



CIEN+TEC UADY



Revista de difusión y divulgación científica



ISSN En trámite · **Volumen 3 · Número 1 · Julio de 2026**

CIEN+TEC UADY

Responsables Editoriales

Dr. David Betancur Ancona

Dr. Luis Chel Guerrero

Comité Técnico Editorial

Dr. Arturo Castellanos Ruelas

Dr. Eduardo Castañeda Pérez

Dr. Santiago Gallegos Tintoré

Dr. Wilbert Rodríguez Canto

Dr. Irving Sosa Crespo

Directivos de la Facultad de Ingeniería Química

M. en C. María Dalmira Rodríguez Martín

Directora de la Facultad

I.Q.I. Roger Vargas Interián

Secretario administrativo

M. en C. Ángel Ramiro Trejo Irogoyen

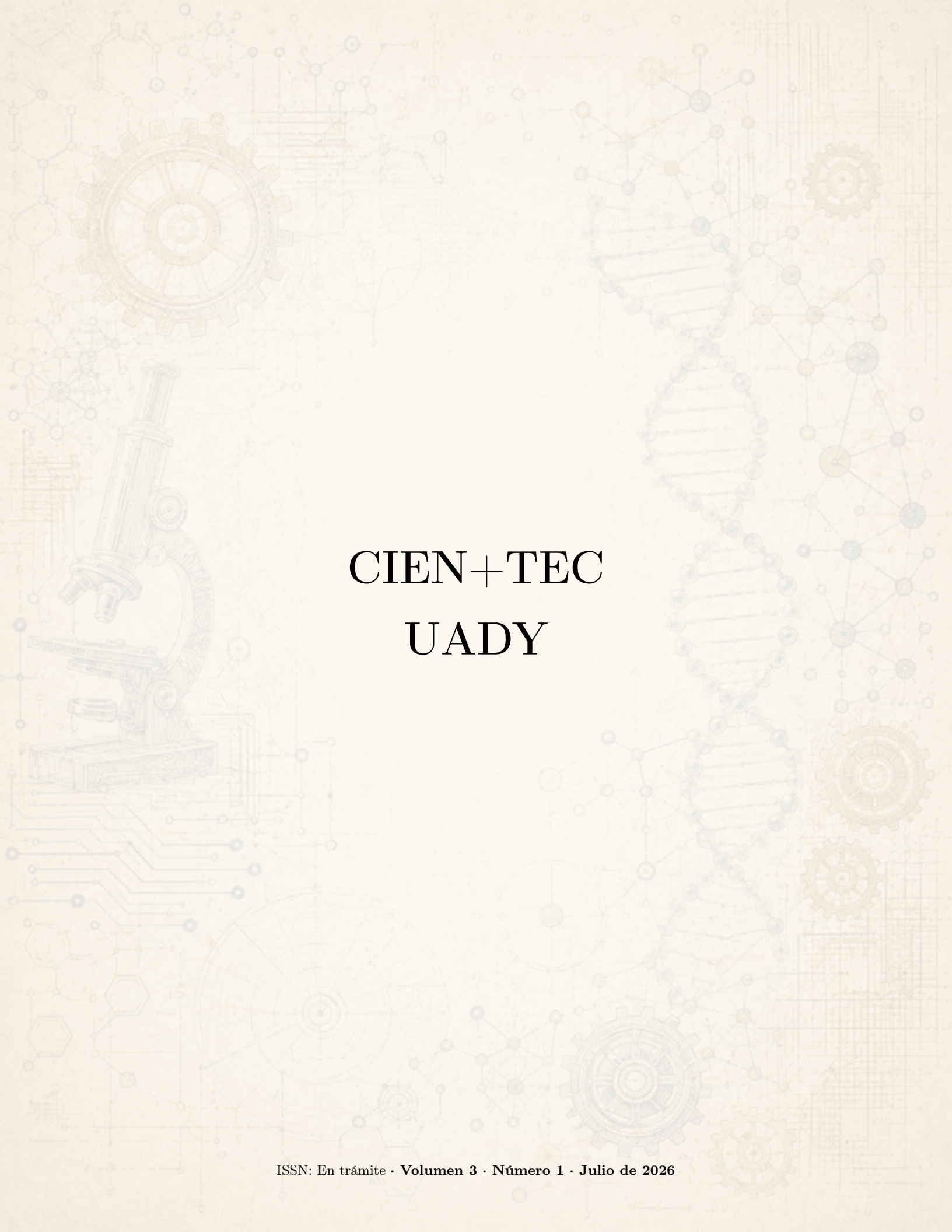
Secretario académico

Dra. Leydi Maribel Carrillo Cocom

Jefa de la Unidad de Posgrado e Investigación

Volumen 3 · Número 1 · Julio de 2026

correspondencia: cien.tec@correo.uady.mx



CIEN+TEC UADY

ISSN: En trámite • Volumen 3 • Número 1 • Julio de 2026

Índice

CIEN+TEC UADY · Vol. 3 · Núm. 1 · julio de 2026

El Potencial Oculto de las Semillas de Mamey: de Desecho Agroindustrial a Ingrediente Funcional Para Panes <i>Domínguez Tuz F.; López Martínez A.; Sánchez Tamay C.; Puc Santiago J.; Sosa Crespo I.*</i>	1
Aceite Esencial de Cáscara de Limón (<i>Citrus limon</i>). Desinfectante Ecológico para Reducir Microbios <i>Uicab Pech, E.; Cruz Hernández, O.; Montiel Ochoa, A.; Pineda Huerta, J.; Betancur Ancona, D.*</i>	16
Tabletas Efervescentes de Jamaica (<i>Hibiscus sabdariffa</i>): Influencia de la Formulación en su Disolución <i>Alvarado-Ventura E.; Camacho-Rivero G.; Echeverría-Avilés I.; Vázquez-Pastrana D.; Rodríguez-Canto W.*</i>	32
Evaluación de Tabletas Ecológicas para Limpieza Doméstica Elaboradas con Aceite Reciclado <i>Zurita Paz J.; Iuit Chay, E.; Alvidres Dionisio, J.; Chel Guerrero, L.; Gallegos Tintoré, S.*</i>	46
Valorización de Cáscara de Caimito Morado (<i>Chrysophyllum cainito</i> L.) Mediante la Obtención de Antocianinas para la Elaboración de Rubor Cosmético <i>Cardeña Fernández, D.; Escalante Interian A.; Gómez Rodríguez, J. L.; Magaña López, M. F.; Piña Encalada, C. A.; Castellanos Ruelas, A.; Castañeda Pérez, E.*</i>	61
Artículo de Opinión: ¿Cuáles Son las 10 Tendencias Actuales de la Ingeniería en Alimentos? <i>Betancur-Ancona, D.</i>	74
Cuento Científico: El Grano Dorado <i>Eduardo Castañeda Pérez</i>	82

El Potencial Oculto de las Semillas de Mamey: de Desecho Agroindustrial a Ingrediente Funcional Para Panes

The Hidden Potential of Mamey Seeds: From Agro-Industrial Waste to a Functional Ingredient for Breads

Domínguez-Tuz, F.; López-Martínez, A.; Sánchez-Tamay, C.; Puc-Santiago, J.; Sosa-Crespo, I.*

Facultad de Ingeniería Química, Universidad Autónoma de Yucatán · Periférico Norte Km. 33.5, Tablaje Catastral 13615, Col. Chuburná de Hidalgo Inn, 97203 Mérida, Yucatán, México · *e-mail: irving.sosa@correo.uady.mx

Resumen y Abstract

Resumen

Se evaluó la viabilidad de la harina de semillas de mamey (*Pouteria sapota*) como sustituto parcial de harina de trigo (15%, 20% y 30%) en pan tipo brioche. La harina fue obtenida mediante un proceso de desengrasado y secado. El rendimiento de harina fue de 3.96%. Todas las muestras presentaron volumen de miga reducido, atribuido a la calidad de la levadura, temperatura de activación, oxigenación excesiva y deficiente red de gluten. Un análisis sensorial con 12 jueces no entrenados mostró que color, textura y apariencia no presentaron diferencias significativas ($p > 0.05$), mientras que el sabor sí mostró variaciones significativas ($p < 0.05$). Niveles de hasta 15% de sustitución pueden mantener la aceptación sensorial. Los resultados sugieren que la harina de semillas de mamey tiene potencial como ingrediente funcional en productos de panificación enriquecidos.

PALABRAS CLAVE: MAMEY · SUSTITUTOS DE HARINA · PANIFICACIÓN · ANÁLISIS SENSORIAL · ATRIBUTOS SENSORIALES

Abstract

The feasibility of mamey seed flour (*Pouteria sapota*) as a partial substitute for wheat flour (15%, 20%, and 30%) in brioche-type bread was evaluated. The flour was obtained via a defatting and drying process. Flour yield was 3.96%. All samples showed reduced crumb volume, attributed to yeast quality, activation temperature, excessive oxygenation, and poor gluten network formation. A sensory analysis with 12 untrained judges showed no significant differences ($p > 0.05$) in color, texture, or appearance, while flavor showed statistically significant variations ($p < 0.05$). Substitution levels up to 15% can maintain sensory acceptability without affecting key attributes. These results suggest that mamey seed flour holds potential as a functional ingredient in enriched bakery formulations.

KEYWORDS: MAMEY · FLOUR SUBSTITUTES · BREAD MAKING · SENSORY PANEL · SENSORY ATTRIBUTES

Introducción

Contexto global

A nivel global, las pérdidas y el desperdicio de alimentos constituyen uno de los principales retos de los sistemas alimentarios contemporáneos. Según la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, 2019), aproximadamente un tercio de los alimentos producidos para consumo humano se pierde o desperdicia cada año, lo que equivale a cerca de 1,300 millones de toneladas. En este contexto, la valorización de subproductos agroindustriales adquiere especial relevancia, tanto desde una perspectiva económica como ambiental.

La incorporación de residuos de cultivos frutícolas —como semillas, cáscaras y huesos— en la elaboración de productos alimenticios no solo contribuye a la reducción del desperdicio, sino que también representa una oportunidad para diversificar las fuentes de ingredientes funcionales de bajo costo y alto impacto nutricional (Parfitt et al., 2010; Mirabella et al., 2014). En este marco, el empleo de recursos agroalimentarios subutilizados se posiciona como un pilar fundamental para el desarrollo de soluciones sostenibles en la industria alimentaria.

~1,300
millones de
ton/año

Alimentos
perdidos o
desperdiciados a
nivel mundial
(FAO, 2019)

⅓ de la
producción
mundial

Se pierde o
desperdicia antes
de llegar al
consumidor final

- **Semillas**
- **Cáscaras**
- **Huesos**

**Subproductos
frutícolas con alto
potencial como
ingredientes
funcionales**



El mamey (*Pouteria sapota*) y su semilla

El mamey (*Pouteria sapota*, familia Sapotaceae) es originario de América Central y el sur de México. Se trata de una especie de hoja perenne cuyos árboles pueden alcanzar entre 30 y 45 m de altura, y cuyo fruto requiere entre 3 y 4 años para madurar tras la plantación. Yucatán es el principal productor en México (~1,350 ha, rendimiento promedio de 12 ton/ha). La semilla, conocida también como "almendra de mamey", está recubierta por una testa dura de color café que debe retirarse antes del procesamiento; el núcleo comestible resultante constituye la materia prima para la elaboración de harinas. Dicha semilla representa entre el 15 y 25% del peso del fruto y es actualmente considerada un residuo agroindustrial subutilizado (Aguilar Carpio et al., 2015; Bernardino-Nicanor et al., 2014; De Oliveira et al., 2023).

Compuestos bioactivos

La harina desgrasada concentra proteínas, fibra y micronutrientes. Se han identificado polifenoles y taninos con actividad antioxidante, posicionándola como ingrediente promisorio para alimentos funcionales (Tacias-Pascacio et al., 2021; Solís-Fuentes et al., 2015; Bernardino-Nicanor et al., 2014). La actividad antioxidante de la harina de semilla de mamey ha sido cuantificada mediante ensayos DPPH y ABTS, evidenciando una capacidad significativa de captación de radicales libres. No obstante, la presencia de taninos puede comprometer la digestibilidad proteica y la palatabilidad del producto, razón por la cual el desengrasado y el tratamiento térmico constituyen etapas de procesamiento fundamentales para reducir los factores antinutricionales previo al consumo humano (Nolasco-González et al., 2022).

Composición nutricional

16.9% proteína Contenido proteico de la semilla (b.s.). Su perfil aminoacídico incluye aminoácidos esenciales como la lisina y aminoácidos azufrados, lo que refuerza su valor nutricional potencial.	35–49% aceite Fracción lipídica de la semilla entera (base seca). El aceite es rico en ácidos grasos oleico y esteárico, con aplicaciones tanto en la industria alimentaria como en la cosmética.	Minerales: Ca, P, Mg, Fe Macro y microelementos esenciales. Estos minerales contribuyen a la salud ósea y al correcto desarrollo de diversas funciones metabólicas en el organismo.	Vitaminas: Complejo B Vitaminas del grupo B presentes en la semilla. Desempeñan funciones clave en el metabolismo energético y en el mantenimiento del sistema nervioso.
Compuestos fenólicos Lucumina y ácido lucumínico. Estudios in vitro han demostrado que la lucumina posee actividad antifúngica y antimicrobiana, lo que amplía su interés más allá del campo nutricional.			

Introducción



Harinas no convencionales en panificación

La sustitución parcial de la harina de trigo por harinas no convencionales ha sido ampliamente explorada para mejorar el perfil nutricional de productos de panificación. Harinas de leguminosas (garbanzo, lenteja, soya), oleaginosas y frutas tropicales han demostrado ser fuentes viables de proteína, fibra y micronutrientes en formulaciones de pan, galletas y pasteles (Shevkani et al., 2019; Torbica et al., 2012). Las harinas vegetales —de sorgo, mijo, avena, amaranto y arroz— han ganado relevancia por sus características nutricionales y su aporte a la diversificación de ingredientes. La harina de semilla de mamey ha comenzado a recibir atención por su alto contenido de fibra, proteínas y antioxidantes (Nolasco-González et al., 2022; Martínez-Moreno et al., 2023; Aprodu et al., 2022), contribuyendo a la sostenibilidad y seguridad alimentaria. El pan tipo brioche, por su formulación enriquecida con huevo, mantequilla y azúcar, constituye una matriz particularmente idónea para la incorporación de ingredientes no convencionales, al ofrecer flexibilidad tecnológica y un perfil sensorial ampliamente aceptado por el consumidor.

Aplicaciones de la semilla de mamey



Perfumería y cosmética

Aceite hidratante empleado en la formulación de cremas, lociones y acondicionadores capilares por sus propiedades regeneradoras (Tacias-Pascacio et al., 2021; Solís-Fuentes et al., 2015).



Medicina tradicional

Se le atribuyen propiedades terapéuticas frente a afecciones coronarias, reumáticas y renales en la medicina popular de la región.



Alimentación humana

Área emergente con alto potencial de desarrollo; actualmente subutilizada en aplicaciones alimentarias para consumo humano directo.

Justificación

A pesar del potencial documentado de la semilla de *Pouteria sapota*, la investigación sobre su aplicación en panificación es aún escasa. La mayoría de los estudios disponibles se han centrado en la caracterización fisicoquímica o en su uso en alimentación animal. El presente estudio busca ampliar el conocimiento científico en esta área, reducir el desperdicio agrícola en Yucatán y ofrecer al sector panificador un ingrediente funcional, sostenible y de origen local.

Objetivos

Objetivo General

Evaluar sensorialmente harina a base de mamey (*Pouteria sapota*) para su potencial uso como sustituto parcial de la harina de trigo en un producto de panificación.

Objetivos Específicos

1

Recolección de semillas

Recolectar semillas de mamey provenientes de desperdicios caídos del árbol para el aprovechamiento y reducción de subproductos agroalimentarios.

2

Desarrollo de harina funcional

Desarrollar una harina funcional a base de la almendra obtenida de la semilla de mamey (*Pouteria sapota*) para su potencial consumo como sustituto alimentario.

3

Elaboración del pan

Elaborar un producto de panificación empleando diferentes porcentajes de harina de mamey (15%, 20% y 30%) para la sustitución parcial de harina de trigo.

4

Análisis sensorial

Realizar un análisis sensorial mediante un panel de 12 jueces no entrenados, evaluando color, textura, sabor y aspecto general.

Materiales y Métodos

Diseño Experimental

Se utilizó un **diseño experimental por bloques**. El factor principal fue el porcentaje de sustitución de harina de trigo por harina de mamey, evaluado por duplicado. Para el análisis sensorial, cada bloque correspondió a un juez no entrenado.

Nivel 0 — Control

100% harina de trigo

Nivel 1

15% harina de mamey + 85% harina de trigo

Nivel 2

20% harina de mamey + 80% harina de trigo

Nivel 3

30% harina de mamey + 70% harina de trigo

Las muestras se presentaron de forma codificada (ej. "PM30") en orden aleatorio para minimizar sesgos. En el análisis sensorial empleó una **escala hedónica estructurada de 5 puntos** (Anzaldúa-Morales, 2014): donde 1 = disgusta extremadamente ... 5 = gusta extremadamente.

Procesamiento de Semillas y Elaboración de Harina

Descripción del proceso



Recolección

Se recolectaron semillas de mamey provenientes de frutos caídos del árbol, seleccionando únicamente aquellas en buen estado y sin signos de descomposición.



Tostado

Las almendras secas se tostaron en horno a 150°C durante 20 min para reducir factores antinutricionales (taninos) y mejorar el perfil sensorial de la harina resultante.



Limpieza

Las semillas fueron lavadas con agua corriente para eliminar residuos de pulpa y suciedad superficial. Posteriormente se retiró manualmente la testa (cubierta dura exterior) para obtener la almendra.



Molienda

Las almendras tostadas se molieron en un procesador de alimentos hasta obtener una harina fina. La harina obtenida se tamizó con malla No. 40 para homogeneizar el tamaño de partícula.



Secado

La almendra limpia se sometió a secado en estufa a temperatura controlada (60°C) durante 24 h, hasta alcanzar una humedad adecuada para la molienda.



El rendimiento final de harina fue de **3.96%** respecto al peso inicial de frutos recolectados.



a) Semillas de mamey troceadas



b) Molienda de semillas

Elaboración de Pan Brioche

Tabla 1. Formulaciones evaluadas

Ingrediente	Control	15%	20%	30%
Harina trigo	200 g	170 g	160 g	140 g
Harina mamey	0 g	30 g	40 g	60 g
Azúcar	35 g	35 g	35 g	35 g
Leche	70 g	70 g	70 g	70 g
Levadura	2 g	2 g	2 g	2 g
Mantequilla	75 g	75 g	75 g	75 g

La Tabla 1 presenta las cuatro formulaciones evaluadas, donde la harina de trigo fue sustituida parcialmente por harina de semillas de mamey en proporciones de 15%, 20% y 30%, manteniendo constantes el resto de los ingredientes.



a) Preparación de la masa fermentada en el molde

La masa fue preparada integrando los ingredientes secos con los húmedos, amasando hasta obtener una consistencia homogénea. Posteriormente se colocó en moldes individuales para su fermentación.



b) Horneado del pan

Las piezas se hornearon a 180°C durante 38 min. La superficie fue barnizada con huevo batido previo al horneado para obtener un acabado dorado y brillante característico del brioche.

Procedimiento de elaboración



Mezclado

Integración de ingredientes secos (harinas, azúcar, levadura) con ingredientes húmedos (leche, mantequilla). Amasado hasta obtener masa homogénea y elástica.



Fermentación

Reposo de la masa a 45°C durante 1 hora para activación de la levadura y desarrollo de la estructura de gluten.



Moldeado

División y colocación de la masa en moldes individuales. Barnizado de la superficie con huevo batido.



Horneado

Cocción a 180°C por 38 minutos hasta obtener coloración dorada y cocción completa del producto.

Resultados

Obtención de Harina de Mamey

5 kg

Frutos caídos
recolectados

Peso inicial de materia prima

550 g

Semillas sin limpiar

Extraídas de los frutos

370 g

Almendra limpia

Tras eliminar testa coriácea

198 g

Harina fina obtenida

Producto final tras secado y
molienda

3.96%

Rendimiento total

Harina útil respecto al peso
inicial de frutos

Las semillas provenían de frutos caídos prematuramente, con maduración incompleta. Solís-Fuentes et al. (2015) reportaron que semillas inmaduras contienen 28.3% de aceite (b.h.) vs. 44.4% en maduras, por lo que **no se realizó extracción por solvente (Soxhlet)** debido al bajo rendimiento esperado.

Resultados

Productos de Panificación

Se elaboraron **16 piezas** de pan brioche. Todas las muestras presentaron un **aumento deficiente**, más pronunciado a mayor porcentaje de sustitución, resultando en miga densa con escasa aireación.



Piezas de pan brioche elaboradas con 0%, 15%, 20% y 30% de harina de mamey.



Calidad de la levadura

Se empleó levadura fresca próxima a su fecha de expiración, afectando la producción de CO_2 indispensable para el crecimiento de la masa.



Temperatura de activación

La leche utilizada alcanzó 38°C , superando el rango óptimo de $30\text{--}35^\circ\text{C}$, provocando inactivación parcial de los microorganismos.



