



Acta Botanica
Mexicana

Propiedades antioxidantes y antiinflamatorias de huauzontle (*Chenopodium berlandieri* subsp. *nuttalliae*, Chenopodiaceae) fermentado por *Lactiplantibacillus plantarum* Lp22

Antioxidant and antiinflammatory properties of huauzontle (*Chenopodium berlandieri* subsp. *nuttalliae*, Chenopodiaceae) fermented by *Lactiplantibacillus plantarum* Lp22

Lourdes Santiago-López¹, Hugo S. García², Aarón F. González-Córdova¹
Belinda Vallejo-Cordoba¹, Adrian Hernandez-Mendoza^{1,3}

Resumen:

Antecedentes y Objetivos: El huauzontle (*Chenopodium berlandieri* subsp. *nuttalliae*) es un pseudocereal nativo de México y forma parte de su tradición culinaria. Este pseudocereal es reconocido por su alto valor nutricional y componentes que se asocian a efectos benéficos a la salud. Sin embargo, al momento no se cuenta con literatura sobre el impacto que tendría el proceso de fermentación sobre sus propiedades bioactivas. Por ello, el objetivo de la presente investigación fue evaluar el efecto de la fermentación por *Lactiplantibacillus plantarum* Lp22, en semillas de huauzontle suspendidas en agua, sobre sus propiedades antioxidantes y antiinflamatorias *in vitro*.

Métodos: Semillas de huauzontle se suspendieron en agua (0.3% p/v), se inocularon con *L. plantarum* Lp22 (1% v/v) a una concentración de 10⁸ UFC/ml y se fermentaron por 24 h a 37 °C. Finalmente, las semillas fueron recuperadas por filtración, se molieron y del extracto acuoso se determinó la actividad antioxidante por los métodos ABTS y ORAC. Además, se evaluó la inhibición de las enzimas lipooxigenasa (LOX) y tripsina y se determinó la concentración de fenoles totales (método de Folin-Ciocalteu) en extractos metanólicos.

Resultados clave: La actividad antioxidante representada como μM de equivalentes Trolox fue de 812.50 y 927.50 por ABTS, y 1384.32 y 3391.11, para ORAC, para huauzontle no fermentado y fermentado, respectivamente ($p < 0.05$). La inhibición de la actividad de LOX fue de 40.06% y 37.24%, y para tripsina fue de 12.53% y 14.38% ($p > 0.05$), para no fermentado y fermentado, respectivamente, mientras que el contenido de fenoles totales fue de 7.49 y 20.24 $\mu\text{g/ml}$ ($p < 0.05$), respectivamente.

Conclusiones: Estos hallazgos indican que la fermentación del huauzontle mejora las propiedades antioxidantes y antiinflamatorias, y que pueden estar asociados con el incremento en el contenido de fenoles, por lo que su consumo podría fortalecer el mecanismo antioxidante y sistema inmune del organismo humano.

Palabras clave: compuestos fenólicos, fermentación, mediadores de inflamación, propiedades antioxidantes.

Abstract:

Background and Aims: Huauzontle (*Chenopodium berlandieri* subsp. *nuttalliae*) is a pseudocereal native to Mexico and is part of its culinary tradition. This pseudocereal is recognized for its high nutritional value and components that are associated with beneficial health effects. However, there is currently no literature on the impact that the fermentation process would have on its bioactive properties. Therefore, the aim of this research was to evaluate the effect of fermentation by *Lactiplantibacillus plantarum* Lp22 in huauzontle seeds suspended in water on their antioxidant and anti-inflammatory properties *in vitro*.

Methods: Huauzontle seeds were suspended in water (0.3%, w/v), inoculated with *L. plantarum* Lp22 (1%, v/v) at 10⁸ CFU/ml, and allowed to ferment for 24 h at 37 °C. Then, seeds were recovered by filtration, grounded and aqueous extract was obtained. The antioxidant activity of the extracts was determined by the ABTS and ORAC methods. Moreover, the inhibition of the enzymes lipooxygenase (LOX) and trypsin was evaluated and the total phenolic compounds in methanolic extract (Folin-Ciocalteu method) were also determined.

Key results: The antioxidant activity represented as μM of Trolox equivalents was 812.50 and 927.50 by ABTS and 1384.32 and 3391.11 for ORAC, for unfermented and fermented huauzontle, respectively ($p < 0.05$). The inhibition of LOX activity was 40.06% and 37.24% for unfermented and fermented huauzontle, respectively, while for trypsin it was 12.53% and 14.38% ($p > 0.05$). Besides, total phenol content was 7.49 and 20.24 $\mu\text{g/ml}$ ($p < 0.05$), respectively.

Conclusions: Our findings evidence that fermentation of huauzontle improves the antioxidant and anti-inflammatory properties, which may be associated with increased phenol content. Therefore, its consumption could enhance the antioxidant and immune system of the human organism.

Key words: antioxidant properties, fermentation, mediators of inflammation, phenolic compounds.

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

²Instituto Tecnológico de Veracruz, Unidad de Investigación y Desarrollo de Alimentos, Av. Miguel Ángel de Quevedo 2779, Col. Formando Hogar, 91897 Veracruz, Veracruz, México.

³Autor para la correspondencia: ahernandez@ciad.mx

Recibido: 8 de diciembre de 2022.

