

Revalorización del nejayote: Evaluación antibacteriana de extractos de maíz Valorization of nejayote: Antibacterial evaluation of maize extracts

E. Díaz-Montes 

División Químico Biológicas, Universidad Tecnológica de Tecámac, Carretera Federal México - Pachuca, Km. 37.5, Predio Sierra Hermosa, C.P. 55740, Tecámac, Estado de México, México.

Resumen

El crecimiento de la industria agroalimentaria ha generado una gran cantidad de residuos, lo cual plantea importantes retos ambientales y económicos. Este estudio evaluó la actividad antibacteriana de extractos de nejayote, un subproducto de la nixtamalización del maíz, contra *Escherichia coli*, *Listeria monocytogenes* y *Salmonella typhimurium*, como alternativa para su aprovechamiento. Se obtuvieron extractos de tres variedades de maíz (blanco, rojo y morado) y se aplicaron en concentraciones entre 0.04 y 0.07 mg de polifenoles/mL, para evaluar su efecto inhibitorio. Los resultados destacan la posibilidad de revalorizar este subproducto abundante en México, y sugieren que los polifenoles presentes podrían tener aplicaciones en la inocuidad alimentaria. Futuros estudios deberían concentrar los extractos para evaluar su concentración mínima inhibitoria y considerar métodos complementarios, ofreciendo una solución sostenible para la gestión de residuos y el desarrollo de productos innovadores.

Palabras Clave: Maíz, Residuos, Compuestos fenólicos, Polifenoles, Resistencia, Bacterias.

Abstract

The growth of the agro-food industry has generated a large amount of waste, posing significant environmental and economic challenges. This study evaluated the antibacterial activity of nejayote extracts, a by-product of maize nixtamalization, against *Escherichia coli*, *Listeria monocytogenes*, and *Salmonella typhimurium*, as an alternative for its utilization. Extracts were obtained from three varieties of maize (white, red, and purple) and applied at concentrations between 0.04 and 0.07 mg polyphenols/mL to assess their inhibitory effect. The results highlight the potential to revalue this abundant by-product in Mexico and suggest that the present polyphenols could have applications in food safety. Future studies should concentrate the extracts to determine their minimum inhibitory concentration and consider complementary methods, offering a sustainable solution for waste management and the development of innovative products.

Keywords: Maize, Waste, Phenolic compounds, Polyphenols, Resistance, Bacteria.

Introducción

El crecimiento de la industria agroalimentaria ha traído consigo la generación de grandes volúmenes de desechos, lo que representa un reto significativo tanto en el ámbito ambiental como económico. A escala global, se estima que un tercio de los alimentos producidos no llegan a consumirse y terminan en forma de desperdiciado; una fracción importante de estos proviene de subproductos derivados del procesamiento de bebidas, frutas, verduras, lácteos y cereales (Díaz-Montes, 2022; Castro-Muñoz et al., 2022).

En el caso de México, los sectores agropecuarios —como la producción de caña de azúcar, maíz, cerveza de cebada y leche de vaca— son los principales generadores de residuos

agroindustriales. Entre estos desechos se encuentran bagazo, semillas, tallos, salmueras y aguas residuales (Díaz-Montes, 2022). Aunque estos subproductos a menudo se consideran desechos, investigaciones recientes han demostrado que contienen valiosas fuentes de compuestos lignocelulósicos, como celulosa, hemicelulosa y lignina (Phiri et al., 2024).

En la última década, los residuos agroindustriales han adquirido mayor importancia debido a la presencia de compuestos bioactivos, entre los que destacan los compuestos fenólicos y ácidos orgánicos (Castro-Muñoz et al., 2022). Estos metabolitos poseen propiedades antioxidantes, antiinflamatorias y antimicrobianas, lo que ha despertado un notable interés en diversos sectores industriales, incluyendo el

*Autor para la correspondencia: elsadimo123@gmail.com
Correo electrónico: elsadimo123@gmail.com (Elsa Díaz-Montes)

farmacéutico, el alimentario y cosmético (Enciso-Martínez et al., 2024; Abbasi-Parizad et al., 2022).

Diversos subproductos vegetales, como cáscaras de frutas, hojas y semillas, han sido reconocidos por su potencial antimicrobiano, al mostrar la capacidad de inhibir el crecimiento de bacterias. Ejemplo de ello son los extractos de hojas de *Anredera cordifolia*, *Psidium guajava* y *Pogostemon cablin* han mostrado efectos inhibidores sobre *Escherichia coli*, atribuidos a su riqueza en compuestos fenólicos, flavonoides y terpenoides (Budianto et al., 2021). De manera similar, el aceite extraído de semillas de dátil ha presentado actividad inhibitoria contra *Salmonella enteritidis*, *Salmonella typhimurium* y *E. coli*, principalmente por la presencia de octadecano y ácido oleico (Alkhalidy et al., 2023).

