



Acta Botanica
Mexicana

Potencial actividad prebiótica de la inflorescencia del huauzontle (*Chenopodium berlandieri* subsp. *nuttalliae*, Amaranthaceae)

Potential prebiotic activity of the inflorescence of huauzontle (*Chenopodium berlandieri* subsp. *nuttalliae*, Amaranthaceae)

Luisa Fernanda Márquez-Núñez^{1,3}, Lourdes Santiago-López^{1,3} , María del Carmen Estrada-Montoya¹ , Aarón F.

González-Córdova¹ , Belinda Vallejo-Cordoba¹ , Gabriela Ramos-Clamont² , Adrián Hernández-Mendoza^{1,4} 

Resumen:

Antecedentes y Objetivos: El huauzontle (*Chenopodium berlandieri* subsp. *nuttalliae*) es un pseudocereal nativo de México de alto valor nutricional y rico en fitoquímicos de importancia biológica. El objetivo del estudio fue evaluar el efecto promotor sobre el crecimiento de *Lactiplantibacillus* (*Lpb.*) *plantarum* Lp22 y Lp24, *Lacticaseibacillus* (*Lcb.*) *casei* Shirota y *Bifidobacterium animalis* subsp. *lactis* Bb12, como parte de su caracterización potencialmente prebiótica, asociado a su contenido de fibra y compuestos fenólicos.

Métodos: Huauzontle seco y prebióticos testigo (fructooligosacáridos de achicoria, o inulina de agave) fueron fermentados, utilizando cepas de *Lpb. plantarum* Lp22 y Lp24, *Lcb. casei* Shirota, *E. coli* ATCC 43892 (bacteria entérica representativa) y *Bifidobacterium animalis* subsp. *lactis* Bb12 (bacteria probiótica colónica representativa) en medios específicos y modificando la fuente de carbono (0.3%, p/v). La fermentación se realizó bajo condiciones anaeróbicas, durante 8 h a 37 °C. Al final de la fermentación, se determinó concentración celular, pH, fenoles totales, fibra soluble e insoluble. Se calculó la actividad prebiótica (AP) e índice prebiótico (IP).

Resultados clave: Al final de la fermentación con la cepa Lp22 en medio MRS adicionado con huauzontle, el contenido de fibra insoluble disminuyó 0.32% respecto a las otras cepas ($p < 0.05$), mientras que el contenido de fibra soluble incrementó ca. 0.42% para la fermentación con Lp22, Lp24 y Bb12 ($p < 0.05$). El contenido de compuestos fenólicos aumentó en promedio 1.33 veces para todas las cepas de estudio, y la concentración celular incrementó 1.60 ciclos logarítmicos, similar ($p > 0.05$) a lo observado con los prebióticos testigo. No se observaron diferencias ($p > 0.05$) en el puntaje de AP e IP entre el huauzontle y los prebióticos testigo.

Conclusiones: Estos hallazgos resaltan la capacidad del huauzontle para estimular el crecimiento selectivo de cepas bacterianas específicas, lo que evidencia su potencial como posible ingrediente prebiótico.

Palabras clave: fenoles totales, fibra soluble, prebióticos, probióticos.

Abstract:

Backgrounds and Aims: Huauzontle (*Chenopodium berlandieri* subsp. *nuttalliae*) is a pseudocereal native to Mexico with high nutritional value and rich in biologically important phytochemicals. The objective of this study was to evaluate its promoting effect on the growth of *Lactiplantibacillus* (*Lpb.*) *plantarum* Lp22 and Lp24, *Lacticaseibacillus* (*Lcb.*) *casei* Shirota and *Bifidobacterium animalis* subsp. *lactis* Bb12, as part of its potentially prebiotic characterization. This effect is likely associated with its fiber and phenolic compound content.

Methods: Dried huauzontle and control prebiotics (chicory fructooligosaccharides or agave inulin) were fermented using strains of *Lpb. plantarum* Lp22 and Lp24, *Lcb. casei* Shirota, *E. coli* ATCC 43892 (representative enteric bacteria) and *Bifidobacterium animalis* subsp. *lactis* Bb12 (representative colonic probiotic bacteria) in specific media and modifying the carbon source (0.3%, w/v). Fermentation was carried out under anaerobic conditions, for 8 h at 37 °C. At the end of fermentation, cell concentration, pH, total phenols, and soluble and insoluble fiber were determined. Prebiotic activity (PA) and prebiotic index (PI) were calculated.

Key results: At the end of fermentation with Lp22 strain in MRS medium added with huauzontle, the insoluble fiber content decreased by 0.32% compared to the other strains ($p < 0.05$), while the soluble fiber content increased by ca. 0.42% in fermentation with Lp22, Lp24, and Bb12 ($p < 0.05$) strains. The phenolic compound content increased on average by 1.33-fold across all studied strains, while cell concentration increased by 1.60 logarithmic cycles, showing no significant difference ($p > 0.05$) compared to the control prebiotics. Likewise, no differences ($p > 0.05$) were observed in PA and PI scores between huauzontle and control prebiotics.

Conclusions: These findings highlight the capacity of huauzontle to selectively promote the growth of certain bacterial strains, supporting its potential as prebiotic ingredient.

Key words: prebiotics, probiotics, soluble fiber, total phenols.

¹Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo (CIAD), Laboratorio de Química y Biotecnología de Productos Lácteos, Carretera Gustavo Enrique Astiazarán Rosas 46, 83304 Hermosillo, Sonora, México.

²Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo (CIAD), Laboratorio de Bioquímica de Proteínas y Glúcidos, Carretera Gustavo Enrique Astiazarán Rosas 46, 83304 Hermosillo, Sonora, México.