Revisado: 6 de enero de 2023.

Aceptado por Marie-Stéphanie Samain: 16 de febrero de 2023.

Publicado Primero en línea: 2 de marzo de 2023.

Publicado: Acta Botanica Mexicana 130(2023).



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: Santiago-López, L., H. S. García, A. F. González-Córdova, B. Vallejo-Cordoba y A. Hernandez-Mendoza. 2023. Propiedades antioxidantes y antiinflamatorias de huauzontle (*Chenopodium berlandieri* subsp. *nuttalliae*, Chenopodiaceae) fermentado por *Lactiplantibacillus plantarum* Lp22. Acta Botanica Mexicana 130: e2161. DOI: <https://doi.org/10.21829/abm130.2023.2161>

e-ISSN: 2448-7589

Introducción

Los pseudocereales, provenientes de semillas de flores (eudicotiledóneas), a diferencia de los cereales, que son frutos de espigas de gramíneas (monocotiledóneas), han formado parte de la nutrición humana desde épocas prehispánicas cuando incluso se consideraron sagrados, ya que su consumo se asociaba con el aumento de la resistencia física y desarrollo mental (Ciudad-Mulero et al., 2019; Rollán et al., 2019). Los pseudocereales más cultivados y estudiados son quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.), amaranto (*Amaranthus* spp.), chía (*Salvia hispanica* L.) y trigo sarraceno (*Fagopyrum esculentum* Moench) (Martínez-Villaluenga et al., 2020). Este grupo de alimentos se caracteriza por su

alto valor nutricional como fibra dietaria, minerales (potasio, calcio, magnesio, fósforo) y ácidos grasos insaturados (Usman et al., 2022). En la actualidad, los pseudocereales son de gran interés ya que, además de su aporte nutricional, contienen proteínas y péptidos de gran valor biológico, así como flavonoides, ácidos fenólicos y ácidos grasos, los cuales se han asociado con efectos benéficos a la salud (Morales et al., 2021).

Un pseudocereal nativo de México y poco estudiado es el huauzontle (*Chenopodium berlandieri* subsp. *nuttalliae* (Saff.) H. Dan. Wilson & Heiser), que pertenece a la familia Chenopodiaceae (Fig. 1), cultivado en la zona centro del país (Puebla, Ciudad de México, Tlaxcala),



Figura 1: Inflorescencias de huauzontle (*Chenopodium berlandieri* subsp. *nuttalliae* (Saff.) H. Dan. Wilson & Heiser).

el cual se consume en diferentes platillos tradicionales mexicanos (Assad-Bustillos et al., 2014; Martínez, 2014). La palabra huauzontle proviene del náhuatl *huauhtzontli*, donde *huauhtli* es bledo y *tzontli*, cabello; lo que significa “cabello o maleza del bledo” (Kistler y Shapiro, 2011). Esta planta se destaca por sus propiedades nutricionales: rico en proteínas, vitaminas (A, B, C, D), minerales (Ca, P, Fe) y fibra; además de su contenido en compuestos fenólicos y flavonoides, lo cual favorece sus propiedades antioxidantes y antiinflamatorias (Lazo-Vélez et al., 2016; Román-Córtes et al., 2018; López-Monterrubio et al., 2020). Un estudio destaca las propiedades antioxidantes de las semillas de huauzontle cocinado, asociando su efecto a la presencia de compuestos fenólicos (Chaires-Martinez et al., 2013) y otro evidenció el uso potencial de las semillas de huauzontle para elaborar una infusión fermentada con diferentes bacterias ácido-lácticas epífitas del huauzontle (García et al., 2022). En este último estudio la bebida fue elaborada con huauzontle seco y fermentada con *Lactiplantibacillus plantarum* (Orla-Jensen 1919) Lp22, la cual fue seleccionada debido a que mostró el porcentaje más alto de preferencia (31% en la prueba de análisis sensorial realizada con panelistas no entrenados). Además, en la bioactividad se destacó por sus propiedades antioxidantes y antiinflamatorias, tanto *in vitro* (García et al., 2022) como *in vivo* (Santiago-López et al., 2023). Considerando los antecedentes, el objetivo de la presente investigación fue evaluar el efecto de la fermentación por *Lactiplantibacillus plantarum* Lp22, en semillas de huauzontle suspendidas en agua, sobre sus propiedades antioxidantes y antiinflamatorias *in vitro*.

Materiales y Métodos

Cultivo bacteriano

La bacteria empleada en el estudio, *Lactiplantibacillus plantarum* Lp22, fue aislada de semillas de huauzontle (García et al., 2022). Pertenece al cultivo de bacterias ácido-lácticas del Laboratorio de Productos Lácteos del Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo A.C., Hermosillo, Sonora, México. La bacteria se cultivó a 37 °C en caldo MRS (de Man Rogosa and Sharpe, BD Difco, St. Louis, Missouri, EUA), realizando tres subcultivos, el primero de 24 h, seguido de 18 h y por último de 12 h. Del

último subcultivo, las bacterias se recuperaron por centrifugación con las siguientes condiciones: 4696 × g, 10 min, 10 °C en una centrifuga Sorvall (Modelo ST16R, Thermo Fisher Scientific, Waltham, Massachusetts, EUA). El paquete celular se lavó dos veces con una solución amortiguadora de fosfatos (PBS, por sus siglas en inglés 0.2 M, pH 7.0) y se ajustó la densidad óptica ($DO_{600nm}=0.5$ equivalente a 10^8 unidades formadoras de colonia (UFC)/ml), midiendo la absorbancia en un espectro (SpectraMax M3, Molecular Devices LLC, San José, California, EUA) (García et al., 2022), dicha concentración celular se utilizó para fermentar semillas de huauzontle.