En el caso de la uva, los extractos de subproductos de diferentes variedades han mostrado actividad frente a *Staphylococcus aureus*, *Listeria monocytogenes*, *Pseudomonas aeruginosa* y *E. coli*, principalmente por la presencia de catequinas, procianidinas y ácido gálico. Por otra parte, extractos de tuna, caracterizados por un alto contenido de carvacrol, limoneno, escualeno y ácido hexadecanoico, mostraron inhibir el crecimiento de *L. monocytogenes*, *Bacillus cereus*, *S. aureus* y *E. coli* (Gonçalves et al., 2021).

Con base en estos antecedentes, el objetivo de este estudio fue evaluar la actividad antibacteriana de extractos obtenidos del subproducto de la nixtamalización (nejayote) contra *E. coli*, *L. monocytogenes* y *S. typhimurium*, como una alternativa de aprovechamiento y revalorización del subproducto tras su fraccionamiento con membranas para la extracción de carbohidratos.

1. Materiales y métodos

1.1. Extractos de nejayote

El nejayote se generó mediante un proceso tradicional de nixtamalización. Para ello, se cocieron 1 kg de granos de maíz en 3 L de agua alcalina (NaOH: 0.33 % p/v) durante 40 min a 90 °C. El agua residual se dejó reposar durante 16 h y luego los granos se escurrieron y lavaron dos veces con agua destilada, lo que resultó en un volumen total de 4 L.

Se eliminó la materia sólida por medio de decantación y se reservó el nejayote. El proceso de nixtamalización se realizó con maíz blanco (Mushito de Michoacán), maíz rojo (Elote Occidental) y maíz morado (Elotero de Sinaloa).

Cada tipo de nejayote se fraccionó utilizando un sistema integrado de membranas: microfiltración 0.1 µm (CFP-1-E-4A, Amersham Biosciences); ultrafiltración 100 kDa (UFP-100-E-4A, Amersham Biosciences); y ultrafiltración 1 kDa (UFP-1-E-4, A/G Technology). Las filtraciones se operaron por lotes a 25 °C y 58 L/h, a presiones de 1.3, 1.3 y 1.7 bar respectivamente, según se muestra en la Figura 1. Las fracciones finales (UF1-Permeados) fueron los extractos de estudio, los cuales se denominaron de acuerdo con el maíz de procedencia (blanco, rojo y morado) como EMB, EMR y EMM, respectivamente.

1.2. Determinación de azúcares

El contenido de sólidos totales se determinó mediante secado en estufa (SMEWW, 1991). Los carbohidratos totales se determinaron de acuerdo con el método del fenol-sulfúrico (Díaz-Montes et al., 2020). Los azúcares se identificaron mediante cromatografía líquida de alta resolución con detector de infrarrojo (Varian ProStar 9002) utilizando una columna de resina de calcio (300 mm x 7.8 mm, 9 µm; Aminex HPX-87C).

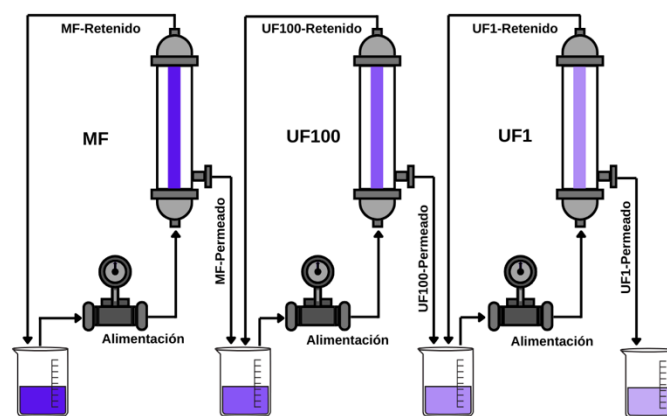


Figura 1. Sistema de membranas acopladas para obtener los extractos de nejayote. MF: microfiltración; UF100: ultrafiltración 100 kDa; UF1: ultrafiltración 1 kDa.

