaptados de Traynham et al. (2007).

Elaboración de reestructurados

Se formularon mezclas HF:HG (100:0, 75:25, 50:50, 25:75 y 0:100) adicionadas con sal (1%) y agua. La masa se moldeó en cilindros y se sometió a tratamiento térmico (50 °C/1 h + 90 °C/30 min), con enfriamiento posterior a 4 °C. Para evaluar el efecto estructurante, se adicionó transglutaminasa microbiana (MTGasa) en niveles de 1% y 2% (p/p).

Análisis instrumental

Los productos obtenidos se analizaron mediante colorimetría (L^* , a^* , b^*), corte cualitativo y perfil de textura (TPA) utilizando un texturómetro TA.XT-Plus. Los parámetros evaluados incluyeron dureza, cohesividad, elasticidad y masticabilidad. Todos los ensayos se realizaron por triplicado y los resultados se expresaron como media \pm desviación estándar.

Resultados

Propiedades tecnofuncionales de la harina de frijol

La Tabla 1 muestra los valores obtenidos para la capacidad de retención de agua (CRAg) y aceite (CRAc) de la harina de frijol pinto tratada térmicamente. La CRAg presentó un valor de 1.95 ± 0.10 g/g, indicando una alta afinidad por el agua, lo que favorece la jugosidad y la estabilidad estructural en productos reestructurados. En contraste, la CRAc fue de 0.67 ± 0.12 g/g, reflejando una capacidad moderada de interacción con lípidos, relevante para la retención de grasa y la textura final del producto. Estos valores son consistentes con los reportados para otras leguminosas, confirmando la viabilidad del frijol pinto como ingrediente estructurante en matrices alimentarias funcionales.

Tabla 1. Caracterización de la capacidad de retención de agua (CRAg) y retención de aceite (CRAc) de la harina de frijol pinto

Muestra	CRAg (g/g)	CRAc (g/g)
Harina de frijol pinto	1.95 ± 0.10	0.67 ± 0.12



Capacidad de gelificación mínima (CGM)

En la Tabla 2 se presentan los resultados del ensayo de gelificación mínima, realizado a concentraciones entre 5 y 25% (p/v). Se observó la formación de un gel estable a partir del 15%, mientras que las suspensiones al 5 y 10% mostraron consistencia viscosa sin retención estructural. Este comportamiento indica que a partir del 15% las proteínas del frijol son capaces de formar una red tridimensional cohesiva, adecuada para el desarrollo de productos reestructurados.

Tabla 2. Determinación de la capacidad de gelificación mínima (CGM) de la harina de frijol pinto.

Concentración (% p/v)	5	10	15	20	25
Tipo de consistencia	V	V	G	G	G
V = Viscosa; G = Gel estable					

Comportamiento estructural al corte

Los resultados del análisis de corte (Tabla 3) evidencian que las formulaciones con mayor proporción de harina de frijol (100:0 y 75:25) presentaron estructuras firmes, permitiendo cortes limpios sin fracturas ni desmoronamiento. En cambio, las mezclas con proporciones iguales o superiores de harina de grillo (50:50, 25:75 y 0:100) mostraron pérdida de cohesión, reflejando una menor capacidad estructurante del sistema. Estos resultados sugieren que la harina de frijol es el principal componente responsable de la formación de matrices estables, mientras que el incremento de harina de grillo tiende a reducir la firmeza sin el uso de agentes funcionales adicionales.

Tabla 3. Evaluación del comportamiento al corte en reestructurados a base de mezclas de harina de frijol (HF) y harina de grillo (HG).

Relación HF:HG	100:0	75:25	50:50	25:75	0:100
Corte	Sí	Sí	No	No	No

Atributos de color

Los resultados de la Tabla 4 muestran que el color de los productos reestructurados se vio influido tanto por la proporción de harina de grillo (HG) como por la concentración de transglutaminasa microbiana (MTGasa). En general, el aumento del contenido de HG y de la enzima provocó una disminución progresiva en la luminosidad (L^*), indicando un oscurecimiento del producto. Las muestras sin enzima (0%) mostraron los valores más altos de L^* , a^* y b^* , asociándose con tonalidades más claras y saturadas. En contraste, las



formulaciones con 2% de MTGasa y mayor proporción de harina de grillo (75:25) presentaron los valores más bajos de L*, a* y b*, reflejando una pérdida de intensidad en los matices rojos y amarillos. Estos resultados sugieren que la reacción térmica y la interacción proteína-pigmento inducida por la MTGasa modifican las propiedades cromáticas de la matriz proteica, generando productos más oscuros y menos saturados visualmente.

Tabla 4. Evaluación de los parámetros de color (L, a, b*) en reestructurados elaborados con mezclas de harina de frijol y harina de grillo adicionados con MTGasa

Mezcla HF:HG	MTGasa (%)	L*	a*	b*	Tendencia
75:05	0	48.76	11.35	24.53	Producto más claro y saturado
75:25	0	45.40	9.89	22.16	Claro, con mayor rojo y amarillo
75:05	1	46.76	10.85	23.53	Mayor claridad y saturación
75:25	1	43.40	9.39	21.16	Más oscuro, menos rojo y amarillo
75:05	2	44.39	9.70	21.34	Oscurecimiento leve
75:25	2	40.82	8.94	19.37	Más oscuro y desaturado

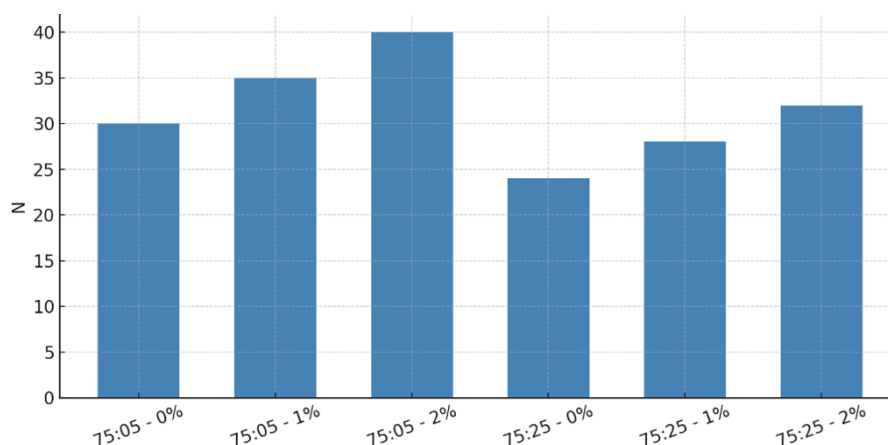


Figura 1. Dureza de los reestructurados elaborados con harina de frijol (HF) y harina de grillo (HG) en proporciones 75:05 y 75:25, adicionados con 0, 1 y 2% de transglutaminasa microbiana (MTGasa).

Análisis de textura

Los resultados del análisis de dureza (Figura 1.) mostraron que la adición de transglutaminasa microbiana (MTGasa) incrementó significativamente la firmeza de los productos reestructurados en ambas proporciones de mezcla. En las formulaciones 75:05 (HF:HG), la dureza aumentó de aproximadamente 30 N (0%) a 40 N (2%), evidenciando una mayor



compactación de la matriz proteica. En contraste, las mezclas 75:25 (HF:HG) presentaron valores menores en todos los tratamientos, con un rango de 25 a 32 N, lo que indica una reducción de la fuerza estructural conforme se incrementa el contenido de harina de grillo. Estos resultados confirman que la MTGasa favorece la formación de enlaces intermoleculares, mejorando la integridad mecánica del sistema, y que una proporción elevada de frijol es determinante para obtener reestructurados con mayor dureza y estabilidad.

Conclusiones

La combinación de harina de frijol pinto (*Phaseolus vulgaris*) y harina de grillo (*Acheta domesticus*) resultó efectiva para el desarrollo de productos reestructurados sostenibles con propiedades funcionales adecuadas. La harina de frijol mostró alta capacidad de retención de agua y gelificación, favoreciendo la cohesión estructural, mientras que mayores proporciones de grillo redujeron la firmeza. La adición de transglutaminasa microbiana (1–2%) mejoró la textura y cohesividad, aunque provocó un leve oscurecimiento del producto. La formulación 75:25 (HF:HG) con 1% de MTGasa presentó el mejor equilibrio entre dureza y atributos visuales. Estos resultados evidencian el potencial de los sistemas proteicos leguminosa–insecto para la elaboración de alimentos funcionales. Para estudio posteriores, se recomienda realizar pruebas sensoriales y análisis del perfil nutracéutico que permitan evaluar la aceptación del consumidor y el potencial bioactivo de los productos desarrollados.

Referencias

- Aliabbasi, N., Diosady, L. L., y Emam-Djomeh, Z. (2024). Purification and characterization of pinto bean protein using membrane technology. *Food Science & Nutrition*.
- Bresciani, A., et al. (2022). Technological performance of cricket (*Acheta domesticus*) powder as a high-protein functional ingredient in bakery: A technological and rheological study. *Insects*, 13(6), 546.
- Baigts-Allende, D., Doost, A. S., Ramirez-Rodrigues, M., Dewettinck, K., Van der Meeren, et al. (2021). Insect protein concentrates from Mexican edible insects: Structural and functional characterization. *LWT*, 152, 112267.



- Lisboa, H. M., Nascimento, A., Arruda, A., Sarinho, A., Lima, et al. (2024). Unlocking the potential of insect-based proteins: Sustainable solutions for global food security and nutrition. *Foods*, 13(12), 1846.
- Pan, J., Xu, H., Cheng, Y., Mintah, B. K., Dabbour, M., et al. (2022). Recent insight on edible insect protein: Extraction, functional properties, allergenicity, bioactivity, and applications. *Foods*, 11(19), 2931.
- Castillejos, G. R., de León, J. R., Vázquez, G. B., y Ruíz, O. C. (2017). Properties of fish and beef restructured by MTG derived from *Streptomyces mobaraensis*. *Czech Journal of Food Sciences*, 35(6), 517–521.
- Vasić, K., Knez, Ž., y Leitgeb, M (2023). Transglutaminase in foods and biotechnology. *International Journal of Molecular Sciences*, 24(15), 12402.
- Vijayan, P., Song, Z., Toy, J. Y. H., Yu, L. L., y Huang, D. (2024). Effect of transglutaminase on gelation and functional proteins of mung bean protein isolate. *Food Chemistry*, 454, 139590.
- Zhang, W., Jin, M., Wang, H., Cheng, S., Cao, J., et al. (2024a). Effect of thermal treatment on gelling and emulsifying properties of soy protein with varying 11S/7S ratios. *Foods*, 13(12), 1804.
- Zhang, X., Zhang, Z., Shen, A., Zhang, T., Jiang, L. et al. (2024b). Legumes as an alternative protein source in plant-based foods: Applications, challenges, and strategies. *Current Research in Food Science*, 9, 100876.



DISEÑO DE UNA PLANTA PRODUCTORA DE PASTA ELABORADA CON HARINA DE ALFALFA

Ana Camila Palacios Soto¹, María Guadalupe Rubio Velázquez¹, Erika Ramos Ojeda^{1*}, Fabiola Herrera Enciso¹

¹Departamento de Ingenierías, Tecnológico Nacional de México/IT Roque, Km 8 carretera Celaya-Juventino Rosas, Celaya, Gto, 38110, México.

Correo de correspondencia: erika.ro@roque.tecnm.mx

Resumen

El presente proyecto determina la metodología utilizada para la implementación de una planta piloto productora de pasta elaborada con harina de alfalfa. El diseño consistió en la elaboración de un diagrama conceptual del proceso, determinando los flujos a través de balances de materia y energía. Lo cual permitió calcular de una manera aproximada los costos fijos y variables que involucran el diseño de la planta como cantidad de agua, combustible, energía eléctrica, materia prima, etc. Para la distribución de la planta se aplicaron métodos como huella circular para hacer una distribución óptima y segura de los equipos, así como el método de Brown Gibson para determinar las condiciones más favorables de ubicación de la planta. Así mismo se consideraron la cercanía e importancia de los distintos proveedores. Por lo que la planta se posiciono en el estado de Guanajuato favoreciendo los tiempos de distribución de la mercancía.

Palabras clave

Alfalfa, diseño, optimización, planta.

Abstract

This project outlines the methodology used for the implementation of a pilot plant for producing pasta made with alfalfa flour. The design process involved creating a conceptual diagram of the process and determining the flows through material and energy balances. This allowed for an approximate calculation of the fixed and variable costs involved in the plant design, such as water, fuel, electricity, raw materials, etc. For the plant layout, methods such as the circular footprint method were applied to ensure optimal and safe equipment distribution, as well as the Brown-Gibson method to determine the most favorable plant location. The proximity and



importance of various suppliers were also considered. Therefore, the plant was located in the state of Guanajuato, optimizing merchandise distribution times.

Keywords:

Alfalfa, design, optimization, plant.

Introducción

La industria de alimentos es el pilar del desarrollo industrial y uno de los retos que presenta es el cómo combinar la producción en masa con el desarrollo sustentable. Durante el procesamiento de alimentos se encuentran representadas cada una de las industrias desde la recepción de materias primas hasta el software que controla los productos terminados, pues ya que en una planta industrial de alimentos se reciben, almacenan, transforman, empaquetan, conservan y distribuyen, materias primas, productos en proceso y productos terminados de uso alimentario (Acaro, 2009).

La alfalfa es una planta sostenible que requiere menos recursos hídricos, tiene la capacidad de fijar nitrógeno en el suelo, mejorando así su fertilidad, ayuda a reducir el uso de fertilizantes químicos. Por sus propiedades nutrimentales es rica en proteínas, vitaminas, minerales, antioxidantes, calcio, hierro, magnesio y vitamina K, contiene nutrientes esenciales en general. Es ideal para aquellas personas que siguen dietas veganas o vegetarianas, proporcionando proteínas vegetales de calidad. (Portillo, 2025)

Las pastas hechas a base de harina de alfalfa son una propuesta innovadora en la industria alimentaria. A diferencia de las pastas tradicionales como lo es el trigo, estas contienen un mayor contenido de fibra y proteínas, lo cual favorece a la digestión y ayuda a mantener en equilibrio los niveles de energía. Además, es una gran opción para personas que busquen controlar su peso o quienes padezcan diabetes. Esta harina también es fuente de clorofila, por lo cual tiene propiedades desintoxicantes y mejoran la salud de la piel, así como mejora la salud cardiovascular, regula la presión arterial y mantiene la salud del corazón. (Scolinary, 2024)

Por lo que el diseño de una planta para producir pasta con harina de alfalfa contribuirá en la innovación de nuevos productos y el desarrollo industrial.



Metodología

Se diseñó una planta procesadora de pasta elaborada con harina de alfalfa, clasificada como planta de tamaño mediano, la cual cuenta con aproximadamente 150 trabajadores distribuidos entre áreas de producción, control de calidad, mantenimiento y administración.

El proceso de diseño comenzó con la solución de cálculos rápidos los cuales contribuyeron a conocer la producción diaria dentro de la planta, también se realizó un diagrama de flujo del proceso, en el cual se representaron los flujos de las corrientes a través de balances de materia y energía. Con el fin de definir los equipos necesarios para la producción, tales como mezcladoras, extrusoras, secadoras, bandas transportadoras y empacadoras. Cada uno de estos equipos fue seleccionado por su eficiencia energética y capacidad de producción, buscando optimizar el rendimiento diario de la planta.

La determinación de costos se realizó a partir de la cantidad estimada de producción semanal, considerando el consumo de materia prima, energía eléctrica, agua, combustible, materiales de empaque y etiquetado, así como los costos de mantenimiento y mano de obra. Estos datos permitieron obtener los costos fijos y variables, fundamentales para la evaluación económica del proyecto.

Para la ubicación óptima de la planta, se empleó el método de Brown-Gibson, el cual integra tanto factores objetivos (como costos de transporte y proximidad a proveedores) como valores subjetivos relacionados con aspectos sociales y culturales del entorno, los cuales fueron investigados en la página INEGI, tales como nivel educativo, religión, pobreza y delincuencia, expresados como porcentajes; se tomaron como candidatos de ubicaciones los siguientes estados: Chihuahua siendo uno de los mayores productores de alfalfa, Guanajuato, Aguascalientes y Baja California. Además, mediante el método de centroides se determinó los proveedores más cercanos, considerando Celaya Gto., San Juan del Río Querétaro, Delicias Chihuahua, Mexicali Baja California y Aguascalientes como los mayores proveedores de alfalfa en México, tomando en cuenta, tanto las distancias como los costos de transporte, con el objetivo de reducir los gastos logísticos.

La distribución o layout de los equipos dentro de la planta se diseñó en Excel aplicando el método de huella circular, el cual permitió optimizar el uso del espacio, garantizar un flujo



continuo de materiales y minimizar riesgos de accidentes, favoreciendo un entorno seguro y ordenado para los trabajadores.

Finalmente, se elaboro un diagrama P&ID (Diagrama de Instrumentación y tuberías) el cual muestra los componentes de un sistema, como tuberías, equipos, instrumentación y válvulas junto con sus interacciones de control; el cual se utiliza en diseño de plantas para construir y diseñar nuevas instalaciones industriales. Este diagrama muestra las conexiones entre equipos, tuberías, válvulas, sensores y controles automáticos, facilitando la operación y mantenimiento de la planta (Diaz, 2023).

Resultados

La planta productora de pasta elaborada con harina de alfalfa procesa 100 toneladas de pasta por día, la cual se distribuye en cajas con 50 paquetes de pasta, en presentaciones de 400g cada paquete. Se utilizaron una cantidad de 5 equipos como se muestra en la figura 1, los cuales fueron elegidos de acuerdo a su potencia y capacidad de producción. Posteriormente se determinaron los costos fijos estimados para la planta, entre los cuales se encuentran el costo del terreno, el cual fue evaluado de acuerdo a un área de $12800m^2$, la construcción de la planta y la compra de los equipos a utilizar para la producción; así como, los costos variables ya mencionados en la metodología.

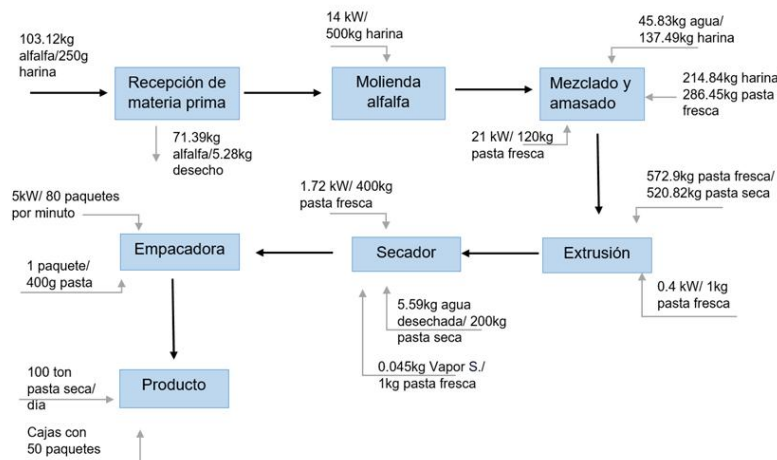


Figura 1 Diagrama de flujo de la planta.

El método de Brown Gibson determino la mejor ubicación de la planta tomando en cuenta los valores objetivos y subjetivos, así como los estados con mayor producción de alfalfa dentro del



país de México, antes mencionados. De acuerdo con los análisis realizados se obtuvo un valor final de 0.317304487 quedando como sitio más conveniente para la construcción de la planta el estado de Guanajuato

Para el método de centroides se realizó una investigación de los lugares que podrían prever la materia prima necesaria para la producción diaria estimada, tomando coordenadas de los lugares mas cercanos a la ubicación de la planta, realizando las operaciones necesarias para llegar a la convergencia de los datos. A continuación, como se observa en la figura 2, los puntos más cercanos a la ubicación de la planta fueron Celaya Guanajuato, como el proveedor principal de materia prima, y como segunda opción Querétaro.

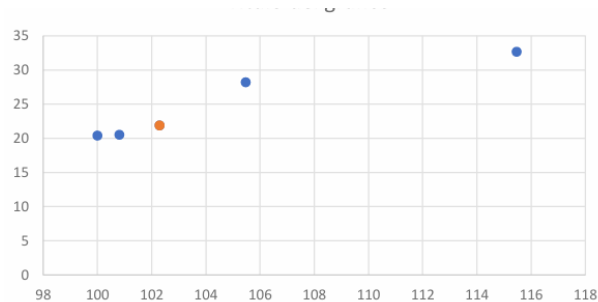


Figura 2. Ubicación del mejor proveedor basado en el método de centroides.

Para la aplicación del método de huella circular se tomaron en cuenta las dimensiones de cada uno de los equipos y conforme a sus radios poder ubicarlos dentro del área asignada, evitando que los equipos salgan de las fronteras establecidas. Se obtuvo un área asignada de $113m^2$, en la figura 3 se muestra la distribución de los equipos en la planta con una separación entre equipos de 3m, lo cual no interviene en el área total del terreno.

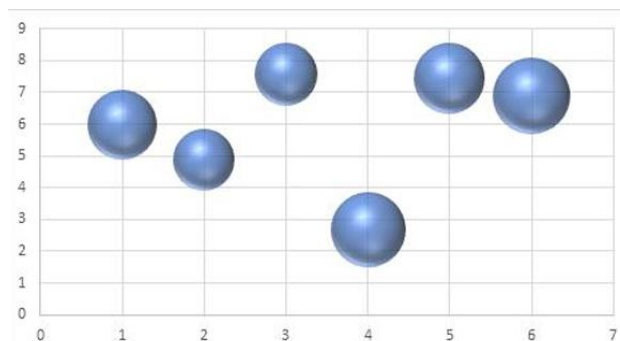


Figura 3. Distribución de los equipos basado en el método de huella circular.



A continuación, se muestra en la figura 4 el diagrama P&ID, el cual esta determina las tuberías, válvulas y controles necesarios para el correcto funcionamiento de la planta. Las ubicaciones de cada uno de ellos dependieron de las necesidades de cada equipo, así como se tomo en cuenta su funcionamiento dentro del proceso de la pasta elaborada con harina de alfalfa. Las siglas que se presentan en los círculos dentro del diagrama expresan las válvulas de control para las variables dependientes del sistema, tales como, temperatura, presión y flujos.

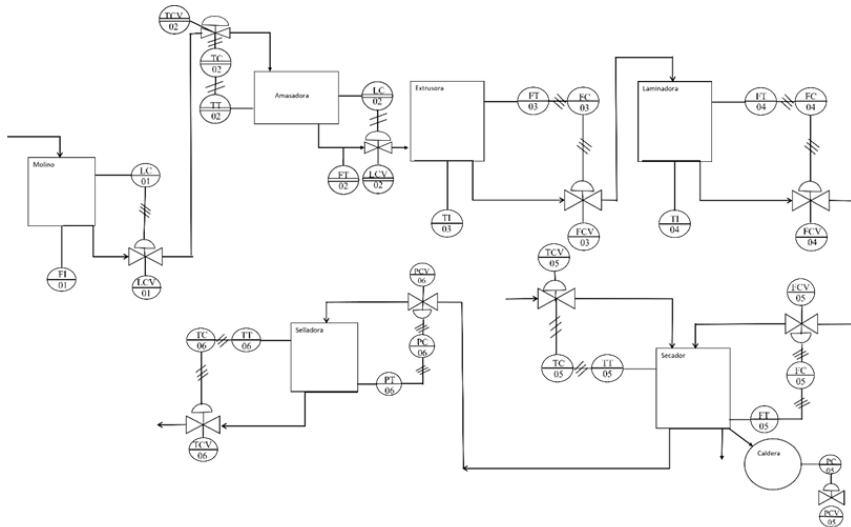


Figura 4. P&ID

Conclusiones

De acuerdo a los métodos y análisis aplicados para determinar la ubicación de la planta, queda como mejor opción el estado de Guanajuato, siendo este el sitio más favorable de acuerdo con la producción de alfalfa y los valores objetivos y subjetivos de estudio; teniendo en cuenta esto, el proveedor de materia prima más cercano a la ubicación de la planta fue Celaya, de acuerdo a las coordenadas establecidas, siendo una segunda opción San Juan del Rio, Querétaro. El costo total de la planta es de \$67,116,964.3 considerándolos costos fijos y variables antes mencionados. De acuerdo a la ubicación establecida de la planta, se estima que en caso de que la planta sea viable se podría ampliar las instalaciones y crear una nueva planta en el estado de Chihuahua, siendo este la mejor opción de acuerdo a la metodología establecida, conforme al porcentaje de producción de alfalfa, así como sus valores objetivos y subjetivos.



El análisis para el diseño de esta planta, es fundamental e importante para su viabilidad.

Referencias

- Abad Acaro, N. I. (2009). *Estudio de prefactibilidad para la instalacion de una planta de harina*. Obtenido de Universidad Nacional del Santa, Facultad de Ingenieria, Escuela Academica Profesional de Ingenieria Agroindustrial: <https://repositorio.uns.edu.pe/>
- Américas, U. d. (2015). *Plan de negocios para la produccion de harina de alfalfa en Cotopaxi, Ecuador*. Obtenido de Proyecto académico en el marco del desarrollo sostenible y la competitividad agricola.
- Díaz Ovalle, C. O. (2023). *DISEÑO DE PLANTAS ALIMENTARIAS*. Celaya, Gto.
- Portillo, G. (17 de Junio de 2025). *Jardineria On*. Obtenido de Guía completa para el cultivo de alfalfa: claves, pasos y consejos actualizados: <https://www.jardineriaon.com/cultivo-de-la-alfalfa.html>
- Scoolinary Blog*. (2024). Obtenido de Tipos de harina: Cuales hay y para que utilizar cada una. : <https://blog.scoolinary.com/>



ANÁLISIS DE PROCESOS DE DECISIÓN ALIMENTARIA EN MÉXICO CON INTELIGENCIA ARTIFICIAL PARA LA EVALUACIÓN DEL ETIQUETADO FRONTAL

Salvador Ortiz Santos¹, Georgina del Carmen Mota Valtierra^{1*}, Humberto Aguirre Becerra¹,
Ma. Cristina Vázquez Hernández²

¹Profesor. Facultad de Ingeniería. Universidad Autónoma de Querétaro. Av. Universidad S/N. Cerro de las Campanas. Santiago de Querétaro. Querétaro. C.P. 76010. México.

²Profesor. Cuerpo Académico de Innovación en Bioprocesos Sustentables. Depto. Ingenierías. Tecnológico Nacional de México/IT de Roque. Carr. Celaya-Juventino Rosas Km. 8. Roque. Celaya. Guanajuato. C.P. 38110. México.