Oxigenación excesiva

El amasado manual prolongado favoreció la incorporación excesiva de oxígeno, generando un ambiente oxidativo que comprometió la eficiencia de la levadura.



Red de gluten deficiente

La harina de mamey carece de gluten y contiene fibra y lípidos que interfieren con la estructura alveolar, comprometiendo la retención de gases al aumentar el porcentaje de sustitución.

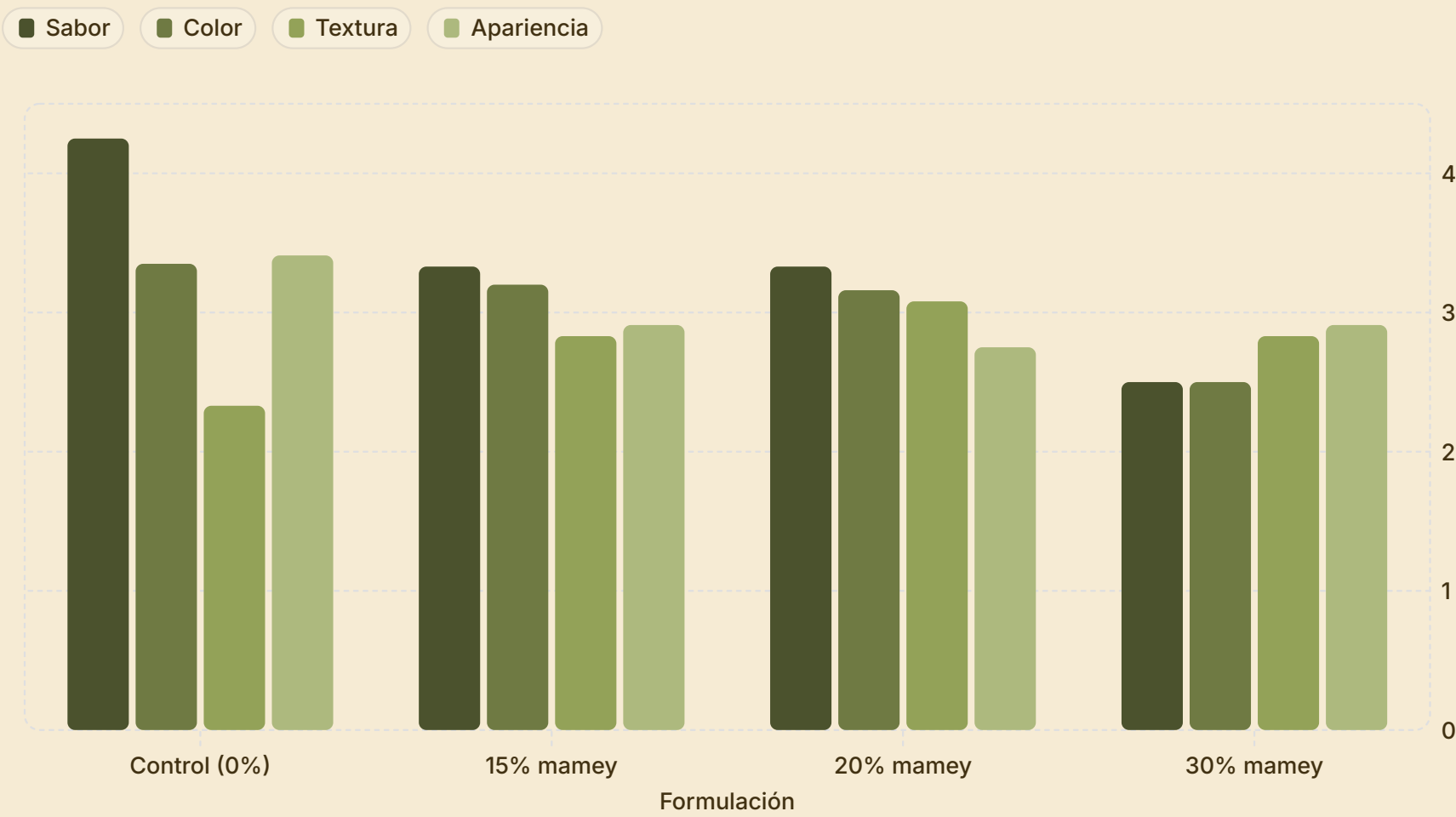
Análisis Sensorial

Panel de **12 jueces no entrenados** evaluó cuatro formulaciones con escala hedónica de 5 puntos bajo diseño de bloques completos al azar (Anzaldúa-Morales, 2014).

Tabla 2. Resultados sensoriales (media / moda)

Sustitución	Color	Sabor	Textura	Apariencia
0% (Control)	3.4 / 4	4.3 / 5	2.3 / 2	3.4 / 5
15%	3.2 / 3	3.3 / 3	2.8 / 3	2.9 / 5
20%	3.2 / 3	3.3 / 5	3.1 / 3	2.8 / 2
30%	2.5 / 1	2.5 / 1	2.8 / 1	2.9 / 3

La Tabla 2 muestra las calificaciones promedio y moda por atributo sensorial para cada formulación evaluada. Los valores más altos corresponden a mayor aceptación en la escala hedónica de 5 puntos.



Calificaciones promedio por atributo sensorial (escala 1–5).

Color, textura y apariencia: sin diferencias significativas ($p > 0.05$). **Sabor:** diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.05$); la sustitución al 20% obtuvo la mayor aceptación (moda = 5). La sustitución al 15% presentó el mayor nivel de aceptación en apariencia general (moda = 5).

Conclusiones

Viabilidad parcial confirmada

La harina de semilla de mamey puede incorporarse en panificación, aunque el desarrollo volumétrico se ve comprometido bajo las condiciones evaluadas (15–30% de sustitución).

Rendimiento bajo pero aprovechable

El rendimiento de 3.96% refleja las limitaciones del procesamiento manual y la maduración incompleta de las semillas, que presentaron menor acumulación lipídica, descartando el desengrasado por Soxhlet.

Factores limitantes identificados

La calidad de la levadura, temperatura de activación (38°C vs. óptimo 30–35°C), oxigenación excesiva y la deficiente red de gluten fueron determinantes en la reducción del volumen de miga.

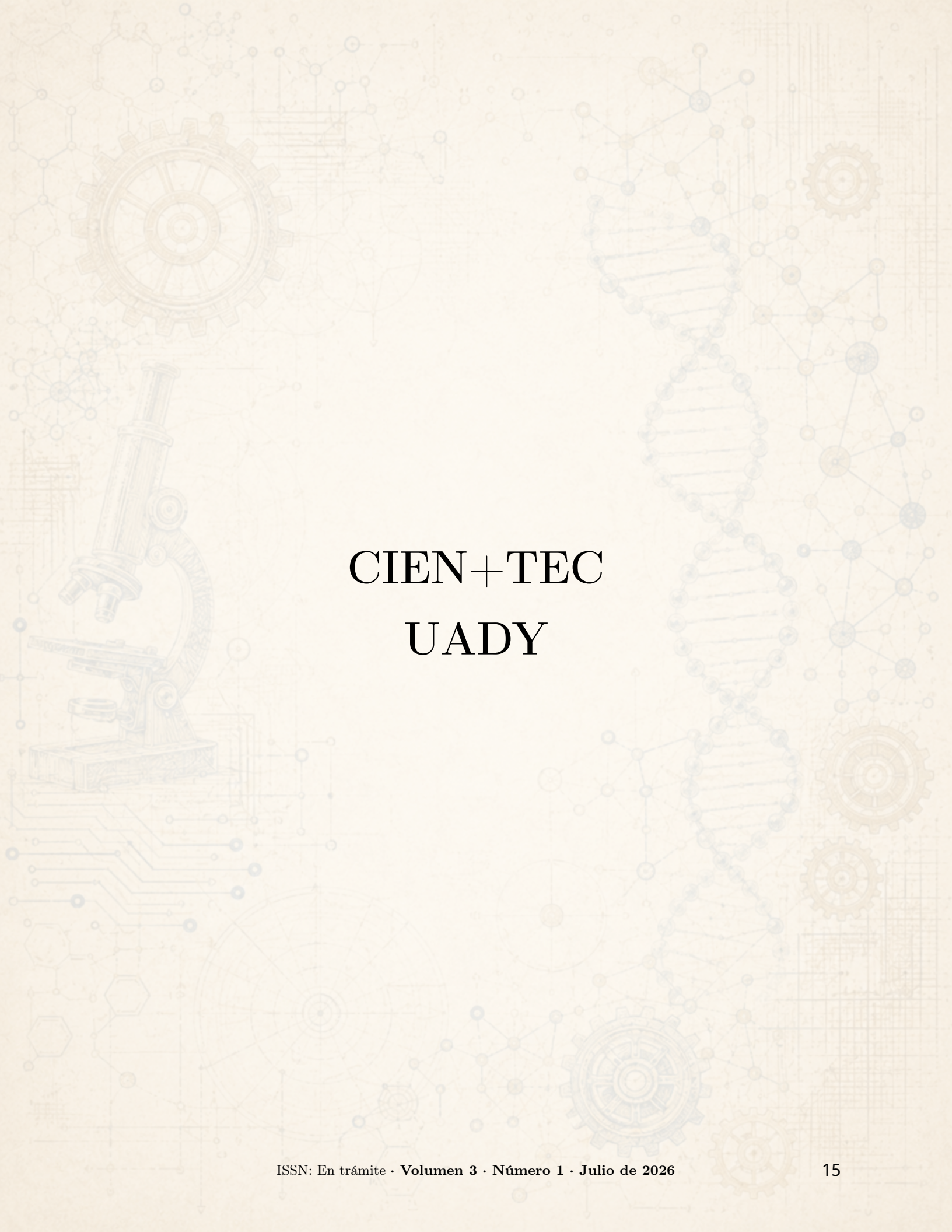
Aceptación sensorial hasta 15%

No hubo diferencias significativas en color, textura ni apariencia ($p > 0.05$). El sabor sí mostró diferencias ($p < 0.05$). Niveles $\leq 15\%$ son viables sensorialmente si se optimizan fermentación, amasado y calidad de levadura.

Se recomienda emplear levadura fresca en óptimas condiciones, controlar la temperatura de hidratación y explorar técnicas de pre-fermentación para mejorar el rendimiento volumétrico y la calidad final del pan.

Referencias

- Aguilar Carpio, C., González Hernández, V. A., Mora Aguilera, J. A., & Villegas Monter, Á. (2015). Estudio fenológico en zapote mamey (*Pouteria sapota*) en Guerrero, México. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 18(1), 71–79.
- Anzaldúa-Morales, A. (2014). *La evaluación sensorial de los alimentos en la teoría y la práctica* (2.^a ed.). Editorial Acribia.
- Aprodu, I., Badiu, E. A., & Banu, I. (2022). Sustainable plant-based ingredients as wheat flour substitutes in bread making. *NPJ Science of Food*, 6, 54. <https://doi.org/10.1038/s41538-022-00158-7>
- Bernardino-Nicanor, A., Bravo-Delgado, C. H., Vivar-Vera, G., Martínez-Sánchez, C. E., Pérez-Silva, A., Rodríguez-Miranda, J., & Vivar-Vera, M. A. (2014). Preparation, composition, and functional properties of a protein isolate from a defatted mamey sapote (*Pouteria sapota*) seed meal. *CyTA–Journal of Food*, 12(2), 176–182. <https://doi.org/10.1080/19476337.2013.810674>
- De Oliveira, A. C., Mar, J. M., Corrêa, R. F., Sanches, E. A., Campelo, P. H., Da Silva Ramos, A., & De Araújo Bezerra, J. (2023). *Pouteria* spp. fruits: Health benefits of bioactive compounds and their potential for the food industry. *Food Research International*, 173(Pt 1), 113310. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2023.113310>
- Martínez-Moreno, A. G., Moo-Huchin, V. M., Estrada-León, R. J., Cuevas-Glory, L. F., & Sauri-Duch, E. (2023). Nutritional composition, bioactive compounds and antioxidant capacity of *Pouteria sapota* seed by-products. *Food Chemistry Advances*, 3, 100436. <https://doi.org/10.1016/j.focha.2023.100436>
- Nolasco-González, Y., Ramírez-Sucre, M. O., Hernández-Carlos, B., & colaboradores. (2022). Characterization and potential applications of underutilized tropical fruit seed flours as functional food ingredients. *Foods*, 11(21), 3412. <https://doi.org/10.3390/foods11213412>
- Organización Mundial de la Salud (OMS). (2022). *Guideline: Fortification of wheat flour with vitamins and minerals as a public health strategy*. World Health Organization.
- Rao, P., & Rathod, V. K. (2019). Valorization of food and agricultural waste: a step towards greener future. *The Chemical Record*, 19(9), 1858–1871. <https://doi.org/10.1002/tcr.201800103>
- Solís-Fuentes, J. A., Ayala-Tirado, R. C., Fernández-Suárez, A. D., & Durán-de-Bazúa, M. C. (2015). Mamey sapote seed oil (*Pouteria sapota*): Potential, composition, fractionation and thermal behavior. *Grasas y Aceites*, 66(1), e059. <https://doi.org/10.3989/gya.0691141>
- Tacias-Pascacio, V. G., Rosales-Quintero, A., Rodrigues, R. C., Castañeda-Valbuena, D., Díaz-Suárez, P. F., Torrestiana-Sánchez, B., Jiménez-Gómez, E. F., & Fernandez-Lafuente, R. (2021). Aqueous extraction of seed oil from mamey sapote (*Pouteria sapota*) after Viscozyme L treatment. *Catalysts*, 11(6), 748. <https://doi.org/10.3390/catal11060748>
- Vásquez, F., Verdú, S., Islas, A. R., Barat, J. M., & Grau, R. (2016). Efecto de la sustitución de harina de trigo con harina de quinoa (*Chenopodium quinoa*) sobre las propiedades reológicas de la masa y texturales del pan. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*, 17(2), 307–317.



CIEN+TEC UADY

Aceite Esencial de Cáscara de Limón (*Citrus limon*). Desinfectante Ecológico para Reducir Microbios

Lemon Peel (*Citrus lemon*) Essential Oil. An Eco-Friendly Disinfectant for Microbial Reduction

Uicab-Pech, E.; Cruz-Hernández, O.; Montiel-Ochoa, A.; Pineda-Huerta, J. ; Betancur-Ancona, D.*

Facultad de Ingeniería Química, Universidad Autónoma de Yucatán, Mérida, Yucatán, México. Periférico Norte Km. 33.5, Tablaje
Catastral 13615, Colonia Chuburná de Hidalgo Inn, 97203 Mérida, Yucatán, México. *e-mail: bancona@correo.uady.mx

Resumen y Abstract

Resumen

Se evaluó la eficacia antimicrobiana de desinfectantes formulados con aceite esencial de cáscara de limón (*Citrus limon*) extraído por arrastre de vapor. Se compararon tres formulaciones —aceite esencial puro, con goma arábica y con lecitina de soya— frente a un desinfectante comercial, midiendo UFC/cm² a 24 y 48 h. La formulación con goma arábica mostró la mayor reducción microbiana, superando al control comercial. El ANOVA no reveló diferencias significativas ($p > 0.05$), pero las tendencias prácticas evidencian el potencial del aceite de limón como alternativa ecológica bajo un enfoque de economía circular.

PALABRAS CLAVE: CITRUS LIMON, ACEITE ESENCIAL, ACTIVIDAD ANTIMICROBIANA, ECONOMÍA CIRCULAR

Abstract

The antimicrobial efficacy of disinfectants formulated from lemon peel waste (*Citrus limon*) essential oil obtained by steam distillation was evaluated. Three formulations —pure essential oil, with gum arabic, and with soy lecithin— were compared to a commercial disinfectant by counting CFU/cm² after 24 and 48 h. The gum arabic formulation showed the greatest microbial reduction, surpassing the commercial control. ANOVA showed no statistically significant differences ($p > 0.05$), but practical trends demonstrate the potential of lemon essential oil as an ecological alternative within a circular economy approach.

KEYWORDS: CITRUS LIMON, ESSENTIAL OIL, ANTIMICROBIAL ACTIVITY, CIRCULAR ECONOMY

Introducción

El problema de los desinfectantes convencionales

Las superficies contaminadas constituyen un vector crítico de transmisión de enfermedades infecciosas: entre el **20 y el 40%** de las infecciones asociadas a la atención sanitaria están vinculadas a superficies y fómites inadecuadamente desinfectados (Dancer, 2014). La pandemia de COVID-19 intensificó exponencialmente el uso de desinfectantes a escala global, tanto en entornos hospitalarios como domésticos e industriales (Hora et al., 2020), evidenciando la necesidad urgente de soluciones eficaces y seguras.

⚠ Toxicidad crónica

Compuestos como el **amonio cuaternario**, **hipoclorito de sodio**, **glutaraldehído** y **fenoles** presentan efectos negativos documentados sobre la salud humana y animal, con exposición crónica asociada a daño respiratorio, dérmico y sistémico.

🌍 Baja biodegradabilidad

Estos desinfectantes presentan **alta persistencia en el ambiente** y escasa capacidad de degradación natural, generando contaminación acumulativa en ecosistemas acuáticos y terrestres con impactos de largo plazo.

🦠 Resistencia antimicrobiana

El uso masivo e indiscriminado ha favorecido el **desarrollo de resistencia** en microorganismos de relevancia clínica, amenazando la eficacia de los tratamientos médicos actuales (Angane et al., 2022; Buffet-Bataillon et al., 2012).

- ❗ Esta situación impulsa con urgencia la búsqueda de **alternativas naturales, efectivas y ambientalmente responsables** que puedan reemplazar o complementar a los desinfectantes convencionales.





El aceite esencial de *Citrus limon*

El limón (*Citrus limon*) es una fuente particularmente rica de aceites esenciales extraídos de su cáscara, con reconocida actividad antimicrobiana de amplio espectro.



Composición química

Limoneno (60–70%), β -pineno, γ -terpineno, linalool, α -terpineol y citral, entre otros terpenos y monoterpenos de reconocida actividad biológica (Deka et al., 2025; Morcia et al., 2020).



Mecanismo de acción

Los terpenos actúan sobre la membrana celular bacteriana, alterando su permeabilidad e integridad, causando fuga de contenido intracelular y muerte celular (Saddiq & Khayat, 2010).



Inhibición enzimática y estrés oxidativo

Se ha documentado la inhibición de enzimas metabólicas esenciales y la inducción de estrés oxidativo como mecanismos complementarios (Nazzaro et al., 2013).



Eficacia comprobada

Estudios *in vitro* demuestran eficacia frente a *Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli* y *Salmonella* spp., en cepas de referencia y aislamientos clínicos resistentes (Deka et al., 2025; Angane et al., 2022).

Economía circular y justificación del estudio

México y la industria citrícola

- México es uno de los principales productores mundiales de limón, con más de 2.5 millones de toneladas anuales (SIAP, 2023).
- Las cáscaras y semillas representan el 30–40% del peso del fruto y son descartadas sin aprovechamiento (Khiri et al., 2025).
- La extracción de aceites esenciales transforma residuos en recursos de alto valor agregado, alineada con los principios de economía circular (Ellen MacArthur Foundation, 2013).
- Responde a los ODS de la ONU: producción y consumo responsables, protección de ecosistemas.

Justificación del estudio

Existe una necesidad urgente de desarrollar formulaciones desinfectantes eficaces, biodegradables, de bajo costo y con menor impacto sobre la salud humana y el ambiente. Este estudio evalúa la actividad antimicrobiana de desinfectantes formulados a partir del aceite esencial de cáscara de limón (*Citrus limon*) obtenido por arrastre de vapor, comparando tres formulaciones —aceite esencial puro, con goma arábica y con lecitina de soya— frente a un desinfectante comercial de referencia, aportando evidencia experimental sobre el potencial de formulaciones naturales con aplicabilidad doméstica e industrial.

Objetivo

Objetivo General

Evaluar la eficacia antimicrobiana de desinfectantes elaborados a partir de aceite esencial obtenido de residuos de cáscara de limón (*Citrus limon*) y compararlos con un desinfectante comercial de uso doméstico.

Objetivo Específico 1

Extraer aceite esencial de residuos de cáscara de limón mediante un sistema adaptado de arrastre de vapor.

Objetivo Específico 2

Formular tres desinfectantes naturales: aceite esencial puro, con goma arábica y con lecitina de soya.

Objetivo Específico 3

Determinar la reducción microbiana (UFC/cm²) en superficies cotidianas a 24 y 48 h de incubación y comparar estadísticamente los tratamientos.

Materiales y Métodos

Extracción y Formulación



Materia Prima

~500 g de cáscaras y semillas de limón de bajo valor comercial.



Sistema de Extracción por arrastre de vapor

Olla metálica conectada a tubo de cobre de ½ pulgada recubierto con tela húmeda para condensación (basado en Grande-Tovar et al., 2013).



Ebullición Controlada

Se mantuvo flujo de ~1 gota/segundo para asegurar extracción eficiente.



Separación

El condensado se separó por diferencia de densidades con jeringa estéril, obteniendo ~28 mL de aceite esencial.





Formulación de Desinfectantes

Se prepararon tres formulaciones en relación 1:1 (v/v) agua destilada:aceite esencial (10 mL c/u):

Tratamiento A

Aceite esencial puro

Tratamiento B

Aceite esencial + goma arábica (1 g)

Tratamiento C

Aceite esencial +
lecitina de soya (1 g)

Tratamiento D (Control)

Desinfectante
comercial "Family
Guard" aroma cítrico

Evaluación Microbiológica y Diseño Experimental



Método de Placas

Medio nutritivo MCD LAB®.
Siembra por estriado con
hisopos en campana de flujo
laminar. Incubación a 24 y 48 h;
conteo de UFC/cm².