1.3. Determinación de componentes fenólicos

El contenido de fenoles totales se determinó por el método de Folin-Ciocalteu (Díaz-Montes et al., 2020). La identificación de componentes fenólicos se determinó mediante cromatografía líquida de ultra alta resolución con detector de fotodiodos (Thermo Scientific) utilizando una columna C18 (50 mm x 2.1 mm, 1.8 µm; Hypersil 3u), acoplado a un espectrómetro de masas (microTOF-Q, Bruker) (Díaz-Montes et al., 2020).

1.4. Cepas bacterianas

Las cepas patógenas empleadas en este estudio fueron *E. coli* (ATCC 43895), *L. monocytogenes* (ATCC 19115) y *S. typhimurium* (ATCC 14028), proporcionadas por el Laboratorio de Biotecnología Alimentaria de la Unidad Profesional Interdisciplinaria de Biotecnología (Instituto Politécnico Nacional, México). Las bacterias se reactivaron en caldo Mueller Hinton II durante 24 h a 35 °C, para transferirse y cultivarse en agar Mueller Hinton II durante 24 h a 35 °C.

1.5. Evaluación de sensibilidad a componentes fenólicos

Las evaluaciones de sensibilidad se llevaron a cabo siguiendo el método de Kirby-Bauer (difusión en disco). Para ello se impregnaron discos de papel filtro (No. 1, Whatman®) de 5 mm de diámetro, con 50 y 100 µL (mediante una doble impregnación de 50 + 50 µL) de los extractos EMB, EMR y EMM y se dejaron reposar hasta evaporación total del agua.

Las cepas bacterianas se suspendieron en solución salina (0.9 % p/v) hasta ajustar la densidad al estándar 0.5 de

McFarland. (1.5×10^8 células/mL) (Melaku et al., 2018). Una alícuota (aprox. 2 mL) de las bacterias estandarizadas se inoculó en la superficie de agar Mueller Hinton II, se dejó reposar. En cada placa se le colocaron 7 discos extractos EMB, EMR y EMM, previamente preparados. Las placas se incubaron durante 24 h a 35 °C y se midieron los halos formados en la superficie del agar (Cercenado & Saavedra-Lozano, 2009).

Se usaron como controles negativos discos de papel (No. 1, Whatman®) de 5 mm de diámetro impregnados con agua destilada; y como controles positivos discos con antibióticos comerciales (ampicilina (AM: 10 µg), cefalotina (CF: 30 µg), cefotaxima (CTX: 30 µg), ceftazidima (CAZ: 30 µg), cefuroxima (CXM: 30 µg), dicloxacilina (DC: 1 µg), eritromicina (E: 15 µg), gentamicina (GE: 10 µg), pefloxacin (PEF: 5 µg), penicilina (PE: 10 µg), tetraciclina (TE: 30 µg) y trimetoprim-sulfametoxazol (SXT: 25 µg)), incubados a las mismas condiciones que las pruebas.

1.6. Análisis estadístico

Los métodos experimentales y analíticos se realizaron por triplicado y los resultados se expresan como la media \pm desviación estándar (DE). Se realizó un análisis de varianza unidireccional (ANOVA) usando el Software SAS® (versión 9.4, Institute Inc.). Para comparar las medias se utilizó la prueba de Tukey con un nivel de significancia de $p < 0.05$.

2. Resultados

Los extractos (EMB, EMR y EMM) se caracterizaron de acuerdo con su composición en azúcares y compuestos

fenólicos para determinar diferencias significativas entre ellos. Se identificaron y cuantificaron los tipos de polifenoles y azúcares contenidos en los extractos, y se evaluó la susceptibilidad de *E. coli*, *L. monocytogenes* y *S. typhimurium* frente a ellos.

2.1. Composición de azúcares y componentes fenólicos

La principal fuente de carbono para las bacterias son los carbohidratos, como la glucosa, ya que generan energía, a través de su catabolismo (Carreón-Rodríguez et al., 2023). La composición química del nejayote y sus extractos depende completamente de la composición química del maíz del cual provienen y de las condiciones de nixtamalización (Díaz-Montes et al., 2016).

En México, existen 59 variedades de maíz que son ricas en carbohidratos, proteínas y fibra, con contenidos que oscilan entre 66-76, 5-14 y 0.8-3 %, respectivamente, dependiendo del tipo de maíz (CONABIO, 2020; FAO, 1992).

La Tabla 1 muestra el contenido de azúcares y componentes fenólicos en los extractos de nejayote. Como se puede observar, el contenido de carbohidratos fue mayor en el EMB, seguido del EMM y finalmente el EMR. La identificación de azúcares reveló que más del 94 % del contenido correspondía a glucosa; mientras que el resto era fructosa.