Preparación del huauzontle fermentado

Las inflorescencias de huauzontle fueron compradas en centros comerciales locales de la ciudad de Hermosillo, Sonora, México. Posteriormente, fueron sometidas a un proceso de secado por 12 h, 60 °C (VWR International, Radnor, Pensilvania, EUA). La preparación de la muestra a fermentar se realizó siguiendo la metodología previamente reportada para la elaboración de una infusión (García et al., 2022), con algunas modificaciones. Las semillas de huauzontle se adicionaron (0.3% p/v) en agua purificada estéril, se aplicó un tratamiento (85 °C, 20 min), y se agregó la solución azucarada estéril (110 °C, 10 min) preparada al 5%, v/v (Azúcar morena, Zulka, Culiacán, Sinaloa, México). Finalmente, 300 ml de la solución con semillas se inoculó (1%) con la suspensión bacteriana de *L. plantarum* Lp22 ajustada a una $DO=0.5$ (10^8 UFC/ml) y se dejó incubar por 24 h (Modelo 2200, VWR, Radnor, Pensilvania, EUA). La fermentación de tres muestras independientes se detuvo en un baño de agua con hielo. Las muestras obtenidas (300 ml) fueron filtradas (Papel filtro Whatman #1, Merck, Darmstadt, Alemania), y 1 g de las semillas de huauzontle se mezcló con 20 ml de agua Milli-Q® (ZRQSV3US, Millipore, Burlington, Massachusetts, EUA). Se realizó una molienda utilizando un mortero, y se dejó en agitación a 60 rpm (placa de calentamiento con agitación PC 200, Corning, Nueva York, EUA) por 50 min. La mezcla se filtró nuevamente bajo las mismas condiciones, y se evaluó la actividad antioxidante y antiinflamatoria. El huauzontle no fermentado se utilizó como testigo. La estrategia experimental se esquematiza en la figura 2.



Figura 2: Representación esquemática de la estrategia experimental que se realizó para el desarrollo de los diferentes experimentos en este estudio.

Determinación de compuestos fenólicos totales

Para la determinación de los compuestos fenólicos se emplearon semillas (1 g) de huauzontle fermentado y no fermentado, molidas, las cuales se mezclaron con 20 ml de metanol (99.9% de pureza, J.T. Baker, Avantor, Pensilvania, EUA). Estas se mantuvieron en agitación a 60 rpm (placa de calentamiento con agitación PC 200, Corning, Nueva York, EUA) por 50 min. Posteriormente, la mezcla fue filtrada (Papel filtro Whatman #1) y los extractos metanólicos obtenidos se mantuvieron en oscuridad. El contenido de compuestos fenólicos de los extractos metanólicos fueron determinados por el método de Folin-Ciocalteu (Gunathilake et al., 2018). Primero, 0.5 ml de muestra o ácido gálico (curva estándar de 31.25 a 3.90 µg/ml) fueron mezclados con 0.1 ml del reactivo de Folin (0.2 N) y se dejó incubar por 15 min, a 25 °C, en condiciones de oscuridad. Posteriormente, se adicionaron 1.5 ml de carbonato de sodio (7.5% p/v) y se incubaron por 60 min a 25 °C. La absorbancia se midió a 760 nm (SpectraMax M3) y los valores se representaron como µg/ml de equivalentes de ácido gálico.

Determinación de actividad antioxidante

La actividad antioxidante de las muestras fue determinada por dos métodos: 2, 2'-Azinobis-3-etil-benzo-tiazolina-6-acido sulfónico (ABTS por sus siglas en inglés), y capacidad de absorbancia de radicales de oxígeno (ORAC, por sus siglas en inglés), siguiendo las metodologías reportadas por Zulueta et al. (2009) y Cuevas-González et al. (2020). Los resultados se reportaron como equivalentes de Trolox (6, ácido hidroxí-2,3,7,8-tetra-metilcroman-2-carboxílico,

Sigma-Aldrich, St. Louis, Missouri, EUA), considerando una curva estándar de 0-500 µM en solución amortiguadora de fosfatos (PBS, por sus siglas en inglés, 50 mM, pH 7.0).

Determinación de actividad antiinflamatoria

La actividad antiinflamatoria fue determinada usando dos métodos enzimáticos; inhibición de tripsina e inhibición de lipooxigenasa (LOX), siguiendo las metodologías reportadas por Gunathilake et al. (2018) y Garcia et al. (2022). El porcentaje de inhibición fue determinado con la siguiente fórmula:

$$\text{Inhibición (\%)} = \frac{(\text{Abs de la reacción de la enzima} - \text{Abs de la muestra})}{\text{Abs de la reacción de la enzima}} * 100$$

Para inhibir la actividad de tripsina (Sigma-Aldrich), primero, esta se preparó a una concentración de 0.06 mg/ml en una solución de Tris-HCl (25 mM, pH 7.4). Posteriormente se mezclaron la solución enzimática (0.5 ml) y extracto acuoso de las muestras de estudio, fermentada o no fermentada (0.5 ml). La mezcla de reacción se incubó por 5 min a 37 °C, seguido por la adición de 0.5 ml de una solución de caseína preparada al 0.8% (p/v) en PBS (50 mM, pH 7.2 y NaOH 0.1 M) y se mantuvo en incubación por 20 min en las mismas condiciones. La reacción finalizó al agregar 1 ml de ácido perclórico (60% de pureza, Sigma-Aldrich). La absorbancia (Abs) se midió en el extracto obtenido después de la centrifugación (4600 × g, 5 min).