Superficies Analizadas

Pantalla de celular, superficie de
mesa y teclado de computadora,
representando superficies de
uso cotidiano.



Diseño Experimental

Bloques completamente al azar:
4 tratamientos × 3 bloques
(superficies). Análisis con
medidas de tendencia central y
ANOVA ($\alpha = 0.05$).

Tratamiento	Celular (1)	Mesa (2)	Teclado (3)
Aceite esencial (A)	A1	A2	A3
Goma arábica (B)	B1	B2	B3
Lecitina de soya (C)	C1	C2	C3
Desinfectante comercial (D)	D1	D2	D3



Resultados y Discusión:

Conteo Microbiológico

La extracción por arrastre de vapor rindió ~28 mL de aceite esencial a partir de 500 g de residuos, confirmando la viabilidad del aprovechamiento de subproductos cítricos.

Los resultados del conteo de UFC/cm² a las 24 y 48 horas muestran diferencias notables entre los tratamientos. La goma arábica presentó el menor recuento microbiano en ambos tiempos de incubación, seguida del aceite esencial puro y la lecitina de soya. El desinfectante comercial, utilizado como control positivo, registró los valores más altos de UFC/cm², lo que indica que los desinfectantes formulados con aceite esencial de *Citrus limon* superaron su eficacia antimicrobiana.

UFC/cm² a 24 horas

Superficie	Goma arábica	Lecitina de soya	Aceite esencial	Desinfectante comercial
Celular	0	0.026	0.026	0
Mesa	0.064	0.153	0.013	0.420
Teclado	0.089	0.217	0.382	0.815
Promedio	0.051	0.132	0.140	0.412

UFC/cm² a 48 horas

Superficie	Goma arábica	Lecitina de soya	Aceite esencial	Desinfectante comercial
Celular	0	0.051	0.127	0
Mesa	0.267	0.573	0.026	0.624
Teclado	0.153	0.357	0.548	0.980
Promedio	0.140	0.327	0.233	0.535

UFC: Unidades Formadoras de Colonias por cm². Valores redondeados a 3 decimales. Menor valor indica mayor eficacia antimicrobiana.

Efectividad de los Tratamientos

La formulación con goma arábica mantuvo la menor carga microbiana a 24 h (0.0510 UFC/cm²) y 48 h (0.1401 UFC/cm²), superando al desinfectante comercial (0.4117 y 0.5348 UFC/cm², respectivamente). Este desempeño superior se atribuye a la capacidad emulsificante de la goma arábica, que favorece la dispersión homogénea del aceite esencial, incrementando la interacción de los compuestos antimicrobianos con las superficies tratadas. Los terpenos —especialmente el limoneno— alteran la integridad de las membranas bacterianas por su naturaleza hidrofóbica, causando fuga de contenido intracelular (Połec et al., 2020).

La lecitina de soya mostró un desempeño intermedio a 24 h (0.1316 UFC/cm²), sin embargo, aumentó considerablemente a 48 h (0.3268 UFC/cm²), sugiriendo menor estabilidad en el tiempo comparada con la goma arábica. El aceite esencial puro presentó valores similares a la lecitina a 24 h (0.1401 UFC/cm²) pero mostró mejor comportamiento a 48 h (0.2334 UFC/cm²), posiblemente por la mayor concentración de compuestos activos sin dilución por emulsificante. Estos resultados son consistentes con estudios previos que reportan mayor eficacia antimicrobiana de aceites esenciales cítricos cuando se formulan con agentes emulsificantes adecuados (Al-Mijalli et al., 2023).



Celular

Superficie lisa y homogénea.
Menores recuentos de UFC/cm² en la mayoría de tratamientos.
Permite distribución más efectiva del agente antimicrobiano.



Mesa

Superficie intermedia. Recuentos moderados. La goma arábica mostró **0.064 UFC/cm²** a 24 h frente a **0.4202** del control comercial.

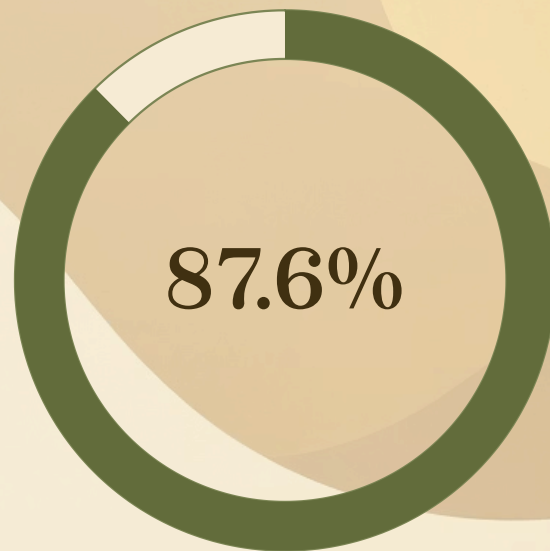


Teclado

Superficie más rugosa e irregular.
Valores más altos de UFC/cm² en todos los tratamientos. Dificulta el contacto uniforme del desinfectante.

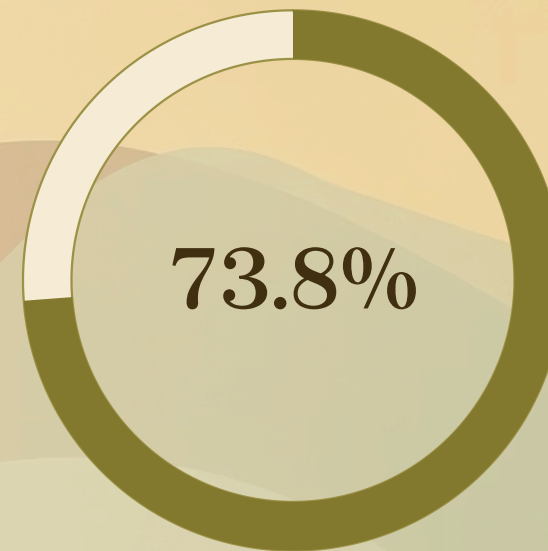
Tendencia Temporal en la Actividad Antimicrobiana

En general, todos los tratamientos mostraron un incremento en el recuento de UFC/cm² de 24 a 48 h, lo que indica que la actividad antimicrobiana disminuye con el tiempo, probablemente por evaporación de los compuestos volátiles del aceite esencial y degradación de los emulsificantes en las superficies tratadas. La goma arábica fue el tratamiento que mejor mantuvo su eficacia en el tiempo, registrando el menor incremento relativo entre 24 y 48 h, lo que refuerza su idoneidad como agente emulsificante en formulaciones desinfectantes de base natural.



Reducción a 24 h

Reducción microbiana de goma arábica vs.
control comercial a 24 h



Reducción a 48 h

Reducción microbiana de goma arábica vs.
control comercial a 48 h

Análisis Estadístico (ANOVA)

ANOVA 24 h

$p = 0.337$ ($p > 0.05$). Sin diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos. Esto puede atribuirse al tamaño de muestra reducido ($n=3$ bloques) y a la alta variabilidad entre superficies, lo que limita la potencia estadística del análisis.

ANOVA 48 h

$p = 0.256$ ($p > 0.05$). Sin diferencias estadísticamente significativas. La variabilidad observada en el teclado (superficie más irregular) contribuye a la dispersión de los datos y reduce la capacidad del ANOVA para detectar diferencias reales entre tratamientos.

Relevancia Práctica

A pesar de la ausencia de significancia estadística, las tendencias experimentales son consistentes y biológicamente relevantes. La formulación con goma arábica redujo la carga microbiana en un 87.6% respecto al control comercial a 24 h, evidenciando el potencial real de las formulaciones naturales (Al-Mijalli et al., 2023).

❗ Nota metodológica: La ausencia de significancia estadística ($p > 0.05$) debe interpretarse con cautela dado el diseño experimental con $n=3$ bloques. Se recomienda ampliar el tamaño de muestra en estudios futuros para aumentar la potencia estadística del análisis.

Conclusiones

→ Actividad antimicrobiana comprobada

El aceite esencial de cáscara de limón presentó actividad antimicrobiana relevante frente a microorganismos en superficies de uso cotidiano.

→ Mejor formulación: goma arábica

La formulación con goma arábica mostró el mejor desempeño microbiológico, incluso superior al desinfectante comercial de referencia.

→ Potencial como alternativa natural

Aunque sin diferencias estadísticamente significativas, las tendencias experimentales evidencian el potencial de los aceites esenciales cítricos como desinfectantes naturales y sustentables.

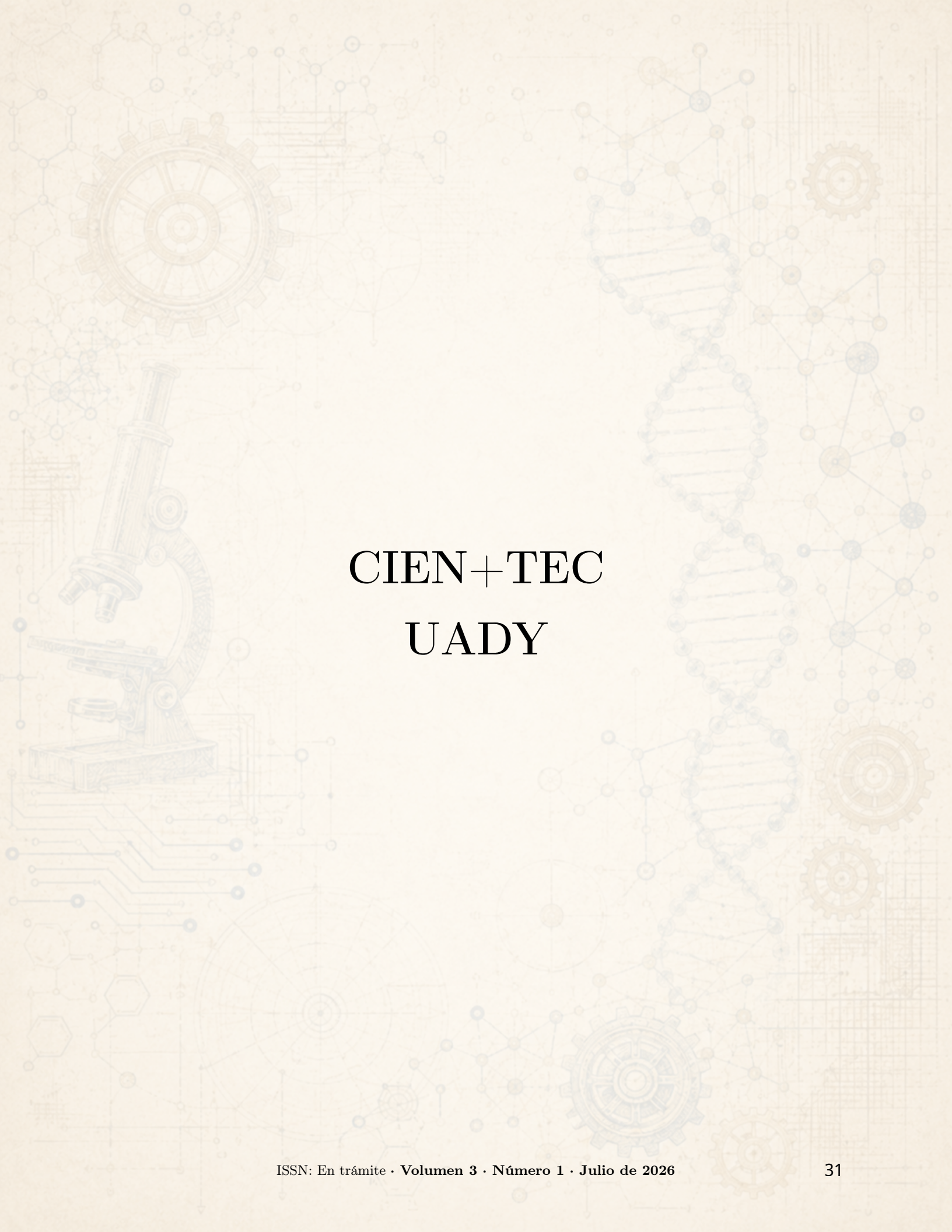
→ Economía circular

El aprovechamiento de residuos agrícolas de limón es una estrategia viable que contribuye a reducir el desperdicio alimentario y el impacto ambiental.



Referencias

- Al-Mijalli, S. H., Jeddi, M., El Hachlafi, N., Abdallah, E. M., Assaggaf, H., Qasem, A., & Mrabti, H. N. (2023). Combination of sweet orange, lentisk and lemon eucalyptus essential oils: Optimization of a new complete antimicrobial formulation using a mixture design methodology. *Heliyon*, 9(9), e19814. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e19814>
- Angane, M., Swift, S., Huang, K., Butts, C. A., & Quek, S. Y. (2022). Essential oils and their major components: An updated review on antimicrobial activities, mechanism of action and their potential application in the food industry. *Foods*, 11(3), 464. <https://doi.org/10.3390/foods11030464>
- Buffet-Bataillon, S., Tattevin, P., Bonnaure-Mallet, M., & Jolivet-Gougeon, A. (2012). Emergence of resistance to antibacterial agents: The role of quaternary ammonium compounds—a critical review. *International Journal of Antimicrobial Agents*, 39(5), 381–389. <https://doi.org/10.1016/j.ijantimicag.2012.01.011>
- Dancer, S. J. (2014). Controlling hospital-acquired infection: Focus on the role of the environment and new technologies for decontamination. *Clinical Microbiology Reviews*, 27(4), 665–690. <https://doi.org/10.1128/CMR.00020-14>
- Deka, S., Gogoi, R., Das, S. S., Kashyap, B., Talukder, A., Bora, N. S., Dua, T. K., & Dutta, K. N. (2025). Chemical composition, antimicrobial activity and in silico analysis of essential oils from *Citrus limon* and *Citrus hystrix* peels indigenous to northeast India. *In Silico Research In Biomedicine*, 1, 100125. <https://doi.org/10.1016/j.insr.2025.100125>
- Ellen MacArthur Foundation. (2013). *Towards the circular economy Vol. 1: An economic and business rationale for an accelerated transition*. Ellen MacArthur Foundation. <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/towards-the-circular-economy-vol-1-an-economic-and-business-rationale-for-an>
- Hora, P. I., Pati, S. G., McNamara, P. J., & Arnold, W. A. (2020). Increased use of quaternary ammonium compounds during the SARS-CoV-2 pandemic and beyond: Consideration of environmental implications. *Environmental Science & Technology Letters*, 7(9), 622–631. <https://doi.org/10.1021/acs.estlett.0c00437>
- Kchaou, M., Abuhasel, K., Khadr, M., Hosni, F., & Alquraish, M. (2020). Surface disinfection to protect against microorganisms: Overview of traditional methods and issues of emergent nanotechnologies. *Applied Sciences*, 10(17), 6040. <https://doi.org/10.3390/app10176040>
- Khiri, S., Ullah, N., Boubal, Z., Janati, W., Amalich, S., Lgaz, H., Jacobsone, M. G., & Elmaaiden, E. (2025). Transforming essential oil extraction wastes: Sustainable valorization approaches for agricultural, industrial, and cosmetic applications. *Biomass and Bioenergy*, 201, 108109. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2025.108109>
- Morcia, C., Tumino, G., Ghizzoni, R., Bara, A., Salmistraro, D., & Terzi, V. (2020). Limonene in plant extracts and its potential use as a biopesticide. *Molecules*, 25(1), 218. <https://doi.org/10.3390/molecules25010218>
- Nazzaro, F., Fratianni, F., De Martino, L., Coppola, R., & De Feo, V. (2013). Effect of essential oils on pathogenic bacteria. *Pharmaceuticals*, 6(12), 1451–1474. <https://doi.org/10.3390/ph6121451>
- Połec, K., Olechowska, K., Masłowiec, D., Wójcik, K., & Hąc-Wydro, K. (2020). The effect of major terpenes of the hop essential oil on the mixed monolayers and bilayers imitating bacteria membranes. *Journal of Molecular Liquids*, 327, 114903. <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2020.114903>
- Saddiq, A. A., & Khayyat, S. A. (2010). Chemical and antimicrobial studies of monoterpene: Citral. *Pesticide Biochemistry and Physiology*, 98(1), 89–93. <https://doi.org/10.1016/j.pestbp.2010.05.004>
- SIAP. (2023). *Estadística de producción agrícola*. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera, Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. <https://www.gob.mx/siap>



CIEN+TEC UADY



Tabletas Efervescentes de Jamaica (*Hibiscus sabdariffa*): Influencia de la Formulación en su Disolución

Effervescent Tablets of Jamaica (*Hibiscus sabdariffa*): Influence of the Formulation on its Dissolution

**Alvarado-Ventura, E.; Camacho-Rivero, G.;
Echeverria-Avilés, I.; Vázquez-Pastrana, D.;
Rodríguez-Canto, W.***

Facultad de Ingeniería Química, Universidad Autónoma de Yucatán
Periférico Norte Km. 33.5, Tablaje Catastral 13615, Col. Chuburná de
Hidalgo Inn, 97203 Mérida, Yucatán, México. *e-mail:
wilbert.rodriguez@correo.uady.mx

Resumen y Abstract

Resumen

Se evaluó el efecto de la fuerza de compresión y la concentración del agente efervescente en el tiempo de disolución, pH, densidad y aceptación sensorial de comprimidos elaborados con extracto seco de jamaica (*Hibiscus sabdariffa*). Mediante un diseño factorial 2×2 (2000 y 5000 psi; 1 y 1.6 g de agente efervescente), se encontró una interacción significativa ($p<0.05$): el mayor tiempo de disolución fue 240 s (máxima presión y concentración) y el menor fue 63 s (menor presión, mayor agente). El pH se mantuvo estable (~5.3–5.5). La densidad se duplicó al aumentar el agente. Sensorialmente, color y apariencia fueron calificados positivamente por el 100% de los panelistas; el dulzor requiere mejora.

PALABRAS CLAVE:

Jamaica · *Hibiscus sabdariffa* · comprimido efervescente · compresión directa · disolución · análisis sensorial

Abstract

The effect of compression pressure and effervescent agent concentration on dissolution time, pH, density, and sensory acceptance of tablets made with dry extract of Jamaica (*Hibiscus sabdariffa*) was evaluated. Using a 2×2 factorial design (2000 and 5000 psi; 1 and 1.6 g of effervescent component), a significant interaction ($p<0.05$) was found: the longest dissolution time was 240 s (maximum pressure and concentration) and the shortest was 63 s (lower pressure, higher agent). pH remained stable (~5.3–5.5). Density doubled with increased agent. Sensorially, color and appearance were rated positively by 100% of panelists; sweetness requires improvement.

KEYWORDS:

Jamaica · *Hibiscus sabdariffa* · effervescent tablet · direct compression · dissolution · sensory analysis

Introducción

Jamaica y bebidas funcionales

La **Jamaica** (*Hibiscus sabdariffa*) es ampliamente utilizada en la industria alimentaria y medicinal por sus destacadas propiedades funcionales. Su consumo se asocia con:

→ **Beneficios cardiovascular es y metabólicos**

Reducción de presión arterial, control de glucosa y mejora del perfil lipídico (*Cruz-Cansino et al., 2015; Wong-Paz et al., 2020*).

→ **Riqueza en compuestos bioactivos**

Alto contenido de **antocianinas, flavonoides y vitamina C** con propiedades antioxidantes y antiinflamatorias (*Ramírez-Rodríguez et al., 2018; Morales-Luna et al., 2017*).

→ **Mercado global de bebidas listas para beber (RTD) en expansión**

El mercado de bebidas RTD alcanzó **~100 mil millones de dólares en 2023**, con proyección de crecimiento del **6% anual** hasta 2031. Los sabores herbales como la Jamaica destacan por su frescura y naturalidad. El secado por aspersión preserva eficazmente sus compuestos bioactivos (*Cissé et al., 2012*).



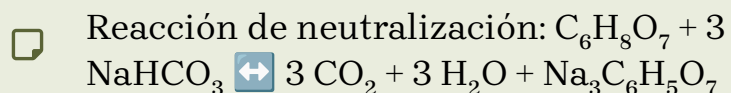
Tabletas efervescentes y mecanismo de acción

Formulaciones efervescentes

Las tabletas efervescentes combinan ácidos orgánicos (cítrico, ascórbico) con bicarbonato de sodio. Estudios previos con extractos de frutas como el Bael (*Aegle marmelos*) demuestran que esta combinación mejora la solubilidad y liberación de antioxidantes. Los comprimidos representan entre el **40 y 70%** de las formas farmacéuticas comercializadas (Tamayo Villacres, 2020).

Mecanismo de efervescencia

Al contacto con agua, el ácido cítrico reacciona con el bicarbonato generando CO_2 , que fragmenta la tableta y dispersa los ingredientes homogéneamente sin agitación mecánica (Parikh, 2010). Un mayor contenido de ácido cítrico puede acelerar la reacción y modificar el perfil de sabor (Meisner et al., 2023). La producción debe minimizar el contacto con humedad, ya que la reacción es difícil de detener una vez iniciada.