*Autor de correspondencia: georgina.mota@uaq.mx

Resumen

La elevada prevalencia de enfermedades crónicas no transmisibles en México, asociadas al consumo de alimentos ultraprocesados, impulsó la adopción del etiquetado nutricional frontal (ENF) como estrategia de salud pública. Este estudio emplea inteligencia artificial para analizar microdatos de la Encuesta Nacional de Salud y Nutrición Continua 2023 (ENSANUT), con 4,282 participantes, evaluando su influencia en las decisiones de compra. Se aplicó un enfoque cuantitativo para identificar patrones de conocimiento, percepción y comportamiento. Los hallazgos muestran que la efectividad del ENF está condicionada por factores como edad, alfabetización en salud y sensibilidad al precio, lo que genera disparidades entre distintos grupos. Se identificaron tres segmentos principales: jóvenes que lo consideran herramienta educativa, consumidores que mantienen hábitos de riesgo pese al conocimiento y adultos mayores escépticos. Se concluye que el ENF impulsa cambios, pero requiere estrategias complementarias de educación nutricional y regulación de la publicidad para lograr mayor equidad y sostenibilidad.

Palabras claves



Etiquetado nutricional frontal, Inteligencia artificial, Salud pública.

Abstract

The high prevalence of non-communicable diseases in Mexico, associated with the consumption of ultra-processed foods, prompted the adoption of front-of-pack nutrition labeling (FOPNL) as a public health strategy. This study employs artificial intelligence to analyze microdata from the 2023 National Health and Nutrition Survey (ENSANUT), with 4,282 participants, assessing its influence on purchasing decisions. A quantitative approach was applied to identify patterns of knowledge, perception, and behavior. Findings show that the effectiveness of FOPNL is conditioned by factors such as age, health literacy, and price sensitivity, generating disparities among different groups. Three main consumer segments were identified: young people who view it as an educational tool, consumers who maintain risky habits despite awareness, and older adults who remain skeptical. The study concludes that while FOPNL promotes changes, it must be complemented with nutrition education strategies and advertising regulation in order to achieve greater equity and sustainability.

Key words:

Front-of-pack labeling, Artificial intelligence, Public health.

Introducción

La crisis de salud pública global relacionada con el aumento de enfermedades crónicas no transmisibles (ECNT), como la obesidad, diabetes e hipertensión, es un fenómeno alarmante que afecta a muchas naciones, incluyendo México. Estas enfermedades están asociadas con estilos de vida poco saludables, dietas inadecuadas y la creciente disponibilidad de alimentos ultraprocesados (Nieto, Alcalde-Rabanal, et al., 2020). La Organización Mundial de la Salud (OMS) ha señalado que el consumo excesivo de alimentos ultraprocesados ha contribuido significativamente al aumento de la obesidad y otras enfermedades relacionadas con la malnutrición. México se encuentra entre los países con mayor prevalencia de obesidad en el mundo (Nieto, Tolentino-Mayo, et al., 2020). Según la Encuesta Nacional de Salud y Nutrición



(ENSANUT) de 2022, el 75.6% de la población padece sobrepeso u obesidad, el 18.3% tiene diabetes y el 28.3% sufre de hipertensión. Ante esta crisis, la secretaria de salud del gobierno mexicano declaró una emergencia epidemiológica por obesidad y diabetes en 2016 (Salgado et al., 2025; Shamah-Levy et al., 2023). Dado que estas enfermedades pueden prevenirse y tratarse con una alimentación adecuada, se han implementado estrategias contundentes, como el etiquetado nutricional frontal (ENF) con etiquetas de advertencia que establece umbrales específicos para nutrientes críticos como azúcares, sodio y grasas saturadas, con el objetivo de guiar a los consumidores hacia opciones más saludables (Flexner et al., 2023). Se ha proyectado que el etiquetado frontal podría reducir la prevalencia de la obesidad, lo que representaría un ahorro significativo en costos relacionados con la salud. Además, se espera que esta política contribuya a la meta 3.4 de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), que busca reducir en un tercio la mortalidad prematura por enfermedades no transmisibles mediante la prevención y tratamiento.

Las políticas públicas sobre el ENF en América Latina han demostrado una variedad de resultados. La implementación en Chile, país pionero, ha tenido un impacto positivo al reducir la compra de productos con alto contenido de nutrientes críticos. En Uruguay, la presencia de estas etiquetas mejoró la capacidad de los consumidores para identificar productos poco saludables. Por otro lado, la experiencia en Ecuador muestra que el etiquetado de advertencia octogonal ha sido más efectivo para influir en las decisiones de compra que el sistema de semáforo, el cual no logró reducir la venta de refrescos carbonatados (Flexner et al., 2023). El ENF en México tiene un alto reconocimiento, un 89.4% de los encuestados ha declarado haberlo visto pero existe una brecha significativa en su uso. Un estudio reciente mostró que solo el 44.2% de las personas lo emplea para tomar decisiones informadas sobre su alimentación (Ayuzo Del Valle et al., 2022; Gaona-Pineda et al., 2023; Guimond-Ramos et al., 2025).

El ENF es una herramienta prometedora con avances regulatorios significativos, sin embargo, enfrenta varios desafíos inherentes. La comprensión del consumidor es una barrera persistente, aunque las etiquetas de advertencia son intuitivas, otros sistemas más complejos confunden la toma de decisiones (Sagaceta-Mejía et al., 2022). La efectividad del ENF no es uniforme, ya que los consumidores a menudo priorizan el precio o el sabor sobre la información nutricional, lo que complica su aplicabilidad en diferentes contextos culturales y



socioeconómicos (Vargas-Meza et al., 2019). Aunado a esto, la resistencia de la industria a las regulaciones estrictas condiciona su éxito. Por ello, este estudio aplica la inteligencia artificial para el análisis profundo de los microdatos de ENSANUT sobre el impacto del etiquetado frontal en México. Se interpretan las decisiones de compra como procesos de ingeniería alimentaria, permitiendo una nueva perspectiva sobre el comportamiento del consumidor. Esta metodología permite identificar disparidades en los segmentos de la población y, además, ofrece un soporte estratégico para la formulación y ajuste de futuras políticas de salud pública.

Metodología

Esta investigación adopta un enfoque cuantitativo y exploratorio para evaluar el impacto del ENF en las decisiones de compra de los consumidores y su vínculo con la crisis de salud pública en México. El estudio se guía por cinco preguntas de investigación fundamentales: ¿Cuál es el impacto del ENF en las decisiones de compra?, ¿Cómo se relaciona el uso del etiquetado con la crisis de salud por enfermedades no transmisibles?, ¿Existen disparidades socioeconómicas en la efectividad del ENF?, ¿Qué evidencia cuantitativa respalda su efectividad en la modificación de hábitos?, y ¿Cómo puede este marco analítico ser aplicado en futuras evaluaciones de políticas alimentarias?

La metodología se basa en la recopilación y el preprocesamiento de microdatos de una encuesta nacional de 4,282 personas, la ENSANUT Continua 2023. La encuesta abarca diversos temas, desde la comprensión de conceptos nutricionales básicos, como el conteo de calorías, hasta el reconocimiento de los sellos de advertencia, las leyendas precautorias y el impacto de estos en las decisiones de compra. También incluye la recopilación de comentarios abiertos, los cuales son utilizados en el análisis de los resultados para entender qué factores, como el precio o el marketing, son más relevantes para los consumidores al momento de decidir su compra.

El análisis de los datos se llevó a cabo en dos etapas principales. Primero, se utilizó el Análisis de Componentes Principales (PCA) para reducir la dimensionalidad de las variables y simplificar la interpretación de los datos. Posteriormente, se aplicó un Análisis de Conglomerados (Mehrabi et al., 2022) para segmentar a los consumidores en grupos con características de consumo similares. La última fase consistió en la caracterización y



visualización de los grupos identificados utilizando mapas de calor con el fin de obtener una comprensión detallada y responder a las preguntas de investigación planteadas.

Resultados

El diagrama (Figura 1) visualiza las interconexiones entre la toma de decisiones del consumidor y las implicaciones políticas del etiquetado de advertencia. Muestra cómo la efectividad de esta política no es lineal, sino que está mediada por una serie de factores socioeconómicos y contextuales. En el primer punto, se observa que la toma de decisiones del consumidor no es uniforme. Los consumidores de bajos ingresos enfrentan barreras significativas, como la sensibilidad al precio y una menor alfabetización en salud, que influyen directamente en cómo interpretan y utilizan la información de las etiquetas (Nieto, Tolentino-Mayo, et al., 2020). A continuación, se demuestra cómo la efectividad del etiquetado se ve limitada por las desigualdades. Aunque los sellos son claros, su impacto se ve obstaculizado por la falta de acceso a opciones saludables en ciertos entornos y por la desconfianza que algunos grupos socioeconómicos tienen hacia las afirmaciones nutricionales en los empaques (Contreras-Manzano et al., 2024). La efectividad del etiquetado tiene dos ramificaciones principales: las implicaciones futuras y las implicaciones políticas. La política ha impulsado la reformulación de productos por parte de la industria, lo que tiene un impacto a largo plazo en el perfil nutricional del mercado. A nivel político, el éxito de México puede servir como un modelo para otros países. Finalmente, la sostenibilidad de la política a largo plazo requiere un enfoque integral. Esto implica el monitoreo y la evaluación continuos, así como la implementación de políticas complementarias como campañas de educación y regulaciones sobre publicidad. Abordar estas áreas es crucial para que la política contribuya a reducir la carga de enfermedades relacionadas con la dieta de manera equitativa.

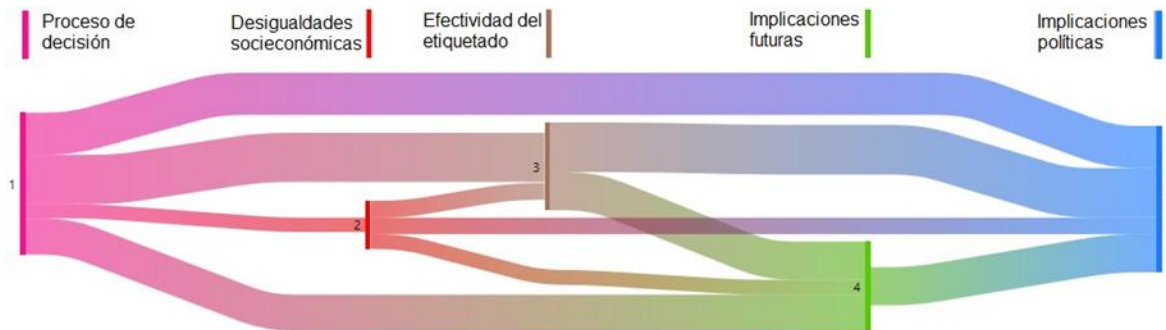


Figura 1: Análisis de las interconexiones en la toma de decisiones del consumidor y su relación con las políticas de etiquetado en México.0.2

El PCA (figura 2) revela que los factores más influyentes en el comportamiento del consumidor mexicano frente al ENF son multifactoriales. El primer componente explica más del 60% de la variabilidad de los datos, y los primeros cuatro explican aproximadamente el 80%. Los principales componentes identificados se asocian con la edad del consumidor, su percepción de la salud, y sus comportamientos de compra. Estos resultados sugieren que una combinación de factores demográficos, de percepción y de comportamiento son los determinantes clave del impacto de la política de etiquetado en la población. Adicionalmente, el dendrograma revela la estructura de agrupamiento de los datos. El corte a una distancia de enlace a 105, indicado por la agrupación de las ramas, permite la identificación de tres clústeres principales o grupos de consumidores con patrones de respuesta similares. Estos agrupamientos sugieren la existencia de subpoblaciones discretas dentro de la muestra, las cuales tienen implicaciones distintas en su interacción con el ENF.

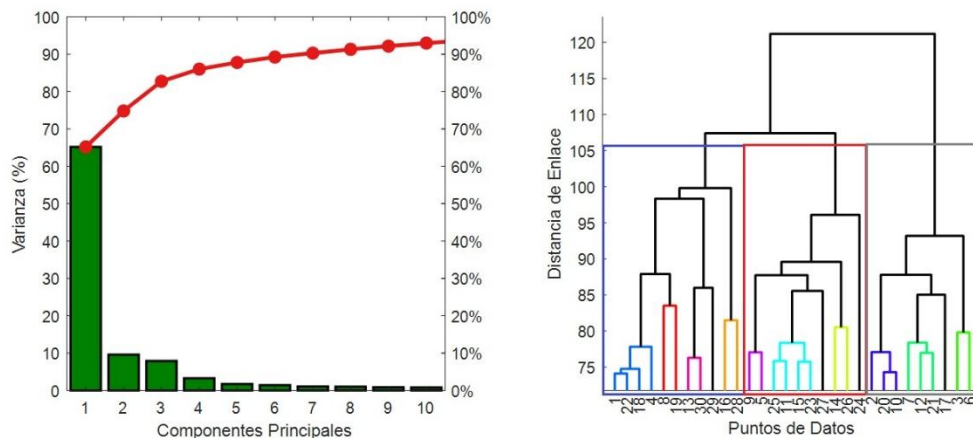


Figura 2: Varianza de Componentes Principales y Dendrograma de Agrupamiento Jerárquico.

El análisis de percepciones del ENF revela patrones distintivos entre los grupos, tal como se muestra en la Figura 3. Los Grupos 1 y 2 (menores de 43 años) comparten la visión fundamental de que el



etiquetado funciona como una herramienta educativa vital para advertir a la población, particularmente sobre los riesgos que ciertos alimentos representan para la salud infantil. Sin embargo, el Grupo 2 exhibe una paradoja de consumo (características 14 a 23), donde la ingesta de productos dañinos persiste a pesar del conocimiento del riesgo. Los participantes coinciden en que la responsabilidad final del consumo recae en el individuo, lo que sugiere que la mera presencia de las etiquetas no es suficiente para alterar los comportamientos de compra. Por su parte, el Grupo 3 (edad promedio de 54 años) se distingue por un alto escepticismo hacia la veracidad de la información oficial, restándole credibilidad a la utilidad del etiquetado. En este segmento, las decisiones de compra están más fuertemente influenciadas por familiares, costos y gustos que por los datos nutricionales proporcionados.

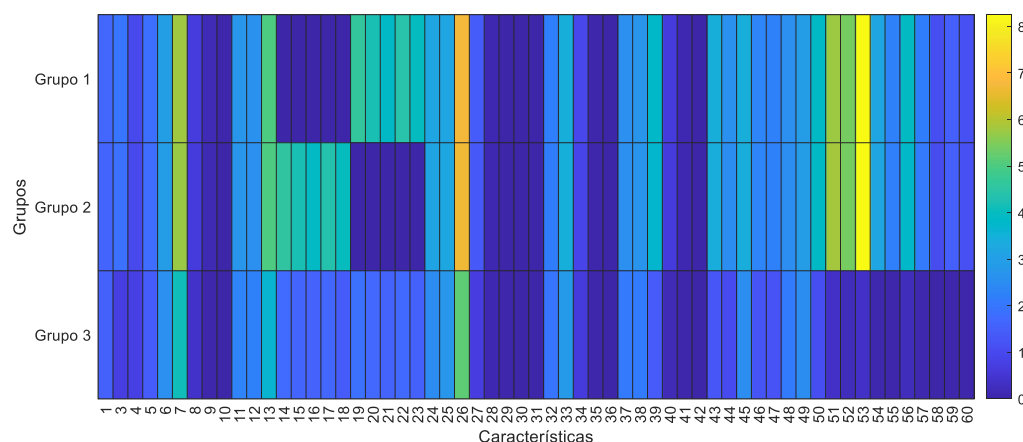


Figura 3: Percepción del Etiquetado Nutricional Frontal por Grupos.

Conclusiones

El presente estudio demuestra que el ENF en México ha tenido un impacto relevante en la toma de decisiones de los consumidores, aunque su efectividad está mediada por factores sociodemográficos y contextuales. Los resultados muestran que la edad, la alfabetización en salud y la sensibilidad al precio influyen de manera significativa en la interpretación y uso del ENF, generando disparidades entre diferentes grupos de la población. Mientras algunos consumidores lo perciben como una herramienta educativa, otros mantienen patrones de riesgo pese al conocimiento, y ciertos segmentos muestran escepticismo hacia la información oficial. Estos hallazgos evidencian que el ENF, aunque útil, no es suficiente por sí mismo para transformar los hábitos alimentarios de manera sostenida.

Recomendaciones



- Fortalecer campañas de educación nutricional orientadas a distintos grupos etarios y niveles socioeconómicos.
- Regular de manera más estricta la publicidad de alimentos ultraprocesados, especialmente la dirigida a niños y adolescentes.
- Incentivar la reformulación de productos para reducir nutrientes críticos en la oferta alimentaria.
- Implementar programas de accesibilidad económica a alimentos saludables, considerando la sensibilidad al precio como barrera estructural.

Trabajos a futuro

- Modelos predictivos con inteligencia artificial para anticipar el impacto del etiquetado en la reformulación de productos y en la industria alimentaria.
- Investigación del efecto combinado del ENF con otras políticas fiscales, como el impuesto a bebidas azucaradas o subsidios a alimentos saludables.

Referencias

- Ayuzo Del Valle, C., García, F., Musi Gómez, M., Parker, P. G., Ayuzo, B., & Salame Kanan, G. (2022). Weight stigma in Mexico and front-of-package labeling. A systemic review. *Salud Mental*, 45(2), 81–87. <https://doi.org/10.17711/SM.0185-3325.2022.011>
- Contreras-Manzano, A., White, C. M., Nieto, C., Quevedo, K. L., Vargas-Meza, J., Hammond, D., Thrasher, J. F., Barquera, S., & Jáuregui, A. (2024). Self-reported decreases in the purchases of selected unhealthy foods resulting from the implementation of warning labels in Mexican youth and adult population. *International Journal of Behavioral Nutrition and Physical Activity*, 21(1), 64. <https://doi.org/10.1186/s12966-024-01609-3>
- Flexner, N., Ng, A. P., Ahmed, M., Khandpur, N., Acton, R. B., Lee, J. J., & L'Abbe, M. R. (2023). Estimating the dietary and health impact of implementing front-of-pack nutrition labeling in Canada: A macrosimulation modeling study. *Frontiers in Nutrition*, 10, 1098231. <https://doi.org/10.3389/fnut.2023.1098231>
- Gaona-Pineda, E. B., Rodríguez-Ramírez, S., Medina-Zacarías, M. C., Valenzuela-Bravo, D. G., Martínez-Tapia, B., & Arango-Angarita, A. (2023). Consumidores de grupos de alimentos en población mexicana. *Ensanut Continua 2020-2022. Salud Pública de México*, 65, s248–s258. <https://doi.org/10.21149/14785>



- Guimond-Ramos, J. C., Cañez-Cota, L. A., & Mejía-Mancilla, R. (2025). Innovación para una Alimentación Saludable: El Etiquetado Frontal Herramienta de Cambio Conductual en Jalisco, México. *Scientia et PRAXIS*, 5(09), 26–46. <https://doi.org/10.55965/setp.5.09.a2>
- Mehrabi, N., Morstatter, F., Saxena, N., Lerman, K., & Galstyan, A. (2022). A Survey on Bias and Fairness in Machine Learning. *ACM Computing Surveys*, 54(6), 1–35. <https://doi.org/10.1145/3457607>
- Nieto, C., Alcalde-Rabanal, J., Mena, C., Carriedo, Á., & Barquera, S. (2020). Perception of the use and understanding of nutrition labels among different socioeconomic groups in Mexico: A qualitative study. *Salud Pública de México*, 62(3, may-jun), 288. <https://doi.org/10.21149/10793>
- Nieto, C., Tolentino-Mayo, L., Monterrubio-Flores, E., Medina, C., Patiño, S. R.-G., Aguirre-Hernández, R., & Barquera, S. (2020). Nutrition Label Use Is Related to Chronic Conditions among Mexicans: Data from the Mexican National Health and Nutrition Survey 2016. *Journal of the Academy of Nutrition and Dietetics*, 120(5), 804–814. <https://doi.org/10.1016/j.jand.2019.07.016>
- Sagaceta-Mejía, J., Tolentino-Mayo, L., Cruz-Casarrubias, C., Nieto, C., & Barquera, S. (2022). Understanding of front of package nutrition labels: Guideline daily amount and warning labels in Mexicans with non-communicable diseases. *PLOS ONE*, 17(6), e0269892. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0269892>
- Salgado, J. C., Pedraza, L. S., Contreras-Manzano, A., Aburto, T. C., Tolentino-Mayo, L., & Barquera, S. (2025). Product reformulation in non-alcoholic beverages and foods after the implementation of front-of-pack warning labels in Mexico. *PLOS Medicine*, 22(3), e1004533. <https://doi.org/10.1371/journal.pmed.1004533>
- Shamah-Levy, T., Gaona-Pineda, E. B., Cuevas-Nasu, L., Morales-Ruan, C., Valenzuela-Bravo, D. G., Méndez-Gómez Humaran, I., & Ávila-Arcos, M. A. (2023). Prevalencias de sobrepeso y obesidad en población escolar y adolescente de México. *Ensanut Continua 2020-2022. Salud Pública de México*, 65, s218–s224. <https://doi.org/10.21149/14762>
- Vargas-Meza, J., Jáuregui, A., Contreras-Manzano, A., Nieto, C., & Barquera, S. (2019). Acceptability and understanding of front-of-pack nutritional labels: An experimental study in Mexican consumers. *BMC Public Health*, 19(1), 1751. <https://doi.org/10.1186/s12889-019-8108-z>



PARTICULARIDADES EN PARÁMETROS QUÍMICOS EN MAÍCES NATIVOS DE COLOR CON CONTRIBUCIÓN EN LA INDUSTRIA ALIMENTARIA

Silvia Nayely García-Venegas^{1}, Mariano Mendoza Elos¹, Gilberto Rodríguez Pérez², Susana Elizabeth Altamirano Romo³, Francisco Cervantes Ortiz¹, Gerónimo Arámbula Villa³.*

¹ *Doctorado en Ciencias en Producción Agroalimentaria, Tecnológico Nacional de México campus Roque, Carr. Juventino Rosas - Celaya Km. 8, Celaya, Guanajuato, C.P. 38110, México.*

² *Tecnológico Nacional de México-campus Valle del Yaqui, Calle 600, Bácum, San Ignacio Río Muerto, Sonora, C.P. 85276, México.*

³ *Departamento de Ingenierías, Tecnológico Nacional de México campus Roque, Carr. Juventino Rosas - Celaya Km. 8, Celaya, Guanajuato, C.P. 38110, México.* ⁴ *Departamento de investigación, Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional, Lib. Norponiente no. 2000 Real de Juriquilla, Querétaro, Qro, C.P.76230, México.*

**Autor de correspondencia: d24980864@roque.tecnm.mx*

Resumen

El experimento se estableció en el laboratorio de Análisis de Alimentos del TecNM - Roque durante 2025. Se utilizaron seis genotipos nativos de diferentes colores (rojo, amarillo, naranja, morado, blanco y azul), originarios del estado de Yucatán; el diseño experimental fue completamente al azar con cuatro repeticiones. El objetivo fue caracterizar propiedades químicas en maíces de color para ser aprovechamiento en la industria alimentaria. Las variables evaluadas fueron: humedad, cenizas, aceite, proteína y fibra. Los resultados arrojaron porcentajes similares en todos los materiales evaluados en la mayoría de las propiedades; sin embargo, se encontró diferencia significativa en fibra siendo el material naranja el que presenta mayor porcentaje destacándose por su alto porcentaje de grasa para este tipo de maíces por lo que pueden ser aprovechables en la industria de extracción de aceite; aunque en general todos los materiales son adecuados para su aprovechamiento en la industria alimentaria con valor agregado con aporte a la nutrición humana.

Palabras clave:

Calidad química, maíces nativos pigmentados



Abstract

The experiment was established in the Food Analysis Laboratory at the TecNM - Roque in 2025. Six native genotypes of different colors (red, yellow, orange, purple, white, and blue) originating from the state of Yucatán were used; the experimental design was completely randomized with four replications. The objective was to characterize the chemical properties of colored corn materials for their use in the food industry. The variables evaluated were moisture, ash, oil, protein, and fiber. The results showed statistical differences, with higher percentages of oil in all materials, while lower percentages for protein were obtained. The blue genotype stood out as the most outstanding in all tests, although in general all materials are suitable for use in the food industry with added value and contribution to human nutrition.

Key words:

Chemical quality, pigmented native corn

Introducción

México es el mayor consumidor de maíz a nivel mundial, denominándose así el centro de origen, aportando la mayor diversidad de material genético y teniendo como principal importancia en su producción ser parte de la dieta de miles de mexicanos. Como materia prima, el maíz se ha logrado incluir en diferentes esquemas de producción siendo la más importante el giro alimenticio tanto de humanos como animales (Chávez, 2021). Los maíces nativos también llamados criollos tienen un arraigo ancestral en la población mexicana y su uso y consumo ha ido cambiando debido a diversos factores como la globalización y la producción en el sector rural (López-Torres et al., 2016).

Sin embargo, la producción de maíces de color es baja en nuestro país, lo cual abre oportunidad a su aprovechamiento sobre todo por su alto contenido nutricional y las propiedades nutraceuticas y funcionales que tiene (Bello-Pérez et al., 2016). En 2013, Figueroa y colaboradores destacaron que las propiedades químicas del maíz, tales como proteínas, carbohidratos, fibras y cenizas, son fundamentales para su uso alimentario y



permiten optimizar los procesos de aprovechamiento. Estas características varían según la variedad empleada y están principalmente determinadas por factores ambientales y prácticas agronómicas, incluyendo las condiciones de almacenamiento. Asimismo, el procesamiento industrial del maíz requiere materia prima con calidad específica, acorde al destino final de su utilización (Cabrera-Toledo, 2016).

Metodología

El estudio se llevó a cabo en el laboratorio de análisis de alimentos del Tecnológico Nacional de México - Roque en Celaya, Guanajuato durante 2025. Se utilizaron seis genotipos de maíces nativos pigmentados (Nal tel rojo, Nal tel amarillo, Pix naranja, Nal tel morado, Nal tel blanco y Tuxpeño azul), todos originarios del estado de Yucatán; se realizó un diseño experimental completamente al azar con cuatro repeticiones. Se determinó la calidad química mediante análisis bromatológicos donde se evaluaron las siguientes variables: % de humedad (NMX-F-083-1986), % de ceniza (NMX-F-066-S-1978), % de grasa (NMX-F-089-S-1978), % de proteína (NMX-F-068-S-1980), % de fibra (NMX-F-090-S-1978) y % de carbohidratos. Todos los análisis fueron realizados mediante las metodologías establecidas por las normas mexicanas correspondientes a excepción de carbohidratos que fue determinado por diferencia de los elementos.