³Los autores contribuyeron en igualdad de circunstancias para el desarrollo del proyecto.

⁴Autor para la correspondencia: ahernandez@ciad.mx

Recibido: 29 de noviembre de 2024.

Revisado: 28 de marzo de 2025.

Aceptado por Marie-Stéphanie Samain: 16 de mayo de 2025.

Publicado Primero en línea: 7 de julio de 2025.

Publicado: Acta Botanica Mexicana 132 (2025).



Este es un artículo de acceso abierto bajo la licencia Creative Commons 4.0 Atribución-No Comercial (CC BY-NC 4.0 Internacional).

Citar como: Márquez-Núñez, L. M., L. Santiago-López, M. del C. Estrada-Montoya, A. F. González-Córdova, B. Vallejo-Cordoba, G. Ramos-Clamont y A. Hernández-Mendoza. 2025. Potencial actividad prebiótica de la inflorescencia del huauzontle (*Chenopodium berlandieri* subsp. *nuttalliae*, Amaranthaceae). Acta Botanica Mexicana 132: e2423. DOI: <https://doi.org/10.21829/abm132.2025.2423>

e-ISSN: 2448-7589

Introducción

Los pseudocereales son fuente importante de fibra, incluso mayor que otros cereales y vegetales. Se caracterizan por poseer un elevado índice de valor nutricional y biológico, y son libres de gluten. Aunque existen diferentes tipos de pseudocereales en el mundo, los más conocidos y consumidos son la quinoa y el amaranto (Kaur et al., 2023). El amaranto (*Amaranthus hypochondriacus* L. y *A. cruentus* L.) es una planta anual de amplia distribución (Petrova y Petrov, 2020), mientras que la quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) es una planta nativa de Sudamérica que pertenece a la misma familia que el huauzontle (*Chenopodium berlandieri* subsp. *nuttalliae* (Saff.) H. Dan. Wilson & Heiser).

El huauzontle es un pseudocereal nativo de México, de bajo costo y gran contenido nutrimental y de fitoquímicos (Assad-Bustillos et al., 2014). Debido a estas cualidades, se ha incrementado el interés sobre su idoneidad como base para la elaboración de alimentos funcionales con diversos beneficios a la salud (Lugo-García 2023). México es uno de los mercados emergentes de alimentos funcionales en Latinoamérica, reportando un crecimiento de 12.7 mil millones de dólares en 2011 a 16.3 mil millones de dólares en 2015 (Rojas-Rivas et al., 2018). En 2020 se reveló que la obesidad y enfermedades derivadas del consumo de alimentos ultraprocesados con exceso de azúcares, grasas, sodio y calorías, causan más de 200,000 muertes al año en México (INEGI, 2019). Esto sugiere que el desarrollo de nuevos alimentos funcionales utilizando pseudocereales como materia prima es de gran importancia para la salud mexicana, y el huauzontle puede contribuir como parte de una estrategia integral.

Estudios reportados por Vandeputte et al. (2017) y Ugural y Akyol (2022) documentaron que pseudocereales como el amaranto y la quinoa pueden presentar características prebióticas. Estas pueden incluir no ser hidrolizados ni absorbidos en la parte superior del tracto gastrointestinal, ser un sustrato selectivo para un número limitado de microorganismos, modificar la microbiota a favor de una composición más saludable, y/o inducir efectos intestinales o sistémicos benéficos para la salud del hospedador (Vandeputte et al., 2017; Ugural y Akyol, 2022). Sin embargo, en el caso del huauzontle, no se ha reportado si este pseudoce-

real puede presentar estas propiedades. En este sentido, el presente estudio tuvo como objetivo evaluar su efecto promotor sobre el crecimiento de *Lactiplantibacillus plantarum* (Orla-Jensen, 1919) Zheng et al. 2020 Lp22 y Lp24 (Santiago-López et al., 2024), *Lactocaseibacillus casei* (Orla-Jensen 1916) Zheng et al. 2020 y *Bifidobacterium animalis* subsp. *lactis* Bb12 (Meile et al. 1997) Masco et al. 2004, como parte de su caracterización potencialmente prebiótica, asociado a su contenido de fibra y compuestos fenólicos.

Materiales y Métodos

Preparación de la muestra de huauzontle

El huauzontle se adquirió en un centro comercial local de Hermosillo, Sonora, México. La inflorescencia se lavó con agua potable y posteriormente se le retiró el exceso de agua con papel absorbente (Fig. 1). Las inflorescencias se secaron en un horno de convección (VWR International, Radnor, EUA) a 60 °C por 12 h (27.9% de humedad), seguido de una molienda usando un molino para café (Cuisinart DCG-20BKN, Glendale, EUA).

Cultivos de trabajo

Las bacterias probióticas que se utilizaron como referencia en el estudio fueron *Lactocaseibacillus* (*Lcb.*) *casei* Shirota (cepa probiótica comercial) y *Bifidobacterium animalis* subsp. *lactis* Bb12 ATCC 11863. Adicionalmente, se emplearon dos cepas con potencial probiótico aisladas de huauzontle *Lactiplantibacillus* (*Lpb.*) *plantarum* Lp22 y *Lpb. plantarum* Lp24 (Santiago-López et al., 2024). Los cultivos probióticos testigo y aislados pertenecen al cepario del Laboratorio de Química y Biotecnología de Productos Lácteos del Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo (CIAD). Las cepas de *Lcb. casei* Shirota y *Lpb. plantarum* se cultivaron a 37 °C en caldo MRS (de Man Rogosa & Sharpe, Difco, Detroit, EUA), utilizando dos subcultivos: uno de 24 h y el otro de 18 h. *Bifidobacterium animalis* subsp. *lactis* Bb12 se propagó bajo condiciones anaeróbicas en caldo MRS (pH 6.4) adicionado con cisteína (0.5%, p/v). La cepa de *Escherichia coli* (Migula 1895) Castellani & Chalmers 1919 ATCC 43892 fue utilizada como referencia de bacterias entéricas. Esta cepa se cultivó en caldo soya tripticasa (Difco, Detroit, EUA) durante 16 y 14 h a 37 °C en condiciones aerobias.