Compresión, densidad y disolución

Compresión y porosidad

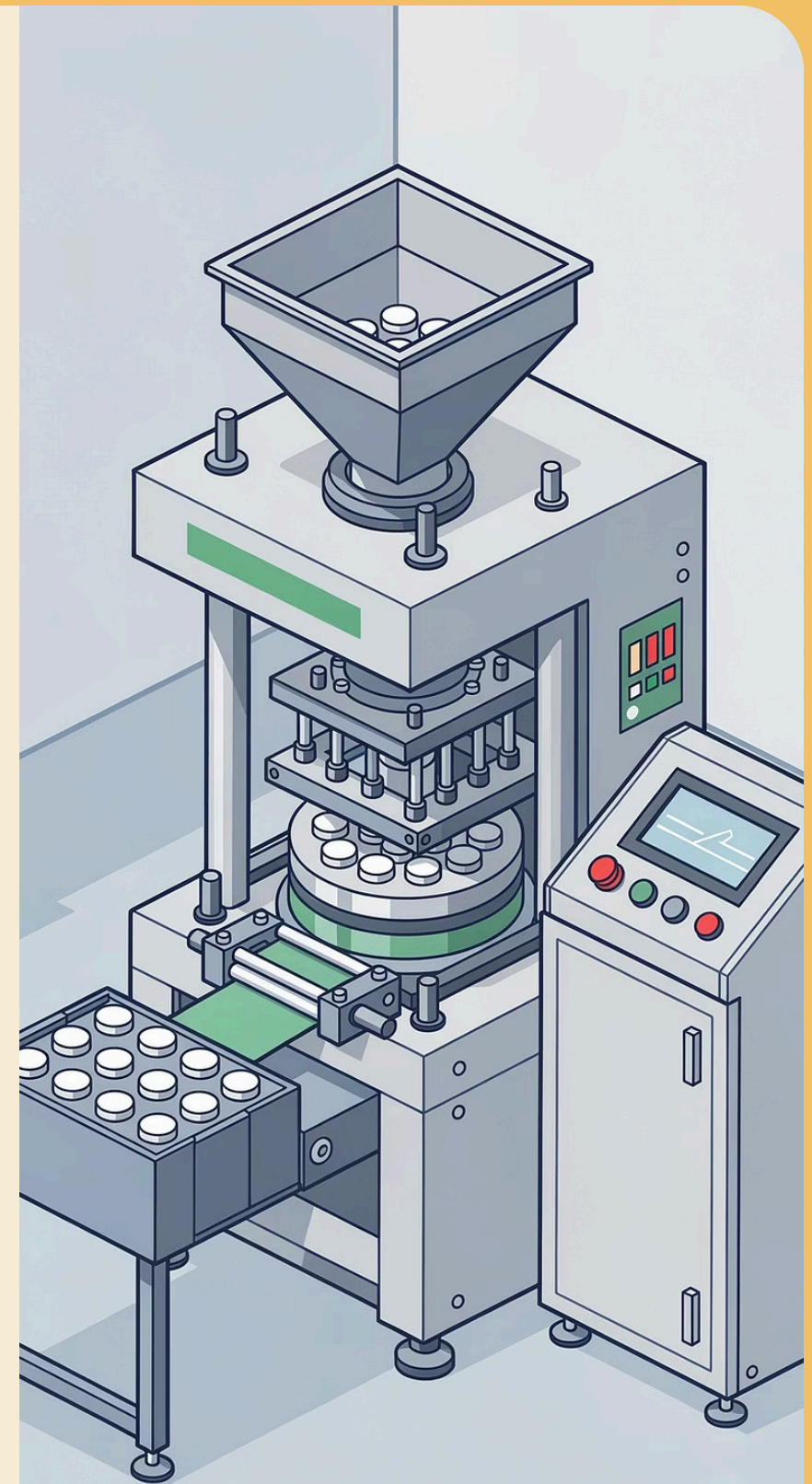
Ajustar la fuerza de compresión controla la densidad de la tableta, impactando directamente la velocidad de disolución. Las tabletas más porosas permiten mayor penetración de agua, activando la reacción efervescente eficientemente (Iqbal & Hasan, 2024).

Compresión excesiva

Una compresión excesiva dificulta la desintegración, prolongando la liberación de ingredientes activos. El tamaño de partícula y la humedad residual también alteran la cohesión y estabilidad de la mezcla (Pei et al., 2013).

Tiempo de disolución óptimo

Las formulaciones optimizadas logran disolverse en menos de **60 segundos**, asegurando liberación inmediata de compuestos activos y máxima biodisponibilidad, especialmente valiosa en productos nutraceuticos y funcionales.



Objetivos

Objetivo General:

Evaluar el efecto de la **fuerza de compresión** y la **concentración del agente efervescente** sobre algunas propiedades fisicoquímicas de comprimidos elaborados con extracto de *Hibiscus sabdariffa*, buscando un producto innovador que combine los beneficios funcionales de la planta con la conveniencia de las bebidas instantáneas.

Objetivos Específicos:

01

Elaborar los comprimidos mediante una prensa hidráulica con base en un diseño factorial.

02

Analizar el efecto de los factores en el tiempo de disolución, pH y sólidos solubles en agua.

03

Determinar la densidad de los comprimidos mediante desplazamiento de volumen.

04

Evaluar mediante prueba sensorial la aceptación de las bebidas obtenidas.

Materiales y Métodos

Elaboración de pastillas efervescentes

Se siguió un **diseño factorial 2²** variando dos factores: la **presión de compresión** y la **cantidad de agente efervescente**. Cada pastilla contenía:

0.45 g

Extracto seco de
Jamaica

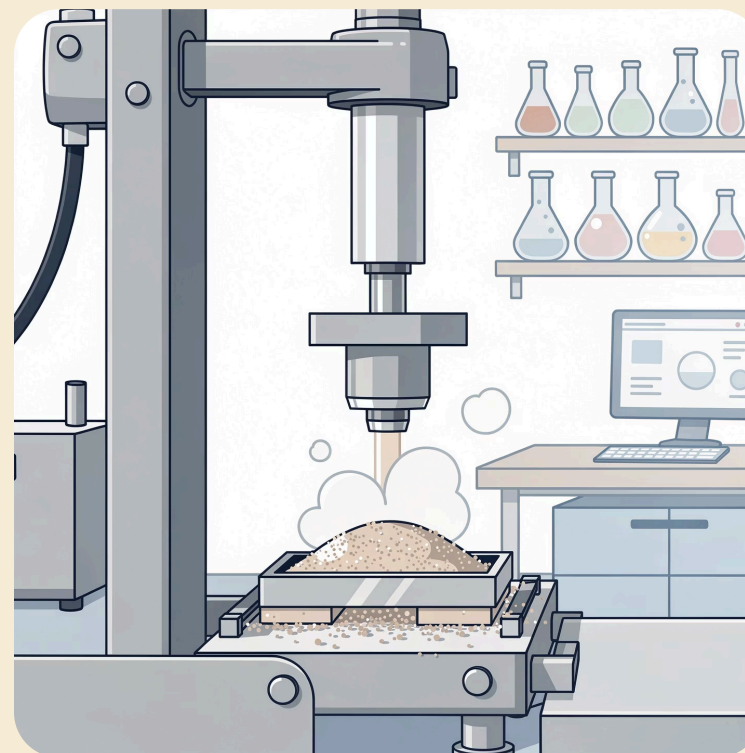
0.43 g

Stevia

1:1.2

Relación ácido cítrico : bicarbonato de sodio

Tratamiento	Ag. efervescente (g)	Presión (psi)
AF1P2	1.0	2000
AF1.6P2	1.6	2000
AF1P5	1.0	5000
AF1.6P5	1.6	5000
PC (×4)	1.3	3500



Las mezclas se colocaron en molde manual esterilizado (agua a 100 °C, 10 min), se aplicó la presión indicada durante **10 minutos** con prensa hidráulica y se utilizaron inmediatamente en las pruebas correspondientes.

Determinaciones analíticas



Tiempo de disolución

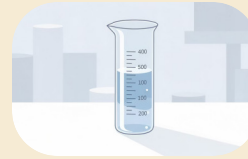
Se añadió la pastilla a **100 ml de agua destilada a 25 °C**. El tiempo se registró con **cronómetro digital** desde el contacto con el agua hasta el cese total de efervescencia y partículas visibles, sin agitación mecánica.

Los datos se analizaron con **ANOVA y prueba de Tukey** ($p < 0.05$) para identificar diferencias significativas entre tratamientos.



pH y °Brix

El pH se midió con **potenciómetro Hanna HI6221**, calibrado con búferes 4, 7 y 9. Los sólidos solubles se determinaron con **refractómetro Alla France 950.032** en °Brix, aplicando corrección por temperatura.



Densidad

Masa determinada en **balanza granataria**. Volumen por desplazamiento en **probeta de 100 ml** (con 70 ml iniciales). Densidad calculada como **masa / volumen desplazado**, evitando la interferencia de la efervescencia.

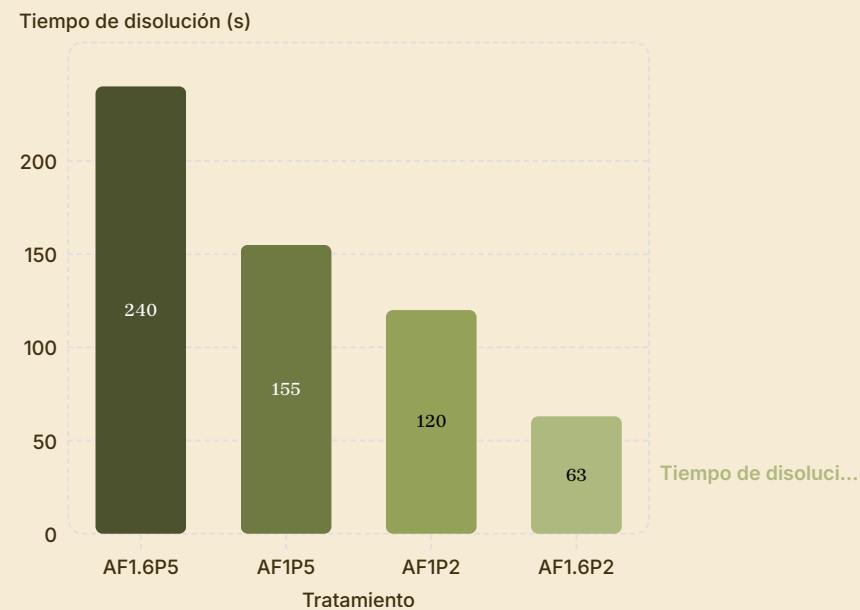


Análisis sensorial

Al mejor tratamiento se le realizó esta prueba mediante 20 jueces no expertos (50% cada sexo, 19–27 años) evaluaron en **escala hedónica de 10 puntos** los atributos de color, sabor y aceptabilidad general.

Resultados y Discusión

Tiempo de disolución



Tiempo de disolución de las tabletas para los diferentes tratamientos



Hallazgos principales

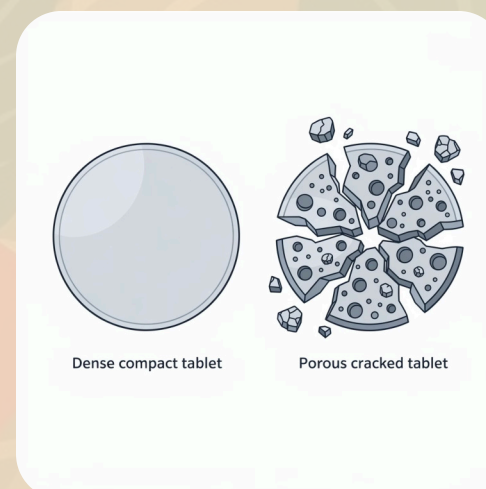
1. Tiempo de disolución: el hallazgo más relevante

La interacción entre presión y agente efervescente resultó estadísticamente significativa ($p < 0.05$), confirmando que ambos factores no actúan de forma independiente —se potencian o se contrarrestan mutuamente. El tratamiento **AF1.6P5** (5,000 psi + 1.6 g) fue el más lento con **240 segundos**, mientras que **AF1.6P2** (2,000 psi + 1.6 g) fue el más rápido con apenas **63 segundos**.

A mayor presión, la estructura interna del comprimido se vuelve más densa y menos porosa, limitando la penetración del agua a la superficie exterior. El CO_2 generado no puede escapar con facilidad, frenando la desintegración. En contraste, una presión baja deja canales internos que permiten al agua activar la reacción efervescente desde adentro hacia afuera. Estos resultados son consistentes con los reportados por *Mohrle (1989)* y *Lindberg et al. (1992)*, quienes documentaron que la porosidad del comprimido es el principal determinante de la velocidad de disolución en formulaciones efervescentes.

3. °Brix y densidad: proporcionales al agente

Los sólidos solubles (°Brix) aumentaron proporcionalmente con la cantidad de agente efervescente: de **~1.2–1.4 °Brix** con 1 g a **~3.0–3.3 °Brix** con 1.6 g, reflejando simplemente más masa disuelta en el agua. La densidad siguió el mismo patrón: duplicar el agente efervescente prácticamente duplicó la densidad del comprimido, ya que los cristales de ácido cítrico y bicarbonato son más densos que el polvo de Jamaica y la Stevia.



Corte transversal: pastilla densa (alta presión) vs. pastilla porosa con fracturas (menor compactación)

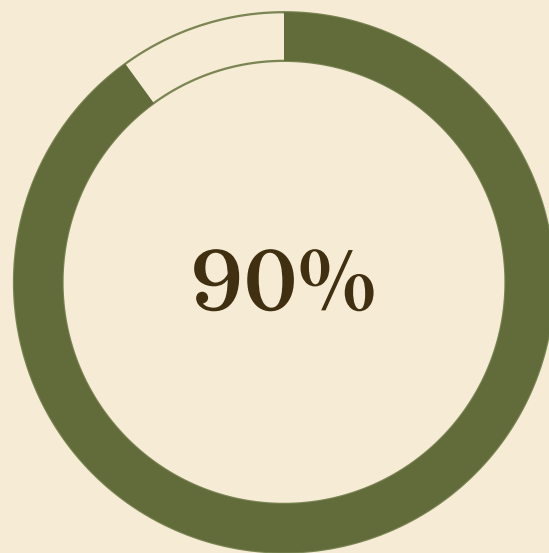
2. pH: estabilidad química garantizada

El pH no mostró diferencias significativas entre tratamientos ($p > 0.05$), manteniéndose en el rango de **5.3 a 5.5**. Al mantener constante la relación ácido cítrico: bicarbonato (1:1.2), la reacción de neutralización siempre llega al mismo equilibrio. El pH ligeramente ácido se explica por el exceso de ácido cítrico y el CO_2 disuelto como ácido carbónico. Este rango es favorable para la estabilidad de las antocianinas —pigmentos responsables del color rojo de la Jamaica—, ya que son más estables en medio ácido (pH 3–6), según *Castañeda-Ovando et al. (2009)*.

4. Aceptación sensorial (ES): el consumidor aprueba

El mejor tratamiento fue el **AF1P5 (2.5 g de agente efervescente y 5000 psi disuelta en 500 ml de agua)** el cual fue sometido a ES. El **100%** de los panelistas aprobó el color y la apariencia de la bebida (como se observa en la figura siguiente). El sabor obtuvo una aprobación del **90%**, con el dulzor como único atributo por debajo del estándar comercial. Las antocianinas liberadas durante la efervescencia generan un color rojo intenso que cumple —e incluso supera— las expectativas visuales de una bebida de Jamaica tradicional.

Evaluación Sensorial



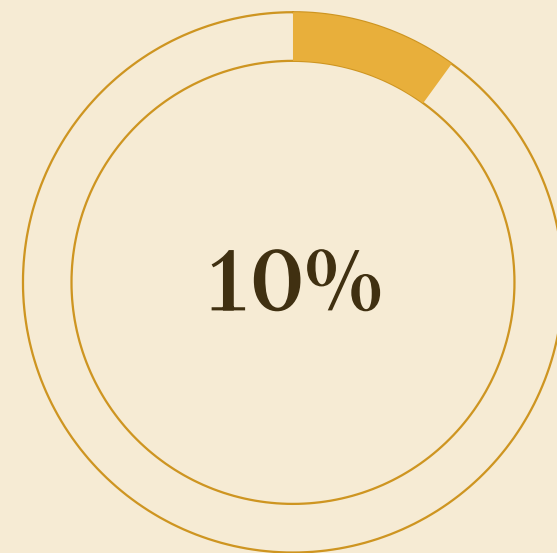
Sabor positivo

40% otorgó 3 estrellas y 50% otorgó 4 estrellas. Formulación base agradable con viabilidad comercial.



Color y apariencia

Todos los panelistas calificaron color y percepción general entre 3 y 5 estrellas. Atributos más fuertes del producto.



Calificación baja (2★)

Solo 2 panelistas evaluaron con 2 estrellas. Ninguno otorgó 5 estrellas, señalando margen de mejora en dulzor.



Los evaluadores señalaron que el dulzor percibido está por debajo del estándar de las aguas de Jamaica comerciales. Se recomienda ajustar la concentración de Stevia para alcanzar la satisfacción total del consumidor.

Conclusiones

Este estudio demostró que es posible formular un comprimido efervescente de Jamaica (*Hibiscus sabdariffa*) con propiedades fisicoquímicas y sensoriales adecuadas para su comercialización. Los resultados permiten extraer conclusiones clave:



La presión y el agente efervescente interactúan significativamente

No basta con ajustar uno solo: la combinación de baja presión (2,000 psi) con mayor cantidad de agente (1.6 g) produjo la disolución más rápida (63 s), mientras que la combinación opuesta la más lenta (240 s).



El pH es estable e independiente de los factores estudiados

El rango de 5.3–5.5 es favorable para la estabilidad de las antocianinas y para el perfil sensorial de la bebida.



La densidad está determinada principalmente por la masa del agente efervescente

La presión de compresión tiene un rol secundario; es la cantidad de agente efervescente la que define la densidad final del comprimido.

Perspectivas



Optimizar la concentración de Stevia, evaluar la estabilidad durante almacenamiento, escalar la producción a prensa industrial y explorar extractos funcionales combinados (hibisco + jengibre, hibisco + limón).

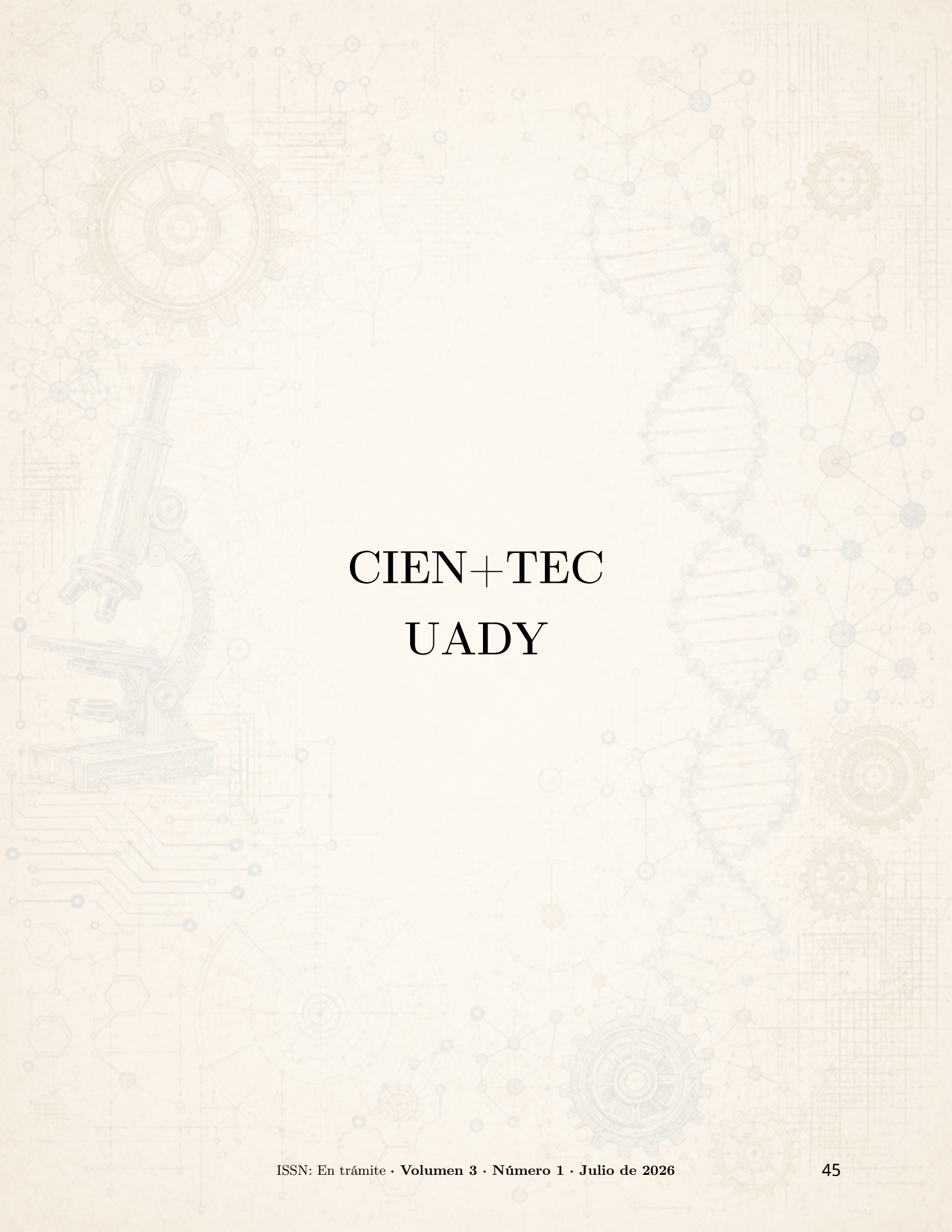
Evaluar su viabilidad comercial en vista de la adecuada aceptación sensorial global. Con un 100% de aprobación en color y apariencia, y un 90% de valoración positiva en sabor, el producto presenta una base sólida para avanzar hacia estudios que identifiquen segmentos de consumidores de bebidas funcionales, naturales o bajas en azúcar.