Resultados

Los resultados de los análisis bromatológicos arrojaron dentro del análisis de varianza (Tabla 1) diferencias no significativas en las variables con excepción de fibra. En la comparación de medias (Tabla 2) se puede apreciar que el maíz Tuxpeño azul fue el más alto en humedad con 11.19 % y grasa con 24.36%, al respecto, CIMMYT (2016) afirma que el porcentaje de humedad es importante principalmente por la presencia de hongos y plagas, dando un rango adecuado entre el 12 - 14 %, dichos materiales se encuentran en el rango; mientras que para grasa se establecen valores entre los 6 - 17 %, los maíces de estudio sobre salen de dicho parámetro, lo que no indica que son candidatos para la industria de extracción de aceite. El maíz rojo fue el más sobresaliente en porcentaje de ceniza con 1.66% y carbohidratos con 61.59 %, a esto Alegría-Marroquín et al. (2020) reportaron rango en ceniza de 1 - 2 % y en carbohidratos de 43 - 75 % en maíces de color criollos, por lo que nuevamente



tanto el rojo como el resto de los maíces se encuentran dentro de los parámetros. para grasa se establecen valores entre los 6 - 17 %, los maíces de estudio sobre salen de dicho parámetro, lo que no indica que son candidatos para la industria de extracción de aceite. Los maíces estudiados se acercan al porcentaje de fibra de la referencia sin embargo esto deriva a la probabilidad de presentar niveles más bajos materiales criollos, mientras que, para proteína, todos están dentro de los parámetros. Se deduce que las características químicas de los maíces analizados están dentro de los estándares para tener el enfoque nutricional en los alimentos.

Tabla 1. Cuadrados medios del análisis de varianza de seis genotipos de maíces nativos evaluados en Celaya, Guanajuato.

FV	GL	Humedad (%)	Ceniza (%)	Grasa (%)	Proteína (%)	Fibra (%)	Carbohidratos (%)
Genotipo	5	0.49 ns	0.16 ns	25.74ns	1.28 ns	0.03*	18.80 ns
Error	15	0.60	0.17	26.91	1.08	0.01	19.00
Total	23	0.57	0.16	26.66	1.12	0.02	18.95
Media		10.8	1.36	20.54	7.55	0.50	59.22
CV (%)		7.18	30.35	25.25	13.75	26.44	7.36

Tabla 2. Comparación de medias de seis genotipos de maíces nativos pigmentados evaluados en Celaya, Guanajuato.

Genotipos	Humedad (%)	Ceniza (%)	Grasa (%)	Proteína (%)	Fibra (%)	Carbohidratos (%)
Rojo	11.17 a	1.66 a	17.09 a	7.98 a	0.48 ab	61.59 a
Amarillo	10.41 a	1.33 a	20.44 a	7.20 a	0.45 ab	60.15 a
Naranja	10.48 a	1.38 a	21.55 a	8.13 a	0.63 a	57.80 a
Morado	10.97 a	1.50 a	18.51 a	8.05 a	0.51 ab	60.43 a
Blanco	10.58 a	1.16 a	21.28 a	6.80 a	0.38 b	59.77 a
Azul	11.19 a	1.14 a	24.36 a	7.16 a	0.55 ab	55.58 a
DMS (0.05)	1.15	0.60	7.70	1.54	0.19	6.47

Conclusiones

Los parámetros químicos evaluados en los maíces pigmentados utilizados presentaron valores mayormente similares. No obstante, se observaron diferencias en el contenido de fibra; estos resultados indican que los distintos maíces pueden ser aprovechados en la industria alimentaria debido a sus porcentajes de valor nutricional. Conforme a los datos obtenidos, los



maíces pueden destinarse a diversos procesos industriales tales como la extracción de aceite, la elaboración de botanas, la producción de tortillas y cereales.

Referencias

- Alegría-Marroquín, J., castillo-Ruíz, O., y Saldaña-Trinidad, S. (2020). Caracterización fisicoquímica de maíz (*Zea mays* L.) pigmentado para potencializar su consumo. *Rev. Investigación y Desarrollo en Ciencia y Tecnología de Alimentos*. 5, 272-276.
- Bello-Pérez, L., Camelo-Méndez, G., Agama-Acevedo, E., y Utrilla-Coello, R. (2016). Aspectos nutraceuticos de los maíces pigmentados: digestibilidad de los carbohidratos y antocianinas. *Agrociencia*, 50(8), 1041-1063.
- Cabrera-Toledo, J. M., Carballo-Carballo, A., Mejía-Contreras, J. A., García-De los Santos, G., y Vauera-Huerta, H. (2016). Calidad de grano de los maíces criollos sobresalientes de la raza Zapalote Chico. *Colegio de Posgraduados*, 61(1), 63-72.
- Chávez, K. (2021). Desarrollo de nuevos productos derivados de maíz (*Zea mays*) y su impacto comercial en la Asociación Agropecuaria Picalauseme de Julcuy. *Universidad Estatal del Sur de Manabí*. 22-40
- CIMMYT. (2016). Calidad de grano para técnicos postcosecha. Centro internacional de mejoramiento de maíz y trigo. 1-52.
- Figueroa, J., Narváez, D., Mauricio, A., Taba, S., Gaytán, M., Vélez, J., Rincón, F. y Aragón, F. (2013). Propiedades físicas del grano y calidad de los grupos raciales de maíces nativos (criollos) de México. *Rev. Fitotec. Mex.* 36, 305-314.
- NMX-F-066-S-1978. Determinación de cenizas en alimentos. Dirección General de Normas. *Diario Oficial de la Federación*.
- NMX-F-068-1980. Alimentos. Determinación de proteínas. Normas Mexicanas. Dirección General de Normas. *Diario de la Federación*.
- NMX-F-083-1986. Alimentos. Determinación de humedad en productos alimenticios. Dirección General de Normas. *Diario Oficial de la Federación*.
- NMX-F-089-S-1978. Determinación de extracto etéreo (método soxhlet) en alimentos. Normas Mexicanas. Dirección General de Normas. *Diario de la Federación*.



- NMX-F-090-S-1978. Determinación de Fibra Cruda en Alimentos. Dirección General de Normas. Diario Oficial de la Federación.
- López-Torres, B., Rendón-Medel, R. y Camacho, T. (2016). La comercialización de los maíces de especialidad en México: condiciones actuales y perspectivas. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 15, 3075-3088.
- Rodríguez, G., García, A., Reynaga, F., Mendivil, J., Salazar, F., y Hidalgo, D. (2023). Composición fisicoquímica en granos de maíz morado mejorado (*Zea Mays* L.) en el sur de Sonora, como alternativa a la salud humana. *Rev. Latinoamericana de Ciencias Sociales y Humanidades*. 4(1), p 4327.



PROPIEDADES CUANTITATIVAS Y QUÍMICAS EN TRITICALES (X *Triticosecale wittmack*) COMO PERSPECTIVA NUTRICIONAL

Alma Angélica Silva-Amaro¹, Francisco Cervantes-Ortiz¹, Gilberto Rodríguez-Pérez^{3}, César Leobardo Aguirre-Mancilla¹, Susana Elizabeth Altamirano-Romo²*

¹ *Departamento de Posgrado, Tecnológico Nacional de México-Roque, Carr. Juventino Rosas - Celaya Km. 8, Celaya, Guanajuato, C.P. 38110, México.*

² *Departamento de Industrias Alimentarias, Tecnológico Nacional de México-Roque, Carr. Juventino Rosas - Celaya Km. 8, Celaya, Guanajuato, C.P. 38110, México.*

³ *Departamento de Ingenierías, Tecnológico Nacional de México-Valle del Yaqui, Calle 600, Bácum, San Ignacio Río Muerto, Sonora, C.P. 85276, México.*

**correo de contacto: gilberto.rp@vyaqui.tecnm.mx*

Resumen

El triticale, un híbrido de trigo y centeno, ofrece un contenido de proteína a menudo más alto que el trigo, siendo de interés por su valor nutricional para la alimentación humana. Este estudio se realizó en el Tecnológico Nacional de México campus-Valle del Yaqui, durante 2025. El objetivo fue evaluar caracteres cuantitativos y proteína en 10 líneas avanzadas en triticales de habito primaveral, con enfoque para alimentación humana por el contenido de sus propiedades químicas. Se utilizó el diseño experimental bloques completos al azar con tres repeticiones, las variables evaluadas fueron: peso hectolítrico (PHL), peso de mil granos (PMG), largo del grano (LG), ancho del grano (AG) y contenido de proteína (PR). Los resultados mostraron diferencias significativas entre los genotipos para todas las variables registradas. En cuanto a contenido de proteína la línea L-2 superó al testigo Bicentenario con 2.33%. De manera general las nueve líneas superaron significativamente al testigo Bicentenario, pronosticando características favorables para mejorar la nutrición humana.

Palabras claves:

Triticale, Caracteres cuantitativos, Proteína y Nutrición humana

Abstract

Triticale, a hybrid of wheat and rye, often offers a higher protein content than wheat, making it of interest for its nutritional value in human food. This study was conducted at the National Technological Institute of Mexico, Valle del Yaqui Campus, in 2025. The aim was to evaluate quantitative traits and protein



content in ten advanced spring-type triticale lines, focusing on human nutrition. A completely randomized block design with three replications was used, and the evaluated variables were: hectoliter weight (HLW), thousand grain weight (TGW), grain length (GL), grain width (GW), and protein content (PC). The results showed significant differences among the evaluated variables. Regarding protein content, line L-2 outperformed the control Bicentenario by 2.33%. In general, the nine lines significantly surpassed the Bicentenario control, predicting favorable characteristics for better human nutrition.

Key words

Triticale, Quantitative traits, Protein y Human nutrition

Introducción

El cambio climático representa una amenaza creciente para los sistemas agroalimentarios y la seguridad alimentaria, a estos impactos se suma el crecimiento acelerado de la población mundial, lo que intensifica la presión sobre el abastecimiento de alimentos y agrava la inseguridad alimentaria. La agricultura es uno de los sectores más vulnerables a estas variaciones climáticas, dado que su producción depende directamente de las condiciones ambientales (Fanzo y col., 2025; Farooq y col., 2023; Pila y col., 2021; Teng y col., 2023).

Los cereales básicos (maíz, trigo y arroz) desempeñan un papel esencial en la alimentación humana al proporcionar minerales, carbohidratos, vitaminas, proteínas y micronutrientes esenciales. No obstante, se estima que, como resultado del cambio climático y del crecimiento poblacional proyectado a 10 mil millones de personas para el año 2050, los rendimientos de trigo y arroz podrían disminuir hasta en un 17%, comprometiendo la seguridad alimentaria a nivel mundial (Hervet-Hernández, 2022; Farooq y col., 2023; Shewry, 2024).

Ante este escenario, los cereales alternativos como el triticale (*X Triticosecale Wittmack*) han cobrado interés por su potencial para enfrentar los desafíos productivos y nutricionales actuales. El triticale es el primer cereal híbrido creado por el hombre, resultado del cruzamiento entre trigo (*Triticum spp.*) y centeno (*Secale cereale*), que combina el alto rendimiento y funcionalidad del trigo con la rusticidad y resistencia del centeno. Este cereal se caracteriza por su capacidad de adaptación a suelos menos fértiles, su tolerancia a condiciones climáticas adversas, como sequía y bajas temperaturas, y su resistencia a plagas y enfermedades (Bonea, 2024; Cionca y col., 2024; Li y col., 2024).



Varios estudios han reportado que el triticale posee propiedades antioxidantes in vitro, mejorando el metabolismo lipídico en ratas con hiperlipidemia y aumentando la tolerancia a la glucosa en ratones diabéticos. Aunque tradicionalmente ha sido utilizado como alimento para animales, su creciente reconocimiento por sus beneficios nutricionales y para la salud ha impulsado su inclusión en la producción de productos alimenticios destinados al consumo humano, como pan, fideos, galletas y pasteles (Cionca y col., 2024; Li y col., 2024).

Las variedades actuales presentan mayor similitud morfológica con el trigo debido al mejoramiento genético por retrocruza mientos, dentro de las distintas variedades contienen distintas concentraciones de propiedades químicas como mayor contenido de almidón, proteínas, fibra dietética, minerales y compuestos bioactivos, mejorando así la eficiencia energética y apoyando la nutrición para las personas en las proporciones que contienen en el grano (Cionca y col., 2024; Li y col., 2024).

La calidad de los granos de cereales como el trigo y el triticale, tiene dos características principales: calidad externa e interna. La calidad externa implica la ausencia de materiales extraños y daños climáticos, el tipo y la pureza del color. Por otro lado, los factores internos incluyen parámetros como la densidad, que se determina mediante la evaluación del peso hectolítrico; la composición química, que incluye el contenido proteico; la humedad; y el potencial de procesamiento, que comprende la calidad de molienda, la calidad para el uso final y la actividad enzimática (Khalid y col., 2023).

La calidad de la semilla es fundamental para el buen establecimiento del cultivo, al favorecer una emergencia rápida y uniforme, incluso bajo condiciones ambientales adversas. Esta calidad se basa en atributos genéticos, fisiológicos, físicos y sanitarios que impactan directamente en el rendimiento. Entre los aspectos físicos más relevantes se encuentran el peso de mil granos, el peso hectolítrico y el contenido proteico, los cuales no solo influyen en el vigor de la plántula, sino también en la calidad comercial y de procesamiento del grano. Aunque existen discrepancias sobre la influencia del tamaño de la semilla en la calidad fisiológica, diversos estudios han demostrado que semillas más grandes suelen germinar más rápido y producir plántulas más vigorosas, lo que resalta la importancia de seleccionar materiales que combinen alto peso, alta calidad fisiológica y adecuada adaptación a condiciones de estrés hídrico (Gutiérrez-García y col., 2006; Pérez-Mendoza y col., 2006).



La proteína es considerada el nutriente principal tanto para humanos como para animales, en los granos de cereales como el triticale, el contenido proteico representa entre el 8 y el 20% de su masa seca, aunque comúnmente se encuentra en un rango del 10 al 18%. Estas proteínas son determinantes en la funcionalidad de la harina, ya que permiten su uso en una amplia variedad de productos alimenticios. En particular, influyen de manera significativa en la retención de dióxido de carbono, el desarrollo de la masa y la calidad final en panadería, debido a sus propiedades tanto cuantitativas como cualitativas. La estructura proteica del triticale es altamente compleja y se caracteriza por la interacción entre distintos tipos de proteínas, lo que dificulta su análisis detallado (Khalid y col., 2023).

En función de lo expuesto, este estudio tuvo como objetivo analizar características físicas del grano y el contenido de proteína en 10 líneas avanzadas de triticales de hábito primaveral, con un enfoque orientado a su uso en la alimentación humana debido a sus propiedades químicas.

Metodología

El peso hectolítrico (PHL) se registró con un recipiente de 1 L llenado con semilla hasta derramar y rasado en zig-zag para eliminar el excedente, se pesó el contenido en una balanza de peso volumétrico Ohaus (Parsippany, NJ, USA) y se registró la lectura en kg hL^{-1} .

Las dimensiones del grano, como la longitud y el ancho, se determinaron mediante el uso del SeedCount SC6000R (Next Instruments, Australia), un equipo que captura imágenes de alta resolución en modo de reflectancia. Estas imágenes son procesadas con el software SeedCount, el cual permitió medir con precisión las características físicas de los granos. Se utilizaron los granos pesados derivados de la obtención del PHL, éstos fueron colocados en la bandeja para grano medio, donde fueron escaneados y analizados utilizando el sistema SeedCount (Análisis Digital de Imágenes).

El peso de mil granos (PMG) se determinó mediante una combinación de análisis digital de imágenes y pesaje convencional. Para ello, se utilizó el sistema SeedCount SC6000R (Next Instruments, Australia), el cual permitió realizar un conteo preciso del número de granos en una muestra mediante imágenes de alta resolución en modo reflectancia. Primero, se tomaron submuestras de aproximadamente 35 gramos de grano limpio y seco, las cuales fueron pesadas en una balanza analítica con una precisión de ± 10 mg. Posteriormente, las



submuestras fueron colocadas uniformemente sobre la bandeja de análisis del SC6000R utilizando un marco de posicionamiento, y se escanearon para obtener el número total de granos presentes en cada muestra. Una vez obtenido el número de granos por medio del software SeedCount, se calculó el PMG utilizando la siguiente expresión: $PMG (g) = (\text{peso de la muestra/número de granos contados}) \times 1000$.

Resultados

Los resultados de este estudio mostraron que las líneas con mejores características de tamaño del grano son la L-2 con mayor ancho del grano superando significativamente al testigo Bicentenario y las líneas 4, 6 y 7 con mayor longitud del grano comparable al testigo Bicentenario, lo que destaca su potencial de estos triticales para el uso en la producción de harinas, así como en la elaboración de panes. Según Butrón y col. (2015) el tamaño, la densidad y la uniformidad son características clave para determinar el valor comercial del grano de trigo y triticales ya que afectan directamente al rendimiento de la harina. Por otro lado, se ha sugerido que se puede mejorar el rendimiento de la molienda optimizando la forma y el tamaño del grano, y los modelos indican que los granos grandes y esféricos ofrecerían la morfología ideal. Por lo que en este estudio las líneas con mejores características del tamaño del grano son la L-2 con mayor ancho del grano superando significativamente al testigo Bicentenario y las líneas 4, 6 y 7 con mayor longitud del grano comparable al testigo Bicentenario, lo que destaca su potencial de estos triticales para el uso de harinas como la elaboración de panes. De acuerdo con García-Ramírez y col. (2023), la importancia del largo de grano radica principalmente en la textura que imparte al plato final, siendo ideal para granos sueltos y esponjosos en el caso del arroz de grano largo, o granos pegajosos en el de grano corto, y granos tiernos y húmedos en el de grano medio. Esta característica es fundamental en la cocina para lograr el resultado deseado, desde un arroz suelto para un salteado hasta un arroz pegajoso para sushi, y también se considera en la clasificación y el valor de los cereales para la alimentación humana.

La línea L-2 presentó mayor contenido de proteína (13.63%), este resultado resalta su potencial para aplicaciones en la alimentación humana, al aportar un valor nutricional superior. Enriqueciendo así el valor nutricional de los alimentos en los que se utilicen estos granos de



triticale como base, tales como productos industriales que fabrican productos de panadería, galletas y pastas. Estos resultados se contraponen con los reportados por Kandrov y col. (2021) en la variedad Alexander de triticale que alcanzó sólo 12.2% de proteína. Asimismo, otras líneas como la L-4, L-6 y L-7 evidenciaron valores elevados en PMG y dimensiones del grano, características asociadas con una mayor eficiencia en el establecimiento del cultivo, vigor de plántula y calidad comercial del grano. La baja variabilidad experimental (CV) registrada en todas las variables evaluadas respalda la seguridad y precisión de los datos obtenidos.

Las líneas L-1 y L-8 obtuvieron mayores promedios en peso hectolítrico (PHL); esto indica lo importante para una buena calidad del grano, siendo un factor clave para la comercialización y procesamiento. Según Zhu (2018), un PHL más alto suele asociarse con mayor contenido de almidón y energía, lo que se traduce en un mayor valor comercial y un mejor rendimiento en la producción de harina y otros productos.

En peso de mil granos (PMG), la línea L-4 sobresalió el mayor promedio (47.8 g). Según García-Ramírez y col. (2023), el peso de mil granos (PMG) es una medida importante de la calidad física de las semillas, ya que refleja el tamaño y la densidad del grano, lo que a su vez influye en la cantidad de materia seca que la planta acumulará en las primeras etapas de desarrollo y en su potencial de rendimiento. Es un indicador clave para los agricultores, ya que permite calcular la densidad de siembra y predecir el establecimiento exitoso en campo.

Finalmente, de acuerdo con Kamanova y col. (2023), al consumir productos elaborados con harinas de triticale con alto contenido de proteína como pastas, panes, galletas serán importantes porque el triticale ofrece una nutrición superior al trigo, siendo una buena fuente de proteínas, fibra, vitaminas (como el folato y tiamina) y minerales esenciales (como magnesio y hierro), lo que contribuye a una mejor salud digestiva, a la saciedad, a la reducción del riesgo de enfermedades crónicas y puede ser especialmente beneficioso para deportistas y vegetarianos, así mismo aporta minerales importantes como el magnesio y el hierro, necesarios para diversas funciones corporales y fuente de vitaminas dado que contiene vitaminas del grupo B, como la tiamina (B1) y el folato, fundamentales para el metabolismo.

Tabla 1. Cuadrados medios del análisis de varianza para pruebas físicas de granos de 9 líneas de triticales y el testigo Bicentenario.

FV	GL	PHL (g hL ⁻¹)	PMG (g)	LG (mm)	AG (mm)	PR (%)
LÍNEAS	9	2.65**	8.81**	0.23**	0.01**	1.71**
ERROR	20	0.89	1.02	0.013	0.0029	0.20



TOTAL	29	1.43	3.43	0.08	0.006	0.67
CV (%)		1.24	2.28	1.57	1.77	3.84

FV: Fuente de variación; GL: Grados de libertad; CV: Coeficiente de Variación; PHL: Peso hectolítrico; PMG: Peso de mil granos; LG: Largo de grano; AG: Ancho del grano; GG: Grueso del grano.

Tabla 2. Comparación de medias (LSD) de pruebas físicas de 9 líneas de triticales y el testigo Bicentenario.

LÍNEA	GENOTIPO	PHL (kg hL ⁻¹)	PMG (g)	LG (mm)	AG (mm)	PR (%)
1	T24-YTELTF13-1	77.9 ^a	42.53 ^{de}	7.02 ^c	3.09 ^{ab}	11.20 ^c
2	T24Y-YTADVF12-2	75.36 ^{bc}	45.40 ^b	7.38 ^b	3.15 ^a	13.63 ^a
3	T24Y-YTADVF12-3	75.03 ^{bc}	45.00 ^{bc}	7.40 ^b	3.02 ^{bcd}	11.20 ^c
4	T24Y-YTADVF12-4	75.73 ^{bc}	47.80 ^a	7.71 ^a	3.15 ^a	11.40 ^c
5	T24Y-YTADVF12-5	76.10 ^b	43.43 ^{cde}	7.24 ^b	3.08 ^{abc}	11.70 ^{bc}
6	T24Y-PYTF1-1-6	74.43 ^c	45.53 ^b	7.86 ^a	3.05 ^{bc}	11.73 ^{bc}
7	T24Y-PYTF1-1-7	75.26 ^{bc}	44.36 ^{bc}	7.80 ^a	3.01 ^{bcd}	11.96 ^{bc}
8	T24Y-PYTF1-1-8	76.33 ^{ab}	42.60 ^{de}	7.34 ^b	2.99 ^{cd}	12.33 ^b
9	T24Y-PYTF1-1-9	76.00 ^{bc}	42.26 ^{bc}	7.22 ^{bc}	2.95 ^d	12.43 ^b
10	Testigo Bicentenario	76.26 ^b	44.03 ^{bcd}	7.67 ^a	2.95 ^d	11.30 ^c

Letras diferentes en una misma columna indica diferencia estadística entre genotipos

Los resultados de este estudio mostraron que las líneas con mejores características de tamaño del grano son la L-2 con mayor ancho del grano superando significativamente al testigo Bicentenario y las líneas 4, 6 y 7 con mayor longitud del grano comparable al testigo Bicentenario, lo que destaca su potencial de estos triticales para el uso en la producción de harinas, así como en la elaboración de panes. Según Butrón y col. (2015) el tamaño, la densidad y la uniformidad son características clave para determinar el valor comercial del grano de trigo y triticales ya que afectan directamente al rendimiento de la harina. Por otro lado, se ha sugerido que se puede mejorar el rendimiento de la molienda optimizando la forma y el tamaño del grano, y los modelos indican que los granos grandes y esféricos ofrecerían la morfología ideal. Por lo que en este estudio las líneas con mejores características del tamaño del grano son la L-2 con mayor ancho del grano superando significativamente al testigo Bicentenario y las líneas 4, 6 y 7 con mayor longitud del grano comparable al testigo Bicentenario, lo que destaca su potencial de estos triticales para el uso de harinas como la elaboración de panes. De acuerdo con García-Ramírez y col. (2023), la importancia del largo de grano radica principalmente en la textura que imparte al plato final, siendo ideal para granos sueltos y esponjosos en el caso del arroz de grano largo, o granos pegajosos en el de grano corto, y granos tiernos y húmedos en el de grano medio. Esta característica es fundamental en la cocina para lograr el resultado deseado, desde un arroz suelto para un salteado hasta un arroz pegajoso para sushi, y también se considera en la clasificación y el valor de los cereales



para la alimentación humana.

La línea L-2 presentó mayor contenido de proteína (13.63%), este resultado resalta su potencial para aplicaciones en la alimentación humana, al aportar un valor nutricional superior. Enriqueciendo así el valor nutricional de los alimentos en los que se utilicen estos granos de triticale como base, tales como productos industriales que fabrican productos de panadería, galletas y pastas. Estos resultados se contraponen con los reportados por Kandrov y col. (2021) en la variedad Alexander de triticale que alcanzó sólo 12.2% de proteína. Asimismo, otras líneas como la L-4, L-6 y L-7 evidenciaron valores elevados en PMG y dimensiones del grano, características asociadas con una mayor eficiencia en el establecimiento del cultivo, vigor de plántula y calidad comercial del grano. La baja variabilidad experimental (CV) registrada en todas las variables evaluadas respalda la seguridad y precisión de los datos obtenidos.

Las líneas L-1 y L-8 obtuvieron mayores promedios en peso hectolítrico (PHL); esto indica lo importante para una buena calidad del grano, siendo un factor clave para la comercialización y procesamiento. Según Zhu (2018), un PHL más alto suele asociarse con mayor contenido de almidón y energía, lo que se traduce en un mayor valor comercial y un mejor rendimiento en la producción de harina y otros productos.

En peso de mil granos (PMG), la línea L-4 sobresalió el mayor promedio (47.8 g). Según García-Ramírez y col. (2023), el peso de mil granos (PMG) es una medida importante de la calidad física de las semillas, ya que refleja el tamaño y la densidad del grano, lo que a su vez influye en la cantidad de materia seca que la planta acumulará en las primeras etapas de desarrollo y en su potencial de rendimiento. Es un indicador clave para los agricultores, ya que permite calcular la densidad de siembra y predecir el establecimiento exitoso en campo.

Finalmente, de acuerdo con Kamanova y col. (2023), al consumir productos elaborados con harinas de triticale con alto contenido de proteína como pastas, panes, galletas serán importantes porque el triticale ofrece una nutrición superior al trigo, siendo una buena fuente de proteínas, fibra, vitaminas (como el folato y tiamina) y minerales esenciales (como magnesio y hierro), lo que contribuye a una mejor salud digestiva, a la saciedad, a la reducción del riesgo de enfermedades crónicas y puede ser especialmente beneficioso para deportistas y vegetarianos, así mismo aporta minerales importantes como el magnesio y el hierro, necesarios para diversas funciones corporales y fuente de vitaminas dado que contiene



vitaminas del grupo B, como la tiamina (B1) y el folato, fundamentales para el metabolismo.