Figura 1: Imagen representativa de las inflorescencias de huauzontle. Imagen de los autores.

Fermentación del huauzontle

Los prebióticos testigo y el huauzontle fueron tratados térmicamente (85 °C, 15 min), previo a ser incorporados al medio de cultivo (García et al., 2022). Las cepas de estudio *Lpb. plantarum* Lp22 y Lp24, *Lcb. casei* Shirota, *E. coli* ATCC 43892 (bacteria entérica representativa) y *Bifidobacterium animalis* subsp. *lactis* Bb12 (bacteria probiótica colónica representativa) se inocularon en caldo MRS. *Escherichia coli* se sembró en caldo soya-tripticase y se sustituyó la fuente de carbono (glucosa) en ambos medios por 0.3% (p/v) de huauzontle seco o prebióticos comerciales (testigos), a saber, fructooligosacáridos (FOS) de achicoria (Orafti®P95, BENEIO GmbH, Mann, Alemania) o inulina de agave (Fiber Prime®, Best Ground International SA de CV, Zapopan, México), los cuales fueron proporcionados por el Laboratorio de Bioquímica de Proteínas y Glicanos del CIAD. Al final de la fermentación se determinó la actividad prebiótica (AP) e índice prebiótico (IP), pH, la concentración celular (expresada en UFC/ml), así como la concentración de fenoles y fibra soluble e insoluble.

Parámetros determinados

El contenido de fenoles se determinó por espectrofotometría (SpectroMax M3, Molecular Devices LLC, San Jose, EUA), utilizando el método de Folin-Ciocalteu, y siguiendo la metodología descrita por Gunathilake et al. (2018). Para ello, se elaboró una curva estándar de ácido gálico de cinco puntos (0 a 125 µg/ml) y la concentración se expresó como µg/ml de equivalentes de ácido gálico (EAG).

La determinación de la fibra soluble e insoluble se realizó siguiendo la metodología reportada por la AOAC, método No. 991.43 (AOAC, 2023). En este caso se utilizó 1 ml de muestra fermentada y se llevó a digestión con enzimas α-amilasa (Sigma-Aldrich, St. Louis, EUA), seguido de proteasa (Proteasa de *Bacillus licheniformis* (Weigmann 1898) Chester 1901, Sigma-Aldrich, St. Louis, EUA) y amiloglucosidasa. Las muestras se filtraron y el retenido se utilizó para determinar la fibra insoluble, mientras que el líquido filtrado se empleó para determinar la fibra soluble. Así mismo, se determinó el contenido de proteína (método micro-Kjeldahl No. 9910.20) y cenizas (método No. 923.03) reportados por la AOAC, y se calculó el porcentaje de fibra.

Evaluación de la actividad prebiótica

La actividad prebiótica (AP) es una determinación basada en la capacidad de un sustrato específico (prebiótico o sustrato potencialmente prebiótico), para promover el crecimiento de una cepa probiótica específica relativo a microorganismos entéricos (p. ej., *E. coli*), y en relación con el crecimiento con un sustrato no prebiótico como la glucosa (Huebner et al., 2007). Los cambios en la concentración celular derivaron de las diferencias en log UFC/ml entre 0 y 8 h de fermentación. La AP se calculó utilizando la siguiente fórmula:

$$AP = \left[\frac{\text{Log } P_x^8 - \text{Log } P_x^0}{\text{Log } P_G^8 - \text{Log } P_G^0} \right] - \left[\frac{\text{Log } E_x^8 - \text{Log } P E_x^0}{\text{Log } E_G^8 - \text{Log } E_G^0} \right]$$

Donde: P = probiótico comercial, G = glucosa, E = *E. coli*, x = huauzontle (muestra a evaluar).

Determinación del índice prebiótico

El índice prebiótico (IP) es un parámetro que determina el cambio de viabilidad de grupos bacterianos específicos durante un proceso de fermentación (Vulevik et al., 2004). Para determinar este índice se utilizó la siguiente fórmula:

$$IP = \frac{\frac{\text{UFC}}{\text{ml}} \text{ muestra fermentada de huauzontle}}{\frac{\text{UFC}}{\text{ml}} \text{ muestra fermentada con glucosa}}$$

Análisis estadísticos

Los datos obtenidos fueron analizados aplicando un análisis de varianza de una vía para comparar entre tratamientos (índice y actividad prebiótica, crecimiento microbiano, y pH). Para la comparación de fenoles y fibra, se utilizó una prueba de t-pareada. Los datos se analizaron en el programa estadístico NCSS 2022 v. 22.0.9 (Hintze, 2008).