Asimismo, sería pertinente explorar canales de distribución y el posicionamiento del producto como alternativa saludable y de origen natural.



Referencias

- Castañeda-Ovando, A., Pacheco-Hernández, M. L., Páez-Hernández, M. E., Rodríguez, J. A., & Galán-Vidal, C. A. (2009). Chemical studies of anthocyanins: A review. *Food Chemistry*, 113(4), 859–871.
- Cissé, M., Vaillant, F., Pallet, D., Lutin, F., & Dornier, M. (2012). Selecting the best storage conditions for dried roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.) extracts. *Food Chemistry*, 132(3), 1720–1725.
- Cruz-Cansino, N. D., Ramírez-Moreno, E., León-Rivera, J. E., Delgado-Olivares, L., Alanís-García, E., Ariza-Ortega, J. A., & Manríquez-Torres, J. J. (2015). Shelf life, physicochemical, microbiological and antioxidant properties of juice from *Hibiscus sabdariffa* L. *Journal of Food*, 13(1), 64–70.
- Iqbal, M., & Hasan, R. (2024). Optimization of effervescent tablet formulations: Influence of compression, particle size, and moisture on dissolution performance. *Journal of Pharmaceutical Sciences*, 113(2), 345–362.
- Lindberg, N. O., & Hansson, H. (1992). Effervescent pharmaceuticals. In J. Swarbrick & J. C. Boylan (Eds.), *Encyclopedia of pharmaceutical technology* (Vol. 5, pp. 55–63). Marcel Dekker.
- Meisner, M., Duda, P., Szulc-Musioł, B., & Sarecka-Hujar, B. (2023). Characteristics of commercial effervescent tablets using selected pharmacopeial and novel analytical methods. *Applied Sciences*, 13(5), 3171.
- Mohrle, R. (1989). Effervescent tablets. In H. A. Lieberman, L. Lachman, & J. B. Schwartz (Eds.), *Pharmaceutical dosage forms: Tablets* (Vol. 1, 2nd ed., pp. 285–328). Marcel Dekker.
- Morales-Luna, E., Martínez-Ávila, G. C. G., Alanís-Garza, P. A., & Gallegos-Infante, J. A. (2017). Anthocyanins from *Hibiscus sabdariffa* and their impact on human health. *Food Science and Nutrition*, 57(5), 903–914.
- Parikh, D. M. (2010). *Handbook of pharmaceutical granulation technology*. CRC Press.
- Pei, L., Aniza, Y., Gulzarul, M., Nyuk, C., Amaiza, N., & Amin, M. (2013). Compressibility and dissolution characteristics of mixed fruit tablets made from guava and pitaya fruit powders. *Powder Technology*, 247, 112–119.
- Ramírez-Rodríguez, A., Estrada-Girón, Y., García-Díaz, Y., & López-Martínez, J. (2018). Antioxidant activity of *Hibiscus sabdariffa* extract and its effect on oxidative stress in diabetic rats. *Journal of Medicinal Food*, 21(5), 514–520.
- Tamayo Villacres, E. G. (2020). *Plan de negocios para la elaboración y comercialización de pastillas efervescentes a base de feijoa* [Tesis de grado, Universidad Tecnológica Indoamérica]. Repositorio Institucional UTI.
- Wong-Paz, J. E., Muñiz-Márquez, D. B., Rodríguez-Herrera, R., & Aguilar, C. N. (2020). Hibiscus anthocyanins for food color applications: Extraction and stability. *Food Chemistry*, 309, 125599.
- Wu, S., Yuan, Y., Yin, J., Hu, H., Pei, H., Li, W., & Zhang, X. (2022). Characteristics of effervescent tablets of *Aronia melanocarpa*: Response surface design and antioxidant activity evaluation. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 16(4), 2969–2977.



CIEN+TEC UADY

Evaluación de Tabletas Ecológicas para Limpieza Doméstica Elaboradas con Aceite Reciclado

Evaluation of Eco-Friendly Household Cleaning Tablets Made with Recycled Oil

Zurita-Paz, J.; Iuit-Chay, E.; Alvidres-Dionisio, J.; Chel-Guerrero, L.; Gallegos-Tintoré, S.*

Facultad de Ingeniería Química, Universidad Autónoma de Yucatán, Periférico Norte Km. 33.5, Tablaje Catastral 13615, Colonia Chuburná de Hidalgo Inn, 97203 Mérida, Yucatán, México.
e-mail: santiago.gallegos@correo.uady.mx

Resumen y Abstract

RESUMEN

Se desarrollaron y evaluaron tabletas ecológicas para lavar trastes formuladas a partir de jabón de Castilla, aceite vegetal reciclado (canola, girasol y soya en partes iguales) y aditivos naturales como bicarbonato de sodio, sal, jugo de limón y aceites esenciales. Se compararon dos formulaciones diferenciadas por la concentración de hidróxido de sodio (NaOH): Formulación A (106 g) y Formulación B (90 g). Las variables evaluadas incluyeron poder de limpieza, espuma generada, pH, dureza, tiempo de disolución y estabilidad durante el almacenamiento. Los resultados indicaron que la Formulación B presentó un mejor desempeño general: mayor dureza (16.00 ± 0.20 N), pH adecuado para lavandería (9.10 ± 0.10), menor tiempo de disolución (3.50 ± 0.50 min) y ausencia de residuos grasos tras el lavado, constituyendo la opción más equilibrada y sustentable para el uso doméstico.

Palabras clave

tabletas ecológicas · saponificación · aceite reciclado · detergente sólido · sustentabilidad · economía circular

ABSTRACT

Ecological dishwashing tablets were developed and evaluated using Castile soap, recycled vegetable oil (canola, sunflower, and soybean in equal parts), and natural additives such as sodium bicarbonate, salt, lemon juice, and essential oils. Two formulations differentiated by sodium hydroxide (NaOH) concentration were compared: Formulation A (106 g) and Formulation B (90 g). Evaluated variables included cleaning power, foam generation, pH, hardness, dissolution time, and storage stability. Results indicated that Formulation B showed better overall performance: higher hardness (16.00 ± 0.20 N), appropriate pH for laundry applications (9.10 ± 0.10), shorter dissolution time (3.50 ± 0.50 min), and no greasy residue after washing, making it the most balanced and sustainable option for domestic use.

Keywords

ecological tablets · saponification · recycled oil · solid detergent · sustainability · circular economy

Introducción

Los detergentes convencionales para lavar trastes representan un problema ambiental y de salud significativo. Contienen químicos abrasivos que dañan la piel, y se envasan en plásticos que tardan cientos de años en degradarse. Por su parte, el aceite de cocina usado es un residuo de alto impacto: **un solo litro puede contaminar hasta 40,000 L de agua**, con una carga contaminante 5,000 veces mayor que el agua residual de alcantarilla (Solís Amanzo & Neira Montoya, 2018.). Cuando se desecha incorrectamente, obstruye cañerías y afecta la vida acuática.



Sustentabilidad en Limpieza

La sustentabilidad en productos de limpieza busca minimizar el impacto ambiental mediante ingredientes biodegradables, envases ecológicos y procesos con menor huella de carbono. Los jabones sólidos y tabletas representan una opción viable: se elaboran con aceites reciclados y extractos vegetales, evitan sustancias tóxicas y prescinden de envases plásticos (Diario de Yucatán, 2023). Estudios sobre percepción del consumidor muestran una creciente preferencia por productos de limpieza doméstica más sustentables (Hollis, 2020).



Impacto de los Detergentes Convencionales

Los detergentes líquidos y en polvo contienen tensoactivos sintéticos derivados del petróleo, fosfatos y fragancias artificiales. El exceso de fosfatos provoca **eutrofización**: crecimiento descontrolado de algas que reduce el oxígeno disponible y destruye la biodiversidad acuática. Los tensoactivos sintéticos alteran la tensión superficial del agua y se acumulan en la cadena trófica. Millones de toneladas de plástico de envases terminan en los océanos cada año, y algunos conservantes actúan como disruptores endocrinos en diversas especies (Martienssen et al., 2024).

Uso de Aceites Reciclados y Principios de Saponificación

El reciclaje de aceites vegetales usados es una alternativa sustentable para evitar su desecho en cuerpos de agua. A través de la **saponificación** —hidrólisis de éster en medio básico— los aceites reaccionan con hidróxido de sodio para producir jabón y glicerina (González, 2021). Los triglicéridos se hidrolizan en ácidos grasos y glicerol; estos últimos reaccionan con el ion sodio formando jabón, mientras el glicerol genera glicerina. La reutilización de aceites fomenta la **economía circular**, transformando un desecho contaminante en un producto útil (Bernal et al., 2021).



Bicarbonato de Sodio

Agente limpiador y desodorizante que refuerza la acción detergente de la tableta.



Ácido Cítrico (Limón)

Ayuda a eliminar residuos de grasa y cal, mejorando el poder desengrasante.



Carbonato de Sodio y Sal

Refuerzan la acción detergente y aportan estructura a la tableta compactada.



Arcillas Naturales

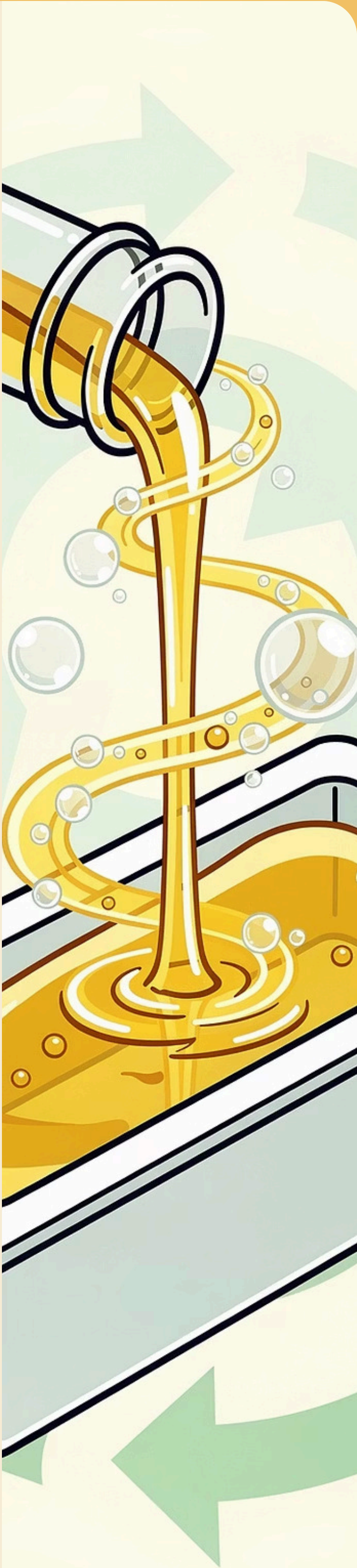
Aportan textura y ayudan a la eliminación mecánica de suciedad adherida.



Aceites Esenciales

Mejoran la fragancia y aportan propiedades antibacterianas al producto final.

Las tabletas sólidas presentan ventajas adicionales: no requieren envase plástico protector, tienen mayor concentración de ingredientes activos que los jabones líquidos, permiten dosificación precisa evitando desperdicios, y son fáciles de transportar y almacenar sin riesgo de derrame.



Objetivos

Desarrollar tabletas de jabón sustentables a partir de jabón de Castilla con aditivos naturales, y evaluar su capacidad desengrasante, formación de espuma y dureza mediante pruebas cuantitativas en condiciones controladas.

Objetivos Específicos

01

Seleccionar y caracterizar ingredientes

Identificar ingredientes naturales adecuados: bicarbonato de sodio, sal, jugo de limón, aceites esenciales y aceites vegetales reciclados.

02

Formular y elaborar tabletas

Utilizar 712 g de jabón de Castilla rallado ajustando la mezcla con los aditivos seleccionados.

03

Evaluar capacidad desengrasante

Pruebas prácticas con utensilios impregnados con grasa, proteínas y almidón.

04

Medir formación de espuma

En condiciones simuladas de lavado manual con agitación controlada.

05

Evaluar dureza

Mediante prueba de compresión manual registrando resistencia a la deformación o ruptura.

Materiales y Métodos

PASO 1

Purificación del Aceite



Filtración mecánica

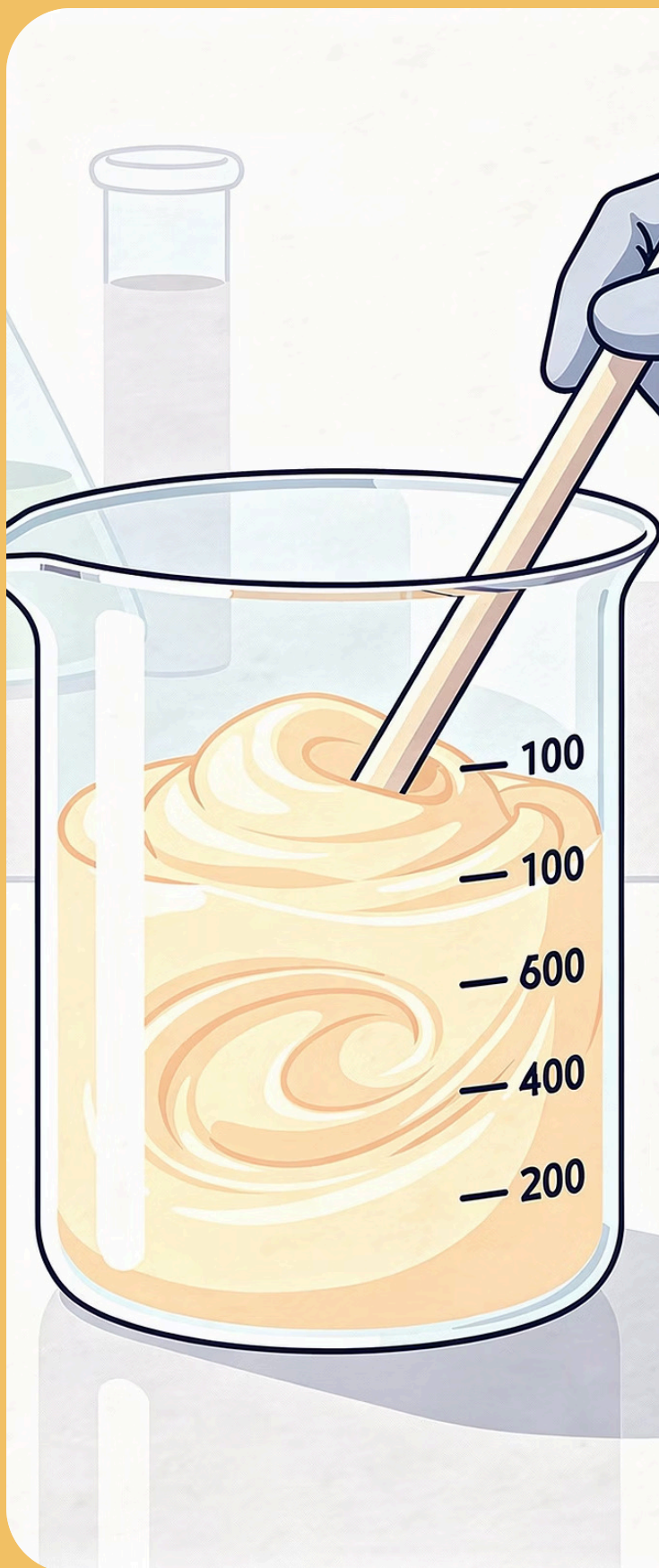
El aceite reciclado se filtró con tela de malla fina para remover partículas sólidas, residuos de alimentos y sedimentos que podrían interferir con la reacción química posterior.



Lavado con agua caliente

Se lavó con agua caliente ($\sim 60\text{ }^{\circ}\text{C}$) en múltiples ciclos para disolver y eliminar impurezas solubles como restos de proteínas, azúcares y productos de degradación térmica.

Las impurezas presentes en el aceite reciclado pueden reaccionar de forma indeseable con el NaOH, afectando el color, el olor y la estabilidad del producto; un aceite más puro garantiza una mejor reacción y mejores propiedades funcionales del jabón.



PASO 2

Saponificación

La saponificación es una reacción de hidrólisis alcalina en la que los triglicéridos del aceite reaccionan con NaOH para producir jabón (sales de ácidos grasos) y glicerol como subproducto (González, 2021).

Se formularon dos tratamientos experimentales, manteniendo constantes 825 g de aceite y 258 g de agua destilada:

Tratamiento

A

106 g de NaOH
(mayor
concentración)

Tratamiento

B

90 g de NaOH
(menor
concentración)

La mezcla se agitó de forma continua hasta alcanzar el punto de **"traza"** — consistencia similar a una natilla espesa —, indicando que la emulsificación es suficiente para continuar la saponificación de manera estable. Tras la traza, se completó la cocción controlada, se moldeó el jabón y se dejó curar **tres semanas** a temperatura ambiente.

PASO 3

Formulación de Tabletas

Una vez curado, el jabón base se trituro y ralló finamente para facilitar la homogeneización con los aditivos.



Bicarbonato de Sodio

Agente abrasivo suave y potenciador del pH. Mejora la capacidad desengrasante al aumentar ligeramente la alcalinidad de la solución de lavado.



Sal (NaCl)

Agente endurecedor que reduce la solubilidad del jabón en agua, incrementando la firmeza y durabilidad de la tableta.



Agente Humectante

Jugo de limón, agua caliente y aceite esencial: regula el pH y disuelve grasas, homogeneiza la mezcla, y aporta fragancia natural con propiedades antimicrobianas.

Tras la mezcla, la masa se compactó manualmente ejerciendo presión uniforme para eliminar burbujas de aire, se moldeó en tabletas de forma y tamaño estandarizados, y se dejó secar a temperatura ambiente durante 24 horas, permitiendo la evaporación del agua incorporada y la consolidación final de la estructura del jabón (Mestri et al., 2021; Andersen, 2025).

Diseño Experimental y Evaluación

El desempeño de las tabletas se evaluó mediante un diseño comparativo entre ambas formulaciones, utilizando tres réplicas por tratamiento, según lo recomendado por Montgomery (2012) para el diseño y análisis de experimentos, siguiendo criterios comúnmente empleados en la evaluación de productos detergentes y jabones (Zayed et al., 2024).



Poder de Limpieza

Pruebas de remoción de grasa en superficies controladas.



Dureza

Evaluada por resistencia a carga.



Tiempo de Disolución

Medido en agua tibia.



Formación de Espuma

Cuantificada por su altura tras agitación (ASTM International, 2015).



pH

Medido en la solución resultante (Metslab, 2025).



Estabilidad

Evaluada durante el almacenamiento, incluyendo presencia de residuos tras el lavado.

Este enfoque permitió identificar el efecto de la concentración de NaOH en el desempeño del producto y determinar la formulación más equilibrada en términos de eficacia, estabilidad y seguridad para el usuario.



Resultados y Discusión

Análisis Comparativo de Formulaciones

A continuación, se presentan los resultados experimentales y su análisis estadístico (Tabla 1):

Tabla 1. Comparación estadística entre formulaciones A y B.

Variable	Formulación A (Media ± DE)	Formulación B (Media ± DE)	p (valor)
🫧 Espuma (cm)	2.00 ± 0.10	1.10 ± 0.10	0.000
🧪 pH	9.70 ± 0.10	9.10 ± 0.10	0.002
💪 Dureza (N)	12.33 ± 0.15	16.00 ± 0.20	0.000
🕒 Disolución (min)	6.00 ± 0.50	3.50 ± 0.50	0.004
✨ Poder de limpieza (%)	89.00 ± 1.00	86.00 ± 1.00	0.021



Discusión de los Hallazgos



Espuma y pH

La Formulación A generó mayor espuma (2.00 cm vs. 1.10 cm, $p = 0.0004$) y fue más alcalina (pH 9.70 vs. 9.10, $p = 0.0018$), con mayor riesgo de irritación dérmica. La Formulación B se mantiene en el rango ideal para detergentes suaves (pH 8–10) (Tabla 1) aunque ambos se encuentran entre los de alcalinidad moderada para lavandería según Biology Insights (2026),



Poder de Limpieza y Residuos

La Formulación A mostró un poder de limpieza ligeramente superior (89.00% vs. 86.00%, $p = 0.0213$), pero dejó residuos grasos por aceite no saponificado. La Formulación B ofreció una limpieza más seca y sin residuos. (Tabla 1)



Dureza y Disolución

La Formulación B fue más resistente (16.00 N vs. 12.33 N, $p = 0.0000$) y se disolvió más rápido (3.50 min vs. 6.00 min, $p = 0.0036$). La Formulación A presentó grumos que retardaron su disolución. (Tabla 1)



La Formulación B dio el mejor balance general: mayor dureza, pH más amigable, disolución eficiente y limpieza sin residuos, convirtiéndola en la opción más adecuada para un producto ecológico funcional.