Conclusiones

El presente estudio demuestra que el triticale constituye una alternativa promisorio frente a los desafíos actuales de la agricultura, como el cambio climático y la creciente demanda alimentaria. A través de la evaluación de variables físicas y de calidad en grano, peso hectolítrico (PHL), peso de mil granos (PMG), dimensiones del grano y contenido de proteína (PR), en nueve líneas avanzadas de triticale, se identificaron diferencias significativas entre genotipos. De esta manera, la línea L-2 es promisorio por la gran cantidad de proteína presente en el grano; del mismo modo, las líneas L-4, L-6 y L-7 fueron consistentes con valores altos en la mayoría de las características físicas del grano.

Consumir productos elaborados con harinas de triticale es importante por su alto contenido de fibra y proteínas, tiene buen perfil de aminoácidos, y es rico en vitaminas y minerales como magnesio y hierro, aporta beneficios para una buena digestión, contribuye a la salud ósea y a la reducción del colesterol. Como híbrido de trigo y centeno, combina la resistencia del centeno y la calidad harinera del trigo, proporcionando una alternativa nutritiva y sostenible para productos de panadería.

Referencias

- Bonea, D. (2024). Triticale: an alternative cereal for the food industry in the world, EU-27 and Romania. *Scientific Papers. Series Management, Economic Engineering in Agriculture and Rural Development*, 24(3), 1–8. E-ISSN 2285-3952. <https://doi.org/10.22616/j.spm.2024.03.001>
- Butrón, R.; Michma, R.; Silva, E.; Siñani, O.; Quispe, F.; Marza, F. 2015. Características de grano relacionados con rendimiento de trigo. *Revista Científica de Investigación INFO-INIAF* 1(6), 68-76.
- Cionca, I., Lupuț, I., & Rusu, T. (2024). Triticale review: Navigating past achievements, current realities and future horizons in agricultural innovation. *Agricultura*, 129(1–2), 1–8. <https://doi.org/10.15835/agr.v129i1-2.14762>



- Fanzo, J., Carducci, B., Louis-Jean, J., Herrero, M., Karl, K., & Rosenzweig, C. (2025). Climate change, extreme weather events, food security, and nutrition: Evolving relationships and critical challenges. *Annual Review of Nutrition*, 45, 1–23. <https://doi.org/10.1146/annurev-nutr-111324-111252>
- Farooq, A.; Farooq, N.; Akbar, H.; Hassan, Z.U.; Gheewala, S.H. (2023). A Critical Review of Climate Change Impact at a Global Scale on Cereal Crop Production. *Agronomy* 2023, 13, 162. <https://doi.org/10.3390/agronomy13010162>
- García-Ramírez, A., Rodríguez-Pérez, G., Reynaga-Franco, F. J. & Cervantes-Ortiz, F. (2023). Composición nutricional en granos de triticales (*X. Triticosecale Wittmack*) y usos alimentarios. *Biotecnia*, 25(2), 44-51. Epub 25 de agosto de 2023. <https://doi.org/10.18633/biotecnia.v25i2.1892>
- Gutiérrez-García, A. S., Carballo-Carballo, A., Mejía-Contreras, J. A., Vargas-Hernández, M., Trethowan, R., Villaseñor-Mir, H. E. (2006). Caracterización de trigos harineros mediante parámetros de calidad física y fisiológica de la semilla. *Agricultura técnica en México*, 32(1), 45-55.
- Hervert-Hernández, D. (2022). El papel de los cereales en la nutrición y en la salud en el marco de una alimentación sostenible. *Nutrición Hospitalaria*, 39(3), 52–55. <https://doi.org/10.20960/nh.04312>
- Kandrokov, R. K., Berezina, N. A., Kusova, I. U., & Ryndin, A. A. (2021). Technological properties of wheat-triticale-rye flour. *Biomedical Journal of Scientific & Technical Research*, 39(3), 31372–31378. <https://doi.org/10.26717/BJSTR.2021.39.006305>
- Khalid, A., Hameed, A., & Tahir, M. F. (2023). Wheat quality: A review on chemical composition, nutritional attributes, grain anatomy, types, classification, and function of seed storage proteins in bread making quality. *Frontiers in nutrition*, 10, 1053196. <https://doi.org/10.3389/fnut.2023.1053196>
- Li, H.; Mao, Y.; Ma, D.; Li, H.; Liu, R. & Siriamornpun, S. (2024). Impact of Cooking Methods on Phenolic Acid Composition, Antioxidant Activity, and Starch Digestibility of Chinese Triticale Porridges: A Comparative Study between Atmospheric Pressure and High Pressure Boiling. *Foods*, 13, 230. <https://doi.org/10.3390/foods13020230>
- Pérez Mendoza, Claudia, Hernández Livera, Adrián, González Cossio, Félix Valerio, García de los Santos, Gabino, Carballo Carballo, Aquiles, Vásquez Rojas, Tito Roque, & Tovar



- Gómez, María del Rosario. (2006). Tamaño de semilla y relación con su calidad fisiológica en variedades de maíz para forraje. *Agricultura técnica en México*, 32(3), 341-352.
- Pila-Quinga, L. A., Ochoa-Ocampo, M. A., Zamora-Villón, J. E., Soria-Merchan, A. L., & Tello-Constant, S. B. (2021). Por qué el cambio climático amenaza a los tacos y a la cerveza. *Ecofronteras*, 25(73), 28–30. E-ISSN 2448-8577
- Shewry, P. R. (2024). Can we increase the use of wheat and other cereals as sources of protein? *Journal of Cereal Science*, 117, 103899. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2024.103899>
- Teng, Z., Chen, Y., Meng, S., Duan, M., Ye, N., & Zhang, J. (2023). Environmental stimuli: A major challenge during grain filling in cereals. *International Journal of Molecular Sciences*, 24(3), 2255. <https://doi.org/10.3390/ijms24032255>
- Zhu, F. (2018). Triticale: Nutritional composition and food uses. *Food Chemistry*, 241, 468–479. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.09.009>



CALIDAD DE TORTILLA Y VALOR NUTRICIONAL DE SEIS HÍBRIDOS EXPERIMENTALES DE MAÍZ BLANCO EN EL TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO EN ROQUE

Palacio Cervantes José Luis¹; Alvarado-Bárceñas, Estéfana²; Chablé-Moreno Francisco².

¹Estudiante de Ingeniería en Industrias Alimentarias, ²Departamento de Ingeniería en Industrias Alimentarias, ³Departamento de Ciencias Agropecuarias, Tecnológico Nacional de México/I T Roque, Km.8 Carretera Celaya-Juventino Rosas, Celaya, Guanajuato, 38110, México.

**Autor de correspondencia: estefana.ab@roque.tecnm.mx*

RESUMEN

En México, el maíz es el cultivo importante por ser el alimento básico. Los híbridos experimentales evaluados fueron 6 (103x10, 25x128, 26x104, 21x128, 27x104 y 26x145). Se empleó un diseño experimental completamente al azar con 4 tratamientos y 6 repeticiones dando un total de 24 unidades experimentales. Para el análisis estadístico se empleó el paquete SAS (v 9.0) con la prueba de comparación de medias de Duncan (α 0.05). Los híbridos de maíz presentaron un peso hectolítrico (PeHec) ≥ 74 kg hL⁻¹ e índice de flotación $\leq 40\%$ (DuGra). El ANAVA de las características de grosor existe diferencia significativa y peso de la tortilla fría (PeTFri) no existe diferencia significativa. En el análisis bioquímicos: humedad (%) de maíz (HuGM), masa (HuMas), y tortilla (HuTor), osciló entre 11.44 a 11.98 54.29 a 57.68 y 33.10 a 41.66 respectivamente; grasa (%) de maíz (GraGM), masa (GraMas) y tortilla (GraT) varió de 6.13 a 7.79, 2.773 a 4.41 y 2.54 a 3.05 proteína (%) de maíz, masa y tortilla (ProGM), masa (ProMas) y tortilla (ProTor) fluctuó de 8.33 a 10.02 8.22 a 9.05 7.70 a 8.72 ; fibra cruda (%) del maíz (FicruGM), masa (FicruMas) y tortilla (FicruTor) osciló entre 1.52 a 1.93 , 1.32 a 1.62 y 0.50 a 0.73 ; y cenizas (%) del maíz (CeGM), masa (CeMas) y tortilla (CeTor) fluctuó entre 1.00 a 3.05 2.05 a 3.26 y 2.08 a 3.28.

Palabras clave:

Análisis nutricional, Maíz, masa y tortillas.



ABSTRACT

In Mexico, corn is an important crop as a staple food. Six experimental hybrids were evaluated (103x10, 25x128, 26x104, 21x128, 27x104, and 26x145). Six experimental hybrids were evaluated (103x10, 25x128, 26x104, 21x128, 27x104, and 26x145). A completely randomized experimental design was used with four treatments and six replications, giving a total of 24 experimental units. Statistical analysis was performed using SAS (v9.0) with Duncan's means comparison test (α 0.05). The corn hybrids had a test weight (TWW) ≥ 74 kg hL⁻¹ and a flotation index $\leq 40\%$ (DuGra). There was a significant difference in the ANOVA for thickness characteristics, while there was no significant difference in cold tortilla weight (CWT). In the biochemical analysis: humidity (%) of corn (HuGM), dough (HuMas), and tortilla (HuTor), ranged from 11.44 to 11.98 54.29 to 57.68 and 33.10 to 41.66 respectively; fat (%) of corn (GraGM), dough (GraMas) and tortilla (GraT) ranged from 6.13 to 7.79, 2.773 to 4.41 and 2.54 to 3.05 protein (%) of corn, dough and tortilla (ProGM), dough (ProMas) and tortilla (ProTor) fluctuated from 8.33 to 10.02 8.22 to 9.05 7.70 to 8.72; Crude fiber (%) of corn (FicruGM), masa (FicruMas) and tortilla (FicruTor) ranged from 1.52 to 1.93, 1.32 to 1.62 and 0.50 to 0.73; Crude fiber (%) of corn (FicruGM), masa (FicruMas) and tortilla (FicruTor) ranged from 1.52 to 1.93, 1.32 to 1.62 and 0.50 to 0.73;

Keywords:

Corn, masa, nutritional facts, and tortilla

INTRODUCCIÓN

En México, el maíz (*Zea mays* L.) es el cultivo más importante por su superficie sembrada, con un valor elevado de la producción, por ocupar el 20% de la población económicamente activa y por ser el alimento principal de la población en forma de tortilla (Sierra *et al.*, 2010). El método tradicional para su elaboración de la tortilla se obtiene por el proceso de nixtamalización del maíz que implica un tratamiento térmico-alcálico que consiste en la cocción de los granos de maíz en una solución de agua y cal, realizando el control de la concentración de cal, el tiempo y temperatura de cocción, el cual modifica la estructura de las proteínas del maíz para hacerlas más digeribles, de tal modo que la zeína, proteína pobre nutricionalmente reduce la solubilidad,



mientras que la glutelina de mayor valor nutricional, incrementa la solubilidad y con ello la disponibilidad de los aminoácidos esenciales (Cortes *et al.*, 2016), esto hace que las paredes celulares y los componentes de la fibra dietaría del pericarpio se vuelvan frágiles, facilita su remoción, que disminuye el contenido de fibra dietaría insoluble, sin embargo, en este proceso la fibra dietaría soluble pasa de 0.9% en el maíz, a 1.3% en la masa, y 1.7% en la tortilla, (Paredes *et al.*, 2009) incrementa el contenido de calcio y almidones resistentes debido a su gelatinización parcial durante los procesos de cocimiento y remojo del maíz (nixtamalización); la molienda del nixtamal y cocimiento hace que la tortilla tenga mayor calidad nutricional comparada con el maíz crudo (Cortez *et al.*, 2016), por lo tanto de acuerdo a la composición química del maíz, Paredes *et al.*, (2009) indican que el contenido de proteína del maíz es de 10% y una buena parte se encuentra en el germen del grano. El endospermo y el pedicelo pueden tener hasta 9% de proteínas clasificadas en cuatro tipos de acuerdo con su solubilidad: albúminas, globulinas, prolaminas y glutelinas, en cuanto al contenido de lípidos, el grano de maíz contiene alrededor de 5%, principalmente en el germen y almidón entre 72-73 g/100g. Arámbula *et al.*, (2001) durante el cocimiento del grano se originan reacciones bioquímicas, interacciones moleculares que modifican tanto las características fisicoquímicas, estructurales y reológicas de la masa, como las propiedades estructurales y de textura de la tortilla producida, el cual un alto porcentaje de estos cambios se debe a modificaciones en la estructura del almidón, por ello es importante evaluar la calidad del grano, masa y tortilla, y se establece como características del maíz, debe ser granos con endospermo duro, poco dentado, sanos, sin rajaduras e impurezas o dañados por hongos o insectos, de alta densidad, de color brillante, un pericarpio de fácil separación (Billeb, *et al.*, 2001), por lo tanto, la calidad comercial del grano de maíz para consumo y procesamiento alcalino está determinada por sus características físicas y su composición química (Jiménez, *et al.*, 2015), por ello las industrias prefieren maíces con las siguientes características: peso hectolítrico ≥ 74 kg/hL, humedad del nixtamal entre 36 y 42%, índice de flotación $\leq 40\%$, pericarpio remanente $< 2\%$, densidad mayor a 1.3g/ml y pérdida de sólidos $< 5\%$ (Jiménez, *et al.*, 2012), siendo la dureza, el pericarpio retenido en el nixtamal, la pérdida de sólidos y la humedad del nixtamal las principales variables de calidad del maíz destinado al proceso de nixtamalización (Jiménez, *et al.*, 2015). Herrera, (2017) menciona que la textura intermedia del endospermo es importante para la obtención de buena flexibilidad en la cocción y para minimizar pérdidas de materia seca durante el proceso



de nixtamalización, lo que es conveniente que el maíz tenga buena remoción del pericarpio, pero con baja pérdida de sólidos durante el tratamiento para favorecer la calidad en cuanto a apariencia y rendimiento. Tomando en cuenta que para producir tortillas de calidad se requiere un grano que produzca masa con buena cohesividad, humedad entre 50 a 55% (Paredes, *et al.*, 2009), dureza entre $8,7 \times 10^{-4}$ a 1×10^{-5} N/m², adhesividad entre 0,01 y 0,03 N-m, y factor de tensión-compresión entre 2.4 y 2.7 (Jiménez *et al.*, 2015). Finalmente, los atributos que debe tener una tortilla de buena calidad es presentar fácil enrollado, suavidad al tacto, buen olor, sabor, textura y plasticidad (Sierra *et al.*, 2010). El objetivo del trabajo evaluar de la calidad del proceso de industrialización de tortilla a base de híbridos experimentales de maíz del TecNM-Roque.

MATERIALES Y MÉTODOS

El proyecto se llevó a cabo en el TecNM-Roque, ubicado en Celaya, Guanajuato, Kilómetro 8 de la carretera Celaya-JR, situado geográficamente a una latitud de 20.578462, longitud de -100.826956 y a una altitud de 1774 metros sobre el nivel del mar. Se evaluaron 6 híbridos de maíz experimental, de los cuales se seleccionaron 6 mazorcas de los híbridos experimentales durante el ciclo (P-V, 2021) cultivados en el TecNM-Roque: 103X10 (P1 Prog); 25X128 (P2 P1); 26X104 (P2 P1); 21X128(P2 P1); 27X104(P2 P1) y 26X145(P2 P1). Las variables evaluadas fueron a) dureza del grano (DuGra) que se obtuvo mediante el índice de flotación, utilizando la metodología del CIMMYT (2016); b) Peso hectolítrico (PeHec) el método de la probeta. Para el proceso de nixtamalización y elaboración de tortillas fue de la forma tradicional utilizando la técnica empleada por Agama *et al.* (2004) y la metodología descrita en la NMX-FF-034/1-SCFI-2002, en la elaboración de tortillas fue empleado el método de Cota (2017). La evaluación de las características físicas y de textura de las tortillas: 1) Tamaño de las tortillas (TamTor) consistió en medir el grosor (GroT) y el diámetro (DiaT) de la tortilla caliente terminada de cocer, con ayuda de un vernier y el resultado se reportó en cm; 2) Grado de inflado (GraInT); 3) Rolabilidad de la tortilla (RoT); 4) Rendimiento de la tortilla; 5) Pérdida de cocción durante el cocimiento de la tortilla (PPCT); 6) Acondicionamiento de las muestras para la determinación de los análisis.



Las pruebas determinadas para evaluar las características bioquímicas de la masa y tortilla fueron realizadas por triplicado: a) Determinación de humedad del grano de maíz (HuGM), masa (HuMas) y tortilla (HuTor); b) Determinación de Extracto etéreo del grano de maíz (GraGM), masa (GraMas) y tortilla (GraTor) c) Determinación de Proteína del grano de maíz (ProGM), masa (ProMas) y tortilla (ProTor) por el método de Macrokjeldhal a), empleando la técnica de la NOM-F-68-S-1980 (NOM, 2021). Determinación de Fibra cruda del grano de maíz (FicrGM), masa (FicrMas) y tortilla (FicrTor) utilizando la metodología reportada por Díaz (2007) y Fuentes (2012); Determinación de cenizas del grano de maíz (CeGM), masa (CeMas) y tortilla (CeTor), empleando el método 923.03 de la AOAC.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Tomando en cuenta la Dureza del grano (DuGra) obtenida mediante el índice de flotación que da resultados más específicos diferenciando claramente entre un grano muy duro, duro, semi duro, suave y uno muy suave. Los tratamientos T3 (26X104), T4 (21x128) y T1 (103x10), presentaron granos muy duros, mientras los tratamientos T6 (26X145), T2 (25X128) y T5 (27x104) granos duros, debido a que, de los 100 granos de maíz limpios, utilizados por híbrido, flotaron de 0 a 12 y de 13 a 37 granos respectivamente, en la solución de azúcar al 67 % o de nitrato de sodio a una densidad de 1.250 g/ml. En el Peso hectolítrico (PeHec) todos los híbridos experimentales, presentaron dentro la norma para el proceso de nixtamalización, con un peso hectolítrico fue mayor a 74 kg hL⁻¹, según Jiménez (2015), lo que coincide con la NMX-034 (2002), pero el tratamiento T5 (27X104) presenta el valor promedio mayor, equivalente a 79.3138 kg hL⁻¹ y el T4 (21X128), el menor peso hectolitrito con un valor promedio de 75.343 kg hL⁻¹ (Tabla 1).

Tabla 1. Prueba de comparación de medias (Duncan α 0.05) de las características físicas específicas del grano de maíz de 6 híbridos experimentales cultivados en el TecNM Roque durante el ciclo agrícola P-V, 2021.

Trat	Pe100	PMG	DuGra	PeHec
T6	50.159 a	501.59	17.6667 c	76.843 bc
T3	45.008 ab	450.08	3.3333 e	76.756 c
T2	44.293 ab	442.93	22.5000 b	77.271 bc
T5	42.307 b	423.07	32.0000 a	79.313 a
T1	39.048 b	390.48	9.3333 d	77.733 b
T4	38.932 b	389.32	3.5000 e	75.343 d



Los valores en la misma columna con la misma letra son estadísticamente iguales; Trat= Tratamiento; PeMaz= Peso de la mazorca (g); Pe100= Peso de cien granos (g); PMG= Peso de mil granos (g); DuGra= Dureza del grano (total de granos flotantes); PeHec= Peso hectolítrico (kg hL⁻¹).

El ANAVA de las características físicas y de textura de las tortillas de maíz de los seis híbridos experimentales, muestra que en las variables Peso de tortilla caliente (PeTCal), Grado de inflado (GrainT), Rolabilidad de la tortilla (RoT) y Pérdida de peso durante el cocimiento de la tortilla, presentaron diferencias altamente significativas ($P \leq 0.01$), mientras en la variable Grosor de tortilla existe diferencia significativa ($P \leq 0.05$), debido a que las tortillas fueron elaboradas con una prensa manual y en la variable Peso de tortilla fría (PeTFri) no presenta diferencias estadísticas. El coeficiente de variación resultó bajos y aceptables para las variables evaluadas.

Según Arámbula et al., (2001) un parámetro importante, desde el punto de vista comercial, es el porcentaje de pérdida de agua durante el cocimiento de la tortilla, ya que se ve reflejado en el rendimiento total y a su vez el valor de pérdida de peso en las tortillas durante el cocimiento es un parámetro relacionado con la humedad de la masa, la temperatura y tiempo de cocimiento en el comal; en este sentido los resultados de este trabajo resultan ser coincidentes con los resultados de otras investigaciones.

En la prueba de comparación de medias por Duncan con $\alpha = 0.05$, pesando antes y después de someterla a cocción (PeTCal), el híbrido 103x10 fue el tratamiento que perdió más peso en la cocción con un valor promedio de 27.04 %, mientras los tratamientos T4 (21x128), T6 (26x145) y T3 (26x104) registraron menor pérdida, con valores promedio de 24.29 %, 24.02 % y 23.23 % respectivamente; estos resultados coinciden con lo obtenido por Rodríguez (2013) quien reporta una pérdida de peso de 19 a 26%, pero difieren con lo reportado por Arámbula et al. (2001) quienes registraron un menor pérdida de peso durante el cocimiento de la tortilla de 16 a 21%, donde argumentan que es deseable que la tortilla tenga una pérdida de peso menor a 20%, que posea cualidades óptimas de textura. Analizando la pérdida de peso después de 30 minutos para tener datos más significativos, tomando en cuenta los datos de tortilla cruda (30 g) y el Peso de tortilla fría (PeTFri), las tortillas elaboradas a partir de los tratamientos T6 (26x145) y T3 (26x104) disminuyeron menos de peso respecto a otros tratamientos, ya que las tortillas del T4 (21x128) perdieron 27.51 % de peso, las del T5



(27x104) 27.76 %, las del T1 (103x10) 28.73 % y finalmente las tortillas del T2 (25x128) que disminuyeron mayor peso con un 29.03 %

El Grado de inflado de la tortilla (GraInT) evaluado con valor de 1 a la tortilla con inflado completo, 2 con inflado intermedio y 3 sin inflado, de esta manera se obtuvo que las tortillas del tratamiento T5 presentaron un inflado casi completo con un valor promedio de 1.4, siendo considerado el maíz híbrido más adecuado para la elaboración de tortillas de calidad, mientras las tortillas del T1 (103x10), T4 (21x128), T2 (25x128), T3 (26x104) y T6 (26x145) obtuvieron un inflado intermedio, con valores promedios de 1.8, 2.0, 2.1, 2.1 y 2.2 respectivamente, resultando de manera general buenos tratamientos para la elaboración de tortillas, observando que los tratamientos T2 Y T3 presentaron tortillas con el mismo grado de inflado.

Respecto a la rolabilidad de las tortillas, se evaluó con una escala hedónica asignando 1 a la tortilla que no presentó ruptura, 2 cuando se rompió aproximadamente el 25 % del ancho de la tortilla, 3 cuando presentó un rompimiento aproximado del 50%; 4 cuando la ruptura fue del 75%, 5 cuando la ruptura fue completa. El tratamiento T5 (27x104) no presentó ruptura alguna, debido a que se podía enrollar perfectamente en la varilla de vidrio de 2 cm, mientras las tortillas del tratamiento T1 (103x10), T3 (26x104), T2 (25x128), T4 (21x128) y T6 (26x145) presentaron algunas tortillas evaluadas un rompimiento aproximado del 25 %.

En el tamaño de tortilla (elaboración manual con prensa metálica), en cantidad de 30 g de masa, respecto al diámetro y grosor, resultaron tortillas de entre 13.29 cm a 13.67 cm de diámetro y 0.1163 cm a 0.1347 cm de grosor, el cual el tratamiento T5 (27x104) presentó tortillas con un mayor grosor y diámetro, correspondiente a 0.13 cm y 0.13 cm respectivamente, mientras el tratamiento T1 (103x10) el menor valor promedio de grosor igual a 0.1163 cm y los tratamientos T4 (21x128) y T3 (26x104) el menor valor promedio de diámetro de tortilla equivalente a 13.29 cm y 13.31 cm (Tabla 2).

Tabla 2. Prueba de comparación de medias (Duncan α 0.05) de las características físicas y de textura de las tortillas de maíz de seis híbridos experimentales cultivados en el TecNM Roque durante el ciclo agrícola P-V, 2021.

Trat	PeTCal	PeTFri	GraInT	RoT	DiaT	GroT	PPCT
T3	23.032 a	21.850 a	2.10 ab	1.30 b	13.29 b	0.128 ab	23.23 c
T6	22.793 ab	21.863 a	2.20 a	1.80 a	13.49 ab	0.130 a	24.02 bc
T4	22.713 ab	21.745 ab	2.00 ab	1.40 ab	13.31 b	0.122 bc	24.29 bc
T5	22.412 bc	21.671 ab	1.40 c	1.00 b	13.67 a	0.134 a	25.29 ab
T2	22.238 bc	21.291 b	2.10 ab	1.40 ab	13.51 ab	0.132 a	25.87 ab
T1	21.887 c	21.381 ab	1.80 b	1.20 b	13.51 ab	0.116 c	27.04 a



Los valores en la misma columna con la misma letra son estadísticamente iguales; Trat= Tratamiento (6); PeTCal= Peso de tortilla caliente (g); PeTFri= Peso de tortilla Fria (g); GraInT= Grado de inflado de tortilla (1,2 y 3); RoT= Rolabilidad de tortilla (1,2,3,4 y 5); DiaT= Diámetro de tortilla (g); GroT= Grosor de tortilla (g); PPCT=Pérdida de peso durante el cocimiento de la tortilla (%).

El ANAVA de la composición química de la masa elaborada a partir de los 6 híbridos experimentales evaluados, analizando las variables: Humedad (HuGM), Extracto etéreo (GraGM), Proteína (ProGM), Fibra cruda (FicruGM), Fibra dietética (FidGM) y Cenizas (CeGM), presentaron diferencias altamente significativas ($P \leq 0.01$). Los C.V. (%) fueron bajos. La prueba de comparación de medias (Ducan α 0.05), en la variable humedad los resultados entre los tratamientos fueron diferentes aunque se utilizó la misma cantidad de agua para moler y amasar, el T5 (27x194) presentó la mayor humedad con 57.68 %, siendo 5.8 % mayor en comparación con el valor promedio menor de humedad correspondiente al tratamiento T1 (103x10).