Para el ensayo de inhibición de lipooxigenasa, 10 µl de enzima (20,000 U, *Glycine max* (Soja tipo-1B, Sigma-

Aldrich), se mezclaron con 10 μl de extracto acuoso de muestra fermentada y no fermentada, 970 μl de solución de borato (0.1M, pH 9.0) y 10 μl de ácido linoleico (0.6 mM). Este último se preparó en una solución de borato a una concentración de 0.6 mM y se adicionó 0.005% (v/v) de Tween (Sigma-Aldrich). La mezcla se dejó incubar por 5 min a 37 °C. La solución de borato se utilizó como la solución blanco del ensayo.

Análisis estadístico

Los experimentos se realizaron en triplicado. En los datos obtenidos se aplicó la prueba de normalidad (prueba de Shapiro-Wilk) y se realizó una comparación para muestras independientes, usando la prueba de t-student con corrección por la prueba de Welch. El análisis de los datos se realizó en el programa estadístico Prisma v. 8.2.1 (GraphPad, San Diego, California, EUA).

Resultados

La **figura 3** muestra los resultados de la determinación de fenoles totales determinados en el huauzontle fermentado y no fermentado. La concentración total fue de

7.49 y 20.24 $\mu\text{g}/\text{ml}$ en equivalentes de ácido gálico para huauzontle no fermentado y fermentado, respectivamente. Estos resultados indican un incremento de 2.70 veces en semillas de huauzontle después de 24 h de fermentación con *L. plantarum* Lp22.

Lo relacionado con las propiedades funcionales evaluadas en la semilla de huauzontle fermentada, los valores de actividad antioxidante determinada por el método de ABTS fue de 812.5 y 927.5 μM en equivalentes de Trolox para semilla de huauzontle no fermentado y fermentado, respectivamente, y mostrando diferencia significativa ($p=0.026$).

Los resultados obtenidos de actividad antioxidante por el método de ORAC, fueron de 1384.32 y 3391.11 μM en equivalentes de Trolox, para huauzontle no fermentado y fermentado, respectivamente, lo que corresponde a un incremento de 2.44 veces después de la fermentación, siendo significativa para ambas determinaciones (**Fig. 4**).

En el caso de la actividad antiinflamatoria, la inhibición de la actividad de las enzimas tripsina y lipooxigenasa mostró porcentajes entre 12.53 y 14.38% para tripsina y entre 40.06 y 37.24% para LOX para muestra no fermentada

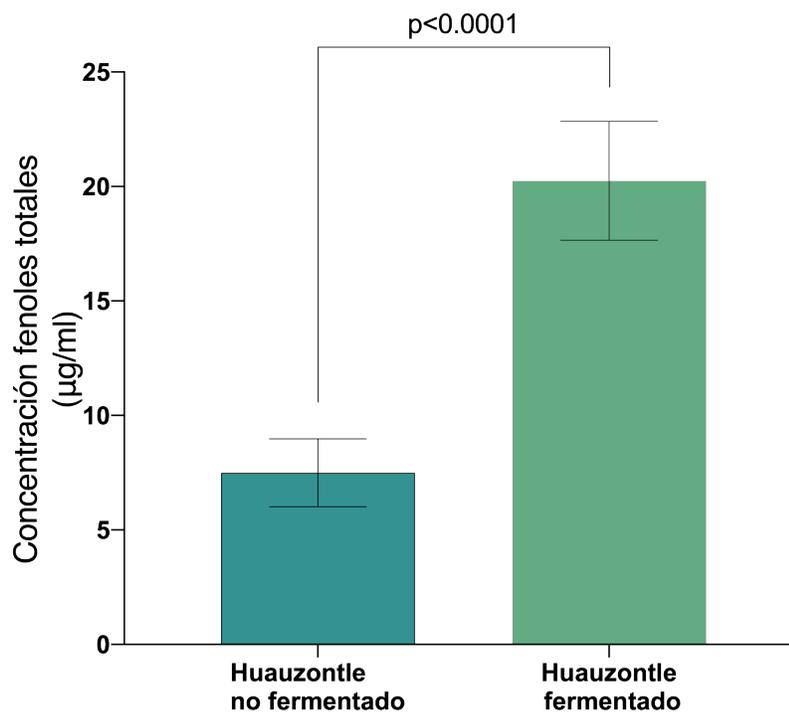


Figura 3: Concentración de compuestos fenólicos en semillas de huauzontle fermentado por *Lactiplantibacillus plantarum* Lp22. Los valores representan la media \pm SD ($n=3$).