Conclusiones

El presente proyecto demostró la **viabilidad técnica, ambiental y funcional** de formular tabletas ecológicas para lavar trastes a partir de jabón de Castilla y aditivos naturales, utilizando aceite reciclado como materia prima base. El diseño experimental comparativo entre dos formulaciones diferenciadas por la concentración de NaOH permitió identificar sus efectos sobre variables clave.

1

Formulación B: la opción más equilibrada

La formulación con menor concentración de NaOH (90 g) presentó mayor estabilidad estructural (16.00 N), pH más amigable con la piel (9.10), menor presencia de residuos tras el lavado, y tiempo de disolución más adecuado para uso doméstico (3.50 min), sin comprometer su eficacia limpiadora (86%).

2

Potencial del aceite reciclado

Este estudio resalta el potencial del aceite de cocina reciclado como insumo para productos de limpieza ecológicos. La transformación de aceites usados en jabón evita su desecho en alcantarillados y cuerpos de agua, previniendo la contaminación de hasta 40,000 L de agua por litro de aceite

3

Economía circular y sustentabilidad

Las tabletas desarrolladas representan una alternativa viable frente a los detergentes convencionales: reducen el uso de químicos agresivos, eliminan envases plásticos y promueven prácticas sostenibles de consumo, alineándose con los principios de la economía circular

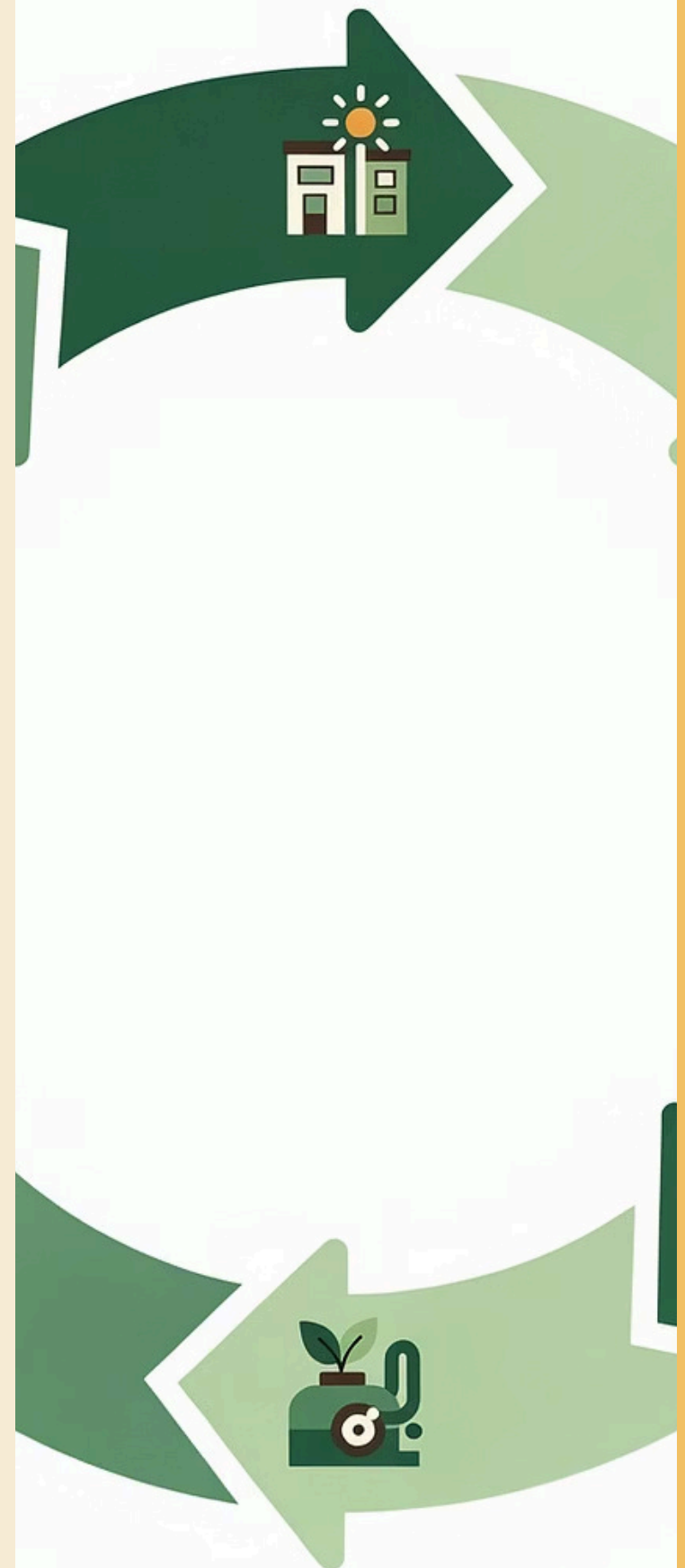
4

Estrategia replicable

El desarrollo de productos de higiene sustentables a partir de residuos como el aceite usado es una estrategia efectiva y replicable a nivel local, que puede contribuir significativamente a la mitigación del impacto ambiental generado por el uso de productos de limpieza tradicionales

Referencias

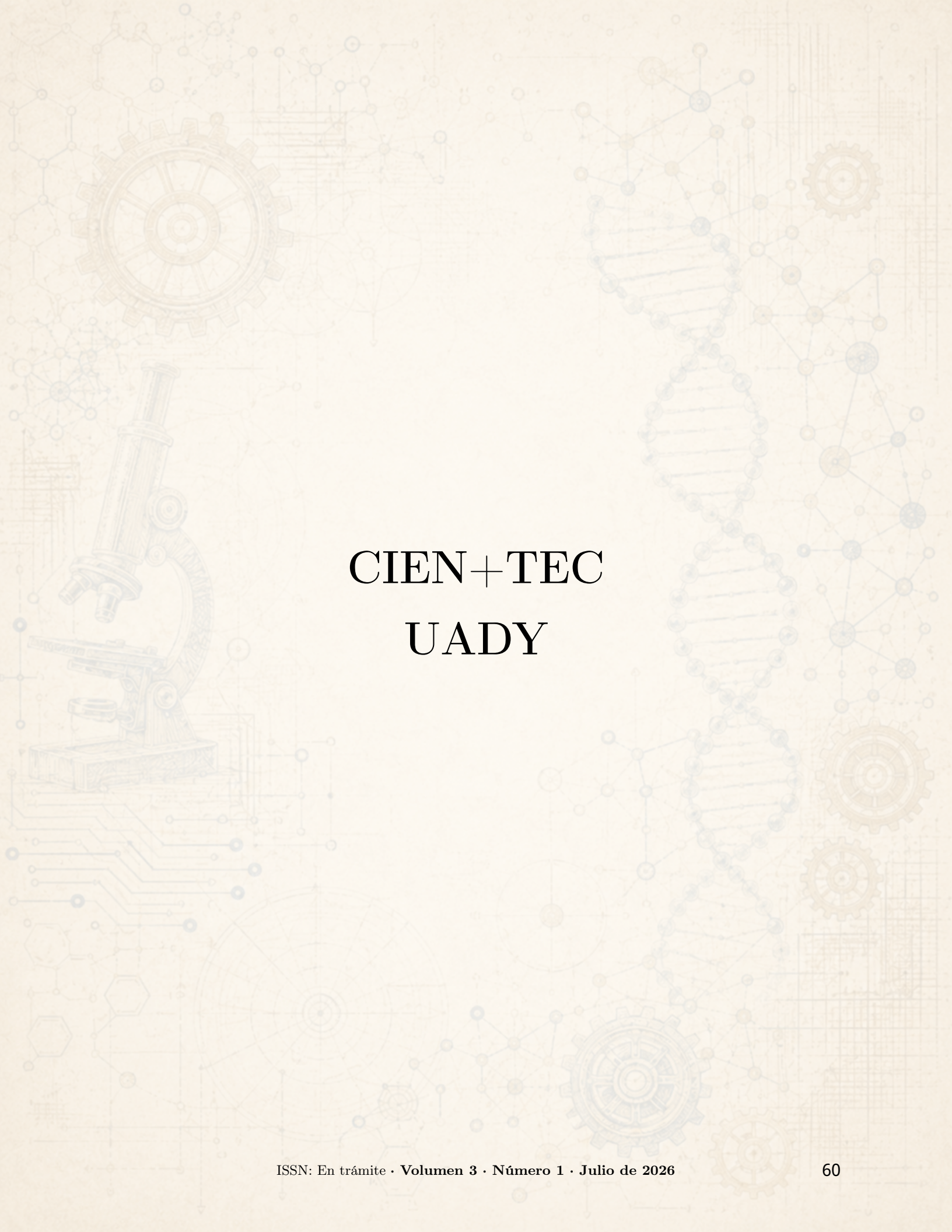
- Andersen, N. (2025). *Eco-friendly and efficient: How to make your own dishwasher tablets*. HomeGearGeek.
- ASTM International. (2015). *Standard test method for foaming properties of surface-active agents* (ASTM D1173).
- Bernal Espitia, I., Rubiano Baratto, D., & Riveros Vargas, B. (2021). *Fabricación de jabón artesanal a partir del aprovechamiento del aceite de cocina usado*. Universidad EAN. Disponible en: <http://hdl.handle.net/10882/10791>
- Biology Insights. (2026, enero 11). *What is the pH of laundry detergent?* Biology Insights. Recuperado de <https://biologyinsights.com/what-is-the-ph-of-laundry-detergent>
- Diario de Yucatán. (2023, enero 14). *Destacan unas iniciativas por el medio ambiente para Yucatán*. [Yucatán.com.mx](https://www.yucatan.com.mx/merida/2023/01/14/destacan-unas-iniciativas-por-el-medio-ambiente-para-yucatan-375611.html). Recuperado de <https://www.yucatan.com.mx/merida/2023/01/14/destacan-unas-iniciativas-por-el-medio-ambiente-para-yucatan-375611.html>
- González, A. (2021, 28 abril). *Saponificación*. Lifeder. <https://www.lifeder.com/saponificacion/>
- Hollis, R. K. (2020). *Exploring perceptions of household surface cleaning products and the implications for sustainable consumption* [Tesis doctoral, University of Leeds].



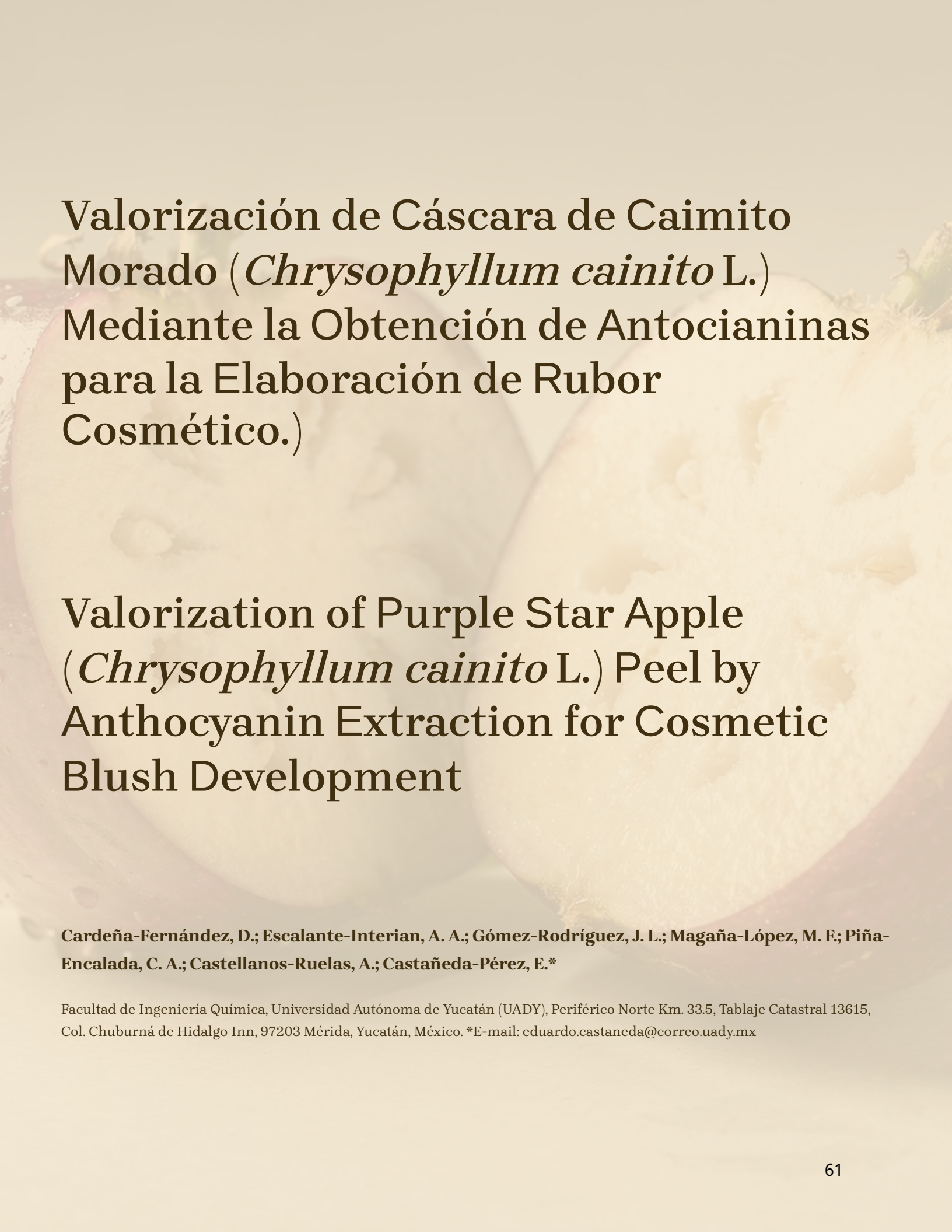
Referencias

- Martienssen, M., Riedel, R., & Kühne, T. (2024). *Contribution of professional cleaning to indoor air and sewage pollution*. Sustainable Chemistry, 5(4), 275–286.
- Mestri, R. S., Mali, S. N., & Pratap, A. (2021). *Formulation of effervescent compact detergent tablets with unique chemical compositions*. Engineering Proceedings, 11(1), 38.
- Metslab. (2025). *Detergent testing methods: Complete guide*. <https://metslab.qa/blog/detergent-testing-methods/>
- Montgomery, D. C. (2012). *Diseño y análisis de experimentos* (2ª ed.). Editorial Limusa Wiley.
- Solís Amanzo, I., & Neira Montoya, M. E. (2018). *Impacto al medio ambiente del aceite doméstico usado y su reutilización en la producción de jabón*. Universidad Ricardo Palma. https://1librar.y.co/document/_yr39ojoy-impacto-medio-ambiente-aceite-domestico-reutilizacion-produccion-jabon.html
- Zayed, L., Gablo, N., Kalcakova, L., Dordevic, S., Kushkevych, I., & Tremlova, B. (2024). *Utilizing used cooking oil and organic waste: A sustainable approach to soap production*. Processes, 12(6), 1279.





CIEN+TEC UADY



Valorización de Cáscara de Caimito Morado (*Chrysophyllum cainito* L.) Mediante la Obtención de Antocianinas para la Elaboración de Rubor Cosmético.)

Valorization of Purple Star Apple (*Chrysophyllum cainito* L.) Peel by Anthocyanin Extraction for Cosmetic Blush Development

Cardeña-Fernández, D.; Escalante-Interian, A. A.; Gómez-Rodríguez, J. L.; Magaña-López, M. F.; Piña-Encalada, C. A.; Castellanos-Ruelas, A.; Castañeda-Pérez, E.*

Facultad de Ingeniería Química, Universidad Autónoma de Yucatán (UADY), Periférico Norte Km. 33.5, Tablaje Catastral 13615, Col. Chuburná de Hidalgo Inn, 97203 Mérida, Yucatán, México. *E-mail: eduardo.castaneda@correo.uady.mx

Resumen y Abstract

Resumen

El caimito morado (*Chrysophyllum cainito* L.) es una fruta tropical cuya cáscara —subproducto que representa el 60% del peso del fruto— es rica en antocianinas con propiedades colorantes intensas. Se evaluó la viabilidad de elaborar rubores en polvo con pigmentos naturales variando la concentración de ácido ascórbico (3, 5 y 7 g) y el volumen de aglutinante (aceite vegetal: 1, 1.5 y 2 mL) en un diseño factorial 3×3. Los productos fueron evaluados físicoquímicamente (pH, humedad, colorimetría CIE L*a*b*) y sensorialmente. El ANOVA factorial (Tukey HSD, 95%) mostró que el ácido ascórbico fue el factor significativo. El tratamiento A2×B0 (7 g vitamina C, 1 mL aceite) obtuvo los mejores resultados, aunque ningún tratamiento alcanzó aceptación sensorial "buena". La hipótesis fue rechazada por inestabilidad de las antocianinas.

Palabras clave: antocianinas; *Chrysophyllum cainito*; rubor cosmético; colorante natural; diseño factorial.

Abstract

Purple star apple (*Chrysophyllum cainito* L.) is a tropical fruit whose peel—representing 60% of fruit weight—is rich in anthocyanins with intense colorant properties. The feasibility of formulating powder blush using natural pigments was evaluated by varying ascorbic acid concentration (3, 5, and 7 g) and binder volume (vegetable oil: 1, 1.5, and 2 mL) in a 3×3 factorial design. Products were assessed physicochemically (pH, moisture, CIE L*a*b* colorimetry) and sensorially. Factorial ANOVA (Tukey HSD, 95%) revealed ascorbic acid concentration as the significant factor. Treatment A2×B0 (7 g ascorbic acid, 1 mL oil) yielded the best results, yet no treatment reached "good" sensory acceptance. The working hypothesis was rejected due to anthocyanin instability.

Keywords: anthocyanins; *Chrysophyllum cainito*; cosmetic blush; natural colorant; factorial design.



Introducción

El Caimito Morado



Origen y morfología

El caimito (*Chrysophyllum cainito* L.) es una fruta originaria del Caribe, cultivada en regiones tropicales de México —Veracruz, Tabasco, Chiapas y la Península de Yucatán (SIAP, s.f.)—. Su árbol (familia Sapotaceae) alcanza hasta 15 m de altura y produce frutos de 5 a 10 cm de diámetro.



Antocianinas identificadas

Cianidina-3-glucósido y delphinidina-3-glucósido son las principales antocianinas presentes (Can-Cauich et al., 2017; Brito et al., 2007), con contenido total de 80–200 mg/100 g de cáscara fresca.



Composición gravimétrica

La cáscara representa el **60% del peso** del fruto, la pulpa el 37% y la semilla el 3% (Can-Cauich et al., 2017).



Propiedades colorantes

Pigmentos flavonoides que confieren coloraciones del rojo al violeta según el pH del medio, con actividad antioxidante documentada (Garzón, 2008).



Contexto y Justificación



Tendencia hacia cosméticos naturales

La industria cosmética muestra tendencia creciente hacia ingredientes naturales, impulsada por la preocupación sobre los efectos adversos de colorantes sintéticos (Rojo 40, Amarillo 5) y el auge de la cosmética "limpia" (Córdova, 2014). Andrade et al. (2017) desarrollaron un rubor a base de betabel con resultados prometedores en color, aunque con limitaciones en estabilidad.



Estabilidad de las antocianinas

Las antocianinas presentan baja estabilidad frente al pH, temperatura, luz UV, oxígeno y ácido ascórbico (Wrolstad, 2000; Garzón, 2008). El ácido ascórbico actúa como antioxidante protector, pero en concentraciones elevadas puede promover su degradación por condensación. El aceite vegetal como aglutinante contribuye a la cohesión y adherencia del producto.



Justificación del estudio

La cáscara del caimito es un subproducto agroindustrial subutilizado. Ante la creciente demanda de cosméticos naturales, este trabajo propone aprovechar este residuo como fuente de pigmento para rubores en polvo, contribuyendo a la economía circular y a la reducción de residuos en la cadena productiva del caimito en Yucatán.

Objetivos



Objetivo General

Evaluar la viabilidad de la elaboración de rubores en polvo con pigmentos naturales obtenidos a partir de la cáscara de caimito morado (*Chrysophyllum cainito* L.).

Objetivos Específicos

Extracción

Extraer los pigmentos de antocianinas presentes en la cáscara de *Chrysophyllum cainito* mediante agitación magnética.

Formulación

Formular rubores en polvo incorporando el extracto de antocianinas, variando concentraciones de ácido ascórbico y volumen de aglutinante (aceite vegetal).

Evaluación Fisicoquímica

Evaluar el efecto de los factores sobre pH, humedad y color (CIE $L^*a^*b^*$) de los rubores obtenidos.

Evaluación Sensorial

Determinar la aceptación sensorial (adherencia, capa cubriente y deslizabilidad) de los rubores formulados.



3. Materiales y Métodos

Materia Prima e Insumos

Se utilizaron 2 kg de caimito morado adquiridos en "La Mesticita" (Mérida, Yucatán). Los insumos cosméticos se obtuvieron en "Amaite Bienestar" (Mérida, Yucatán).