Esto era de esperar, ya que son los principales azúcares solubles presentes en el maíz (Leach & Braun, 2016). La cantidad de glucosa y fructosa en cada extracto depende claramente del tipo de maíz utilizado, ya que el contenido de carbohidratos varía según la composición anatómica de cada variedad, es decir, endospermo, pericarpio, pedicelo y germen (Rivera-Castro et al., 2020).

Tabla 1. Contenido de azúcares y componentes fenólicos en los extractos de nejayote provenientes de maíz blanco (EMB), maíz rojo (EMR) y maíz morado (EMM).

Composición	EMB	EMR	EMM
Sólidos totales (g/L nejayote)	0.47 \pm 0.00 ^a	0.49 \pm 0.22 ^a	0.42 \pm 0.01 ^a
Carbohidratos (g/g sólidos totales)			
Totales	2.04 \pm 0.11 ^a	0.53 \pm 0.08 ^c	1.92 \pm 0.28 ^b
Glucosa	1.94 \pm 0.12 ^a	0.51 \pm 0.08 ^b	1.83 \pm 0.30 ^a
Fructosa	0.09 \pm 0.03 ^a	0.02 \pm 0.01 ^b	0.08 \pm 0.02 ^a
Polifenoles (g/g sólidos totales)			
Totales	1.18 \pm 0.02 ^c	1.41 \pm 0.07 ^b	1.76 \pm 0.03 ^a
Ácido ferúlico	0.14 \pm 0.00 ^c	0.20 \pm 0.01 ^b	0.27 \pm 0.00 ^a
Ácido <i>p</i> -cumárico	0.03 \pm 0.00 ^c	0.05 \pm 0.00 ^b	0.10 \pm 0.00 ^a
Derivado del ácido cafeico	0.51 \pm 0.01 ^c	0.74 \pm 0.04 ^a	0.58 \pm 0.01 ^b
Ácido deshidrodiferúlico	0.08 \pm 0.00	nd	nd
Ácido dihidroxifenil lactoil tartárico	0.04 \pm 0.00 ^c	0.06 \pm 0.00 ^b	0.08 \pm 0.00 ^a
Derivado del ácido cafeoil tartárico	0.11 \pm 0.00 ^b	0.11 \pm 0.01 ^b	0.18 \pm 0.00 ^a
Isómero del ácido cafeoil tartárico	0.18 \pm 0.00 ^b	0.18 \pm 0.01 ^b	0.30 \pm 0.00 ^a
Desconocido	0.09 \pm 0.00 ^b	0.07 \pm 0.00 ^c	0.25 \pm 0.00 ^a

nd: no detectado. Resultados expresados con la media \pm DE para cada muestra ($n = 3$). Las letras diferentes en la misma fila representan una variación significativa ($p < 0.05$) de acuerdo con la prueba de Tukey.

Por otro lado, la cantidad y los tipos de componentes fenólicos en los extractos también están relacionados con el tipo de maíz de procedencia. Por ejemplo, los ácidos *p*-cumárico y ferúlico están presentes en la mayoría de los

maíces; mientras que los ácidos vinílico y cafeico se encuentran en los maíces amarillos. Además, los polifenoles glicosilados, esterificados o insolubles son característicos de

los maíces pigmentados, como los maíces azules, rojos y morados (Salinas-Moreno et al., 2017).

En la Tabla 1 se muestra la identificación de los componentes fenólicos en los extractos, la cual se realizó mediante la consulta de los tiempos de retención en bases de datos y literatura (Díaz-Montes & Castro-Muñoz, 2022). Se identificaron 7 componentes fenólicos: ácido ferúlico, ácido p-cumárico, derivados del ácido cafeico, ácido deshidrodiferúlico, ácido dihidroxifenil lactoil tartárico, derivado del ácido cafeoil tartárico e isómero del ácido cafeoil tartárico. También se encontró un componente fenólico no identificado (desconocido), cuya concentración no muestra una relación aparente. Sin embargo, se observó que el EMM generalmente presentaba un mayor contenido de componentes fenólicos, lo cual puede estar asociado al color del grano (Salinas-Moreno et al., 2017).

2.2. Sensibilidad a componentes fenólicos

En la Tabla 2 se presentan los diámetros de los halos de inhibición de *E. coli*, *L. monocytogenes* y *S. typhimurium*

obtenidos en los diferentes ensayos de difusión. Como se observa, los resultados de los controles positivos (antibióticos) fueron variados y están relacionados con su mecanismo de acción. Los agentes antimicrobianos, como los antibióticos, pueden actuar de diversas maneras como: inhibir la síntesis de la pared celular (inhibiendo penicilinas y cefalosporinas); despolarizar la membrana celular (interactuando sobre los lipopéptidos); inhibir la síntesis de proteínas (inhibiendo tetraciclinas y aminoglucósidos); inhibir la síntesis de ácidos nucleicos (particularmente de quinolonas y fluoroquinolonas); o interferir en las vías metabólicas de las bacterias (por ejemplo, sulfonamidas y trimetoprima) (Reygaert, 2018).