Resultados

La concentración celular de *Lpb. plantarum* Lp22, Lp24, *Lcb. casei* Shirota (Fig. 2A, B, C) y *B. animalis* subsp. *lactis* Bb12 (Fig. 2D) incrementó dos ciclos logarítmicos (de 6 a 8 Log UFC/ml) al fermentar en el caldo MRS adicionado con



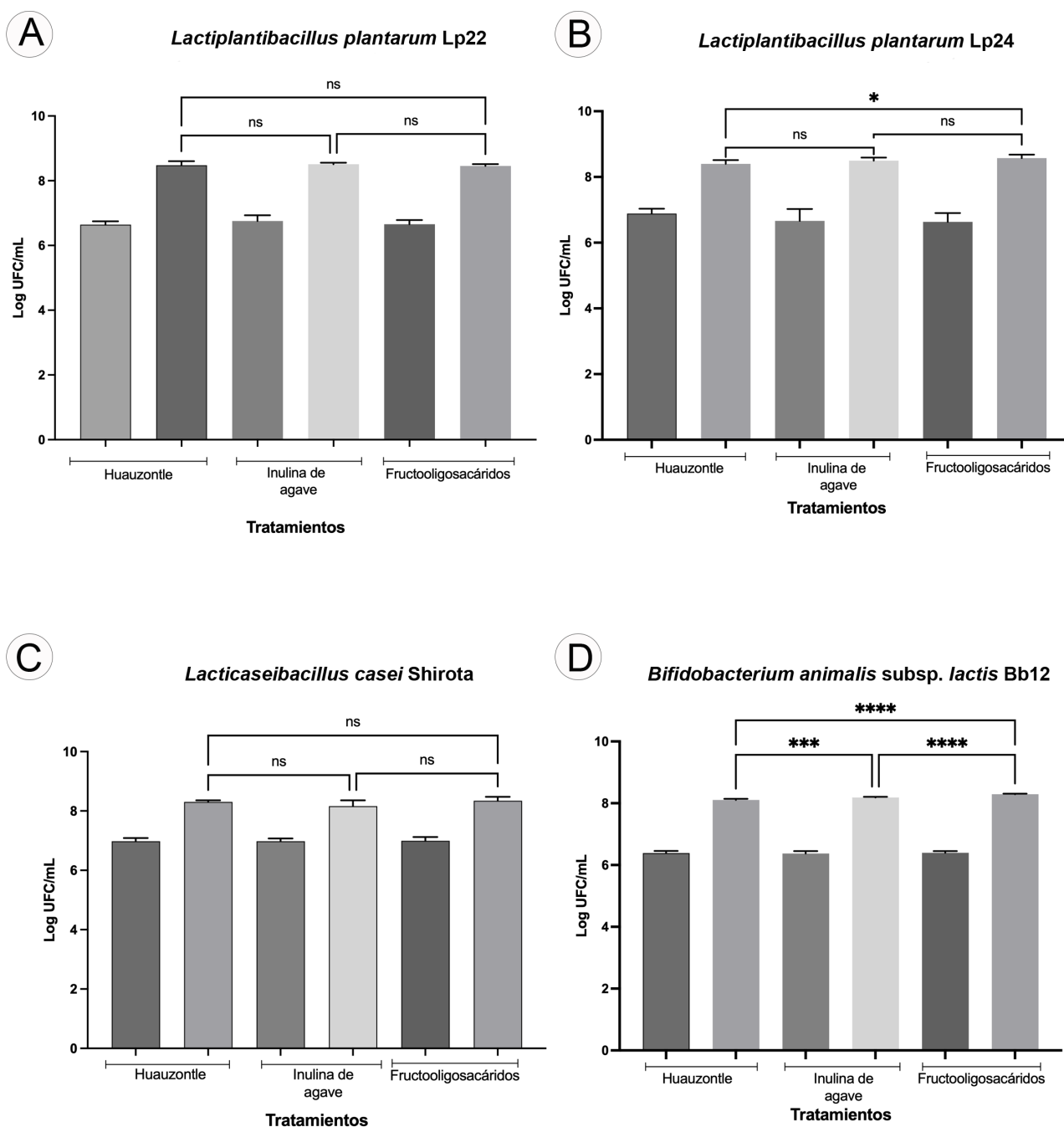


Figura 2: Concentración celular en caldo MRS adicionado con huauzontle, inulina de agave o fructooligosacáridos de achicoria. A. *Lpb. plantarum* Lp22; B. *Lpb. plantarum* Lp24; C. *Lcb. casei* Shirota; D. *Bifidobacterium animalis* subsp. *lactis* Bb12. Los valores representan la media y la desviación estándar (n=3), ***($p < 0.001$) muestran diferencia entre prebióticos a 8 h de fermentación.

huauzontle, siendo similar a los dos prebióticos testigo (FOS e inulina). Las cepas de *Lcb. casei* Shirota y *Lpb. plantarum* Lp22 y Lp24 no mostraron diferencias en el crecimiento celular. Sin embargo, el crecimiento de *Bifidobacterium animalis* subsp. *lactis* Bb12 fue menor en presencia de huauzontle y diferente ($p < 0.05$) comparado con los tratamientos de inulina y FOS.

En el **cuadro 1** se muestran los cambios de pH de las diferentes muestras. Después de 8 h de fermentación, no se observaron cambios ($p > 0.05$) en el descenso de pH entre los diferentes tratamientos. Los rangos oscilaron entre 5.27 y 6.24 a las 8 h de fermentación para el tratamiento con huauzontle, mientras que para inulina fue de 5.25 a 6.18, y para el tratamiento con FOS fue de 5.14 a 6.17.



Cuadro 1: Registro de pH en medios MRS modificados y fermentados por las cepas de estudio. Los valores representan la media y la desviación estándar (n=3). FOS=Fructooligosacáridos. Lpb.=*Lactiplantibacillus*, Lcb.=*Lacticaseibacillus*.