Base cosmética

Talco (75 g), Caolín (5 g), Carbonato de calcio (5 g), Estearato de magnesio (5 g), Óxido de zinc (10 g). (*Andrade et al., 2017, con modificaciones*)



Extracción del colorante

Cáscaras lavadas, congeladas y licuadas con agua destilada (50:75 masa/volumen).

Agitación magnética 45 min a 60 °C.

Filtración en dos etapas: colador de malla fina y filtración al vacío.

Diseño Experimental

Diseño factorial completo **3×3** con dos factores independientes y nueve tratamientos con dos réplicas. Variables de respuesta: pH, humedad, colorimetría CIE L*a*b*, adherencia, capa cubriente y deslizabilidad. Análisis estadístico: ANOVA factorial y Tukey HSD al 95% (Statgraphics 19).

Tratamiento	Vitamina C	Aceite
A0×B0	3 g	1.0 mL
A0×B1	3 g	1.5 mL
A0×B2	3 g	2.0 mL
A1×B0	5 g	1.0 mL
A1×B1	5 g	1.5 mL
A1×B2	5 g	2.0 mL
A2×B0	7 g	1.0 mL
A2×B1	7 g	1.5 mL
A2×B2	7 g	2.0 mL

Elaboración del Rubor

Se mezclaron en seco los componentes de la base (mín. 10 min), se dividió en 9 porciones de ~10 g y a cada una se añadieron 20 mL del extracto de antocianinas. La masa se extendió en godets y se secó en horno Fisher Scientific a **80 °C por ~60 min**. El material seco se recuperó por raspado con espátula, se incorporaron los niveles de aceite vegetal con 0.7 mL de alcohol etílico, y se realizó un segundo secado a **60 °C por 60 min**. Los rubores se almacenaron en desecador.

Determinaciones Fisicoquímicas y Evaluación Sensorial

pH: Potenciométrico en disolución al 10% (m/v), tres mediciones por tratamiento.

Humedad: Método gravimétrico de pérdida por secado (ASTM E203-08, 2013) a 130 °C por 60 min hasta peso constante.

Color: Colorímetro portátil, parámetros CIE $L^*a^*b^*$ (Calvo y Durán, 1997).

Sensorial: Tres evaluadores voluntarios evaluaron adherencia, capa cubriente y deslizabilidad en escala 1–5 (Melo y Moncada, 2016): 1=Malo, 2=No muy malo, 3=Aceptable, 4=Bueno, 5=Excelente.

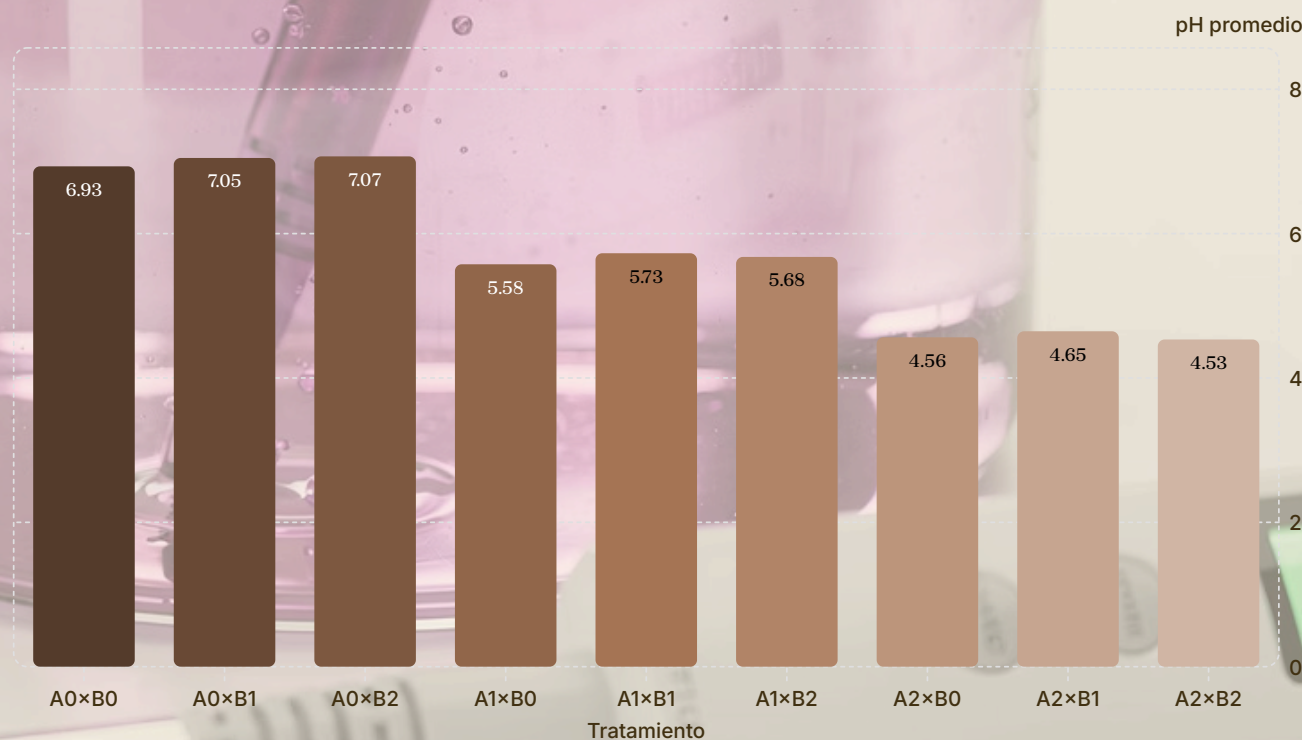


Resultados y Discusión

Efecto del Ácido Ascórbico sobre el pH

El ANOVA factorial (Tukey HSD, 95%) mostró que el **Factor A (ácido ascórbico)** tuvo efecto estadísticamente significativo sobre el pH (valor- $p < 0.05$), con tres grupos homogéneos diferenciados, como se muestra en la gráfica 1, a continuación. El Factor B (aceite vegetal) no presentó diferencias significativas ($p > 0.05$).

El tratamiento **A2 (7 g de vitamina C)** obtuvo la media de pH más baja (4.568), la más cercana al rango cosmético recomendado de 4–5, compatible con el pH natural de la piel (~4.7) (Melo y Moncada, 2016). En condiciones de $pH < 5$ predomina el catión flavilio (AH^+) de color rojo intenso; a $pH > 7$ aparecen formas quinoidales púrpuras que se degradan rápidamente (Garzón, 2008; Hutchings, 1999).

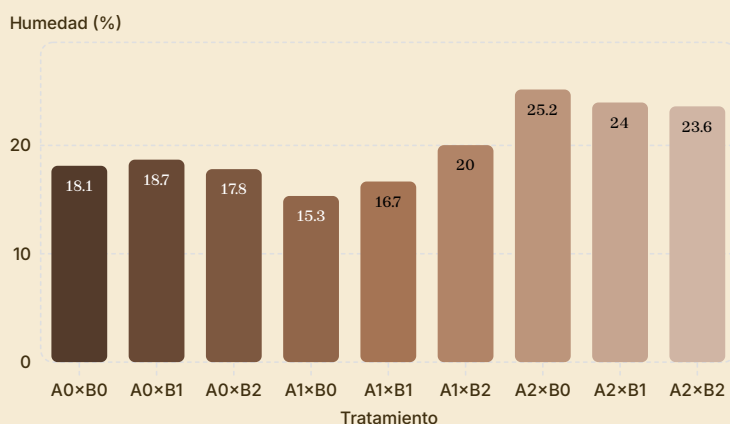


Gráfica 1. Valores de pH promedio por tratamiento. El rango cosmético recomendado es 4–5.

Determinación de Humedad

El Factor A mostró diferencias estadísticamente significativas entre los pares A0–A2 y A1–A2 (valor- $p < 0.05$), formando dos grupos homogéneos, como se observa en la Gráfica 2. El Factor B no presentó diferencias significativas, aunque el nivel B0 (1 mL) registró la menor media de humedad (18.54%).

El nivel **A1 (5 g de vitamina C)** obtuvo la menor media de humedad (16.22%). Paradójicamente, el nivel A2 —óptimo para pH y color— presentó los valores más altos (~24%), resultando en una consistencia acuosa incompatible con la textura seca requerida en un rubor en polvo. Esto refleja un **compromiso (trade-off)** entre acidificación y control de humedad (Badui, 2013). La presencia de resina del extracto —persistente tras la filtración al vacío— pudo haber contribuido a la retención de humedad.



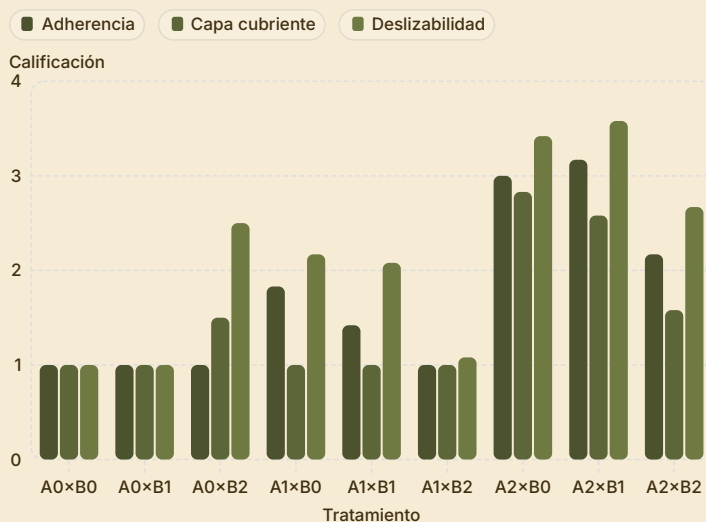
Gráfica 2. Valores de humedad (%) promedio por tratamiento (ASTM E203-08, 2013).





Evaluación Sensorial

Los resultados mostraron que el tratamiento **A2×B0 (7 g de vitamina C y 1 mL de aceite vegetal)** obtuvo las puntuaciones más altas en los tres atributos, con media general de **3.08** ("**Acceptable**"), como se observa en la Gráfica 3. Los tratamientos A0×B0 y A0×B1 (3 g de vitamina C) obtuvieron las puntuaciones más bajas (media = 1.0, "Malo").



Gráfica 3. Puntuaciones sensoriales promedio por tratamiento para los atributos de adherencia, capa cubriente y deslizabilidad (escala hedónica 1–5).

⚠ Sin calificación "Bueno"

Ningún tratamiento alcanzó calificación "Bueno" (≥ 4). El exceso de aceite en A2×B2 afectó negativamente la deslizabilidad y capa cubriente respecto a A2×B0 y A2×B1.

🌡 Inestabilidad cromática

La inestabilidad a las 24 h — atribuible a oxidación de antocianinas y temperatura de secado (80 °C) que genera chalconas incoloras (Timberlake, 1980)— limitó la aceptación general (Garzón, 2008).

🎨 Baja capa cubriente

Atribuible a insuficiente concentración de pigmento retenido tras el secado, coincidiendo con Andrade et al. (2017) en formulaciones con pigmentos naturales.

Conclusiones

Objetivos Alcanzados

Se logró extraer antocianinas de cáscara de caimito morado, formular nueve tratamientos de rubor en polvo y evaluar su comportamiento fisicoquímico y sensorial bajo diseño factorial 3×3.

Factor Determinante

La concentración de ácido ascórbico (Factor A) fue determinante en pH, colorimetría y aceptación sensorial, con diferencias estadísticamente significativas. El volumen de aglutinante (Factor B) no presentó efectos significativos en ninguna variable.

Mejor Formulación

El tratamiento A2×B0 (7 g vitamina C, 1 mL aceite) fue el más prometedor: pH = 4.56 (rango cosmético 4–5), mayor rojez (a^* = 20.57) y mejor aceptación sensorial (media = 3.08, "Aceptable").

Hipótesis Rechazada

Ningún tratamiento alcanzó aceptación sensorial "buena", debido a la inestabilidad de las antocianinas frente a temperatura de secado, oxígeno y tiempo de almacenamiento, además de humedad excesiva en tratamientos con mayor acidificación.

Trade-off (equilibrio) Identificado

Existe un compromiso entre acidificación (necesaria para estabilizar el color) y control de humedad (necesario para la textura de rubor en polvo), que deberá resolverse en formulaciones futuras.

Contribución

Este trabajo sienta las bases para el aprovechamiento de residuos agroindustriales de caimito morado en la industria cosmética, contribuyendo a la economía circular y a la demanda de cosméticos más seguros y sostenibles.

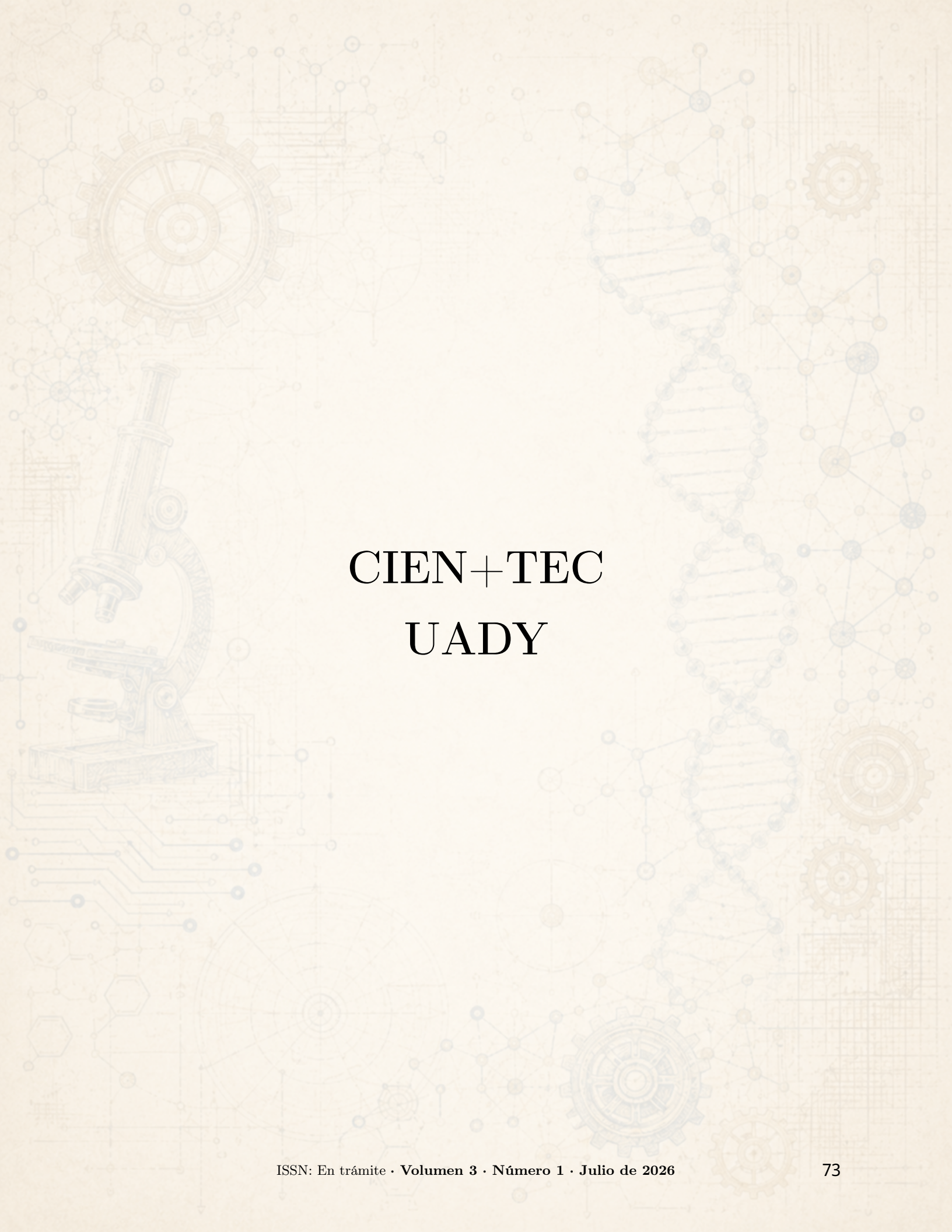


Perspectivas

Se recomienda: (a) sustituir el ácido ascórbico por ácido cítrico; (b) incorporar agentes antioxidantes conservadores; (c) explorar microencapsulación de antocianinas; (d) incrementar el tamaño del panel sensorial.

Referencias

- Andrade, M., García, L., Martínez, R., & Pérez, T. (2017). *Desarrollo y evaluación de un rubor a base de betabel*. CECYT Cuautitlán Izcalli.
- ASTM International. (2013). *ASTM E203-08(2013): Standard test method for water using Karl Fischer reagent*. ASTM International.
- Badui, S. (2013). *Química de los alimentos* (5.^a ed.). Pearson Educación.
- Brito, E. S., Araújo, M. C. P., Alves, R. E., Carkeet, C., Clevidence, B. A., & Novotny, J. A. (2007). Anthocyanins present in selected tropical fruits: Acerola, jambolão, jussara, and guajiru. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 55(23), 9389–9394. <https://doi.org/10.1021/jf071695v>
- Calvo, M. M., & Durán, L. (1997). Propiedades ópticas y color de los alimentos. En *Manual de industrias de los alimentos*. Acribia.
- Can-Cauich, C. A., et al. (2017). Tropical fruit peel powders as functional ingredients. *Journal of Functional Foods*, 37, 501–506. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2017.08.028>
- Córdova, A. (2014). *Colorantes naturales y sintéticos en la industria cosmética y alimentaria* [Monografía]. UNAM.
- Garzón, G. A. (2008). Las antocianinas como colorantes naturales y compuestos bioactivos: Revisión. *Acta Biológica Colombiana*, 13(3), 27–36.
- Hutchings, J. B. (1999). *Food color and appearance* (2.^a ed.). Aspen Publishers.
- Meilgaard, M. C., Civille, G. V., & Carr, B. T. (2007). *Sensory evaluation techniques* (4th ed.). CRC Press.
- Melo-Zambrano, A., & Moncada-Rodríguez, P. (2016). *Propuesta documental para la ejecución de pruebas de calidad con miras a establecer estabilidad cosmética*. Universidad Nacional de Colombia.
- SIAP. (s.f.). *Sistema de Información Agroalimentaria y Pesquera: Producción agrícola anual*. Gobierno de México. <https://www.gob.mx/agricultura>
- Timberlake, C. F. (1980). Anthocyanins—occurrence, extraction and chemistry. *Food Chemistry*, 5(1), 69–80. [https://doi.org/10.1016/0308-8146\(80\)90024-3](https://doi.org/10.1016/0308-8146(80)90024-3)
- Wrolstad, R. E. (2000). Anthocyanins. En *Natural food colorants* (pp. 237–252). Marcel Dekker.



CIEN+TEC UADY

¿Cuáles Son las 10 Tendencias Actuales de la Ingeniería en Alimentos?

What Are the Ten Current Trends in Food Engineering?

Betancur-Ancona, D.*

Facultad de Ingeniería Química, Universidad Autónoma de Yucatán, Periférico Norte Km. 33.5, Tablaje Catastral 13615, Colonia Chuburná de Hidalgo Inn, 97203 Mérida, Yucatán, México. *E-mail: bancona@correo.uady.mx

Resumen y Abstract

Resumen

Las tendencias actuales en la ingeniería de alimentos están impulsadas por la demanda de productos más saludables, sostenibles y tecnológicamente avanzados. Entre las principales directrices destacan: el desarrollo de alimentos funcionales y nutraceuticos; el auge de las proteínas alternativas de origen vegetal, cultivadas en laboratorio o derivadas de insectos; la sostenibilidad y economía circular con énfasis en la reducción del desperdicio y el uso de envases biodegradables; la adopción de tecnologías avanzadas de procesamiento como la impresión 3D, la alta presión y la inteligencia artificial; la preferencia por alimentos limpios y naturales (clean label); la innovación en ingredientes como edulcorantes naturales y grasas saludables; el diseño de productos para nuevas generaciones; la trazabilidad mediante blockchain; la automatización y robótica; y el fortalecimiento de las regulaciones de seguridad alimentaria. Estas tendencias reflejan un enfoque integral hacia la innovación, la sostenibilidad y la salud.

Palabras clave: ingeniería de alimentos, alimentos funcionales, proteínas alternativas, sostenibilidad, clean label.

Abstract

Current trends in food engineering are driven by the demand for healthier, more sustainable, and technologically advanced products. The main guidelines include: the development of functional foods and nutraceuticals; the rise of alternative proteins from plant-based sources, laboratory-grown meat, and insects; sustainability and circular economy with emphasis on waste reduction and biodegradable packaging; the adoption of advanced processing technologies such as 3D printing, high-pressure processing, and artificial intelligence; consumer preference for clean-label and natural foods; ingredient innovation including natural sweeteners and healthy fats; product design for new generations; blockchain-based traceability; automation and robotics; and strengthened food safety regulations. These trends reflect a comprehensive approach toward innovation, sustainability, and health, positioning food engineering as a key driver of a more responsible and technologically advanced food industry.

Keywords: food engineering, functional foods, alternative proteins, sustainability, clean label.

Tendencias 1 y 2: Alimentos Funcionales y Proteínas Alternativas



1. Alimentos Funcionales y Nutraceuticos

Los consumidores buscan alimentos que no solo nutran, sino que también prevengan enfermedades o mejoren el bienestar. Los productos funcionales incluyen:

- Fibra dietética, probióticos y prebióticos
- Antioxidantes y ácidos grasos poliinsaturados (Omega-3, Omega-6)

La **personalización nutricional** se impulsa mediante genómica e inteligencia artificial para adaptar alimentos a las necesidades individuales de cada consumidor.