Según la base de datos PubChem (2023), los antibióticos utilizados en el estudio actuaron inhibiendo alguna etapa de la síntesis celular (AM, CXM, DC y PE) o la síntesis completa (CF, CTX y CAZ). También se observó que inhibían la síntesis de ARN ribosomal (E y GE), evitando la interacción del ARN ribosomal con otras moléculas (TE), interfiriendo en la actividad enzimática (PEF) o inhibiendo moléculas biológicas (SXT).

Tabla 2. Actividad antimicrobiana y susceptibilidad bacteriana (tomado de Thombre et al., 2016) de los extractos de nejayote provenientes de maíz blanco (EMB), maíz rojo (EMR) y maíz morado (EMM) en *Escherichia coli*, *Listeria monocytogenes* y *Salmonella typhimurium*.

Ensayo		Concentración en disco (µg)	<i>E. coli</i>		<i>L. monocytogenes</i>		<i>S. typhimurium</i>	
			Zona de inhibición (mm)					
EMB	Polifenoles	55.68	0.00 ± 0.00 ⁱ	R	0.00 ± 0.00 ^e	R	0.00 ± 0.00 ^g	R
	Polifenoles	27.84	0.00 ± 0.00 ⁱ	R	0.00 ± 0.00 ^e	R	0.00 ± 0.00 ^g	R
EMR	Polifenoles	69.22	0.00 ± 0.00 ⁱ	R	0.00 ± 0.00 ^e	R	0.00 ± 0.00 ^g	R
	Polifenoles	34.61	0.00 ± 0.00 ⁱ	R	0.00 ± 0.00 ^e	R	0.00 ± 0.00 ^g	R
EMM	Polifenoles	74.63	0.00 ± 0.00 ⁱ	R	0.00 ± 0.00 ^e	R	0.00 ± 0.00 ^g	R
	Polifenoles	37.32	0.00 ± 0.00 ⁱ	R	0.00 ± 0.00 ^e	R	0.00 ± 0.00 ^g	R
Control-	Agua	0	0.00 ± 0.00 ⁱ	-	0.00 ± 0.00 ^e	-	0.00 ± 0.00 ^g	-
Control+	AM	10	8.13 ± 0.00 ^h	R	0.00 ± 0.00 ^e	R	0.00 ± 0.00 ^g	R
	CF	30	21.84 ± 0.00 ^e	S	0.00 ± 0.00 ^e	R	20.32 ± 0.00 ^e	S
	CTX	30	32.26 ± 0.00 ^a	I	0.00 ± 0.00 ^e	R	0.00 ± 0.00 ^g	R
	CAZ	30	19.81 ± 0.00 ^g	S	0.00 ± 0.00 ^e	R	0.00 ± 0.00 ^g	R
	CXM	30	19.81 ± 0.00 ^g	S	0.00 ± 0.00 ^e	R	0.00 ± 0.00 ^g	R
	DC	1	0.00 ± 0.00 ⁱ	R	0.00 ± 0.00 ^e	R	0.00 ± 0.00 ^g	R
	E	15	0.00 ± 0.00 ⁱ	R	0.00 ± 0.00 ^e	R	23.37 ± 0.00 ^d	S
	GE	10	22.86 ± 0.00 ^d	S	28.45 ± 0.00 ^c	S	27.94 ± 0.00 ^b	S
	PEF	5	26.67 ± 0.00 ^c	S	30.48 ± 0.00 ^b	S	27.69 ± 0.00 ^c	S
	PE	10	0.00 ± 0.00 ⁱ	R	0.00 ± 0.00 ^e	R	16.76 ± 0.00 ^f	S
	TE	30	21.34 ± 0.00 ^f	S	38.10 ± 0.00 ^a	S	27.94 ± 0.00 ^b	S
	SXT	25	30.48 ± 0.00 ^b	S	20.32 ± 0.00 ^d	S	33.02 ± 0.00 ^a	S

Ampicilina: AM; cefalotina: CF; cefotaxima: CTX; ceftazidima: CAZ; cefuroxima: CXM; dicloxacilina: DC; eritromicina: E; gentamicina: GE; pefloxacin: PEF; penicilina: PE; tetraciclina: TE; trimetoprim-sulfametoxazol: SXT. Resultados expresados con la media ± DE para cada muestra ($n = 3$). Susceptibilidad: resistente: R; intermedia: I; sensible: S. Las letras diferentes en la misma columna representan una variación significativa ($p < 0.05$) de acuerdo con la prueba de Tukey.