Cepa	Tiempo (h)	Huauzontle	Inulina de agave	FOS
<i>Lpb. plantarum</i> Lp22	0	6.40 ± 0.16	6.48 ± 0.21	6.59 ± 0.24
	8	6.09 ± 0.47	6.18 ± 0.5	6.17 ± 0.50
<i>Lpb. plantarum</i> Lp24	0	6.46 ± 0.19	6.58 ± 0.24	6.57 ± 0.22
	8	5.87 ± 0.68	5.82 ± 0.74	5.84 ± 0.69
<i>Lcb. casei</i> Shirota	0	6.31 ± 0.03	6.24 ± 0.12	5.95 ± 0.39
	8	6.24 ± 0.14	6.18 ± 0.00	5.49 ± 0.31
<i>Bifidobacterium animalis</i> subsp. <i>lactis</i> Bb12	0	6.58 ± 0.07	6.40 ± 0.02	6.44 ± 0.09
	8	5.27 ± 0.02	5.25 ± 0.08	5.14 ± 0.02

Los valores de actividad prebiótica (AP) se presentan en el **cuadro 2**. Los puntajes de AP para el tratamiento con huauzontle se encontraron en un rango de -0.93 a -0.52. Para el tratamiento con los FOS fue de -0.60 a -0.04, mientras que para la inulina fue de -0.81 a -0.02. No se encontró diferencia entre el huauzontle y los prebióticos testigo. En el **cuadro 3** se muestran los valores correspondientes al índice prebiótico. En general, los resultados fueron cercanos a uno, y no se mostró diferencia con los prebióticos testigo, lo cual indica que las bacterias presentan capacidad similar ($p > 0.05$) para utilizar prebióticos específicos o el huauzontle. Así mismo, se puede destacar que la cepa *Bifidobacterium animalis* subsp. *lactis* Bb12 fue la que mostró una tendencia cercana a uno.

En el **cuadro 4** se muestra la concentración de fenoles totales. En general, la concentración de fenoles incrementó en promedio ca. 1.33 veces. En particular, el incremento de fenoles fue mayor al fermentar con la cepa de *Lpb. plantarum* Lp24, siendo ca. 1.51 veces, seguido de *Bifidobacterium animalis* subsp. *lactis* Bb12, con 1.42 veces ($p < 0.05$). En el caso de la fibra insoluble se observó una disminución promedio de 0.2%, ($p < 0.05$) para la fermentación con la cepa *Lpb. plantarum* Lp22. Por el contrario, el porcentaje de fibra soluble incrementó entre 0.2 a 0.5%, siendo significativo para las muestras fermentadas con las cepas *Lpb. plantarum* Lp22 y Lp24 y *Bifidobacterium animalis* subsp. *lactis* Bb12.

Discusión

Estudios previos han reportado la selectividad de algunas cepas, especialmente de los géneros *Bifidobacterium* spp. y *Lactobacillus* spp. para fermentar la inulina (Astó et al., 2019). Se ha establecido que la capacidad de degradar fuentes ricas en carbohidratos es cepa-dependiente. Por ejemplo, se ha reportado que *L. rhamnosus* (Collins et al. 1989) Zheng et al. 2020 GG, una cepa probiótica, no utiliza fructooligosacáridos como fuente de energía, pero sí tiene la capacidad de fermentar fructosa, lo que evidencia la presencia de al menos un sistema de transporte de fructosa (Dong et al., 2024). En contraste, *Lcb. paracasei* (Collins et al. 1989) Zheng et al. 2020 1195 utiliza los fructooligosacáridos, ya sea por mecanismos de unión e hidrolizar mediante un sistema de transporte de cassette de unión dependiente de ATP y una β -fructofuranosidasa citoplasmática, respectivamente (Figueroa-González et al., 2019). Por otro lado, *Bifidobacterium animalis* subsp. *lactis* Bb12 tiene la capacidad de fermentar diferentes sustratos, lo cual explicaría, al menos parcialmente, que presente valores mayores con respecto a las cepas de *Lactobacillus* evaluadas (Turroni et al., 2019).

En el caso de los fenoles, estos son metabolitos que se pueden absorber en el intestino delgado, pero aquellos que no lo hacen siguen su tránsito hacia el colon, lugar donde son hidrolizados por la microbiota colónica (Subbiah et al., 2024). Se ha documentado que, durante la fermentación



Cuadro 2: Valores de puntuación de la actividad prebiótica de las muestras fermentadas con las cepas de estudio. Los valores representan la media y la desviación estándar (n=3). Los valores con letras diferentes indican diferencia estadística entre tratamientos ($p<0.05$). FOS=Fructooligosacáridos, Lpb.=*Lactiplantibacillus*, Lcb.=*Lacticaseibacillus*.

Tratamientos	Cepa de estudio			
	<i>Lpb. plantarum</i> Lp22	<i>Lpb. plantarum</i> Lp24	<i>Lcb. casei</i> Shirota	<i>Bifidobacterium animalis</i> subsp. <i>lactis</i> Bb12
Huauzontle	-0.68 ± 0.01^a	-0.76 ± 0.13^b	-0.93 ± 0.16^a	-0.52 ± 0.02^b
FOS	-0.36 ± 0.08^a	-0.23 ± 0.05^{ab}	-0.60 ± 0.24^a	-0.04 ± 0.02^a
Inulina de agave	-0.02 ± 0.46^a	0.28 ± 0.51^a	-0.81 ± 0.30^a	-0.07 ± 0.13^a

Cuadro 3: Valores de índice prebiótico de las cepas de estudio con los diferentes tratamientos. Los valores representan la media y la desviación estándar (n=3). Los valores con letras diferentes indican diferencia estadística entre tratamientos ($p<0.05$). FOS=Fructooligosacáridos. Lpb.=*Lactiplantibacillus*, Lcb.=*Lacticaseibacillus*.