En el Extracto etéreo (GraMas), Fibra cruda (FicruMas), Fibra dietética o dietaría (FidMas) y Cenizas (CeMas), sucede lo mismo, presentan diferentes grupos estadísticos (a, b, c, d, e y f). Donde el T1 (103x10) presenta el mayor porcentaje de extracto etéreo igual a 4.41 % y el T2 el menor contenido (2.77 %). La Fibra cruda (FicruGM) y Fibra dietética (FidGM) el tratamiento T3 (26x104) obtuvo el valor medio más alto en ambas variables con 1.93 % y 9.76 % respectivamente. Respecto a la determinación de cenizas el T1 (103x10) posee el mayor contenido (3.26 %) y el tratamiento T3 (26x104) el menor con 2.05 %. Para el caso de Proteína (ProMas) la masa del tratamiento T5 (27x104) presentó el valor proteico más alto con 9.05, seguida del tratamiento T2 (25x128) con 8.99 %, el tratamiento T3 (26x104) el valor proteico menor con 8.22 % (Tabla 3).

Tabla 3. Prueba de comparación de medias de las características bioquímicas de la masa elaborada a base de 6 híbridos experimentales de maíz cultivados en el TecNM Roque, durante el ciclo agrícola P-V, 2021.

Trat	HuMas	GraMas	ProMas	FicruMas	FidMas	CeMas
T5	57.6830 a	3.2218 b	9.0575 a	1.3265 f	7.9580 f	3.1690 b
T4	56.6030 b	3.0983 c	8.3911 c	1.4235 e	8.5408 e	2.8288 c
T6	56.2340 c	3.0690 d	8.7740 b	1.4361 d	8.6163 d	2.0900 e
T3	55.7506 d	2.9330 e	8.2275 d	1.6275 a	9.7650 a	2.0511 f
T2	55.4353 e	2.7730 f	8.9990 a	1.5863 b	9.5180 b	2.2631 d
T1	54.2980 f	4.4111 a	8.4276 c	1.5595 c	9.3568 c	3.2660 a

Los valores en la misma columna con la misma letra son estadísticamente iguales; Trat= Tratamiento (6); HuMas= Humedad de la masa (%); GraMas= Extracto etéreo de la masa (%);



ProMas= Proteína de la masa (%); FicruMas= Fibra cruda de la masa (%); FidMas= Fibra dietética de la masa (%); CeMas= Cenizas de la masa (%).

El ANAVA de las características bioquímicas (humedad, extracto etéreo, proteína, fibra cruda, fibra dietética y cenizas) de la tortilla, presentaron diferencias altamente significativas ($P \leq 0.01$) en todas las variables evaluadas. Los coeficientes de variación (CV %) resultaron bajos. Los resultados de la prueba de comparación de medias (Duncan α 0.05) de la composición química de las tortillas, indican que las tortillas presentaron una humedad promedio entre 33.10 a 41.66 %. En la evaluación del Extracto etéreo (GraTor) las tortillas del T5 (27x104) obtuvieron el mayor porcentaje de grasa (3.05 %) y las tortillas del T3 (26x104) el menor porcentaje (2.72 %).

El contenido de Proteína (ProTor) de las tortillas elaboradas con T5 (27x104) y T6 (26X145), contienen el valor promedio mayor de proteína de 8.72 y 8.63 % respectivamente, las tortillas de los de los tratamientos T1 (103x10) y T4 (21x128) el valor promedio más bajo de proteína de 7.80 % y 7.70 %. Estos valores son menores si se los compara con el contenido de proteína del grano de maíz y masa. Esto es normal ya que estos componentes se van perdiendo o degradando durante los diferentes tratamientos térmicos a los que se someten el grano y la masa durante la elaboración de la tortilla. Respecto al contenido de Fibra cruda (FicruTor) y Fibra dietética (FidTor), las tortillas elaboradas del tratamiento T3 (26x104) resultó estadísticamente superior en ambas variables con 0.73 % y 4.38 % respectivamente. Mientras en la variable Ceniza (CeTor), la tortilla del tratamiento T1 presentó el mayor contenido de cenizas con promedio de 3.28 % y el T3 con menor contenido con 2.0841% (Tabla 4).

Tabla 4. Prueba de comparación de medias de las características bioquímicas de las tortillas elaboradas a base de 6 híbridos experimentales de maíz cultivados en el TecNM Roque, durante el ciclo agrícola P-V, 2021.

Trat	HuTor	GraTor	ProTor	FicruTor	FidTor	CeTor
T4	41.6617 a	2.9743 b	7.7043 c	0.5731 d	3.4386 d	2.8396 c
T2	40.1722 b	2.7340 e	8.4740 b	0.5625 e	3.3748 e	2.3626 d
T3	38.7030 c	2.5485 f	8.4108 b	0.7311 a	4.3866 a	2.0841 f
T6	33.7100 d	2.9113 c	8.6325 a	0.6731 b	4.0398 b	2.1025 e
T1	33.2310 d	2.8601 d	7.8003 c	0.5071 f	3.0431 f	3.2816 a
T5	33.1067 d	3.0563 a	8.7210 a	0.6315 c	3.7895 c	3.1738 b

Los valores en la misma columna con la misma letra son estadísticamente iguales; Trat= Tratamiento (6); HuTor= Humedad de la tortilla de maíz (%); GraTor= Extracto etéreo de la tortilla de maíz (%); ProTor= Proteína de la tortilla de maíz (%); FicruTor= Fibra cruda de la tortilla de maíz (%); FidTor= Fibra dietética de la tortilla de maíz (%); CeTor= Cenizas de la tortilla de maíz (%).



CONCLUSIONES

En la Dureza del grano (DuGra) obtenida mediante el índice de flotación, el híbrido 26X104, 21x128 y 103x10 presentaron granos muy duros, mientras los híbridos 26X145, 25X128 y 27x104 granos duros, ambos adecuados para la industria de la masa y la tortilla (IMT).

Respecto al peso hectolitrito todos los híbridos experimentales evaluados, son adecuados para el proceso de nixtamalización, debido a que presentan un peso hectolítrico mayor a 74 kg hL⁻¹, cumpliendo con el requerimiento mínimo establecido en la norma NMX-FF-034/1-SCFI-2002 para la elaboración de tortillas y productos de maíz nixtamalizados de calidad comercial.

Las tortillas elaboradas con los seis híbridos presentaron características físicas y de textura deseables, sin embargo, las tortillas elaboradas con los híbridos 27x104 y 21x128 presentaron mejor textura, debido que contenían mayor cantidad de extracto etéreo, correspondiente a 3.05 y 2.97% respectivamente.

Para la variable grado de inflado y rolabilidad, las tortillas del T5 (27x104) obtuvieron el mejor grado de inflado y buena rolabilidad, se considerado el híbrido más adecuado para la elaboración de tortillas de calidad. En la pérdida de peso durante el cocimiento de la tortilla el híbrido 103x10 fue el tratamiento que perdió más peso en la cocción (27.04 %), mientras el T3 (26x104) registró la menor pérdida (23.23 %).

El contenido de grasa de la masa y de tortilla, evaluados, osciló entre 2.77 a 4.41 y 2.54 a 3.05 % respectivamente, donde el híbrido 21x128 presentó el mayor contenido de grasa (7.79 %) y el híbrido 27x104 el menor porcentaje (6.13%). En el contenido de extracto etéreo del grano de maíz, los híbridos estudiados presentaron alto contenido de aceite porque presentan más de 5 %.

El híbrido que presentó el mayor contenido de proteína en masa fue el T2 (25x128) con un valor de 8.99 %, mientras el T3 (26X104) el menor porcentaje de proteína 8.22 %. En el caso de las cenizas, el grano presentó menor porcentaje de cenizas, respecto a la masa y tortilla, debido a la adición de cal y esto hace que aumente el contenido de calcio obteniendo un porcentaje de cenizas en tortilla entre 2.08 a 3.28 %.

RREFERENCIAS



- Agama, E., Ottenhof, M., Farhat, I., Paredes, O., Ortíz, J., & Bello, L. (2004). Efecto de la nixtamalización sobre las características moleculares del almidón de variedades pigmentadas de maíz. *Interciencia*, 643-649.
- Arámbula, G., Barrón, L., González, J., Moreno, E., & Luna, G. (2001). Efecto del tiempo de cocimiento y reposo del grano de maíz (*Zea mays* L.) nixtamalizado, sobre las características fisicoquímicas, reológicas, estructurales y texturales del grano, masa y tortillas de maíz. *Archivos latinoamericanos de Nutrición* , 187-194.
- Billed, A., & Bressani, R. (2001). Características de cocción por nixtamalización de once variedades de maíz. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición* , 86-94.
- CIMMYT. (2016). Calidad de grano para técnicos postcosecha. México, D.F. Laboratorio de calidad nutricional de maíz.
- Cortes, I., Buendía, M., Palacios, N., Martínez, E., Villaseñor, H., & Hortelano, R. (2016). Evaluación de la calidad de tortilla de maíz adicionada con harina de avena (*Avena Sativa* L.) nixtamalizada. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 1715-1725.
- Cota, R. (2017). Biodisponibilidad de proteína y calcio en harinas de maíz nixtamalizadas por calentamiento óhmico. *Instituto Politécnico Nacional* , 20-38.
- Herrera, C. (2017). Elaboración de snacks a partir de masa de maíz nixtamalizado. *Universidad Nacional de Cuyo*, 4-5.
- Jiménez, J., Arámbula, G., Cruz, E., & Aparicio, M. (2012). Características del grano, masa y tortilla producida con diferentes genotipos de maíz del trópico mexicano. *Universidad y Ciencia*, 145-152.
- Jiménez, J., Arámbula, G., Cruz, E., & Aparicio, M. (2015). Calidad nixtamalera y tortillera de maíces del trópico húmedo de México. *Revista Internacional de Botánica Experimental*, 1-7.
- NMX-FF-034/1-SCFI-2002. (2002). Productos alimenticios no industrializados para consumo humano - cereales –Parte I: maíz blanco para proceso alcalino para tortillas de maíz y productos de maíz nixtamalizado- especificaciones y métodos de prueba. Recuperado de http://sitios1.dif.gob.mx/alimentacion/docs/NMX-FF-034-1-SCFI-2002_MAIZ_blanco.pdf .



- NOM. (2021). Norma Oficial Mexicana NOM-F-68-S-1980 Alimentos Determinación de Proteínas, (esta Norma cancela la NOM-F-68-1977). Recuperado de http://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=4858024&fecha=04/08/1980 .
- Orozco, M. (2007). Desarrollo de harina de maíz para tortilla de mesa . Universidad de San Carlos de Guatemala. Tesis de ingeniería , 30-32.
- Paredes, O., Guevara, F., & Bello, L. (2009). La nixtamalización y el valor nutritivo del maíz. Revista Ciencias, 60-70.
- Sierra, M., Palafox, A., Vázquez, G., Rodríguez, F., & Espinosa, A. (2010). Caracterización agronómica, calidad industrial y nutricional del maíz para el trópico mexicano. Agronomía Mesoamericana, 9.



FORMULACIÓN DE UN ENVASE ALIMENTARIO SOSTENIBLE

Cristofer Pérez-Pérez¹, Carlos Alberto Flores-Gómez^{1,3}, Ma. Cristina Vázquez-Hernández¹, Alicia Flores-López², Luis Alberto Noriega-González²*

¹Depto. Ingenierías, ³C. Agropecuarias, ³Div. de Estudios de Posgrado e Investigación TecNM - Instituto Tecnológico de Roque, carretera Celaya - J. Rosas km 8, Celaya, Gto., CP 38110 - México

**Autor de correspondencia: carlos.fg@roque.tecnm.mx*

Resumen

Los envases plásticos utilizados actualmente en la industria alimentaria son en su mayoría sintetizados a partir de fuentes fósiles no renovables, son recalcitrantes a la biodegradación, generando severos impactos negativos al medio ambiente y su acumulación en diferentes ecosistemas. En el presente trabajo se desarrolló un envase elaborado a partir de una formulación con diferentes materiales naturales, con el fin de ofrecer una opción ecológica alternativa y además éste puede ser ingerido por el consumidor, al final de su uso aportándole beneficios nutricionales. En la formulación se utilizó la metodología de superficie de respuesta para encontrar una mezcla de ingredientes adecuada, considerando la resistencia estructural del producto como respuesta. Se realizó la evaluación sensorial para determinar el nivel de aceptación y el análisis bromatológico, para evaluar la calidad nutricional del producto. Los resultados demuestran que el envase elaborado con ingredientes de origen natural cumple con los estándares de resistencia para su uso, mientras que el análisis sensorial indica una buena aceptación de los evaluadores. Los envases desarrollados podrían ser una alternativa ecológica a los envases contenedores convencionales.

Palabras clave

Envase biodegradable, economía circular, vaso comestible.

Abstract

Plastic packaging currently used in the food industry is mostly synthesized from non-renewable fossil sources, is resistant to biodegradation, and generates severe negative impacts on the environment and accumulates in different ecosystems. This work presents the development of



packaging made from a formulation with different natural materials, aiming to offer an ecological alternative that can also be ingested by the consumer at the end of its use, providing nutritional benefits. Response surface methodology was used in the formulation to find a suitable mixture of ingredients, considering the product's structural resistance as a response. Sensory evaluation was performed to determine the level of acceptance, and proximate analysis was conducted to evaluate the product's nutritional quality. The results demonstrate that the packaging made with natural ingredients meets the resistance standards for its intended use, while the sensory analysis indicates good acceptance by the evaluators. The developed packaging could be an ecological alternative to conventional containers.

Keywords:

Biodegradable packaging, circular economy, edible cup.

Introducción

Los envases plásticos utilizados en la actualidad para el envasado de alimentos están constituidos por materiales poliméricos derivados del petróleo. Su uso se ha extendido en esta y otras muchas aplicaciones debido a las numerosas ventajas que ofrecen, en particular su disponibilidad a gran escala, relativo bajo costo de producción, ligereza, gran versatilidad y relativamente buenas propiedades de barrera ((Donkor, y col., 2023; Arrieta, 2011)

Sin embargo, estos materiales, a pesar de sus múltiples ventajas, presentan ciertos inconvenientes ya que, además de ser sintetizados a partir de una fuente no renovable, no son biodegradables, y son persistentes o recalcitrantes a la biodegradación en la naturaleza, lo cual los convierte en una gran fuente de generación y acumulación de residuos, lo que ha generado un impacto negativo en el medio ambiente. La contaminación por plásticos está sofocando nuestro planeta y afectando los ecosistemas, el clima y el bienestar de los seres vivos. Los residuos plásticos han obstruido ríos, han contaminado los océanos y han puesto en peligro la flora y fauna silvestres, al romperse en partes cada vez más diminutas (microplásticos), acumulándose por todos los rincones de la Tierra: desde la cima del Everest hasta las profundidades del océano; desde los cerebros de las personas hasta la leche materna humana (Guterres 2025; Pazmiño, y col., 2024; Arrieta, 2011)



En el presente trabajo se formuló y elaboró un envase alimentario sostenible, biodegradable, y además puede ser ingerido al final de su uso, aportando nutrientes y sea inocuo para el consumidor.

Metodología

Formulación y desarrollo del envase alimentario sostenible

Se realizaron diferentes formulaciones con la intención de valorar el efecto de variar la proporción en la mezcla de ingredientes principales codificados como GG, AV, TR e IA, en el tiempo que dura el vaso en contener adecuadamente líquidos calientes, específicamente agua a una temperatura de 80°C. Durante la elaboración de todas las muestras se mantuvo constante tanto el procedimiento, como los parámetros.

Diseño Experimental

Para la realización de este trabajo se empleó un diseño estadístico de experimentos basado en la metodología de superficie de respuesta, denominado “Diseño Experimental de Mezclas Simplex Centroide” buscando optimizar la proporción de los principales ingredientes para obtener la mejor resistencia estructural del producto, dentro de los rangos evaluados. Para lo cual se fue variando las proporciones de cada uno de los cuatro ingredientes principales (variables independientes), la variable de respuesta fue el tiempo que tarda el recipiente en degradarse al contener un líquido a temperatura elevada.

Análisis proximales

Para la preparación de la muestra, se tomaron algunos de los contenedores alimentarios y se trituraron con ayuda de un mortero hasta obtener 100 g de producto, del cual se fueron tomando las muestras necesarias para cada una de las determinaciones que se realizaron en el Laboratorio de Análisis de Suelos, Agua y Pecuarios del TecNM Roque.

La determinación de humedad se realizó por gravimetría, con ayuda de una termobalanza la cual facilita el proceso ya que es más fácil y rápido de usar en comparación del método tradicional. El contenido de cenizas, evaluó por el método tradicional, el cual consiste en incinerar la muestra a temperatura de 500°C. El extracto etéreo (grasas) se realizó por el



método de Soxhlet. Para estimar el contenido de proteínas se determinó el nitrógeno total, por el método Kjeldahl. La fibra cruda por el método gravimétrico.

Análisis Sensorial

Se realizó una “*Prueba de Aceptación*” utilizando una escala Hedónica de 7 puntos. La cual es participaron 30 jueces no entrenados, que evaluaron el grado de “agrado” o “desagrado” de tres de las mejores opciones del producto codificadas, usando una escala que va de 1 (me disgusta mucho) a 7 (me gusta mucho), con el punto intermedio “ni me gusta ni me disgusta”.

Análisis estadístico de los datos

Para el análisis estadístico de los datos se empleó el paquete Minitab. En el diseño de la formulación por el Modelo de Mezclas, se evaluaron los parámetros del modelo cuadrático, la significancia estadística de cada uno y la calidad del ajuste del modelo. Para los resultados obtenidos del análisis sensorial se realizó la estadística descriptiva, incluyendo los histogramas y diagramas de cajas, además se realizaron las pruebas de normalidad por el método de Kolmogorov-Smirnov, la prueba ***t de Student*** para dos muestras sin suponer varianzas iguales. Adicionalmente, para complementar el análisis, se realizaron las pruebas no-paramétricas de Mann-Whitney, debido a que la escala tipo Likert es de naturaleza ordinal.

Resultados

Durante la realización de las diferentes formulaciones del vaso comestible donde se fueron variando las cantidades de los principales ingredientes, se pudo observar que algunos de ellos mostraron mayor fragilidad mecánica a la manipulación (datos no mostrados). No obstante, se procedió a realizar las pruebas de resistencia a líquidos calientes ($T = 80^{\circ} C$).

En la Figura 1 se muestran los gráficos de superficie del tiempo de resistencia a líquidos calientes en función de las diferentes mezclas evaluadas. En la Fig. 1a: se puede observar una elevación en el área intermedia de la gráfica, esto nos indica que la mezcla entre AV, IA y TR genera un buen tiempo de resistencia, también se observa en los extremos que cuando la proporción del ingrediente 2 es mucho mayor que el ingrediente 1, la respuesta caerá pocos minutos, lo cual significa que esa combinación no favorece el tiempo de resistencia a líquidos.



En la Figura 1b se muestra que la mayor resistencia a líquidos se obtiene con mezclas con altos niveles de AV y GG. Mientras que, si en la mezcla existe la presencia de mayores proporciones del ingrediente IA la resistencia a líquidos tiende a reducirse notablemente. Podemos destacar de los resultados obtenidos, que el ingrediente GG tiene una muy buena sinergia con el ingrediente AV, por lo que si utilizamos la mezcla adecuada de GG con AV se podría favorecer la formación de estructuras que sean más estables que puedan contener líquidos a temperatura elevada, los cuales son más agresivos con este tipo de contenedores temporales.

En la Figura 1c se observa que variar la mezcla con AV, GG y TR, el comportamiento tiende a ser más lineal, mostrando un crecimiento progresivo en el tiempo de resistencia a líquidos y todo esto conforme se va aumentando la cantidad del contenido de los ingredientes de TR y GG, especialmente cuando el ingrediente AV se mantiene en forma constante en valores intermedios o bajos, algo más que podemos observar en el análisis obtenido es que en comparación con los análisis mostrados en la figura 1a y 1b es que en este caso el tiempo de resistencia a líquidos no están alto, sin embargo, aun así en algunas combinaciones con estos 3 ingredientes se lograría sobrepasar los 120 minutos de resistencia a líquidos.

De acuerdo con la Figura 1d, se observa que en comparación con las otras mezclas anteriores esta mezcla fue en la que se obtuvieron los resultados menos favorables, se observa que la mayoría de las combinaciones que se realicen con estos 3 ingredientes la respuesta al tiempo de resistencia resultara en tiempos muy bajos, también muestra y reafirma lo que se ha observado en los análisis anteriores para obtener buen tiempos de resistencia a líquidos se debe trabajar con niveles altos en los ingredientes TR y GG, pero sin utilizar IA ya que con estos 3 ingredientes no se podrá superar los 100 minutos de tiempo de resistencia a líquidos, lo que evidencia el ingrediente IA no contribuye significativamente a mejorar la resistencia, al contrario la IA podría llegar a tener un efecto inhibitorio.

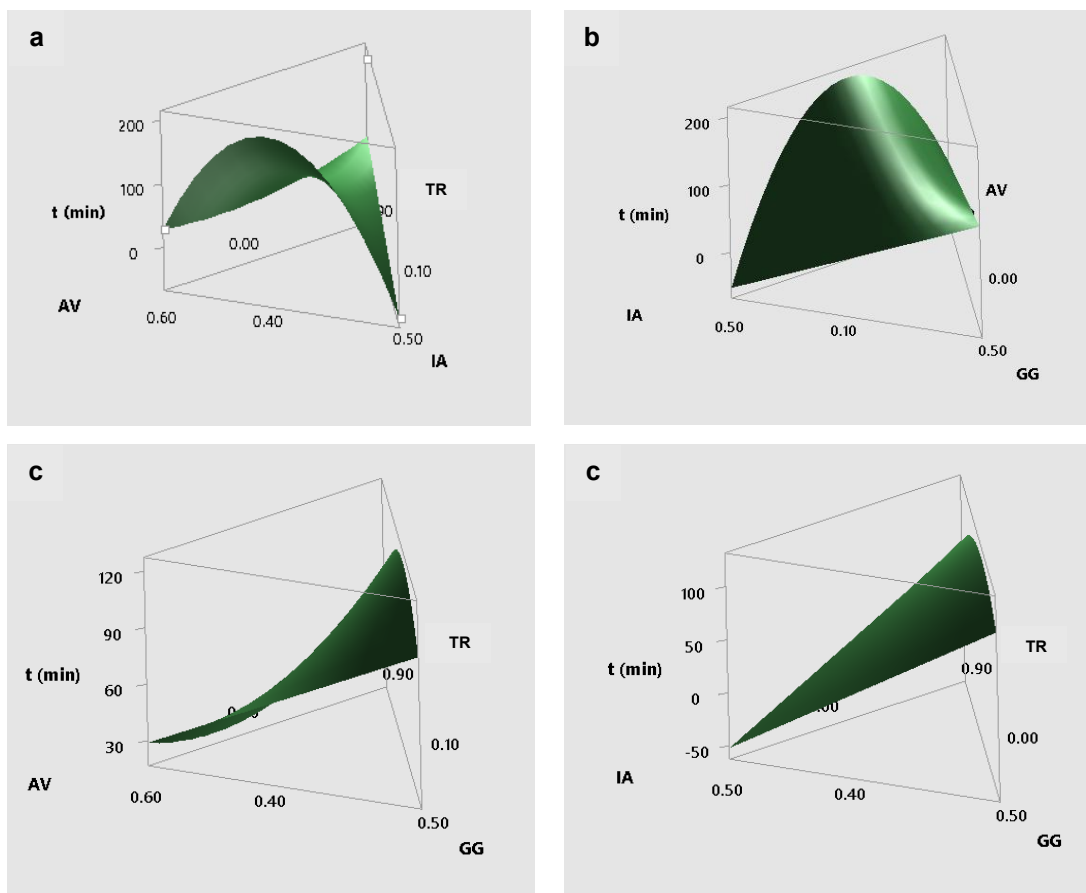


Figura 1. Grafico de superficie evaluando el tiempo de resistencia a líquidos.

La Tabla 1 muestra los resultados del análisis proximal de una de las formaciones evaluadas

Tabla 1. Resultados del Análisis Proximal

Análisis	Resultado (g)
Humedad	10.3 ± 0.62
Cenizas totales	1.61 ± 0.034
Extracto Etéreo (grasa)	22.62 ± 5.127
Proteína	7.1 ± 2.89
Fibra	12.16 ± 0.14
Carbohidratos*	46.21 *

Con el objetivo de cuantificar la satisfacción del consumidor y poder entender su preferencia por una opción del producto desarrollado, se realizó una “Prueba de Aceptación” utilizando una escala Hedónica de 7 puntos. Los resultados del análisis estadístico de los datos obtenidos se muestran en la tabla 2.



Tabla 2. Análisis estadístico de la evaluación sensorial.

Estadística descriptiva		M100	M394	M762
Media		5.20	4.37	1.90
Mediana		5.0	4.0	2.0
Moda		5.0	4.0	2.0
Varianza de la muestra		1.61	0.45	0.51
Estadística Inferencial ($\alpha=0.05$)		M 100-394	M 100-762	M 394-762
Paramétrica				
P. Normalidad * (valor p)		<0.01	<0.01	<0.005
t-Student	estadístico T	3.18	12.41	13.83
	Valor p	0.003	0.000	0.000
No Paramétrica				
Wilcoxon	estadístico W	1086.5	1359.0	1359.0
	Valor p	0.015	0.000	0.000

* Kolmogorov-Smirnov.

Las pruebas de normalidad para los datos de las tres muestras no tienen desviaciones significativas del supuesto, lo que habilita la viabilidad de la prueba t de Student. Los valores- p de las comparaciones paramétricas y no paramétricas son menores que 0.05. Esto significa que existen diferencias significativas en el nivel de agrado entre todos los pares de muestras. La muestra 100 es la preferida sobre las otras dos, mientras que la muestra 394 es preferida sobre la muestra 762, siendo esta última la de menor agrado de las tres.

Conclusiones

Se concluye que se obtuvo una opción de envase contenedor alimentario que tiene una duración alta, es agradable al consumidor y que tiene potencial para ser una alternativa ecológica a los vasos desechables de plástico, y que adicionalmente si el usuario decidiera comérsela le podría ofrecer una botana saludable que le aportará beneficios nutricionales, lo que representa un avance hacia la sostenibilidad en la industria alimentaria.

Referencias

Arrieta M.P.2011.Envases alimentarios sostenibles. Seguridad y medio ambiente. (121). 46 – 56pp. Consultado en noviembre 27, 2024.



- Donkor, L., Kontoh, G., Yaya, A., Bediako, J. K., & Apalangya, V. (2023). Bio-based and sustainable food packaging systems: relevance, challenges, and prospects. *Applied Food Research*, 3(2), 100356. doi:<https://doi.org/10.1016/j.afres.2023.100356>
- Guterres Antonio (2025). Día Mundial del Medio Ambiente. Organización de Naciones Unidas. *Diario La Jornada*. Consultado en Junio 5, 2025. <https://www.jornada.com.mx/2025/06/05/opinion/012a2pol>
- Pazmiño, M. C., Victoria-Campo, C. I., Urias-Orona, V., Castro-García, H., & Arreguín, A. (2024). Prototipo de sorbete comestible con propiedades nutracéuticas. *Biotecnia*, 26, e2340. doi:10.18633/biotecnia.v26.2340



FORMULACIÓN Y ELABORACIÓN DE UN SUPLEMENTO ALIMENTICIO CON CARACTERÍSTICAS FUNCIONALES ELABORADO CON SUERO DE LECHE Y ADICIONADO CON ESPIRULINA

Jessica Marian Reyes Macotela¹, Andrea Lara Rodríguez², Carlos A. Flores Gómez³, Christian O. Díaz Ovalle⁴,
Ma. Cristina Vázquez Hernández^{5*}

¹Estudiante. Ingeniería en Industrias Alimentarias. Ingenierías. Tecnológico Nacional de México/IT de Roque.
Carr. Celaya-Juventino Rosas Km. 8. Roque. Celaya. Guanajuato. C.P. 38110.México.