Por otro lado, los mecanismos de acción antibacteriana de los compuestos fenólicos no se conocen completamente. Sin embargo, se sabe que están involucrados en muchos sitios de acción a nivel celular (Bouarab-Chibane et al., 2019). Se han realizado estudios dedicados exclusivamente a evaluar el poder antimicrobiano de compuestos fenólicos contra

bacterias susceptibles y resistentes a los antibióticos (Ivanov et al., 2022; Manso et al., 2022).

Sin embargo, otros estudios demuestran que los compuestos fenólicos también pueden actuar como agentes promotores del crecimiento bacteriano, lo cual, depende del tipo de bacteria (Bouarab-Chibane et al., 2019).

En la Tabla 2 se muestran los diámetros de los halos de inhibición de *E. coli*, *L. monocytogenes* y *S. typhimurium* en los diferentes extractos de nejayote. Según los resultados de las pruebas de difusión, ninguna bacteria fue inhibida por los extractos. Esto podría deberse a la concentración de los compuestos fenólicos en los tratamientos. Es decir, se emplearon los extractos tal cual provenían del proceso de extracción de carbohidratos, que poseían concentraciones entre 0.03 y 0.07 mg/mL de polifenoles totales dependiendo del maíz de procedencia.

Según lo establecido por Ivanov et al. (2022), la concentración mínima inhibitoria de compuestos fenólicos puros contra bacterias Gramnegativas patógenas como *Pseudomonas aeruginosa* es de 0.1 mg/mL. Este hecho se sustenta en numerosas investigaciones, que reportan la misma concentración de compuestos fenólicos en un gran número de bacterias Gramnegativas y Grampositivas (Álvarez-Martínez et al., 2018; Othman et al., 2019).

Las bacterias se consideran resistentes cuando exhiben resistencia a diferentes clases de antibióticos, como ácidos fosfónicos, aminoglucósidos, carbapenémicos, cefalosporinas, fluoroquinolonas, penicilina, quinolonas, inhibidores de β -lactamasa y polimixinas (Thombre et al., 2016). La resistencia a los antibióticos puede atribuirse a cuatro mecanismos principales: limitación de la captación del antibiótico; inactivación del antibiótico; modificación del objetivo del antibiótico; y salida activa del antibiótico (Reygaert, 2018).

En la Tabla 2 se muestra la interpretación de los halos de inhibición de los controles positivos (antibióticos) en *E. coli*, *L. monocytogenes* y *S. typhimurium*. Se observa que la susceptibilidad varía según el tipo de bacteria probada. Por ejemplo, *E. coli* y *L. monocytogenes* fueron resistentes a la gentamicina, mientras que *S. typhimurium* fue sensible. Basándonos en esta interpretación, se estableció que *E. coli*, *L. monocytogenes* y *S. typhimurium* mostraron resistencia a los extractos de nejayote en las concentraciones empleadas (entre 0.03 y 0.07 mg/mL).

3. Conclusiones

La presente investigación analizó el potencial uso de extractos filtrados obtenidos de la extracción de carbohidratos del nejayote, un subproducto de la nixtamalización, en relación con el crecimiento de bacterias patógenas.

Los extractos se obtuvieron de la nixtamalización de tres variedades de maíz colorado (blanco, rojo y morado) y se emplearon para evaluar la susceptibilidad de *E. coli*, *L. monocytogenes* y *S. typhimurium* mediante la prueba de difusión en disco. Se evaluaron los extractos tras haber sido fraccionados con membranas para extraer los carbohidratos en dos volúmenes de aplicación, 50 y 100 μ L. Estas equivalen a concentraciones en disco entre 0.04 y 0.07 mg de polifenoles/mL.

Los resultados mostraron que las tres bacterias evaluadas fueron resistentes a los extractos, ya que no inhibieron su crecimiento. Si bien se trata de un resultado negativo, su valor científico radica en que aporta evidencia sobre las limitaciones de los extractos de nejayote en las condiciones probadas y ayuda a delimitar nuevas líneas de investigación,

como la necesidad de concentrar los extractos o aplicar metodologías complementarias.