2. Proteínas Alternativas

Crece la demanda de alternativas a la carne y productos de origen animal, con tres grandes vertientes:

- **Proteínas vegetales:** hamburguesas y análogos de leches de soya, coco, arroz y almendra
- **Carne cultivada:** producida a partir de células animales en laboratorio, reduciendo la ganadería intensiva
- **Insectos:** fuente de proteína sostenible y nutritiva con gran potencial de escalamiento industrial

Tendencias 3 y 4: Sostenibilidad y Tecnologías Avanzadas



3. Sostenibilidad y Economía Circular

La ingeniería de alimentos impulsa sistemas alimentarios más responsables:

- **Reducción del desperdicio:** innovaciones en procesamiento y conservación para incrementar la vida útil de los productos
- **Subproductos y residuos:** transformación de desechos en ingredientes valiosos, como harinas de cáscaras de frutas o proteínas de residuos vegetales
- **Envases sostenibles:** materiales biodegradables, compostables o reciclables para reducir el impacto ambiental



4. Tecnologías Avanzadas de Procesamiento

Nuevas tecnologías transforman radicalmente la producción de alimentos:

- **Impresión 3D de alimentos:** creación de alimentos personalizados en forma, textura y nutrición
- **Métodos no térmicos:** alta presión, pulsos eléctricos y campos magnéticos, preservando propiedades nutricionales y sensoriales
- **Inteligencia artificial y big data:** optimización de procesos, control de calidad y predicción de tendencias de consumo

Tendencias 5, 6 y 7: Etiquetas Limpias, Ingredientes e Innovación Generacional



5. Alimentos Limpios y Naturales (Clean Label)

Los consumidores prefieren alimentos con ingredientes reconocibles y mínimamente procesados. Esta tendencia impulsa la **reducción de aditivos artificiales** y el uso de conservadores y colorantes de origen natural. Las etiquetas limpias se han convertido en un diferenciador clave y en criterio de compra determinante para los consumidores modernos.



6. Innovación en Ingredientes

Se desarrollan nuevas alternativas para mejorar el perfil nutricional de los productos:

- **Alternativas al azúcar:** edulcorantes naturales de bajo índice glucémico como la stevia, el monk fruit y la trealosa
- **Grasas saludables:** sustitución de grasas trans y saturadas por grasas insaturadas y de origen vegetal, mejorando el perfil lipídico de los alimentos



7. Alimentos Adaptados a Nuevas Generaciones

El diseño de productos responde a los estilos de vida contemporáneos:

- **Snacks saludables:** bajos en calorías, ricos en fibra y proteínas, que satisfacen la demanda de opciones nutritivas entre comidas
- **Listos para consumir:** comidas preparadas saludables y convenientes para estilos de vida acelerados, sin sacrificar calidad nutricional

Tendencias 8, 9 y 10: Trazabilidad, Automatización y Seguridad Alimentaria



8. Trazabilidad y Transparencia

La tecnología **Blockchain** garantiza la transparencia en la cadena de suministro, permitiendo rastrear el origen y recorrido de los alimentos en tiempo real. El **etiquetado inteligente** con códigos QR y etiquetas NFC proporciona información detallada sobre el origen y proceso de producción directamente al consumidor.



9. Automatización y Robótica

Los procesos automatizados con **robots** para tareas repetitivas mejoran la eficiencia y reducen errores humanos. En el ámbito agrícola, la **agricultura de precisión** emplea drones y sensores para optimizar el cultivo, reduciendo el uso de insumos y maximizando los rendimientos.



10. Regulaciones y Seguridad Alimentaria

Se aplican **normativas más estrictas** con mayor enfoque en la inocuidad alimentaria y el cumplimiento de estándares internacionales. Sensores y tecnologías avanzadas permiten la **detección rápida de contaminantes**, identificando patógenos o sustancias nocivas de manera oportuna y precisa.

Conclusión: El Futuro de la Ingeniería en Alimentos

"Estas tendencias reflejan un enfoque integral hacia la innovación, la sostenibilidad y la salud, respondiendo a las necesidades y expectativas de los consumidores modernos. La ingeniería de alimentos juega un papel clave en la transformación de la industria alimentaria hacia un futuro más responsable y tecnológicamente avanzado." — David Betancur-Ancona



Innovación

IA, impresión 3D, blockchain y automatización

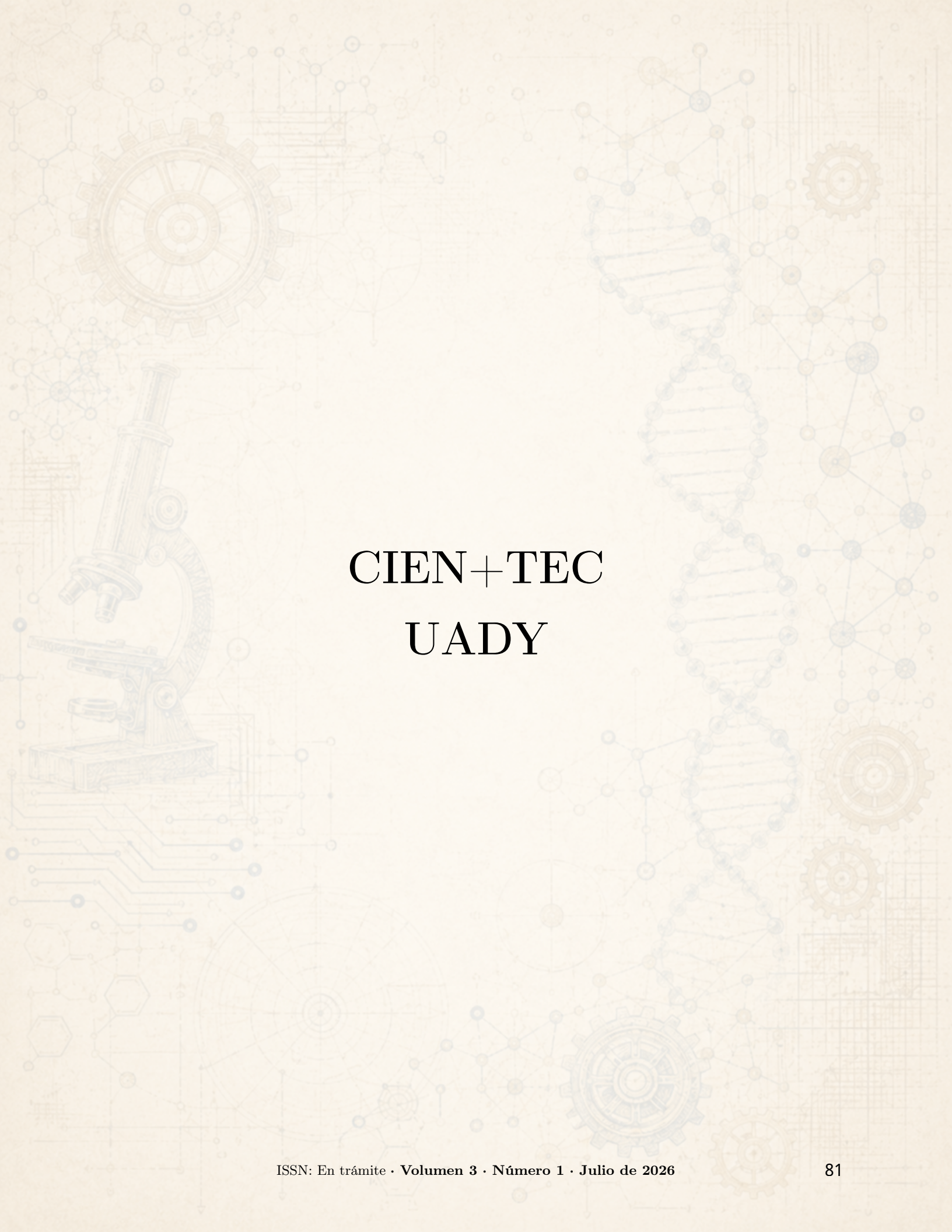
Sostenibilidad

Economía circular, envases biodegradables y menos desperdicio

Salud y bienestar

Alimentos funcionales, proteínas alternativas y clean label

Las diez tendencias analizadas convergen en tres grandes ejes que definen el rumbo de la ingeniería de alimentos: la **innovación tecnológica**, la **sostenibilidad** y la **salud y bienestar**. La industria alimentaria del siglo XXI exige profesionales capaces de integrar conocimientos multidisciplinarios para responder a consumidores cada vez más informados y exigentes, en un contexto de recursos naturales limitados y desafíos globales de seguridad alimentaria.



CIEN+TEC UADY



CUENTO CIENTÍFICO

El Grano Dorado

Un relato de ciencia, sabor y descubrimiento en los laboratorios del sureste mexicano. A través de la mirada de investigadores apasionados, este cuento explora cómo la alpiste —un modesto grano amarillo— esconde propiedades nutricionales y funcionales que podrían transformar la alimentación de millones de personas.

Entre microscopios, cromatógrafos y aromas a cereal tostado, la ciencia cobra vida en las aulas y pasillos de una universidad tropical, donde cada experimento es también una historia de curiosidad, rigor y esperanza.

Eduardo Castaneda Pérez

Facultad de Ingeniería Química, Universidad Autónoma de Yucatán
Periférico Norte Km. 33.5, Tablaje Catastral 13615, Colonia Chuburná de Hidalgo Inn, 97203 Mérida, Yucatán, México



Una Mañana en el Laboratorio

A las siete de la mañana, en los pasillos de un Centro de Investigaciones en el sureste mexicano, flotaba una mezcla de aromas: café recién hecho, vainilla y algo sutil aún sin identificar. Leo, joven estudiante cumpliendo su servicio social, sentía que aquello era menos un requisito de titulación y más una misión personal.

En la mesa principal de reactivos, un frasco de vidrio contenía un fino **polvo dorado** etiquetado como *"el grano dorado en polvo"*. A su alrededor, las batas blancas se movían con la precisión de un reloj suizo. Cada movimiento, cada anotación en las bitácoras, parecía parte de una coreografía silenciosa dedicada a descifrar los secretos de aquel singular ingrediente.

¿Comida para Pájaros?



La Incredulidad de Leo

Leo no podía creerlo: mientras los alimentos preparados de manera convencional y ultraprocesados ganaban terreno en la batalla contra la diabetes en México, la Dra. Fernanda le proponía voltear a ver el alpiste; esa semilla humilde, de cáscara amarilla, eternamente asociada al comedero de pájaros. Leo frunció el ceño. ¿En serio la respuesta podría estar ahí, en algo tan cotidiano y tan ignorado?



La Respuesta de la Ciencia

La Dra. Fernanda explicó con calma y precisión: su nombre científico es *Phalaris canariensis*. Supera en contenido proteico al trigo y a la avena, es rico en antioxidantes y ácidos grasos esenciales. No obstante, tardó años en ser evaluado y registrado oficialmente como apto para el consumo humano. La ciencia, a veces, camina más despacio que la intuición.

- ❑ El verdadero misterio no era su composición química, sino cómo reaccionaría el cuerpo humano al digerirlo de forma sistemática.

La Receta de la Ciencia

El equipo —Claudia, Alfonso, Raquel y Eduardo— buscaba reinventar los hot cakes clásicos y convertirlos en un arma contra el azúcar en la sangre. Sustituir la harina de trigo por la de alpiste era caminar a ciegas: muy poco y el beneficio sería mínimo; demasiado y el resultado sería incomedible. La clave estaba en encontrar el punto exacto donde la ciencia y el sabor coexistieran.

0 %

Muestra control: el hot cake clásico de toda la vida.

10 %

Primera sustitución de harina de alpiste por trigo.

30 %

Sustitución media con mayor aporte nutricional.

50 %

Máxima concentración de alpiste en la fórmula.

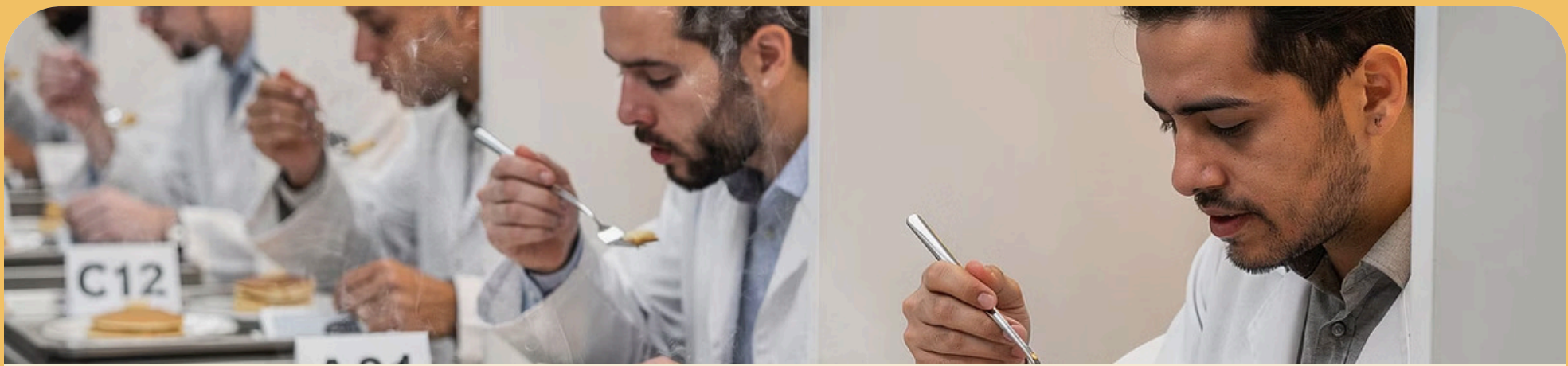
Cada variable se medía con rigor absoluto: la proporción de agua, el polvo para hornear, la canela y la vainilla. En ese laboratorio no había espacio para el "tanteo" ni para la intuición. Solo datos, repetición y análisis.



Del Fuego al Análisis

Las mezclas se vertieron en sartenes a temperatura controlada entre **50 y 55 °C**. El laboratorio se llenó del aroma dulce que recuerda al hogar, una señal engañosa de que el trabajo había terminado. A simple vista, los hot cakes lucían perfectos y esponjosos, con una textura uniforme y un color dorado irresistible. Pero en la ciencia, las apariencias nunca son suficientes: lo que importa no es lo que se ve, sino lo que se puede medir.

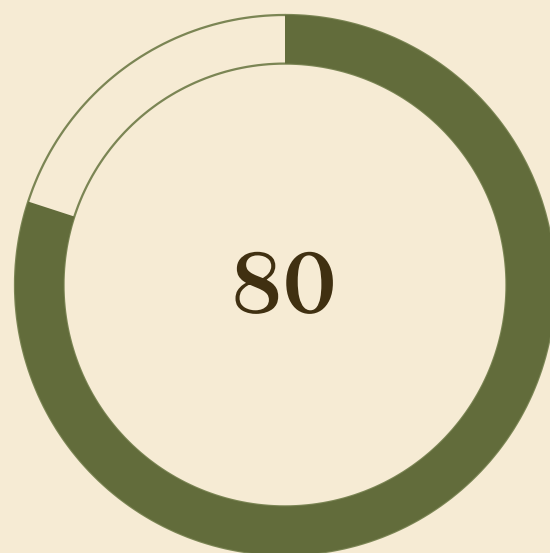
Para entender lo que habían creado, primero había que destruirlo sistemáticamente. Se tomaron muestras y se colocaron en horno a **100 °C** durante cuatro horas para determinar el contenido de humedad. Después, las muestras pasaron a la mufla a **555 °C** para calcinar toda la materia orgánica y obtener las cenizas minerales puras: fósforo, potasio, magnesio y calcio. Solo así, desde las ruinas del producto, podría conocerse su verdadero valor nutricional.



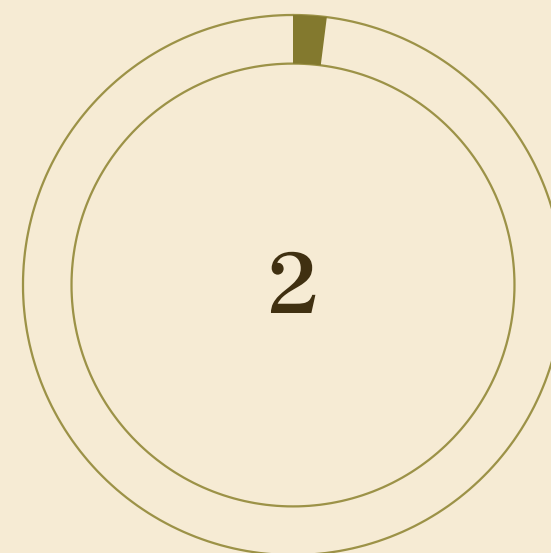
El Veredicto del Paladar

Ochenta personas entraron a las cabinas del laboratorio sensorial sin saber qué contenían los recipientes codificados. Evaluaron textura, color, aroma, sabor y aceptación general. Las fórmulas al **10 % y 30 %** dominaron las preferencias con calificaciones de "me gusta" y "me gusta mucho": textura exacta, miga esponjosa y un balance de sabor ideal que se realzaba aún más con un hilo de miel.

La versión al **50 %** dejaba un resabio ligeramente amargo, probablemente por la alta concentración de polifenoles y antioxidantes del alpiste. Aunque nutricionalmente superior, su aceptación sensorial fue considerablemente menor, lo que la descarta como opción viable para el mercado.



Jueces sensoriales



Fórmulas ganadoras

10 % y 30 %

- El perfil nutricional era impecable: a mayor alpiste, la grasa caía en picada mientras la proteína superaba con creces a los hot cakes tradicionales.



El Triunfo del Grano Dorado

El momento decisivo llegó con la prueba del **índice glucémico**: diez voluntarios sanos fueron monitoreados durante tres horas tras consumir los hot cakes. Mientras la versión clásica elevaba la glucosa bruscamente, las versiones con alpiste dibujaron una curva suave y plana, confirmando su potencial funcional.

34–39%

Índice glucémico

Clasificado oficialmente como alimento de **bajo índice glucémico**.

+Proteí...

Vs. trigo y avena

El alpiste supera en proteína a los cereales convencionales.

↘ Grasa

Perfil nutricional

A mayor sustitución de alpiste, menor contenido de grasa total.

La Dra. Fernanda apagó el monitor y miró a Leo y al equipo. Esa sonrisa ya no era de simple curiosidad, sino de **victoria tras un largo esfuerzo**. El grano dorado había demostrado que el desayuno del futuro podía nacer de lo más inesperado.

Basado en: Escalante-Figueroa et al. (2024). Development of low glycemic index pancakes formulated with canary seed (Phalaris canariensis) flour. Plant Foods for Human Nutrition, 79(1), 120–126. <https://doi.org/10.1007/s11130-023-01138-7>

CIEN+TEC UADY, Vol. 3, Núm. 1, julio de 2026, es una publicación semestral editada por la Universidad Autónoma de Yucatán, a través de la Facultad de Ingeniería Química, Periférico Norte Km. 33.5, Tablaje Catastral 13615, Colonia Chuburná de Hidalgo Inn, C.P. 97203, Mérida, Yucatán, México. Tel. (999) 946-09-56.

Página electrónica de la revista: <https://www.ingquimica.uady.mx/cientec/numeros.php>

Correo electrónico: cien.tec@correo.uady.mx

Editores responsables: Dr. David Betancur Ancona y Dr. Luis Chel Guerrero.

Reserva de Derechos al Uso Exclusivo: No. 04-2026-040914150600-102.

ISSN: en trámite.

Responsable de la última actualización de este número: Dr. Luis Chel Guerrero.

Fecha de última modificación: julio de 2026.

Licencia Creative Commons. Los contenidos de este número se publican en acceso abierto bajo los términos y condiciones de la Licencia Internacional Creative Commons Atribución 4.0 (CC BY 4.0), salvo que se indique lo contrario.

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

Licencia de uso



Creative Commons
Atribución 4.0 Internacional
(CC BY 4.0)

Se permite copiar, redistribuir y adaptar el contenido en cualquier medio, incluso con fines comerciales, siempre que se otorgue el crédito correspondiente.

creativecommons.org/licenses/by/4.0/

Derechos de autor. Los derechos de autor de los artículos son propiedad de sus autores. La reproducción total o parcial deberá citar adecuadamente la fuente y respetar la licencia de uso correspondiente.

Responsabilidad editorial. Las opiniones expresadas por los autores no necesariamente reflejan la postura de los editores de la publicación, de la Facultad de Ingeniería Química ni de la Universidad Autónoma de Yucatán.

La adecuación de los contenidos al formato de difusión se realiza con apoyo de herramientas de inteligencia artificial, empleadas únicamente para fines editoriales y de divulgación, garantizando la fidelidad e integridad de los resultados originales.

Discusiones, correcciones y actualización posterior a la publicación. Cualquier corrección, actualización o comunicación posterior relacionada con los artículos publicados se realizará mediante los mecanismos editoriales definidos por la revista y, cuando corresponda, se incorporará en números posteriores o en la página electrónica oficial.

CIEN+TEC UADY · Vol. 3, Núm. 1 · julio de 2026

<https://www.ingquimica.uady.mx/cientec/numeros.php>