²Estudiante. Ingeniería en Agronomía. Ciencias Agropecuarias. Tecnológico Nacional de México/IT de Roque.
Carr. Celaya-Juventino Rosas Km. 8. Roque. Celaya. Guanajuato. C.P. 38110.México.

³Profesor. Cuerpo Académico de Innovación en Bioprocesos Sustentables. Posgrado. Tecnológico Nacional de México/IT de Roque. Carr. Celaya-Juventino Rosas Km. 8. Roque. Celaya. Guanajuato. C.P. 38110.México.

⁴Profesor. Ingeniería en Industrias Alimentarias. Ingenierías. Tecnológico Nacional de México/IT de Roque.
Carr. Celaya-Juventino Rosas Km. 8. Roque. Celaya. Guanajuato. C.P. 38110.México.

⁵Profesor. Cuerpo Académico de Innovación en Bioprocesos Sustentables. Ingenierías. Tecnológico Nacional de México/IT de Roque. Carr. Celaya-Juventino Rosas Km. 8. Roque. Celaya. Guanajuato. C.P. 38110.México.

*Autor de correspondencia: ma.vh@roque.tecnm.mx

Resumen

Las personas adultas mayores (50 años en adelante) enfrentan graves problemas de nutrición, como la disminución de masa muscular (sarcopenia), fatiga crónica y deficiencia de vitaminas y antioxidantes, lo que afecta su calidad de vida. El objetivo del proyecto fue formular y elaborar una bebida con características funcionales, sin azúcar añadida adicionada con espirulina (*Arthrospira maxima*) cultivada y procesada en el TecNM/IT de Roque, camote y suero de leche. La metodología consistió en el diseño de tres formulaciones a partir de una referencia, optimizada con el complemento SOLVER de Excel, posteriormente se elaboró el producto y se realizó el diseño del envase y etiqueta. Como resultado se obtuvo un suplemento alimenticio líquido en presentación de 250 mL, con precio de venta de \$43.54 m.n. (Margen de utilidad de 40%), con alta aceptabilidad sensorial.

Palabras claves



Bebida funcional, cianobacterias, antioxidantes, crónico-degenerativas.

Abstract

Older adults (aged 50 and above) face serious nutritional problems, such as decreased muscle mass (sarcopenia), chronic fatigue, and vitamin and antioxidant deficiencies, which affect their quality of life. The main goal was to formulate and make a functional beverage with no added sugar, enriched with spirulina (*Arthrospira maxima*) cultivated and processed at TecNM/IT in Roque, sweet potato, and whey. The methodology consisted of designing three formulations based on a reference, optimized with the Excel SOLVER add-in, followed by product development and packaging and label design. The result was a liquid food supplement in a 250 mL presentation, with a retail price of \$43.54 MXN (40% profit margin) and high sensory acceptability.

Key words

Functional beverage, cyanobacteria, antioxidants, chronic degenerative diseases.

Introducción

El aumento en la esperanza de vida de los adultos mayores en México, ha ocasionado un incremento significativo de este grupo poblacional el cual enfrenta desafíos nutricionales complejos y multifactoriales. Entre los problemas más frecuentes se encuentran las deficiencias de micronutrientes esenciales, la pérdida progresiva de masa muscular (sarcopenia) y trastornos digestivos asociados al envejecimiento, lo que afecta directamente su salud, calidad de vida y autonomía (Bonilla-Barrera y col., 2024). La incidencia de enfermedades crónico-degenerativas asociadas con los problemas anteriormente mencionados como la osteoporosis, hipertensión arterial, artritis, obesidad, diabetes, diversos tipos de cáncer, entre otras, suelen estar relacionadas con dietas poco equilibradas, sedentarismo (Relacionado con el estilo de vida y deterioro físico propio de la edad) y limitaciones económicas que dificultan el acceso a alimentos de alta calidad nutricional (Lizarralde y col., 2019). La Encuesta Nacional sobre Salud y Envejecimiento en México (ENASEM, 2021) mostró que, de las personas de 53 años y más, el 62.3% percibe tener un



estado de salud de regular a malo, el 43.3% padece hipertensión arterial, 25.6% diabetes y 10.7% artritis. También se menciona que existe una prevalencia de obesidad con una tendencia al alza tanto en hombres como en mujeres (30.1% y 23.3%, respectivamente). El envejecimiento también conlleva alteraciones fisiológicas que afectan la ingesta y la deglución, como la pérdida de piezas dentales, prótesis mal adaptadas y debilidad muscular, lo que incrementa el riesgo de desnutrición y complicaciones asociadas, incluyendo alteraciones respiratorias y enfermedades cardiovasculares que provoca una mayor mortalidad 4. Sumado a lo anterior, se ha observado un aumento en la incidencia de factores psicosociales como la soledad, depresión, ansiedad, etc., que agravan la vulnerabilidad de los adultos mayores (Lizarralde y col., 2019).

Por otro lado, la industria láctea, particularmente los productores de queso fresco y madurado, generan grandes volúmenes de subproductos, entre los que destaca el suero de leche, el cual es considerado un residuo y si bien en los últimos años se ha revalorizado procesándolo para la obtención de proteína en polvo, requesón, suplementos y complementos alimenticios su valor es muy bajo (\$2.50 - \$6.00 MXN por Litro) (FrOrg, 2025). Debido a lo anterior muchos productores optan por desecharlo en el sistema de drenaje municipal lo que representa un problema ambiental y una oportunidad desaprovechada. El suero de leche es una fuente rica de proteínas de alta biodisponibilidad (α -Lactoalbúmina y β Lactoglobulinas), péptidos bioactivos (Glicomacropéptidos), lactoferrina, lisozima, minerales y lactosa, lo que lo convierte en un ingrediente con gran potencial para el desarrollo de alimentos funcionales (Cedeño y col., 2018; Hannibal y col., 2015).

La evidencia sugiere que la suplementación con proteínas de alta calidad, como las presentes en el suero de leche, puede favorecer la ganancia de masa muscular y mejorar la composición corporal en adultos mayores, especialmente cuando se combina con actividad física (González-Acevedo y col., 2018). Además, la incorporación de ingredientes funcionales de origen local, como el amaranto, avena y camote, ha mostrado efectos positivos en la mejora de la masa magra y la reducción de la masa grasa en mujeres mayores (Lizarralde y col., 2019; Zambrano y col., 2018; Villareal, 2017).

La alga verde-azul *Arthrospira máxima* comúnmente llamada “Espirulina o Spirulina” se ha producido y consumido en México desde la época prehispánica, es considerado un superalimento por su composición nutrimental, su consumo ha mostrado efectos positivos en



la salud cognitiva, función inmunológica, perfil lipídico y envejecimiento celular prematuro (Velásquez y col., 2024). Su consumo habitual en adultos mayores sanos se ha asociado con una reducción significativa del colesterol total y mejora en marcadores inmunológicos (Interleucina-2) así como una reducción en la Interleucina-6 (Relacionada con la incidencia de procesos inflamatorios). Por su contenido en ficocianina (Antioxidante) contribuye a la mejora de inmunosenescencia y modular la microbiota intestinal (Cruz, 2022; Puetate y col., 2021; Freire y Álvarez, 2020).

El desarrollo de alimentos o bebidas con características funcionales representa una estrategia innovadora y en el caso de los adultos mayores representa puede contribuir en mejorar la salud y bienestar de este grupo etario (Tarazona, 2018; Villareal, 2017). En México el mercado de productos alimenticios funcionales que pueden considerarse suplementos es muy limitado ofreciendo pocas opciones de consumo desarrollas específicamente para atender las necesidades fisiológicas y metabólicas de este grupo poblacional. El aprovechamiento de residuos agroindustriales (Colillas de camote, suero de leche) y materias primas endémicas de la región como el amaranto, avena y espirulina no solo contribuye a la seguridad alimentaria y a la sostenibilidad ambiental, también ofrece una solución integral para mejorar la calidad de vida, la autonomía y la salud de la población adulta mayor (>50 años).

Metodología

Material biológico. La espirulina (*Arthorpira máxima*) fue cultivada en el laboratorio de Fisiología Vegetal ubicado en el edificio de Posgrado del Tecnológico Nacional de México/IT de Roque utilizando un sistema de biorreactor con nutrición complementada, bajo la supervisión del Dr. Carlos A. Flores Gómez (Prada Quispe, 2024). Fue cosechada, secada en horno de convección a 60 – 70 °C por 6 -8 horas según la metodología propuesta por Jourdan (2000). El camote, amaranto y avena fueron cultivados en las parcelas didácticas del Tecnológico Nacional de México /IT de Roque ext. Apaseo el Alto y proporcionados por el M.C. Luis A. Noriega González posteriormente fueron procesados y secados en horno de convección (60 a 70 °C por 48 horas) (). Después del secado, las hojuelas obtenidas y los granos de amaranto tostados se sometieron a un proceso de molienda y tamizado y se obtuvieron las harinas (Figura 1).

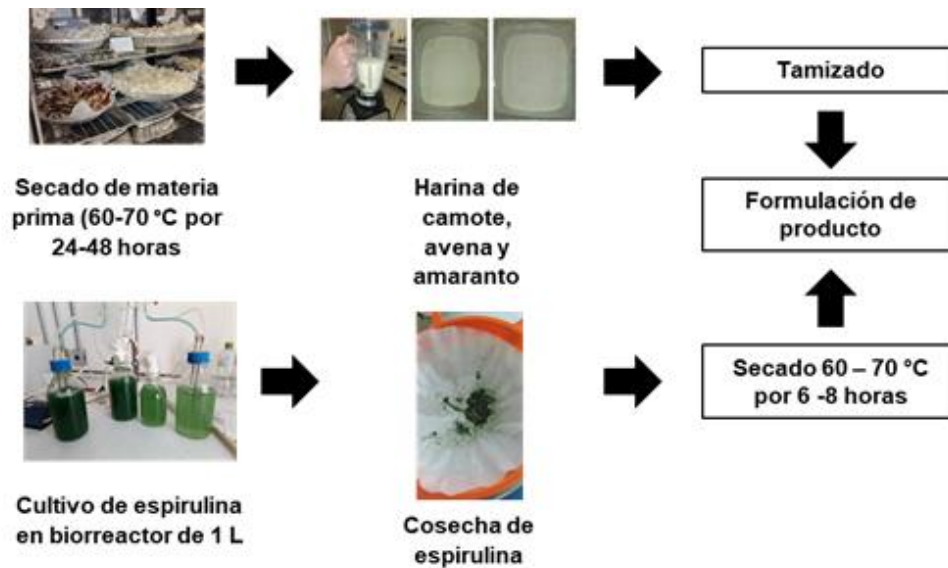


Fig. 1. Diagrama esquemático de la obtención de materias primas para la formulación del producto.

Elaboración propia, 2025.

Diseño de las formulaciones. A partir de la formulación propuesta por Hannibal y col. 2015 se diseñaron 3 formulaciones, las cuales fueron optimizadas utilizando el complemento SOLVER de Excel.

Análisis sensorial. Se analizaron las formulaciones diseñadas y optimizadas por medio de un panel de jueces no entrenados (n=81) utilizando una prueba de preferencia por ordenación y un perfil sensorial aplicando un instrumento (Figura 2) en donde las muestras fueron identificadas con un código aleatorio de 3 dígitos y una escala de Linkert de 5 puntos (Pedrero y Pangborn, 1989).

Diseño de etiqueta. Para el diseño de tabla nutricional teórica, se realizaron los cálculos utilizando en el Sistema Mexicano de Alimentos Equivalentes (Pérez y Palacio, 2022) con base en la Norma Oficial Mexicana modificada al 2020 (NOM-051-SCFI/SSA1-2010).

Resultados

A partir de la optimización de la formulación propuesta por Hannibal y col., en 2015, Se obtuvieron 3 formulaciones (Tabla 1, 2 y 3) en donde se modificaron la cantidad de los ingredientes y el sabor de las bebidas. Los resultados de la evaluación sensorial mostraron que la formulación identificada con el número 415-F01S que corresponde a la bebida



adicionada con Cacao en polvo (Chocolate) tuvo una alta aceptación por parte de los panelistas (76.6%) comparado con la 095 (16%) y la 715 (7.4%) (Figura 2), los comentarios fueron que tenía un sabor agradable y equilibrado, sin embargo, consideran que el atributo de textura se debe modificar pues presenta características de arenosidad (Figura 3).

Tabla 1. Formulación 415-F01S

Ingredientes	Cantidades	Unidad
Suero de leche	550	mL
Avena	100	g
Harina de camote	70	g
Amaranto inflado	50	g
Espirulina	30	g
Cacao en polvo	70	g
Agua	180	mL

Tabla 2. Formulación 095-F02S

Ingredientes	Cantidades	Unidad
Suero de leche	480	mL
Agua/hielo	180	g
Avena	80	g
Harina de camote	30	g
Amaranto inflado	50	g
Espirulina	20	g
Frutos rojos	150	mL
Limón	10	mL

Tabla 3. Formulación 715-F03S

Ingredientes	Cantidades	Unidad
Suero de leche	600	mL
Agua	100	mL
Avena	100	g
Harina de camote	60	g
Amaranto inflado	100	g
Espirulina	30	g
Sabor vainilla	10	mL

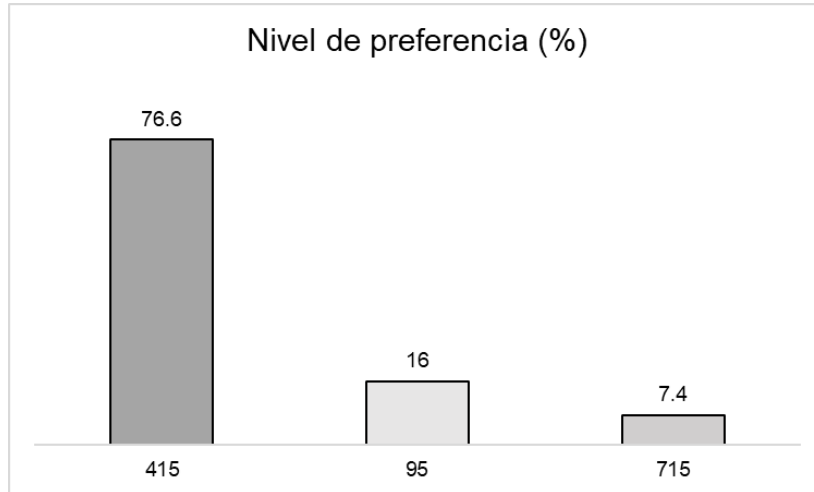


Fig. 2. Gráfica del nivel de preferencia sensorial de las formulaciones de la bebida con características funcionales para adultos mayores. Elaboración propia, 2025.

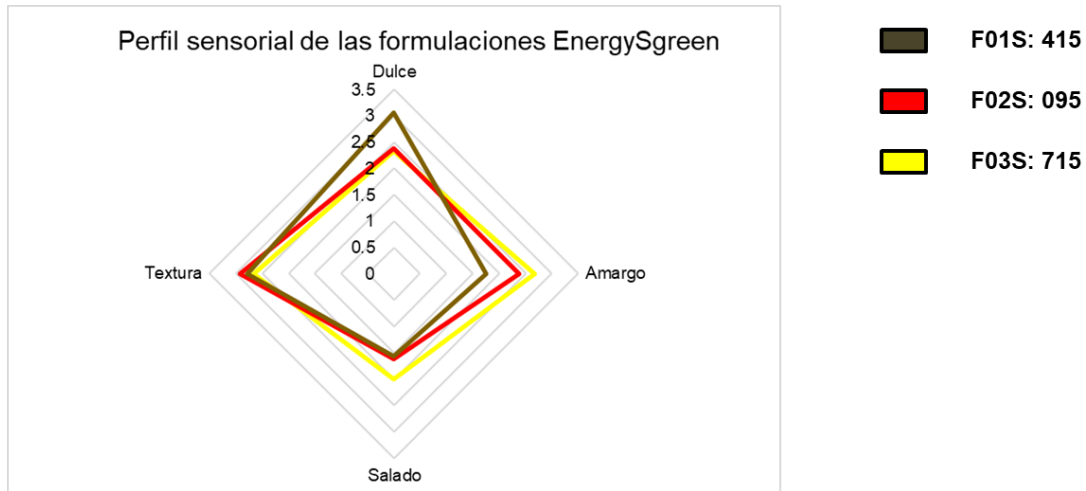


Fig. 3. Gráfica de perfil sensorial de las formulaciones de la bebida con características funcionales para adultos mayores. Elaboración propia, 2025.

A partir de los cálculos realizados con base en el Sistema Mexicano de Alimentos Equivalentes y la NOM -051-SCFI/SSA1-2010 modificada en 2020 fue diseñada la etiqueta frontal con el logotipo del producto que por su formulación no incluye contiene Sellos Precautorios y la etiqueta dorsal con el contenido nutrimental, ingredientes, así como quien lo elabora y código QR para conocer más acerca del producto (Figura 4a y 4b). Además, se propuso que se utilizará un envase tipo Pouch para la presentación de 250 mL (Figura 5). Posteriormente se realizó un análisis de costo considerando la materia prima, costos de producción, amortización



y puesta en punto de venta al consumidor dando un total de \$31.10 MXN y con precio de venta al público de \$43.54 MXN con un 40% de utilidad.

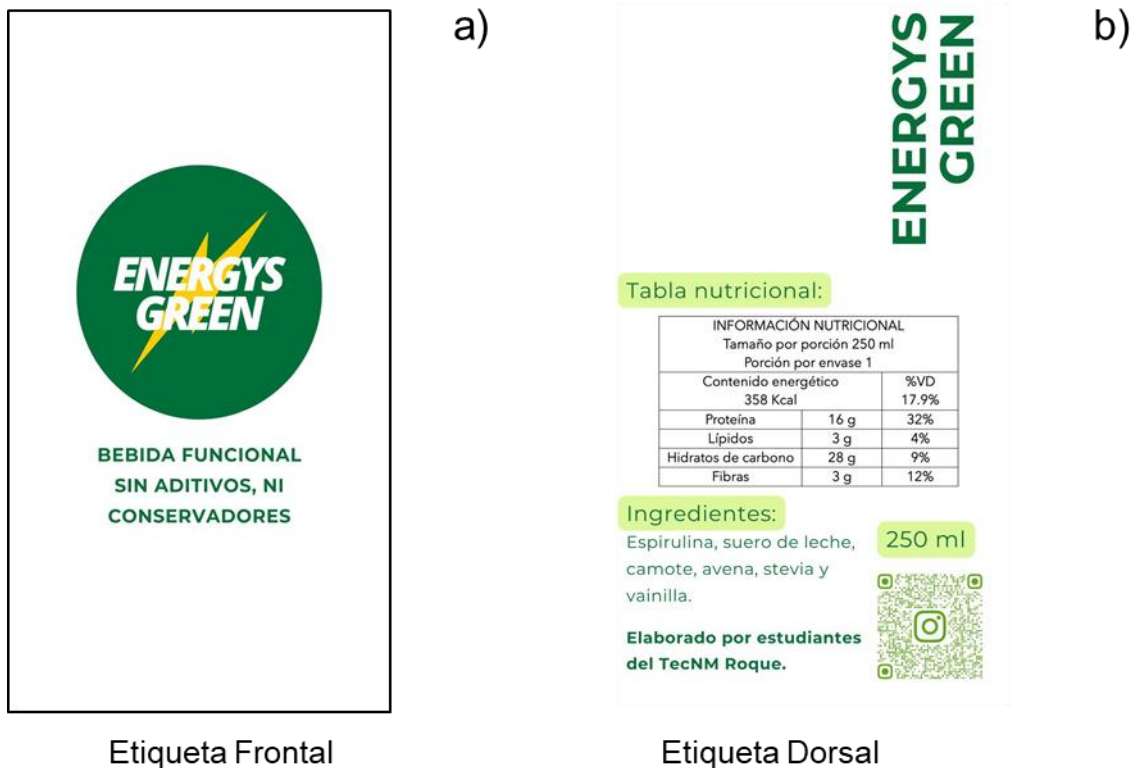


Figura 4. a) Etiqueta Frontal y b) Etiqueta Dorsal de la bebida con características funcionales para adultos mayores. Elaboración propia, 2025.



Fig. 5. Presentación de la de la bebida con características funcionales para adultos mayores en envase tipo Pouch (250 mL). Elaboración propia, 2025.

Conclusiones

ENERGYSGREEN es un suplemento alimenticio funcional, en presentación líquida, formulado especialmente para adultos mayores. Su desarrollo se basa en una combinación estratégica



de camote, espirulina y suero de leche, ingredientes seleccionados por sus propiedades nutricionales y sus beneficios a la salud digestiva, muscular e inmunológica. Este producto aporta proteínas de alta calidad, antioxidantes naturales, fibra dietética y compuestos bioactivos que favorecen el bienestar integral en personas de edad avanzada y su consumo constante a largo plazo, podría aumentar la esperanza y calidad de vida.

Referencias

- Bonilla-Barrera, C., Berges, L., & Seco-Calvo, J. (2024). Desnutrición y obesidad en mayores autónomos y determinantes de salud relacionados con ambos trastornos nutricionales. *Atención Primaria*, 57. <https://doi.org/10.1016/j.aprim.2024.103078>.
- Cedeño, M. M., Tamayo, L. D. Y., & Ramírez-Cárdenas, L. (2018). Elaboración de una bebida utilizando subproductos de la industria láctea. *Enfoque UTE*, 9(2), 59-69. Disponible en: <http://scielo.senescyt.gob.ec/pdf/enfoqueute/v9n2/1390-6542-enfoqueute-9-02-00059.pdf>
- Cruz Woo, G. (2022). Manual para el cultivo artesanal de espirulina (*Arthrospira spp.*) en San Salvador Atenco, México. Tesis Licenciatura. UAM. Disponible en: <https://repositorio.xoc.uam.mx/jspui/handle/123456789/26746>
- Velásquez Ccosi, P. F., Málaga Juárez, J. A., Medina Quiquin, L. D., Morales Miranda, M., & Mallqui Pablo, J. O. (2024). Optimización de algunos parámetros operativos para la producción de Espirulina en un biorreactor raceway pond. *INGENIERÍA INVESTIGA*, 6(00). <https://doi.org/10.47796/ing.v6i00.989>
- Freire, D., Flor, O., & Alvarez, G. (2020). Metodología Seis Sigma en el incremento de producción de Spirulina. *Revista Multidisciplinaria de Investigación Científica*, 1(1), 24-31.
- FrOrg. (2025). Recuperado de <https://frescorganico.com/producto/suero-de-leche-2-litros>
- González Acevedo, O., Reyes Hernández, J., Gaytán Hernández, D., Victoria Campos, C. I., & Palos Lucio, A. G. (2018). Atole de amaranto y su efecto potencial sobre la composición corporal de adultas mayores. *Revista Nutrición Clínica y Dietética Hospitalaria*, 38(2). <https://doi.org/10.12873/382ogonzalez>
- Jourdan, J. P. (2000). Cultivo artesanal de Spirulina. Disponible en: xarxaespirulina.files.wordpress.com/2010/08/cultive_e_s.pdf [accesado: 26.03. 2012].



- Lizarralde Gómez, G. S., Allin González, L., y Gómez Casasbuenas, T. M. (2019). Caracterización de la Ingesta de Alimentos y Deglución de los Adultos Mayores de un Centro Geriátrico de la Ciudad de Cali, en el periodo 2018-2019. *Areté*, 19(2), 23–34. <https://doi.org/10.33881/1657-2513.art.19201>
- Pedrero, D.L., Pangborn, R.M. (1989). Evaluación sensorial de los alimentos: métodos analíticos. México: Allambra Mexicana, 1989. 251p
- Pérez, L. A. B., Palacios, G. B. (2022). Sistema Mexicano de Alimentos Equivalentes. Ed. Fomento de Nutrición y Salud, A.C. 5ta. Edición.
- Prada Quispe, R. G. (2024). Producción de *Arthrospira platensis* (Spirulina). Tesis Licenciatura. Universidad Nacional “San Luis Gonzaga”. Disponible en: <https://repositorio.unica.edu.pe/server/api/core/bitstreams/fd2d9144-378e-4a45-a30f-f0ac3c82c55a/content>
- Puetate, F. A. M., Insuasti, J. A. P., Revelo, D. A. B., & Soto, C. A. P. (2021). Producción de espirulina (*Arthrospira platensis*): una revisión. *Revista Biorrefinería* Vol, 4(4).
- Tarazona, D. M. P. (2018). La espirulina una oportunidad como alimento funcional. Potencial Biotecnológico de las Microalgas en Zonas Áridas, Bogota DC: UTADDO. Disponible en: <https://core.ac.uk/download/pdf/662031608.pdf>
- Villarreal Arizpe, B. (2017). Desarrollo en planta piloto de una bebida de lacto suero y fruta natural para adultos mayores. Tesis doctoral. Universidad Autónoma de Barcelona. Disponible en: <https://ddd.uab.cat/record/187744?qathStatIcon=true>
- Zambrano, V. M. I., Vera A. T. A., Muñoz, M. J. P., Dueñas, R. A. A., & Párraga, Á. R. C. (2018). Diseño tecnológico para el aprovechamiento del camote (*Ipomoea batatas* L) en la elaboración de harina. *Pro Sciences: Revista de Producción, Ciencias e Investigación*, 2(11), 3-6. Disponible en: <https://pdfs.semanticscholar.org/a02b/c4d3ee9ae568dd457719dcda62979b6c5a10.pdf>



SISTEMA INTELIGENTE PARA EL MONITOREO SOSTENIBLE DE MACRONUTRIENTES NPK EN SUELOS DE CULTIVO DE CÍTRICOS DE NARANJA VALENCIA EN EL NORTE DE VERACRUZ

Miguel A. Rojas-Hernández¹; Xóchilt Siordia-Vásquez¹; Silvia Barrios-Velázquez¹; Ma. Cristina Vázquez-Hernández³; David Reyes Santiago²

¹Cuerpo Académico Innovación Biomimética y Sistemas Inteligentes. Universidad Veracruzana Región Poza Rica Tuxpan.