Los hallazgos de este estudio tienen importantes implicaciones ambientales y alimentarias. Por un lado, se está valorizando un extracto obtenido del procesamiento de un subproducto generado en grandes volúmenes en México y, por otro lado, los polifenoles, identificados tienen evidencia prometedora, especialmente en el área de la inocuidad alimentaria.

Sin embargo, sería relevante concentrar los extractos para evaluar la concentración mínima inhibitoria. De modo que las pruebas de susceptibilidad generen datos positivos. Además, se podrían considerar otras técnicas fenotípicas, como las pruebas de difusión y gradiente para complementar los resultados obtenidos.

La extracción y aprovechamiento de estos compuestos no solo ofrece una solución sostenible para la gestión de residuos, sino que también representa una oportunidad para el desarrollo de nuevos productos innovadores.

Aunque los resultados obtenidos proporcionan una visión preliminar sobre sensibilidad bacteriana a componentes fenólicos, es fundamental realizar estudios adicionales para confirmar y expandir estos hallazgos. Por lo tanto, futuros ensayos deberían enfocarse en la concentración de los extractos de nejayote para proporcionar una comprensión más exhaustiva sobre su actividad antimicrobiana.

Referencias

- Abbasi-Parizad, P., Scarafoni, A., Pilu, R., Scaglia, B., De Nisi, P. & Adani, F. (2022). The recovery from agro-industrial wastes provides different profiles of anti-inflammatory polyphenols for tailored applications. *Front. Sustain. Food Syst.* 6:996562. DOI: 10.3389/fsufs.2022.996562
- Alkhalidy, H., Al-Nabulsi, A. A., Al-Tajer, M., Osaili, T., Olaimat, A. N., & Liu, D. (2023). Date (*Phoenix dactylifera* L.) seed oil is an agro-industrial waste with biopreservative effects and antimicrobial activity. *Scientific reports*, 13, 17142. DOI: 10.1038/s41598-023-44251-y
- Álvarez-Martínez, F. J., Barrajón-Catalán, E., Encinar, J. A., Rodríguez-Díaz, J. C., & Micol, V. (2018). Antimicrobial Capacity of Plant Polyphenols against Gram-positive Bacteria: A Comprehensive Review. *Current Medicinal Chemistry*, 27(15), 2576–2606. DOI: 10.2174/0929867325666181008115650
- Bouarab-Chibane, L., Forquet, V., Lantéri, P., Clément, Y., Léonard-Akkari, L., Oulahal, N., Degraeve, P., & Bordes, C. (2019). Antibacterial properties of polyphenols: Characterization and QSAR (Quantitative structure-activity relationship) models. *Frontiers in Microbiology*, 10(APR). DOI: 10.3389/fmicb.2019.00829
- Budianto, Arumsari, A. G., Inayah, N., Fatmaningrum, & Suparmi, A. (2021). Comparison of the effectiveness of leaf extracts of anredera cordifolia, psidium guajava and pogostemon cablin on inhibitory power over escherichia coli bacteria. *Vitae*, 28(3). DOI: 10.17533/UDEA.VITAE.V28N3A345386
- Carreón-Rodríguez, O. E., Gosset, G., Escalante, A., & Bolívar, F. (2023). Glucose Transport in Escherichia coli: From Basics to Transport Engineering. *Microorganisms*, 11(6), 1588. DOI: 10.3390/microorganisms11061588
- Castro-Muñoz, R., Díaz-Montes, E., Gontarek-Castro, E., Boczkaj, G., Galanakis, C. M. (2022). A comprehensive review on current and emerging technologies toward the valorization of bio-based wastes and by products from foods. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 21(1), 46-105. DOI: 10.1111/1541-4337.12894
- Cercenado, E., & Saavedra-Lozano, J. (2009). El antibiograma. Interpretación del antibiograma: conceptos generales (I). *Anales de Pediatría Continuada*, 7(4), 214–217. DOI: 10.1016/S1696-2818(09)71927-4
- CONABIO: Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. (2020). Razas de maíz de México.