Tratamientos	Cepa de estudio			
	<i>Lpb. plantarum</i> Lp22	<i>Lpb. plantarum</i> Lp24	<i>Lcb. casei</i> Shirota	<i>Bifidobacterium animalis</i> subsp. <i>lactis</i> Bb12
Huauzontle	0.92 ± 0.01^a	0.92 ± 0.02^a	0.91 ± 0.01^a	0.96 ± 0.00^c
FOS	0.93 ± 0.02^a	0.94 ± 0.02^a	0.91 ± 0.02^a	0.98 ± 0.00^a
Inulina de agave	0.93 ± 0.01^a	0.93 ± 0.02^a	0.89 ± 0.03^a	0.97 ± 0.00^b

Cuadro 4: Porcentaje de fibra y concentración de fenoles totales determinados en las muestras fermentadas con huauzontle. Los valores muestran el promedio y desviación estándar (n=3). No se encontraron diferencias significativas entre 0 y 8 h de fermentación. Lpb.=*Lactiplantibacillus*, Lcb.=*Lacticaseibacillus*.

Bacteria	Tiempo (h)	Fenoles totales ($\mu\text{g/ml}$)	Fibra insoluble (%)	Fibra soluble (%)
<i>Lpb. plantarum</i> Lp22	0	95.46 ± 4.05^a	0.66 ± 0.03^a	1.32 ± 0.04^a
	8	123.70 ± 26.89^a	0.34 ± 0.02^b	1.82 ± 0.07^b
<i>Lpb. plantarum</i> Lp24	0	85.64 ± 8.14^a	0.55 ± 0.02^a	1.43 ± 0.17^a
	8	129.84 ± 5.39^b	0.26 ± 0.03^a	1.60 ± 0.05^b
<i>Lcb. casei</i> Shirota	0	73.43 ± 9.72^a	0.44 ± 0.11^a	1.42 ± 0.07^a
	8	83.19 ± 15.37^a	0.32 ± 0.01^a	1.85 ± 0.13^a
<i>Bifidobacterium animalis</i> subsp. <i>lactis</i> Bb12	0	73.15 ± 5.35^a	0.58 ± 0.01^a	1.51 ± 0.01^a
	8	104.40 ± 7.26^b	0.47 ± 0.01^a	1.84 ± 0.12^b

tación, los compuestos fenólicos unidos se bioconvierten de sus formas ligadas o conjugadas a formas libres por diferentes mecanismos: 1) la ruptura de los enlaces con los componentes de la pared celular de su fuente de origen, 2) actividad de enzimas, tales como β -glucosidasa, descaboxilasa, esterasas, hidrolasas y reductasas, y 3) actividad

metabólica de los microorganismos fermentadores (Adebo y Medina-Meza, 2020). En el caso de la acción metabólica por bacterias, se ha reportado que cepas de *Lcb. casei* CICC 20995 son capaces de metabolizar compuestos fenólicos en semillas fermentadas de quinoa (Meleni y Meleni, 2021). Además, cultivos de *Lpb. plantarum* pueden meta-



bolizar polifenoles, ya que poseen enzimas como tannasa, ácido-fenólico-descarboxilasa y bencil-alcohol-deshidrogenasa, las cuales les permiten degradar compuestos fenólicos (Rodríguez et al., 2008). Para el caso de especies de *Bifidobacterium*, estas tienen la capacidad de hidrolizar compuestos fenólicos como (-)-epigallocatequina-3-O-galato a (-)-epigallocatequina y ácido gálico (Subbiah et al., 2024). Por su parte, *Lcb. casei* Shirota y especies de *Lpb. plantarum* han demostrado su habilidad para metabolizar diferentes tipos de taninos (Dallagnol et al., 2013).

Los resultados que se obtuvieron de la cuantificación de la fibra muestran que algunas enzimas presentes en las bacterias posiblemente pueden hidrolizar la fibra insoluble y liberar carbohidratos simples que se pueden reflejar en el incremento de la fibra soluble, tal como se ha documentado en otros estudios (Slavin, 2013; Rios-Covian et al., 2016). Durante el proceso de fermentación y por acción enzimática de las bacterias, estas pueden degradar la fibra dietaria y por tanto cambiar la composición fisicoquímica de la misma y así mejorar su actividad biológica al utilizarla como sustrato (Chen et al., 2020; Li et al., 2022). Específicamente, las fibras solubles, tales como glucano, pectina, goma guar, arabinoxilano e inulina, son conocidas por su efecto prebiótico, ya que favorece el crecimiento de bacterias probióticas (Obayomi et al., 2024). Sin embargo, en el caso de la fibra insoluble, algunas bacterias de la especie *Lpb. plantarum* pueden producir durante su crecimiento glucosidasas que son enzimas encargadas de hidrolizar a la celulosa y liberar moléculas de β -glucosa (Li et al., 2022). La liberación de carbohidratos a partir de fibra insoluble ayuda a mejorar el potencial prebiótico del huauzontle, apoyando su papel como alimento funcional y promover la salud digestiva (Chaires Martínez et al., 2013).