²Alumno Facultad de Ingeniería en Electrónica y Comunicaciones. Universidad Veracruzana Región Poza Rica Tuxpan. Prolongación Venustiano Carranza S/N. Col. Revolución. C.P. 93390 Poza Rica Veracruz.

³Cuerpo Académico de Innovación en Bioprocesos Sustentables. Tecnológico Nacional de México. Instituto Tecnológico de Roque. Km 8 Carretera Celaya-Juventino Rosas. C.P. 30110, Roque, Celaya, Guanajuato, México.

**Autor de correspondencia: mrojas@uv.mx*

Resumen

El presente estudio desarrolla y valida un sistema inteligente para el monitoreo en tiempo real de los macronutrientes nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K) en suelos de cultivo de naranja Valencia en el norte de Veracruz. Se implementó un protocolo de muestreo en tres parcelas representativas, con mediciones realizadas mediante un sistema embebido que integra sensores especializados (NPK), y análisis estadístico no paramétrico (prueba de Friedman) para evaluar la variabilidad espacial de los nutrientes. Los resultados evidenciaron diferencias significativas en los niveles de nitrógeno y fósforo entre parcelas, mientras que no se detectaron variaciones significativas para potasio. Asimismo, se identificó un déficit nutrimental en nitrógeno y potasio, y un exceso de fósforo en la mayoría de las muestras, indicando desequilibrios que pueden afectar la productividad y salud del suelo. Este sistema contribuye a la soberanía alimentaria al facilitar un manejo nutrimental sostenible y adaptado a las condiciones locales, promoviendo un uso eficiente de los fertilizantes y mejorando la sustentabilidad de la producción citrícola en la región.

Palabras claves

Soberanía alimentaria, monitoreo inteligente, sensores de suelo, agricultura de precisión, nutrientes NPK, cítricos.



Abstract

This research develops and validates an intelligent system for real-time monitoring of the macronutrients nitrogen (N), phosphorus (P), and potassium (K) in Valencia orange cultivation soils in northern Veracruz. A sampling protocol was implemented in three representative plots, with measurements taken using an embedded system that integrates specialized sensors (NPK) and nonparametric statistical analysis (Friedman test) to evaluate the spatial variability of nutrients. The results showed significant differences in nitrogen and phosphorus levels between plots, while no significant variations were detected for potassium. Likewise, a nutritional deficit in nitrogen and potassium and an excess of phosphorus were identified in most samples, indicating imbalances that can affect soil productivity and health. This system contributes to food sovereignty by facilitating sustainable nutrient management adapted to local conditions, promoting efficient fertilizer use, and improving the sustainability of citrus production in the region.

Key words

Food sovereignty, smart monitoring, soil sensors, precision agriculture, NPK nutrients, citrus fruits.

Introducción

El estado de Veracruz destaca como líder nacional en la producción de naranja, concentrando aproximadamente el 50% de la superficie sembrada a nivel país y aportando más del 50% de la producción nacional de esta fruta (Gobierno de México, 2024). En particular, las características del suelo vertisol posicionan a la región como líder productor estatal y nacional, con una superficie sembrada cercana a las 60,000 hectáreas y una producción que representa una proporción significativa del total veracruzano (INEGI, 2023). Esta relevancia productiva convierte al cultivo de naranja Valencia en un pilar económico y social de diversos municipios, ligados estrechamente con la seguridad y soberanía alimentaria al sustentar medios de vida locales y abastecer mercados nacionales e internacionales.



En términos agronómicos, el éxito en la producción de naranja valencia depende en gran medida del manejo adecuado de los nutrientes esenciales del suelo, especialmente los macronutrientes nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K), que intervienen en procesos fisiológicos críticos para el crecimiento vegetativo, floración, desarrollo y calidad del fruto. Asimismo, factores ambientales como la humedad del suelo, las precipitaciones y la estrategia de fertilización tienen un impacto decisivo en la dinámica y disponibilidad de estos nutrientes en los suelos vertisoles

Aunque en México no existen normativas oficiales específicas para la fertilización del cultivo de naranja, la disponibilidad de guías técnicas elaboradas por el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) y la Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (SADER) han orientado a los productores sobre las cantidades recomendadas de macronutrientes NPK según la edad del árbol y las condiciones agronómicas locales (ver tabla 1). Estas guías constituyen una base fundamental para promover prácticas agrícolas sustentables que refuercen la soberanía alimentaria a través de la reducción de dependencia externa, la conservación y mejoramiento de la salud del suelo y la optimización sostenible de la producción de naranja Valencia en Veracruz (Curti-Díaz et al., 1998).

Tabla 1.- Rangos de referencia de macronutrientes en suelo y estimados con sensores NPK para cítricos (naranja Valencia adaptada, Geisseler & Horwath, s. f.; Haifa Group, s. f.; INIFAP, 2017; IAP México, 2020; ResearchGate, 2022).

Macronutrientes	Rango recomendado en análisis de suelo (mg/kg o ppm en suelo seco)	Rango estimado en sensores NPK (mg/L en solución del suelo)	Observaciones
Nitrógeno (N)	50 – 150 mg/kg	50 – 200 mg/L	Vital para crecimiento vegetativo; el exceso provoca fruta de baja calidad.
Fósforo (P)	10 – 25 mg/kg	10 – 50 mg/L	Favorece raíces y floración; suele requerir aplicaciones fraccionadas en cítricos.
Potasio (K)	100 – 300 mg/kg	100 – 250 mg/L	Nutriente clave en cítricos: tamaño de fruto, jugo, dulzor y color. Déficit → frutos pequeños y ácidos.

Diversos estudios realizados en regiones productoras de naranja Valencia en México, como Morelos, Sonora y Veracruz, han demostrado que la implementación de prácticas de fertilización basadas en diagnósticos precisos del suelo, con un enfoque específico en la dosis y el momento adecuado de aplicación, contribuyen significativamente a mejorar tanto la



productividad agrícola como la calidad del fruto final. (Hernández-Morales et al., 2021; INIFAP-SAGARPA, 2011; Ramírez Díaz, 2009).

Sin embargo, en la práctica, la fertilización del cultivo se realiza de forma empírica, con desconocimiento de las necesidades específicas de la nutrición que requiere el suelo, lo que puede generar problemas importantes de dosificación inadecuada, aplicación heterogénea y desperdicio de recursos. Esta falta de precisión en el manejo de nutrientes no solo afecta la eficiencia productiva, sino que también conlleva riesgos ambientales como la contaminación por lixiviación y la degradación del suelo. Dada esta problemática, se destaca la necesidad de contar con agrotecnologías para el monitoreo continuo y en tiempo real de los macronutrientes del suelo, que permitan ajustar de manera precisa y oportuna la fertilización, fortaleciendo así la soberanía alimentaria regional.

En este ámbito, el presente trabajo propone el desarrollo e implementación de un enfoque integrado de un sistema embebido para el monitoreo de nutrientes NPK, adaptadas a las necesidades de los productores regionales y locales, orientando hacia la promoción de prácticas agroecológicas sostenibles.

Metodología

Área de estudio y muestreo

El estudio se llevó a cabo en el mes de abril de 2025, en cultivo de naranja valencia de tres parcelas colindantes en la zona citrícola del municipio de Chicontepec, Veracruz, situado en las coordenadas latitud 21°01'N, longitud 98°02'O y altitud promedio de 530 a 900 metros sobre el nivel del mar (msnm). El lugar se encuentra en un clima cálido subhúmedo, con temperaturas de 22° a 26°C y un rango de precipitación de 1400 a 1600 mm (H. Ayuntamiento de Chicontepec, 2023, Gobierno del Estado de Veracruz, 2024). En cuanto al comportamiento de los nutrientes en el suelo de la región, la alta capacidad amortiguadora del suelo puede limitar la disponibilidad de potasio (K), pese a que este nutriente puede estar presente de forma abundante. En este tipo de suelos, bajos contenidos de azufre y zinc, y altos contenidos de aluminio, inactivan la disponibilidad del fósforo (P). Por otro lado, la humedad, los cambios en la cobertura vegetal y la topografía del terreno modifican los niveles de nitrógeno (N), como lo



reporta el Plan Municipal de desarrollo 2021-2025 del municipio (H. Ayuntamiento de Chicontepepec, 2023).

Sistema embebido y sensorización

Se implementó un sistema embebido basado en sensores específicos para la detección cuantitativa de N, P y K en muestras de suelo. El sistema fue calibrado y validado previamente para garantizar sensibilidad y precisión en el rango de concentraciones esperadas en los suelos estudiados. Para el desarrollo del Sistema inteligente para el monitoreo sostenible de macronutrientes NPK, se desarrolló la integración y elección del hardware. Se selecciona la tarjeta de desarrollo ESP WROOM 32 basada en un microcontrolador, que ofrece la capacidad de conexión WiFi y Bluetooth, facilitando la integración de las interfaces para la visualización en la aplicación App Inventor. Se utilizó un sensor electrónico NPK que permite la medición de humedad, temperatura, nitrógeno, fósforo y potasio. Las características del sensor pueden verse en la tabla 2.

Tabla 2. Características técnicas del sensor para la medición de temperatura, humedad, EC, pH y NPK en suelos

Parámetro	Rango de medición	Precisión / Resolución	Tiempo de respuesta / Estabilidad
Temperatura	-40°C a 80°C	±0.5°C (25°C)	≤15 s / ≤0.1%°C por año
Humedad	0–100% RH	±3% (0–50%), ±5% (50–100%)	≤4 s / ≤1% RH por año
Conductividad (EC)	0–20000 µS/cm	±3% (0–10000 µS/cm), ±5% (10000–20000 µS/cm)	≤1 s / ≤1% µS/cm por año
pH	3–9 pH	±0.3 pH	≤10 s / ≤5% por año
Nitrógeno, Fósforo, Potasio (NPK)	1–2999 mg/kg (mg/L)	Resolución: 1 mg/kg (mg/L)	<1 s

En la figura 1 se presenta un diagrama a bloques del sistema inteligente desarrollado para el monitoreo de macronutrientes de nitrógeno, fósforo y potasio. Por otra parte, en la figura 3 se muestra el prototipo desarrollado.

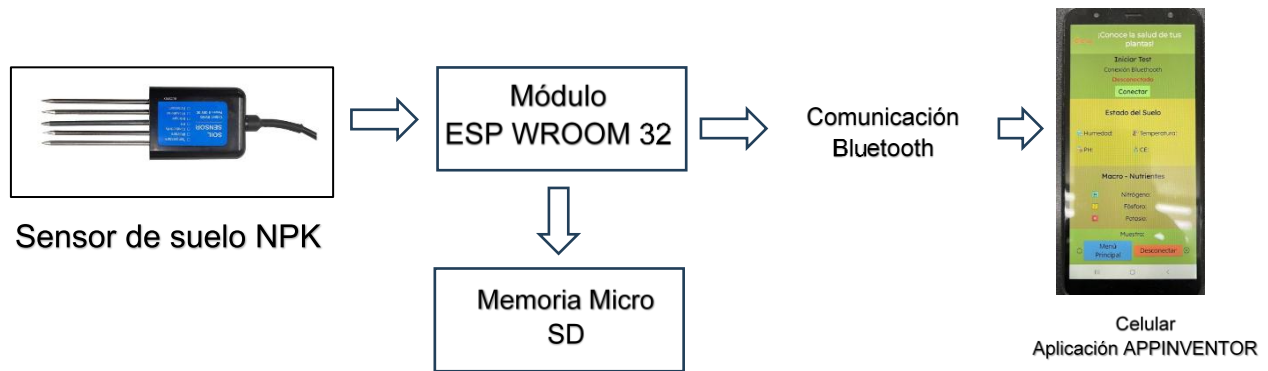


Figura 1. Diagrama a bloques del Sistema inteligente para el monitoreo sostenible de macronutrientes NPK en suelos de cultivo de cítricos de naranja.



Figura 2. Prototipo del sistema inteligente de medición de nitrógeno, fosforo y potasio

Cada sensor se calibra previamente siguiendo protocolos de laboratorio para garantizar la precisión y reproducibilidad de las mediciones en campo, ver figura 3.



Figura 3. Pruebas de laboratorio: calibración del sensor y medición de NPK utilizando el sistema inteligente de monitoreo de macronutrientes en suelos

Análisis estadístico con la prueba de Friedman.

En cada parcela se seleccionaron 10 árboles medianos (1-3 años) con una altura aproximada entre 1 y 2 metros para la toma de muestras. Cada muestra de suelo fue analizada *in situ* mediante el sistema de sensorización, registrando concentraciones instantáneas de cada macronutriente, como se muestra en la figura 4



Figura 4.-Pruebas de campo del sistema de monitoreo inteligente NPK

Para evaluar la variabilidad espacial de los macronutrientes nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K) en el suelo, se recolectaron 8 muestras replicadas por árbol, en suelo seco, obteniendo un



total de 80 muestras por parcela. La selección y distribución del muestreo permitieron capturar la heterogeneidad dentro de cada unidad experimental. Los datos fueron digitalizados para su posterior análisis estadístico.

En la tabla 3 se presentan las medianas de los valores medidos de nitrógeno, fósforo y potasio en las parcelas. Siguiendo la metodología indicada en la literatura para la aplicación de la prueba de Friedman, se calculó la mediana de las ocho muestras de nitrógeno correspondientes a cada árbol en las tres parcelas evaluadas. Se empleó la prueba no paramétrica de Friedman para muestras repetidas, adecuada para comparar tres tratamientos relacionados que corresponden a las tres parcelas, considerando los árboles como bloques experimentales y las muestras replicadas como medidas repetidas.

Tabla 3. Datos para el análisis de nitrógeno, fosforo y potasio

ÁRBOL NO.	NITRÓGENO			FÓSFORO			POTASIO		
	P1	P2	P3	P1	P2	P3	P1	P2	P3
1	3	0	13	53	38	40	45	30	29
2	0	0	12	39	38	37	31	30	31
3	0	14	21	45	80	117	38	73	110
4	0	30	23	25	116	116	17	109	109
5	0	0	11	38	39	40	30	31	30
6	0	0	13	33	38	40	25	30	30
7	0	14	11	19	78	81	11	71	71
8	0	0	13	7	34	40	39	26	32
9	0	2	4	42	50	54	34	43	32
10	0	0	15	35	31	32	28	24	26

La prueba de Friedman fue seleccionada por no requerir supuestos de normalidad ni homogeneidad de varianzas, ajustándose a la naturaleza de los datos obtenidos, de acuerdo con la ecuación 1.

$$F_r = \left[\left(\frac{12}{bk(k+1)} \right) \sum_{i=1}^k R_i^2 \right] - 3b(k+1) \dots\dots\dots \text{ecuación (1)}$$

Donde:

F_r es el análisis de Friedman

b es el total de sujetos (10)

k es el total de condiciones (3)

R_i^2 es la sumatoria de rangos al cuadrado, para cada condición.

La hipótesis nula H_0 planteó que no existen diferencias significativas en la concentración de cada macronutriente entre las parcelas. Mientras que la Hipótesis de investigación H_1 , plantea



que existen diferencias significativas en la concentración de macronutrientes entre las parcelas. En caso de que el resultado obtenido de la prueba de Friedman indicara diferencias significativas ($p < 0.05$), se procede a realizar comparaciones *post hoc* para determinar cuáles parcelas difieren.

Resultados

El sistema inteligente desarrollado para el monitoreo de los macronutrientes N, P y K en suelos de cultivo de naranja Valencia en el norte de Veracruz, demostró ser una herramienta eficaz para la medición y análisis de los niveles de estos elementos esenciales para el desarrollo agroproductivo. Los resultados obtenidos se compararon con valores estándar de referencia para suelos agrícolas en la región, (mostrados en la tabla 1, establecidos en rangos de 50–150 mg/kg para nitrógeno, 10–25 mg/kg para fósforo y 10–300 mg/kg para potasio, con el objetivo de contextualizar la magnitud y relevancia agronómica de las concentraciones detectadas.

El análisis mostró que el contenido de nitrógeno en los suelos se encuentra consistentemente por debajo del rango recomendado para el cultivo de naranja Valencia, como se observa en la figura 5, señalando un déficit nutrimental que puede limitar el rendimiento y la calidad del cultivo.

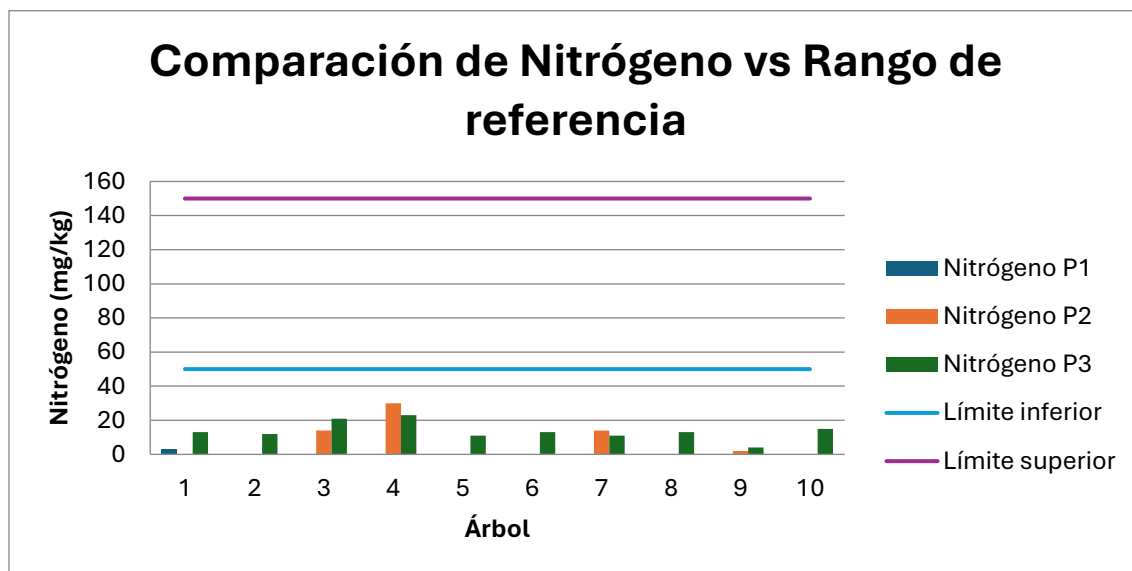


Fig. 5 Comparación de valores medidos de nitrógeno con los rangos de referencia (50–150 mg/kg)



En contraste, los niveles de fósforo, figura 6, superan en la mayoría de las muestras el rango óptimo indicado en tablas de referencia, lo que puede implicar riesgos de toxicidad o desequilibrios nutricionales que afecten la salud del suelo y la planta.

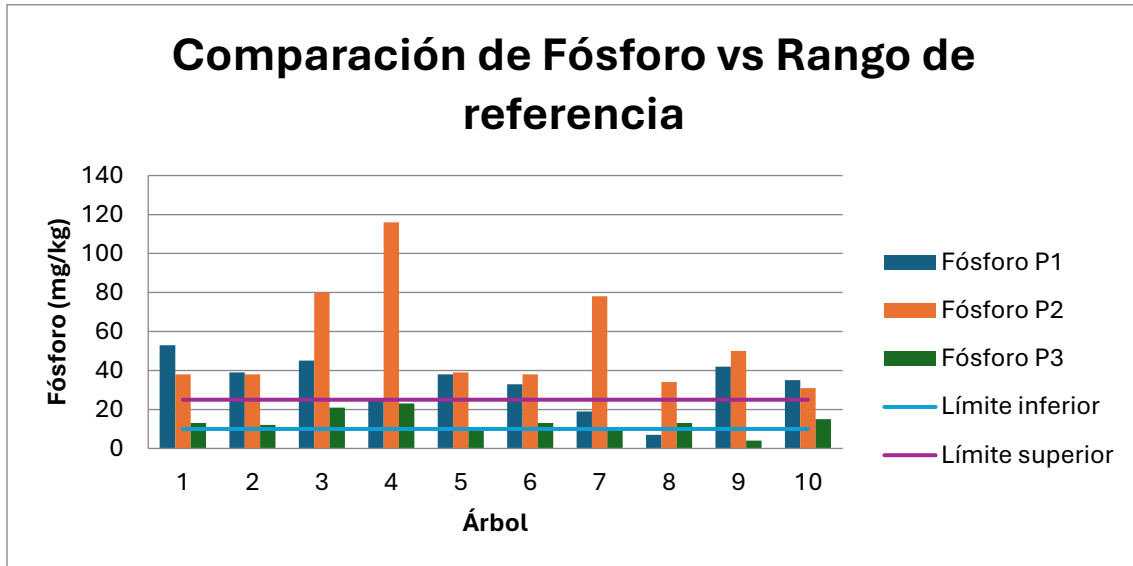


Fig. 6 Comparación de valores medidos de fósforo con los rangos de referencia (10–25 mg/kg)

Respecto al potasio, figura 7, la mayoría de las mediciones resultaron por debajo del rango aceptable, indicando un potencial agotamiento de este nutriente esencial.

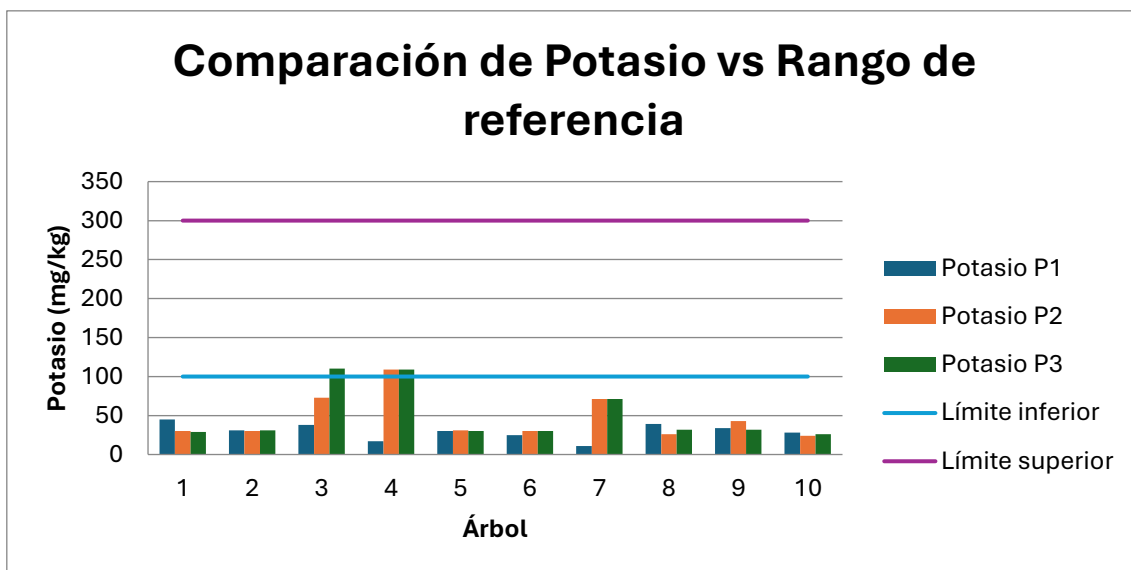


Fig. 7 Comparación de valores medidos de potasio con los rangos de referencia (100–300 mg/kg)



Los resultados confirmaron que el sistema de monitoreo permite identificar variaciones críticas en la disponibilidad de nutrientes, aportando información inmediata y confiable para la toma de decisiones agronómicas. Además, con la información obtenida los agricultores podrían reducir la incertidumbre y mejorar la eficiencia en la aplicación de fertilizantes, optimizando recursos y protegiendo el suelo. Estos resultados validan la capacidad del sistema para detectar condiciones de deficiencia o exceso en los nutrientes, lo que es fundamental para apoyar prácticas agrícolas que promuevan la soberanía alimentaria mediante un manejo más eficiente y personalizado de los insumos agrícolas. La información precisa y en tiempo real proporcionada por el sistema facilita la toma de decisiones para optimizar el uso de fertilizantes, minimizar impactos ambientales y mejorar la sostenibilidad de los cultivos cítricos. Este tipo de soluciones basadas en Internet de las cosas (IoT) y sistemas embebidos representan un avance en la transición hacia la agricultura 4.0, contribuyendo al fortalecimiento de la productividad regional y a la consolidación de la soberanía alimentaria en regiones con baja tecnificación.

Conclusiones

El sistema inteligente desarrollado demuestra que es posible contar con una herramienta tecnológica de bajo costo, eficiente y adaptable, que permita a los pequeños productores de cítricos monitorear en tiempo real la disponibilidad de nutrientes NPK. Este avance representa un paso importante hacia la sostenibilidad agrícola, al mejorar la eficiencia en el uso de fertilizantes, reducir el impacto ambiental y reforzar la autonomía productiva de las comunidades citrícolas del norte de Veracruz. Al vincular la innovación tecnológica con la producción agrícola local, se sientan las bases para garantizar una mayor resiliencia, competitividad y soberanía alimentaria en el sector cítrico mexicano.

Agradecimientos

Este trabajo es parte de los proyectos de investigación conjunta entre los cuerpos académicos UV-CA-588 “*Innovación Biomimética y Sistema Inteligentes*” de la Universidad Veracruzana y ITROQ-CA 11 “*Innovación y procesos sustentables*” del Tecnológico Nacional de



México/ITRoque. Asimismo, se agradecer a la Facultad de Ciencias Químicas de la Universidad Veracruzana por las facilidades brindadas por el laboratorio de química para la realización de pruebas de calibración y medición NPK del sistema inteligente.

Referencias

- Curti-Díaz, S. A., Díaz-Zorrilla, U., Loredó-Salazar, X., Sandoval-Rincón, J. A., Pastrana-Aponte, L., & Rodríguez-Cuevas, M. (1998). *Manual de producción de naranja para Veracruz y Tabasco* (Libro Técnico No. 2). Centro de Investigación Regional Golfo Centro, INIFAP-SAGAR.
- Geisseler, D., & Horwath, W. (s. f.). *Citrus: Soil sampling and interpretation; Olsen P guidelines*. University of California, Davis.
- Gobierno del Estado de Veracruz (2024) *Comité de información Estadística y Geográfica del Estado de Veracruz 2024-2030* <https://ceieg.veracruz.gob.mx/2019/10/25/comite-ceieg/>
- Gobierno de México (2024) Escenario mensual de productos agroalimentarios Naranja-julio. Secretaría de agricultura y desarrollo social https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/938469/Naranja_Julio.pdf
- Haifa Group. (s. f.). *Crop guide: Citrus tree fertilizer recommendations*. Haifa Chemicals Ltd.
- H. Ayuntamiento de Chicontepec (2023) *Plan Municipal de desarrollo (2022-2025) Chicontepec Veracruz*. <https://www.veracruz.gob.mx/finanzas/wp-content/uploads/sites/2/2022/PMD/PMD%20Chicontepec.Veracruz.2022-2025.pdf>
- Hernández-Morales, Luis M., García-Pérez, Eliseo, Cortés-Flores, José I., Villegas-Monter, Ángel, & Mora-Aguilera, José A. (2021). Fertilización integral en árboles de naranjo 'MARRS' en producción con síntomas de virus de la tristeza de los cítricos (VTC) y huanglongbing (HLB). *Revista fitotecnia mexicana*, 44(1), 59-66. <https://doi.org/10.35196/rfm.2021.1.59>
- INIFAP-SAGARPA. (2011). *Manejo Agronómico para la producción de naranja Valencia en el Estado de Morelos* (Folleto Técnico No. 57). Ca,po Experimental Zacatepec.
- INEGI (2023) *Censo agropecuario 2022 del Estado de Veracruz*. Instituto Nacional de Estadística y Geografía https://www.uv.mx/agronomia/files/2022/09/Comunicado-estatal-Ver_CA2022_697.pdf



- Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). (2017). *Agenda técnica: Manejo y fertilización de cítricos — Estado de Veracruz*. INIFAP.
- Instituto de Investigaciones Agropecuarias y Pesqueras (IAP México). (2020). *Manejo agronómico de los cítricos*. IAP México. Recuperado de <https://iapmexico.com.mx/>
- Ramírez Díaz, J. M. (2009). *Fertilización Nitrogenada en Huertas en Producción de Naranja Valencia en el Valle del Yaqui, Sonora México*. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias
- ResearchGate. (2022). *Design and build a soil nutrient measurement tool for citrus plants using NPK soil sensors based on the Internet of Things*.