- <https://www.biodiversidad.gob.mx/diversidad/alimentos/maices/razas-de-maiz>
- Díaz-Montes, E., & Castro-Muñoz, R. (2022). Analyzing the phenolic enriched fractions from Nixtamalization wastewater (Nejayote) fractionated in a three-step membrane process. *Current Research in Food Science*, 1–10. DOI: 10.1016/j.crfs.2021.11.012
- Díaz-Montes, E., Castro-Muñoz, R., & Yáñez-Fernández, J. (2016). An overview of nejayote, a nixtamalization by product. *Ingeniería Agrícola y Biosistemas*, 8(2), 41–60. DOI: 10.5154/r.inagbi.2016.03.002
- Díaz-Montes, E., Gutiérrez-Macias, P., Orozco-Álvarez, C., & Castro-Muñoz, R. (2020). Fractionation of Stevia rebaudiana aqueous extracts via two-step ultrafiltration process: towards rebaudioside a extraction. *Food and Bioproducts Processing*, 123, 111–122. DOI: 10.1016/j.fbp.2020.06.010
- Enciso-Martínez, Y., Zuñiga-Martínez, B. S., Ayala-Zavala, J. F., Domínguez-Avila, J. A., González-Aguilar, G. A., & Viuda-Martos, M. (2024). Agro-Industrial By-Products of Plant Origin: Therapeutic Uses as well as Antimicrobial and Antioxidant Activity. *Biomolecules*, 14, 762. DOI: 10.3390/biom14070762
- FAO: Food and Agriculture Organization of the United Nations. (1992). Maize in human nutrition: Gross chemical composition. <https://www.fao.org/3/t0395e/T0395E03.htm>
- Gonçalves, L. A., Lorenzo, J. M., & Trindade, M. A. (2021). Fruit and agro-industrial waste extracts as potential antimicrobials in meat products: A brief review. *Foods*, 10(7), 1–10. DOI: 10.3390/foods10071469
- Ivanov, M., Novović, K., Malešević, M., Dinić, M., Stojković, D., Jovčić, B., & Soković, M. (2022). Polyphenols as Inhibitors of Antibiotic Resistant Bacteria—Mechanisms Underlying Rutin Interference with Bacterial Virulence. *Pharmaceuticals*, 15(3). DOI: 10.3390/ph15030385
- Leach, K. A., & Braun, D. M. (2016). Soluble Sugar and Starch Extraction and Quantification from Maize (*Zea mays*) Leaves. *Current Protocols in Plant Biology*, 1(1), 139–161. DOI: 10.1002/cppb.20018
- Manso, T., Lores, M., & de Miguel, T. (2022). Antimicrobial Activity of Polyphenols and Natural Polyphenolic Extracts on Clinical Isolates. *Antibiotics*, 11(1), 1–18. DOI: 10.3390/antibiotics11010046
- Melaku, M., Mekonnen, Y., & Tefera, M. (2018). Antibacterial and antioxidant activities of crude aerial part extracts of *Satureja Punctata* (Benth) Briq Mesfin. *African Journal of Biotechnology*, 10(4), 44–49. DOI: 10.5897/JBR2017.0251
- Othman, L., Sleiman, A., & Abdel-Massih, R. M. (2019). Antimicrobial activity of polyphenols and alkaloids in middle eastern plants. *Frontiers in Microbiology*, 10(MAY). DOI: 10.3389/fmicb.2019.00911
- Phiri, R., Rangappa, S. M., Siengchin, S. (2024). Agro-waste for renewable and sustainable green production: A review. *Journal of Cleaner Production*, 139989. DOI: 10.1016/j.jclepro.2023.139989
- PubChem. (2023). PubChem Compounds. National Library of Medicine. National Center for Biotechnology Information. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/>
- Reygaert, C. W. (2018). An overview of the antimicrobial resistance mechanisms of bacteria. *AIMS Microbiology*, 4(3), 482–501. DOI: 10.3934/microbiol.2018.3.482
- Rivera-Castro, V. M., Muy-Rangel, M. D., G. utiérrez-Dorado, R., Escobar-Álvarez, J. L., Hernández-Castro, E., & Valenzuela-Lagarda, J. L. (2020). Nutritional, physicochemical and anatomical evaluation of creole corn varieties from the region of the Costa chica of Guerrero. *Food Science and Technology (Brazil)*, 40(4), 938–944. DOI: 10.1590/fst.20919
- Salinas-Moreno, Y., García-Salinas, C., Ramírez-Díaz, J. L., & Alemán-de la Torre, I. (2017). Phenolic compounds in maize grains and its nixtamalized products. In M. Soto-Hernández (Ed.), *Phenolic Compounds - Natural Sources, Importance and Applications* (pp. 215–232). IntechOpen. DOI: 10.5772/66893
- SMEWW. (1991). Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. In *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. <https://www.standardmethods.org/>
- Thombre, R. S., Shinde, V., Thaiparambil, E., Zende, S., & Mehta, S. (2016). Antimicrobial activity and mechanism of inhibition of silver nanoparticles against extreme halophilic archaea. *Frontiers in Microbiology*, 7(SEP), 1–17. DOI: 10.3389/fmicb.2016.01424