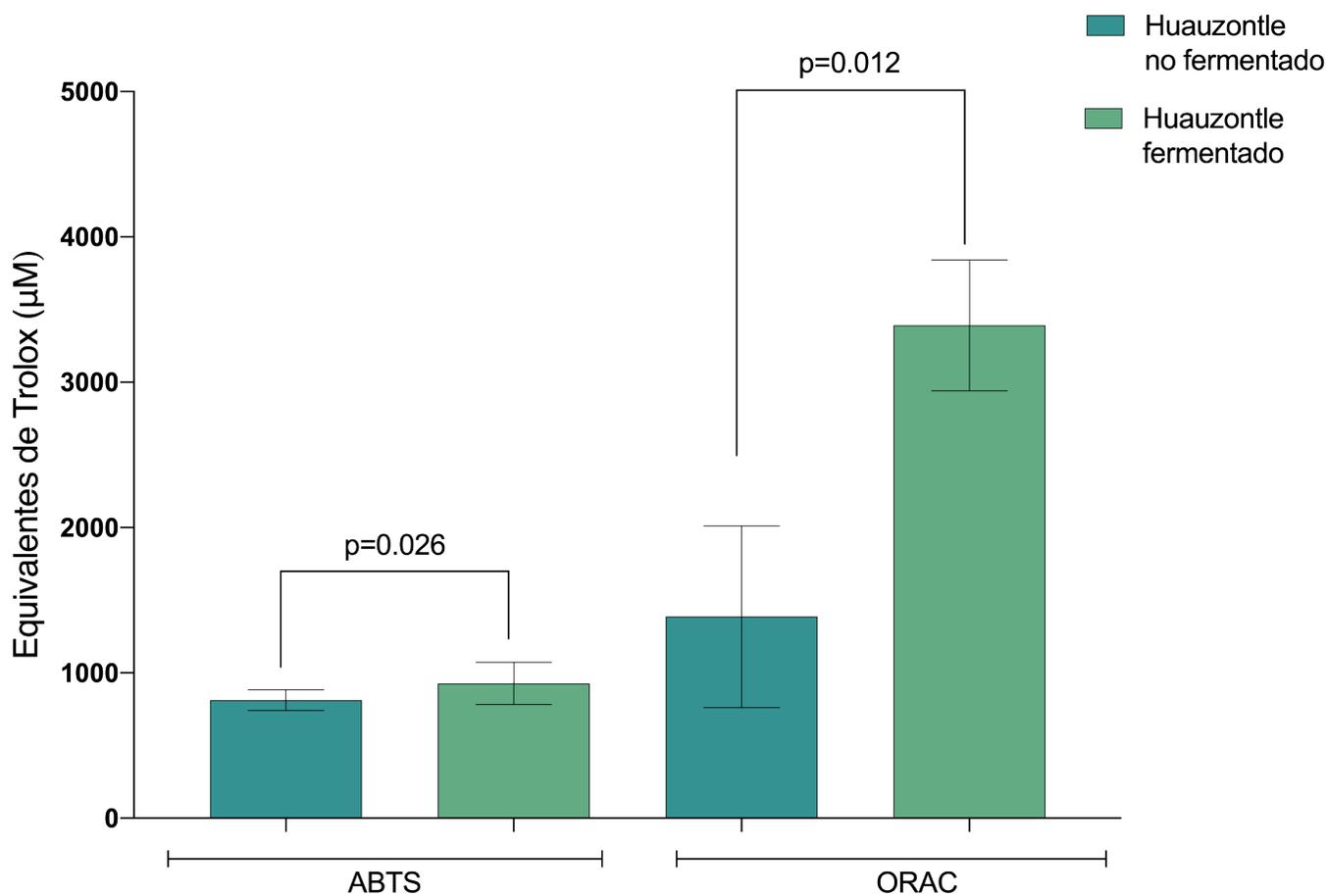


Figura 4: Actividad antioxidante en semillas de huauzontle fermentado, determinado por los métodos de ABTS y ORAC. Los valores representan la media \pm SD (n=3).

y fermentada, respectivamente (Fig. 5). Los resultados, en este caso en particular, muestran que el huauzontle fermentado y no fermentado presentan porcentajes de inhibición enzimática similares ($p > 0.05$), y dicho efecto se mantiene aún después de la fermentación.

Discusión

Los resultados obtenidos en el presente estudio demostraron que la fermentación mejoró las propiedades antioxidantes que posee el huauzontle, los cuales podrían asociarse con el incremento en el contenido de fenoles totales en la muestra fermentada. Estudios previos en huauzontle mostraron una concentración de fenoles de 433.99 mg/100 g de peso fresco (Román-Córtés et al., 2018), siendo mayores a lo reportado en nuestro estudio. Esto se puede atribuir a que Román-Córtés et al. (2018) evaluaron tanto la semilla como las hojas del huauzontle, mientras que en nuestro caso solo fueron las semillas.

Adicional a estos estudios, algunos otros han reportado un incremento en la concentración de fenoles totales en algunos vegetales fermentados con diversas cepas de *Lactobacillus plantarum*. Por ejemplo, la fermentación en hojas de mora negra africana con *L. plantarum* 75 incrementó la concentración de los ácidos gálico, vanílico, cumárico, elágico, catequina y quercetina (Degrain et al., 2020). En un estudio reportado para sorgo fermentado por cepas de *Lactobacillus* spp., se incrementó el contenido de catequinas, ácido gálico y quercetina (Adebo et al., 2018). Asimismo, en un trabajo previo se observó un incremento en el contenido de fenoles totales en una infusión fermentada a base de semillas de huauzontle, con *L. plantarum* Lp22 (García et al., 2022).