LICOR DE FRUTO DE GARAMBULLO (*Myrtillocactus geometrizans*) A PARTIR DE DOS MÉTODOS DE MACERACIÓN

Patricia López-Perea^{1,*}, Amaury Ábrego-García¹, José L. Escobar-Álvarez¹

¹Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias - Campo Experimental Bajío. Celaya, Gto., 38010, México.

*Autor de correspondencia: lopez.patricia@inifap.gob.mx

Resumen

El licor de garambullo se elabora con bebidas alcohólicas destiladas, con al menos 1.0% (m/v) de azúcares, añadiendo fruta, sabor, color o mezclas de frutas y hierbas. Este estudio elaboró licor de garambullo mediante dos métodos de maceración: con azúcar (M1) y con aguardiente (M2), evaluando características fisicoquímicas como acidez total, acidez volátil, °Brix, pH, alcohol y color. El pH fue similar al del aguardiente (4.82), pero M2 tuvo menor pH y acidez volátil. M1 presentó menor °Brix (42.43) y acidez total (1.53). Ambos licores se estandarizaron a 22% v/v de alcohol. En color, M2 mostró mayor tonalidad roja (valores a^* más altos), mientras M1 tendió al violeta. Ambos métodos son viables según la NOM-199-SCFI-2017, siendo el aguardiente más efectivo para extraer compuestos por su solubilidad. El garambullo, rico en antioxidantes, ofrece potencial para productos artesanales con valor cultural y nutricional.

Palabras claves

Maceración, garambullo, licor, propiedades fisicoquímicas, antioxidantes

Abstract

Berrycactus liqueur is produced from distilled alcoholic beverages, with at least 1.0% (m/v) sugars, adding fruit, flavor, color, or various fruits and herbs. This study developed berrycactus liqueur using two maceration methods: with sugar (M1) and aguardiente (M2), evaluating physicochemical characteristics such as total acidity, volatile acidity, °Brix, pH, alcohol, and color. The pH was similar to aguardiente's (4.82), but M2 had a lower pH and volatile acidity.



M1 showed lower °Brix (42.43) and total acidity (1.53). Both liqueurs were standardized to 22% v/v alcohol. M2 exhibited greater red tonality (higher a^* values) in color, while M1 tended toward violet. Both methods are viable according to NOM-199-SCFI-2017, with aguardiente being more effective for extracting compounds due to its solubility. Garambullo, rich in antioxidants, offers potential for artisanal products with cultural and nutritional value.

Key words

Maceration, berrycactus, liqueur, physicochemical properties, antioxidants

Introducción

Los frutos de garambullo son ricos en compuestos bioactivos, incluyendo betalainas, antocianinas y fenoles, que confieren propiedades antiinflamatorias, antivirales y anticancerígenas (Herrera-Hernández et al., 2024). Nutricionalmente, contienen vitaminas C y E, fibra y azúcares naturales, con un alto potencial antioxidante que supera al de algunos berries comerciales. En aplicaciones alimentarias, se consumen frescos o en productos procesados como aguas frescas, mermeladas, helados y licores. En licores, el garambullo se utiliza en infusiones artesanales mexicanas, como "garambullo mezcal" o rones frutales, donde su jugo fermentado imparte notas dulces, florales y un color vibrante debido a las betalainas (Fondazione Slow Food, s.f.). Estos destilados, típicamente de 30-40 % de alcohol, mantienen antioxidantes ideales para cócteles o digestivos, promoviendo su valor cultural en fiestas regionales.

Sin embargo, muchos licores artesanales carecen de caracterización fisicoquímica y cumplimiento normativo, como la NOM-199-SCFI-2017, que establece especificaciones para bebidas alcohólicas con fruta. La maceración es un proceso clave en la producción de licores, involucrando la inmersión de frutos en alcohol o azúcar para extraer sabores, colores y compuestos activos (Navarro et al., 2018). Estudios en otros frutos, como cerezas o bayas, han mostrado que el tipo de maceración afecta la extracción de fenoles y la estabilidad del producto (Girard et al., 2012). Este trabajo evalúa dos métodos de maceración para licor de garambullo, comparando sus impactos en propiedades fisicoquímicas y cumplimiento normativo, con el objetivo de optimizar procesos para productos con valor agregado.



Metodología

El garambullo se recolectó en el Valle del Mezquital, Hidalgo, México. Los frutos se desinfectaron con una solución de hipoclorito de sodio al 100 ppm durante 10 minutos, se enjuagaron y congelaron a $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ hasta su uso. Se caracterizaron físicamente midiendo ancho, alto y peso en una muestra de 50 frutos usando un vernier digital y una balanza analítica (precisión de 0.01 g).

Se elaboraron licores mediante dos métodos de maceración. En M1 (inmersión en azúcar), se colocó igual cantidad de fruto y azúcar granulada (1:1 m/m) en frascos estériles, permitiendo extracción por ósmosis durante 7 días a temperatura ambiente ($20\text{-}25\text{ }^{\circ}\text{C}$) hasta obtener jugo; luego se añadió aguardiente (destilado de caña) en proporción 1:1. En M2 (inmersión en aguardiente), se maceró fruto en aguardiente (1:1 m/v) durante 7 días, luego se añadió azúcar igual al peso del fruto. Ambos se reposaron 30 días en oscuridad a $20\text{ }^{\circ}\text{C}$, se filtraron con gaza y estandarizaron a 22-24% v/v de alcohol ajustando con agua destilada.

Al licor final se determinó: alcohol por densímetro (Gay-Lussac), pH con potenciómetro (Hanna HI2211), °Brix con refractómetro digital (Atago PAL-1), color en espacio CIE Lab* con colorímetro (HunterLab), acidez total (titulada con NaOH 0.1 N a pH 8.2, expresada como ácido tartárico) y acidez volátil (destilación y titulación, expresada como ácido acético). Se empleó el análisis de varianza (ANOVA) de una vía y la comparación de medias por Tukey ($p\leq 0.05$) usando el software JMP versión 15. Todas las determinaciones se realizaron por triplicado.

Resultados

En promedio, el fruto tuvo de ancho 1.09 cm y de alto 1.33 cm; peso promedio 740.13 mg. La adición de fruto redujo el pH respecto al aguardiente (Tabla 1), posiblemente por ácidos orgánicos del garambullo como cítrico y málico. M2 tuvo mayor °Brix (43.56), sugiriendo mejor extracción de sólidos solubles por el alcohol, que actúa como solvente polar facilitando la difusión (Navarro et al., 2018). La acidez total en M2 (2.13 g/mL) fue mayor, pero ambos cumplieron el límite de 3.5 g/mL de la NOM-199-SCFI-2017. La acidez volátil en M1 alcanzó



1.50 g/mL, cerca del umbral de riesgo para estabilidad (1.5 g/mL), mientras M2 fue menor (0.56), indicando menor oxidación.

Tabla 1. Resultados de parámetros químicos del licor de ambos métodos de maceración.

Muestra	pH	°Brix	Acidez Total (g/mL)	Acidez Volátil (g/mL)	% Alcohol
Aguardiente	4.82±0.03a	11.77±0.32c	1.73±0.05b	1.73±0.58a	26.06±3.51a
M1	4.23±0.23b	42.43±0.11b	1.53±0.05b	1.50±0.00a	22.03±0.02a
M2	4.05±0.04b	43.56±0.55a	2.13±0.11a	0.56±0.11b	24.01±3.46a

*Media ± Desviación estándar, ** Letras iguales dentro de la misma columna: no hay diferencias estadísticas significativas ($p \leq 0.05$).

En color (Tabla 2), no hubo diferencias en L* (luminosidad) ni b* (amarillo-azul), pero a* (rojo-verde) fue mayor en M2 (5.59), reflejando extracción superior de betalainas rojas por el alcohol (Herrera-Hernández et al., 2024). El matiz ΔH confirmó predominio rojo en M2. Los resultados indican que M2 optimiza la extracción de color y sólidos, mejorando el atractivo sensorial sin comprometer la normatividad.

Tabla 2. Valores medios de color LAB del licor.

Parámetro	M1	M2
L*	7.38±0.10a	7.16±0.16a
a*	1.53±0.42b	5.59±0.37a
b*	0.98±0.09a	0.62±0.01a
ΔH	84.89±0.10b	85.32±0.19a

*Media ± Desviación estándar, ** Letras iguales dentro de la misma columna: no hay diferencias estadísticas significativas ($p \leq 0.05$).

Conclusiones

Se obtuvo un licor con características sensoriales agradables, cumpliendo la NOM-199-SCFI-2017 en parámetros como acidez y alcohol. M2 (maceración inicial con aguardiente) presentó mejores propiedades fisicoquímicas, con mayor extracción de colorantes naturales (betalainas) para un tono rojo intenso, y menor acidez volátil para mayor estabilidad. Esto se atribuye a la solubilidad del alcohol en compuestos polares del garambullo. Ambos métodos son viables para valorizar frutos silvestres, promoviendo productos artesanales con beneficios



antioxidantes. Futuros estudios podrían optimizar tiempos de maceración o incorporar análisis sensoriales para escalado industrial.

Referencias

- Girard, B., Yuksel, D., Cliff, M. A., Delaquis, P. y Reynolds, A. G. (2012). Vinification effects on the sensory, colour, and general phenolic content of red wines. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 82(6), 672-679.
- Guzmán-Maldonado, S. H., Herrera-Hernández, M. G., Hernández-López, D. y Plasencia, J. (2020). Ethnobotanical, nutritional and medicinal properties of Mexican dryland plants: A review. *Food Research International*, 131, 109003.
- Herrera-Hernández, I. M., Pérez-Herrera, A., Segovia-Hernández, J. G. y Sánchez-Ramírez, E. (2024). Phytochemical compounds, and antioxidant, anti-hyperglycemic, and anti-inflammatory activities of garambullo (*Myrtillocactus geometrizans*) fruit. *Processes*, 12(11), 2526.
- López-Palestina, C. U., Aguirre-Mancilla, C. L., Raya-Pérez, J. C., Ramírez-Pimentel, J. G., Gutiérrez-Tlahque, J. y Hernández-Fuentes, A. D. (2018). The effect of an edible coating with tomato oily extract on the physicochemical and antioxidant properties of garambullo (*Myrtillocactus geometrizans*) fruits. *Agronomy*, 8(11), 248.
- Navarro, P., Nicolás, T. S., Gabaldón, J. A., Mercader-Ros, M. T., Calín-Sánchez, Á., Carbonell-Barrachina, Á. A. y Pérez-López, A. J. (2018). Physico-chemical and aromatic characterization of carob macerates produced by different maceration conditions. *Food Chemistry*, 273, 46-55.
- NOM-199-SCFI-2017. Bebidas alcohólicas-Denominación, especificaciones fisicoquímicas, información comercial y métodos de prueba. *Diario Oficial de la Federación*.



OBTENCIÓN DE PECTINA A PARTIR DE NARANJA AGRIA CRIOLLA (*Citrus aurantium* L.)

Fabiola Herrera Enciso¹, Erika Ramos Ojeda, Christian Oliver Díaz Ovalle

1 Ingenierías, Tecnológico Nacional de México Roque. Km 8 Carretera Celaya-Juventino Rosas, Celaya Gto., México C.P. 38110.

**Autor de correspondencia: fabiola.he@roque.tecnm.mx*

Resumen

El presente trabajo evaluó la obtención de pectina a partir de albedo de naranja agria criolla (*Citrus aurantium* L.), un recurso regional de bajo costo y con limitado aprovechamiento en el estado de Guanajuato. La extracción se llevó a cabo mediante hidrólisis ácida, seguida de precipitación con etanol, secado y molienda del producto. Se determinaron variables de caracterización como rendimiento, grado de esterificación, contenido de humedad, cenizas, viscosidad y contenido mineral de calcio. Los resultados mostraron rendimientos entre 11 y 14%, influenciados por el grado de madurez de los frutos y las condiciones del proceso. El grado de esterificación fue elevado (91–92%), clasificando a la pectina como de alto metoxilo, adecuada para la formación de geles en presencia de azúcares y ácidos. Asimismo, los bajos valores de humedad y cenizas sugieren buena estabilidad del producto. Se concluye que la naranja agria criolla constituye una fuente viable de pectina de calidad, con potencial para el aprovechamiento de residuos.

Palabras clave

Pectina, naranja agria, extracción, gelificante.

Abstract

This study evaluated pectin production from the albedo of the native sour orange (*Citrus aurantium* L.), a low-cost regional resource with limited utilization in the state of Guanajuato. Extraction was carried out by acid hydrolysis, followed by ethanol precipitation, drying, and



grinding of the product. Characterization variables such as yield, degree of esterification, moisture content, ash content, viscosity, and calcium mineral content were determined. The results showed yields between 11 and 14%, influenced by the fruit's maturity and the processing conditions. The degree of esterification was high (91–92%), classifying the pectin as high methoxyl, suitable for gel formation in the presence of sugars and acids. Furthermore, the low moisture and ash values suggest good product stability. It is concluded that the native sour orange constitutes a viable source of high-quality pectin, with potential for waste utilization.

Keywords

Pectin, bitter orange, extraction, gelling agent

Introducción

Las pectinas son heteropolisacáridos presentes en las paredes celulares de las plantas (Vicens et al., 2009). Su unidad básica es el ácido poligalacturónico, son solubles en agua y poseen la capacidad de formar geles en presencia de ácidos, sales y azúcares (Gonzalez et al., 2022). Tiene diferentes usos en la industria de alimentos: como aditivo para incrementar viscosidad, dar cuerpo y estabilizar. Su uso es común en ates, jaleas, mermeladas, mayonesas, salsas, aderezos, jugos, malteadas, helados, panificación y postres (Willats et al., 2006). Otro aspecto que tienen es el de constituir sustancias saludables, su ingesta puede producir descenso en el nivel de colesterol sanguíneo (Bruneton, 1991). Existen diferentes métodos patentados para su extracción: hidrólisis ácida, intercambio iónico, contracorriente, microondas (Fishman, 2000), enzimáticos y biotecnológicos. El más común en la industria es la hidrólisis ácida, que ofrece buen rendimiento y pectinas de calidad (García et al., 2023). Las principales fuentes industriales son: cáscaras de cítricos, bagazos de jugos, frutas y vegetales. En este proyecto se analizó la obtención de pectina por hidrólisis ácida usando naranja agria criolla (*Citrus aurantium*) recolectada en estado de madurez verde en el Instituto Tecnológico de Roque, considerándose como variables a evaluar: grado de esterificación, % humedad, % cenizas, concentración de Ca y viscosidad.

Metodología



La presente investigación es un estudio experimental, con la siguiente secuencia: investigación bibliográfica, trabajo de campo y pruebas de laboratorio para extracción y evaluación de pectina obtenida. El proyecto se realizó en los laboratorios de suelos y calidad del Instituto Tecnológico de Roque, ubicado en el Km. 8 Carretera Celaya-Juventino Rosas, en la ciudad de Celaya Gto.

La extracción de pectina, se realizó por medio de hidrólisis ácida. Se prepararon muestras por duplicado de 150 g de corteza de naranja agria en agua acidulada con HCl 1N, para realizar la inactivación enzimática y obtener la pectina. Para la identificación y caracterización de la pectina obtenida, se llevaron a cabo los siguientes análisis: grado de esterificación, contenido de ácido galacturónico; humedad y cenizas, concentración de iones Ca, y viscosidad, esta última comparada con pectina comercial.

Para obtener la materia prima fueron lavadas las naranjas, retirado el flavedo y septum, para dejar libre el albedo que es donde se encuentra la mayor cantidad de pectina en los cítricos. El albedo obtenido se cortó en trozos de 3 cm y se le determinó humedad y cenizas (A.O.A.C.). El albedo obtenido se calentó con agua en concentración de 300 g/l hasta ebullición, por 40 minutos, con la finalidad de inactivar las enzimas pépticas y llevar la hidrólisis ácida. Esta se realizó por duplicado, con un pH de 2.5 por un tiempo de 40 minutos (Camejo et al., 1996) y 80% de alcohol etílico por volumen de solución extraída. La pectina obtenida fue sometida a un proceso de secado a 40°C, molienda y envaso.

Se determinó el grado de esterificación (Pua et al., 2015). y con estos datos se calculó el contenido de ácido galacturónico.

La determinación de calcio fue realizada con el uso del espectrofotómetro (Hart & Fischer, 1991). Las variables que se evaluaron fueron porcentaje de pectina obtenida, grado de esterificación, % de humedad y cenizas, concentración de iones Ca y viscosidad.

Resultados

En la figura 1 se muestran las imágenes del proceso de obtención de pectina en el laboratorio, mediante hidrólisis ácida.

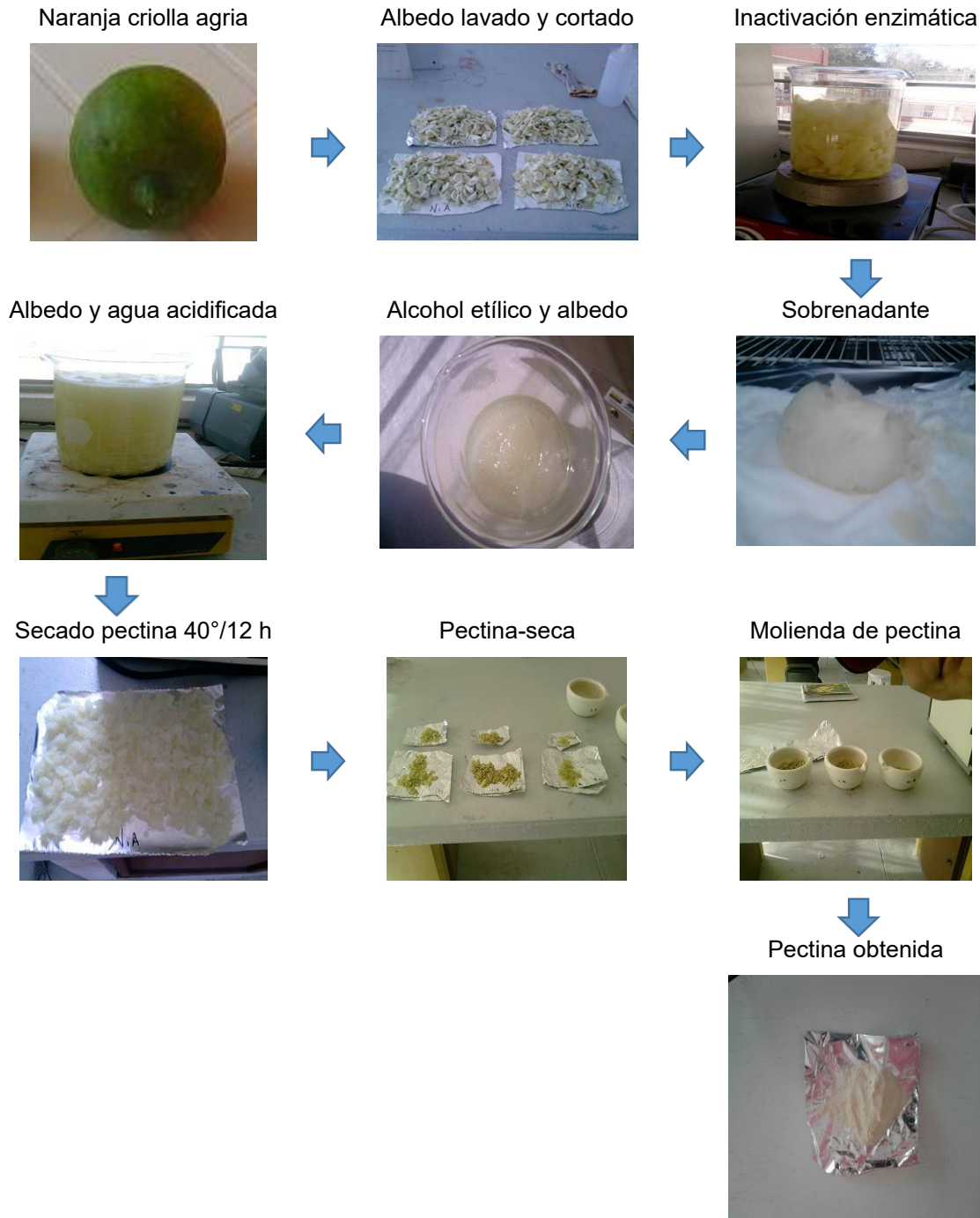


Figura 1. Imágenes del proceso de obtención de pectina en el laboratorio.

En la tabla 1 se muestran los resultados de humedad y cenizas del albedo.



Tabla 1. Valor promedio de humedad y cenizas del albedo.

Muestras	Variables	
	% Humedad	% Cenizas
1	63.08	2.84
2	64.02	3.71
3	62.03	3.3

En la tabla 2 se muestran los resultados para la caracterización de la pectina extraída de naranja agria criolla; rendimiento, grado de esterificación, contenido de ácido galacturónico, humedad y cenizas.

Tabla 2. Caracterización de pectina obtenida, rendimiento del proceso, GE grado de esterificación, AG contenido de ácido galacturónico, humedad y cenizas.

pectina	Variables				
	Rendimiento	GE(%)	AG(mg)	Humedad (%)	Cenizas (%)
Muestra N1	14	91.6	4023.7	10.03	3.9
Muestra N2	11.33	91.7	4155.8	9.17	4.2

Se realizaron pruebas por duplicado para la obtención de pectina mediante el método de hidrólisis ácida, dentro de las cuales se obtuvo 21g para N1 y 17 g para N2, tales pectinas resultaron con un alto grado de metoxilación ya que su grado de esterificación fue superior al 90 % (Joseph & Baier, 1994).

En la tabla 3 se muestran los resultados de la viscosidad de una solución de pectina obtenida y la comercial (Merk).

Tabla 3. Resultados de viscosidad a 25°C, diluciones p/v, comparativo con una marca comercial.

	Muestra (p/v) (%)	Densidad g/cm ³	Viscosidad (60 rpm) cp
Pectina Comercial	5	1.3358	14.21
	4	1.2059	9.78
	3	1.0839	6.67
	2	1.0314	5.00
	1	1.0236	1.67
Pectina Obtenida	5	1.4017	17.91
	4	1.2585	11.42
	3	1.1312	8.33
	2	1.1092	5.00
	1	1.0814	3.33



Se realizaron mediciones muestras con los porcentajes señalados, observando que la pectina obtenida presento un mayor grado de viscosidad comparado con la pectina comercial. Finalmente se muestra en la tabla 4, el contenido de calcio en muestra de pectina.

Tabla 3. Resultado de Ca en la pectina obtenida y la comercial (en dilución 1:25).

<i>Pectina Comercial</i>	<i>Cantidad (ppm)</i>	<i>Pectina Obtenida</i>	<i>Cantidad (ppm)</i>
<i>PC₁</i>	3175	<i>PO₁</i>	10275
<i>PC₂</i>	4450	<i>PO₂</i>	12325
<i>PC₃</i>	3375	<i>PO₃</i>	10625

Conclusiones

La naranja agria criolla es una fuente viable para la obtención de pectina de calidad. El método de hidrólisis ácida resultó eficiente y reproducible a nivel de laboratorio.

Los resultados permiten establecer los niveles para determinar mediante un diseño factorial los parámetros óptimos para el proceso de obtención de pectina, con la finalidad de encontrar rentabilidad en el proceso y generar un producto de mayor calidad que pueda ser aprovechado en la industria de alimentos y farmacéutica.

Referencias

- A.O.A.C. 1975. Official methods of analysis. Association of official analytical chemists. Washington DC.
- Bruneton. (1991). elementos de fotoquímica y farmacognosia. España: Acribia.
- Camejo C, Ferrer A, Ferrer B, Peña J, Cedeño M. (1996). Extracción y caracterización de pectina en toronjas de la región Zuliana. Revista Facultad de Agronomía (LUZ) 13: 641-645 pp.
- Fishman. (2000). Patente nº 6,143,337. U.S.A.
- García-García, P. M., Galindo-Alcántara, A., & Ruiz-Acosta, S. D. C. (2023). Métodos de extracción de pectina en frutos: Revisión sistemática. Ecosistemas y recursos agropecuarios, 10(SPE3).
- Hart, F. L., & Fisher, H. (1991). Análisis moderno de los alimentos. Editorial Acribia. Zaragoza, España, 1.



- Joseph. G. H. y Baier, W. E. 1949. Methods of determining the firmness and setting time of pectin test jellies. *Rev. Food Tech.* 18-22 pp.
- Pua, A. R., Barreto, G. R., & Ariza, C. S. (2015). Extracción y caracterización de la pectina obtenida a partir de la cáscara de limón Tahití (*Citrus x latifolia*) en dos estados de maduración. @ *limentech, Ciencia y Tecnología Alimentaria*, 13(2), 180-194.
- Rubiano Gonzalez, V., Montaña Numpaque, M., & da Silva Dias, N. (2022). Pectinas: extracción, usos e importancia en la agroindustria. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 6(5), 5294-5309. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v6i5.3498
- Vicens A, Fournand D, Williams P, Sidhoum L, Moutounet M, Doco T. (2009). Changes in Polysaccharide and Protein Composition of Cell Walls in Grape Berry Skin (Cv. Shiraz) during Ripening and Over-Ripening. *Journal of Agriculture and Food Chemistry* 57: 2955-2960.
- Willats, W. G. T., Knox, J. P., & Mikkelsen, J. D. (2006). Pectin: New insights into an old polymer are starting to gel. *Trends in Food Science & Technology*, 17(3), 97–104. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2005.10.008>