Los hallazgos derivados de este estudio evidencian que la inflorescencia de huauzontle cumple con algunos de los criterios de clasificación *in vitro* para considerarlo como sustrato con potencial prebiótico. Esto se debe a que su comportamiento fue similar a la exhibida por los prebióticos testigo utilizados. Además, se observó que las bacterias utilizan la fibra soluble e hidrolizan la fibra insoluble promoviendo la liberación de fenoles, ya que estos últimos se incrementaron después de 8 h de fermentación. Considerando estos resultados, se puede atribuir que tanto la fibra

y los fenoles promueven el crecimiento de las bacterias. Particularmente la fibra soluble presente en el huauzontle actuaría como sustrato y los fenoles, estos podrían ser bio-trasformados por el metabolismo bacteriano. Sin embargo, se requieren estudios sobre fermentación donde se contemple el ajuste en la concentración de fenoles y fibra para complementar los hallazgos obtenidos, así como el análisis de perfil enzimático y producción de metabolitos.

Contribución de autores

LSL y AHM concibieron y diseñaron el estudio y preguntas de investigación. LFMN y LSL contribuyeron a la obtención y análisis de datos. LSL y AHM analizaron e interpretaron los resultados. MCEM contribuyó a la implementación y análisis en la determinación de fibra. GRC proporcionó los prebióticos testigo. LFMN y LSL escribieron el manuscrito. AFGC, BVC, GRC y AHM revisaron y editaron el manuscrito final. Todos los autores revisaron y aprobaron el manuscrito final.

Financiamiento

Los autores agradecen a la Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación por el financiamiento del proyecto 319922 perteneciente a la convocatoria Paradigmas y Controversias FOP-16-2021 y al apoyo de la beca nacional para LFMN (No. 1239520) y la beca posdoctoral para LSL (No. 4839686).

Agradecimientos

Los autores agradecen el apoyo brindado por María de Jesús Torres Llenez por la facilitación de reactivos e implementación de técnicas para la realización del trabajo.

Declaración de disponibilidad de datos

El conjunto de datos que apoya los resultados de este estudio fue sometido en SciELO Data y puede ser accedido en <https://doi.org/10.48331/scielodata.0FWHFL>.

Literatura citada

Adebo, O. A. y I. G. Medina-Meza. 2020. Impact of fermentation on the phenolic compounds and antioxidant activity of whole cereal grains: A mini review. *Molecules* 25(4): 927. DOI: <https://doi.org/10.3390/molecules25040927>



- Assad-Bustillos, M., M. Ramírez-Gilly, A. Tecante, y L. Chaires-Martínez. 2014. Physicochemical, functional, thermal and rheological characterization of starch from huauzontle seeds (*Chenopodium berlandieri* spp. *nuttalliae*). *Agrociencia* 48(8): 789-803.
- AOAC. 2023. Official Methods of Analysis. In: Latimer G. W. Jr. (ed). Official Methods of Analysis of AOAC INTERNATIONAL. 22nd Edition. New York, EUA. DOI: <https://doi.org/10.1093/9780197610145.002.001>
- Astó, E., I. Méndez, M. Rodríguez-Prado, J. Cuñé, J. Espadaler y A. Farran-Codina A. 2019. Effect of the Degree of polymerization of fructans on *ex vivo* fermented human gut microbiome. *Nutrients* 11(6): 1290-1293. DOI: <https://doi.org/10.3390/nu11061293>
- Chaires Martínez, L., M. A. Perez Vargas, A. I. Cantor del Ángel, F. Cruz Bermúdez y H. A. Jiménez-Ávalos. 2013. Total Phenolic Content and Antioxidant Capacity of Germinated, Popped, and Cooked Huauzontle (*Chenopodium berlandieri* spp. *nuttalliae*) Seeds. *Cereal Chemistry* 90(3): 263-268. DOI: <https://doi.org/10.1094/CHEM-03-12-0022-R>
- Chen, J., H. Huang, Y. Chen, J. Xie, Y. Song, X. Chang, S. Liu, Z. Wang, X. Hu y Q. Yu. 2020. Effects of fermentation on the structural characteristics and *in vitro* binding capacity of soluble dietary fiber from tea residues. *LWT* 131: 109818. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.109818>
- Dallagnol, A. M., M. Pescuma, G. Font De Valdez y G. Rollán. 2013. Fermentation of quinoa and wheat slurries by *Lactobacillus plantarum* CRL 778: proteolytic activity. *Applied Microbiology and Biotechnology* 97(7): 3129-3140. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00253-012-4520-3>.
- Dong, Y., M. Han, T. Fei, H. Liu y Z. Gai. 2024. Utilization of diverse oligosaccharides for growth by *Bifidobacterium* and *Lactobacillus* species and their *in vitro* co-cultivation characteristics. *International Microbiology* 27(3): 941-952. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10123-023-00446-x>
- Figueroa-González, I., G. Rodríguez-Serrano, L. Gómez-Ruiz, M. García-Garibay y A. Cruz-Guerrero. 2019. Prebiotic effect of commercial saccharides on probiotic bacteria isolated from commercial products. *Food Science and Technology* 39(3): 747-753. DOI: <https://doi.org/10.1590/fst.07318>
- García, H. S., L. Santiago-López, A. F. González-Córdova, B. Vallejo-Cordoba y A. Hernández-Mendoza. 2022. Evaluation of a pseudocereal suitability to prepare a functional fermented beverage with epiphytic lactic acid bacteria of Huauzontle (*Chenopodium berlandieri* spp. *nuttalliae*). *LWT* 155: 112913. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.112913>
- Gunathilake, K. D. P. P., K. K. D. S. Ranaweera y R. H. P. Vasantha. 2018. *In vitro* anti-inflammatory properties of selected green leafy vegetables. *Biomedicine* 6(4):107. DOI: <https://doi.org/10.3390/biomedicine6040107>.
- Hintze, J. 2008. NCSS, PASS, and GESS. NCSS, Kaysville, Utah, USA. www.ncss.com
- Huebner, J., R. L. Wehling y R. W. Hutkins. 2007. Functional activity of commercial prebiotics. *International Dairy Journal* 17(7): 770-775. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2006.10.006>
- INEGI. 2019. Características de las defunciones registradas en México en 2019. Comunicado de prensa núm. 480/20. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. <https://www.inegi.org.mx/contenidos/saladeprensa/boletines/2020/EstSociodemo/DefuncionesRegistradas2019.pdf> (consultado noviembre de 2024).
- Kaur, H., R. Shams, K. K. Dash y A. H. Dar. 2023. A comprehensive review of pseudo-cereals: Nutritional profile, phytochemicals constituents and potential health promoting benefits. *Applied Food Research* 3(2): 100351. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.afres.2023.100351>
- Lugo-García, M. G. 2023. Con residuos de huauzontle y xoconostle, elaboran alimentos funcionales. *Gaceta de la UNAM. Academia*. Número 5400. <https://www.gaceta.unam.mx/wp-content/uploads/2023/07/230727.pdf>.
- Li, Y., L. Niu, Q. Guo, L. Shi, X. Deng, X. Liu y C. Xiao. 2022. Effects of fermentation with lactic bacteria on the structural characteristics and physicochemical and functional properties of soluble dietary fiber from prosomillet bran. *LWT* 154: 112609. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.112609>
- Melini, F. y V. Melini. 2021. Impact of fermentation on phenolic compounds and antioxidant capacity of quinoa. *Fermentation* 7(1): 20. DOI: <https://doi.org/10.3390/fermentation7010020>
- Obayomi, O. V., A. F. Olaniran, y S. O. Owa. 2024. Unveiling the role of functional foods with emphasis on prebiotics and probiotics in human health: A review. *Journal of Functional*