Durante el proceso de fermentación con bacterias ácido-lácticas, algunos compuestos pueden ser descarboxilados o reducidos por acción del ácido fenólico reductasa o por el ácido gálico descarboxilasa, impactando en la for-



mación de nuevos compuestos (Adebo y Medina-Meza, 2020). Este incremento puede ser atribuido a que algunas bacterias ácido-lácticas pueden metabolizar compuestos fenólicos glicosilados y liberarlos (Salar et al., 2012; Zhao y Shah, 2016). En algunas especies de *L. plantarum* se ha reportado la presencia de enzimas como tanasa y galato descarboxilasa, debido al incremento de ácido gálico y elágico después de la fermentación, lo cual se puede explicar por la actividad de la enzima tanasa, lo que resulta en la bioconversión de galotaninas y elargitaninos (Jiménez-López et al., 2018; Degrain et al., 2020). Así como la fermentación puede impactar sobre la liberación de compuestos fenólicos, también las propiedades bioactivas como antioxidante y antiinflamatoria se ven favorecidas (Román-Cortés et al., 2018; Khubber et al., 2022).

Considerando que el huauzontle se puede consumir en diversas presentaciones culinarias, y las propiedades

que han sido demostradas cuando es fermentado, este podría contribuir a la mejora de la salud (Manzanero-Medina et al., 2020). Diversas enfermedades, tales como obesidad, diabetes, cáncer, enfermedades respiratorias, e incluso enfermedades autoinmunes, se asocian con una inflamación de bajo grado, lo cual está estrechamente relacionado con el estrés oxidativo, que puede ser un efecto causal o secundario a la inflamación (Menzel et al., 2021). Como estrategias para disminuir las especies reactivas de oxígeno liberados en el organismo, se han estudiado ampliamente los compuestos antioxidantes provenientes de plantas (Adegbola et al., 2017). Estudios previos han demostrado que las semillas de huauzontle cocinado, por ejemplo, presentan actividad superior a 2000 mM de equivalentes de Trolox o un porcentaje de hasta 95.41% de actividad (Chaires-Martínez et al., 2013). El resultado encontrado en nuestro trabajo de investigación fue similar al reportado

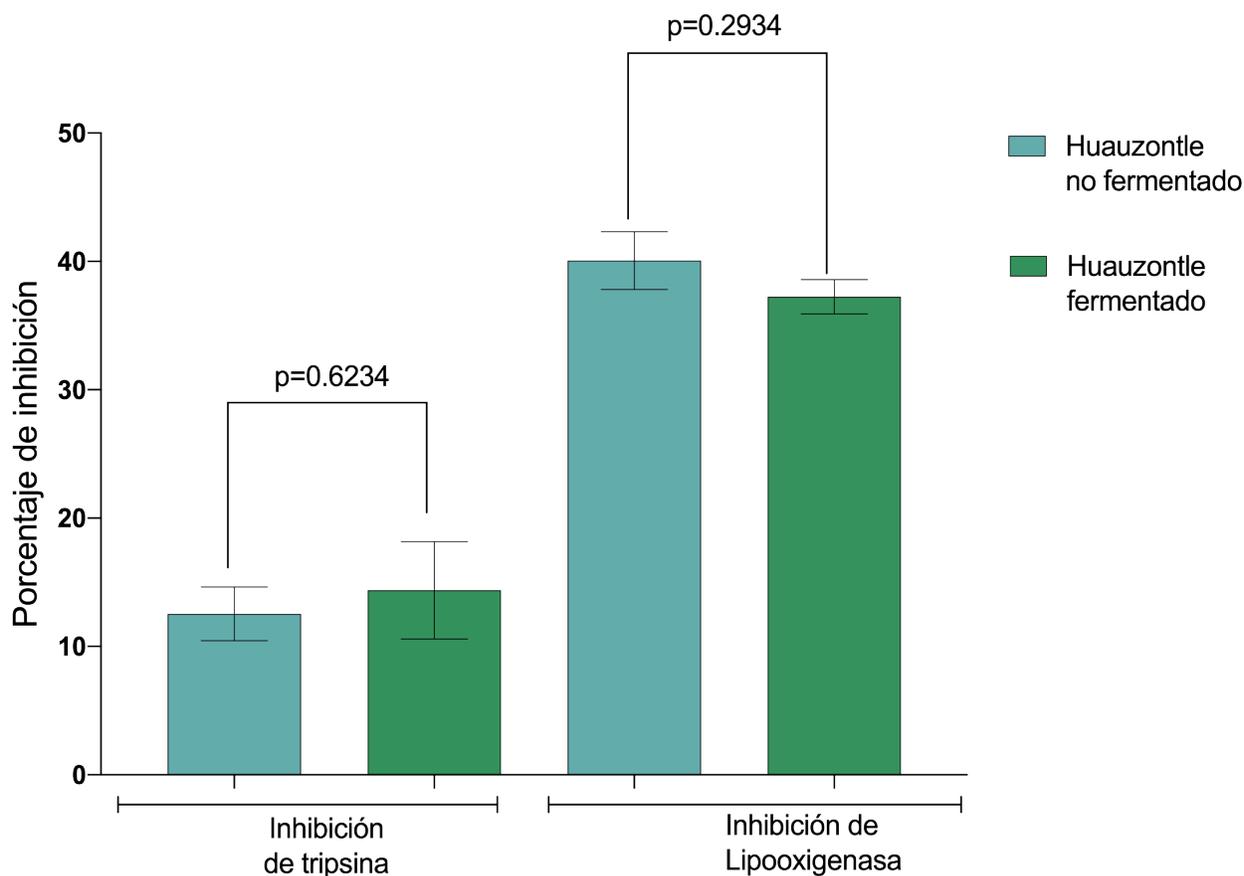


Figura 5: Porcentajes de inhibición (actividad de tripsina y lipooxigenasa) en semillas de huauzontle fermentado. Los valores representan la media \pm SD (n=3).



por Chaires-Martínez et al. (2013), indicando que la fermentación es una tecnología favorable para mejorar las propiedades bioactivas del huauzontle.

Referente a una potencial respuesta antiinflamatoria del huauzontle, se ha reportado que una infusión, a base de semillas de huauzontle, fermentado por *L. plantarum* Lp22 presenta porcentajes de inhibición de 36 y 39% para los dos ensayos enzimáticos utilizados (García et al., 2022). Además, en un modelo de estrés crónico se obtuvo un aumento de IL-10, MCP-1 en muestras de plasma y de actividad de inhibición de LOX en hipocampo (Santiago-López et al., 2023). Estos porcentajes de inhibición se mantienen en la semilla de huauzontle, lo cual la hace de gran interés para la búsqueda de compuestos responsables de dicho efecto ya que pueden estar presentes *per se* en la planta.

Durante el desarrollo de un proceso de inflamación, algunas células son reclutadas hacia el sitio de la infección para activar una respuesta y contrarrestar los efectos (Chen et al., 2018). Durante este proceso, los eosinófilos, por ejemplo, son susceptibles a la actividad de proteasas, en donde un agonista de receptores activadores por proteasas induce la producción de uniones superóxido y la degranulación de las células (Miike et al., 2001). Las enzimas lipooxigenasas son enzimas que catalizan la oxidación de ácidos grasos poliinsaturados, tales como linolénico, linoleico y araquidónico para producir hidroperóxidos (Chedea y Jisaka, 2013). En los procesos inflamatorios, la producción de especies reactivas de oxígeno conlleva a un incremento en la concentración de citocinas proinflamatorias y a la activación de LOX. Esta última es involucrada en la síntesis de leucotrienos y prostaglandinas, por lo que la inhibición de esta ruta es de gran importancia para detener el desarrollo de la inflamación (Lončarić et al., 2021).

Los compuestos fenólicos podrían ser los responsables de incrementar o mantener dicha actividad, aunque podrían no ser los únicos componentes presentes en la semilla de huauzontle. Por ejemplo, el trabajo de investigación reportado por Román-Cortés et al. (2018) mostró que la actividad antioxidante del huauzontle fue mayor (83% de inhibición de radicales libres), mismo que presentó el

mayor contenido de fenoles y flavonoides en contraste a lo encontrado para otro tipo de quelites. Estos resultados concuerdan con lo encontrado en el presente estudio. Asimismo, en otros tipos de quelites, como las verdolagas, se ha documentado que los ácidos grasos insaturados, como el ácido linolénico, α -linoleico y araquidónico, podrían contribuir a disminuir la inflamación, mejorar el estado antioxidante, generar un efecto neuroprotector y efecto antidiabético (Uddin et al., 2014). Esto hace interesante conocer el impacto de la fermentación sobre este tipo de compuestos, y su relación con las propiedades antioxidantes y antiinflamatorias determinadas hasta el momento en las semillas de huauzontle.

Los hallazgos reportados en nuestro trabajo contribuyen a difundir las propiedades bioactivas del huauzontle, que han sido poco estudiadas. Además, hemos demostrado que con el proceso de fermentación se favorece la liberación o biotransformación de compuestos fenólicos, y que las propiedades antioxidantes y antiinflamatorias evaluadas *in vitro* se ven favorecidas. Sin embargo, no se puede descartar que componentes *per se* de la bacteria, conocidos como postbióticos (Pandey et al., 2022), también puedan contribuir a los resultados observados. En este sentido, aun son necesarios más estudios de caracterización para conocer los componentes de la planta que son biotransformados por acción del metabolismo de la bacteria y cuáles son liberados por las bacterias durante la fermentación. Esto es de gran importancia, ya que el huauzontle puede ser una fuente potencial para la elaboración de nuevos alimentos. Con esto, buscamos que esta planta de cultivo y consumo tradicional en México pueda ser revalorizada por las nuevas generaciones, dando a conocer sus propiedades funcionales.

Contribución de autores

HSG, AFGC, BVC y AHM concibieron y diseñaron el estudio y preguntas de investigación. LSL realizó el experimento y analizó los datos. LSL y AHM analizaron e interpretaron los resultados. LSL escribió la primera versión del manuscrito. HSG, AFGC, BVC y AHM revisaron y editaron versiones posteriores del manuscrito. Todos los autores revisaron y aprobaron el manuscrito final.