- Foods 119: 106337. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jff.2024.106337>
- Petrova, P. y K. Petrov. 2020. Lactic acid fermentation of cereals and pseudocereals: Ancient nutritional biotechnologies with modern applications. *Nutrients* 12(4): 1118. DOI: <https://doi.org/10.3390/nu12041118>.
- Rios-Covian, D., P. Ruas-Madiedo, A. Margolles, M. Gueimonde, C. G. de los Reyes-Gavilán y N. Salazar. 2016. Intestinal Short Chain Fatty Acids and their link with diet and human health. *Frontiers in Microbiology* 7: 185. DOI: <https://doi.org/10.3389/fmicb.2016.00185>
- Rodríguez, H., B. de las Rivas, C. Gómez-Cordovés, y R. Muñoz. 2008. Characterization of tannase activity in cell-free extracts of *Lactobacillus plantarum* CECT 748T. *International Journal of Food Microbiology* 121(1): 92-8. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2007.11.002>
- Rojas-Rivas, E., A. Espinoza-Ortega, C. G. Martínez-García, S. Moctezuma-Pérez, y H. Thomé-Ortiz. 2018. Exploring the perception of Mexican urban consumers toward functional foods using the Free Word Association technique. *Journal of Sensory Studies* 33(5): e12439. DOI: <https://doi.org/10.1111/joss.12439>
- Santiago-López, L., H. S. García, L. M. Beltrán-Barrientos, J. I. Méndez-Romero, A. F. González-Córdova, B. Vallejo-Cordoba y A. Hernández-Mendoza. 2024. Probiotic potential of bacteria isolated from huauzontle (*Chenopodium berlandieri* spp. *nuttalliae*) and multifunctional properties of their intracellular contents. *Food and Bioprocess Technology* 17(11): 3546-3560. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11947-024-03334-y>
- Slavin, J. L. 2013. Fiber and Prebiotics: Mechanisms and Health Benefits. *Nutrients* 5(4): 1417-1435. DOI: <https://doi.org/10.3390/nu5041417>
- Subbiah, V., F. Ebrahimi, O. T. Agar, F. R. Dunshea, C. J. Barrow, y H. A. Suleria. 2024. *In vitro* digestion and colonic fermentation of phenolic compounds and their antioxidant potential in Australian beach-cast seaweeds. *Scientific Reports* 14(1): 4335. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-024-54312-5>
- Turroni, F., S. Duranti, C. Milani, G. A. Lugli, D. van Sinderen, y M. Ventura. 2019. *Bifidobacterium bifidum*: A Key Member of the Early Human Gut Microbiota. *Microorganisms* 7(11): 544. DOI: <https://doi.org/10.3390/microorganisms7110544>
- Ugural, A. y A. Akyol. 2022. Can pseudocereals modulate microbiota by functioning as probiotics or prebiotics? *Critical Review and Food Science and Nutrition* 62(7): 1-15. DOI: <https://doi.org/10.1080/10408398.2020.1846493>
- Vandeputte, D., G. Falony, y S. Vieira-Silva, J. Wang, M. Sailer, S. Theis, K. Verbeke y J. Raes. 2017. Prebiotic inulin type fructans induce specific changes in the human gut microbiota. *Gut* 66(11): 1968-1974. DOI: <https://doi.org/10.1136/gutjnl-2016-313271>
- Vulevic, J., R. A. Rastall y G. R. Gibson 2004. Developing a quantitative approach for determining the in vitro prebiotic potential of dietary oligosaccharides. *FEMS Microbiology Letters* 236(1): 153-159. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1574-6968.2004.tb09641.x>