Financiamiento

Los autores agradecen al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT), por el financiamiento del proyecto 319922 perteneciente a la convocatoria Paradigmas y Controversias FOP-16-2021.

Agradecimientos

Los autores agradecen a María del Carmen Estrada Montoya por el apoyo técnico en la cuantificación de fenoles totales.

Literatura citada

- Adebo, O. A. e 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>
- Adebo, O. A., P. B. Njobeh, J. A. Adebisi y E. Kayitesi. 2018. Co-influence of fermentation time and temperature on physicochemical properties, bioactive components and microstructure of *ting* (a Southern African food) from whole grain sorghum. *Food Bioscience* 25: 118-127. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2018.08.007>
- Adegbola, P., I. Aderibigbe, W. Hammed y T. Omotayo. 2017. Antioxidant and anti-inflammatory medicinal plants have potential role in the treatment of cardiovascular disease: a review. *American Journal of Cardiovascular Disease* 7(2): 19-32.
- 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.
- Chaires-Martínez, L., M. A. Perez Vargas, A. I. Cantor del Angel, F. Cruz Bermudez, y H. A. Jimenez-Avalos. 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/CCHEM-03-12-0022-R>
- Chedea, V. S. y M. Jisaka. 2013. Lipoxigenase and carotenoids: A co-oxidation story. *African Journal Biotechnology* 12(20): 2786-2791.
- Chen, L., H. Deng, H. Cui, J. Fang, Z. Zuo, J. Deng, Y. Li, X. Wang y L. Zhao. 2018. Inflammatory responses and inflammation-associated diseases in organs 9(6): 7204-7218. DOI: <https://doi.org/10.18632/oncotarget.23208>
- Ciudad-Mulero, M., V. Fernández-Ruiz, M. C. Matallana-González y P. Morales. 2019. Chapter Two - Dietary fiber sources and human benefits: The case study of cereal and pseudocereals. *Advances in Food and Nutrition Research* 90(3): 83-134. DOI: <https://doi.org/10.1016/bs.afnr.2019.02.002>
- Cuevas-González, P. F., J. E. Aguilar-Toalá, H. S. García, A. F. González-Córdova, B. Vallejo-Cordoba y A. Hernández-Mendoza. 2020. Protective effect of the intracellular content from potential probiotic bacteria against oxidative damage induced by Acrylamide in human erythrocytes. *Probiotics and Antimicrobial Proteins* 12(4): 1459-1470. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12602-020-09636-9>
- Degrain, A., V. Manhivi, F. Remize, C. Garcia y D. Sivakumar. 2020. Effect of lactic acid fermentation on color, phenolic compounds and antioxidant activity in African nightshade. *Microorganisms* 8(9): 1324. DOI: <https://doi.org/10.3390/microorganisms8091324>
- 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- Food Science and Technology* 155: 112913. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.112913>
- Gunathilake, K. D. P. P., K. K. D. S. Ranaweera y H. Vasantha Rupasinghe. 2018. *In vitro* anti-inflammatory properties of selected green leafy vegetables. *Biomedicines* 6(4): 107. DOI: <https://doi.org/10.3390/biomedicines6040107>
- Jiménez-López, J., A. Ruiz-Medina, P. Ortega-Barrales y E. J. Llorent-Martínez. 2018. Phytochemical profile and antioxidant activity of caper berries (*Capparis spinosa* L.): Evaluation of the influence of the fermentation process. *Food Chemistry* 250: 54-59. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.01.010>
- Khubber, S., F. J. Marti-Quijal, I. Tomasevic, F. Remize y F. J. Barba. 2022. Lactic acid fermentation as a useful strategy to recover antimicrobial and antioxidant compounds from



- food and by-products. *Current Opinion in Food Science* 43: 189-198. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2021.11.013>
- Kistler, L. y B. Shapiro. 2011. Ancient DNA confirms a local origin of domesticated chenopod in eastern North America. *Journal of Archaeological Science* 38(12): 3549-3554. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jas.2011.08.023>
- Lazo-Vélez, M. A., D. Guajardo-Flores, D. Mata-Ramírez, J. A. Gutiérrez-Uribe y S. O. Serna-Saldivar. 2016. Characterization and quantitation of triterpenoid saponins in raw and sprouted *Chenopodium berlandieri* spp. (Huauzontle) grains subjected to germination with or without selenium stress conditions. *Journal of Food Science* 81(1): C19-C26. DOI: <https://doi.org/10.1111/1750-3841.13174>
- Lončarić, M., I. Strelec, T. Moslavac, D. Šubarić, V. Pavić y M. Molnar. 2021. Lipoxygenase inhibition by plant extracts. *Biomolecules* 11(2): 152. DOI: <https://doi.org/10.3390/biom11020152>
- López-Monterrubio, D. I., C. Lobato-Calleros, J. Alvarez-Ramirez y E. J. Vernon-Carter. 2020. Huauzontle (*Chenopodium nuttalliae* Saff.) protein: Composition, structure, physicochemical and functional properties. *Food Hydrocolloids* 108: 106043. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2020.106043>
- Manzanero-Medina, G. I., M. A. Vásques-Dávila, H. Lustre-Sánchez y A. Pérez-Herrera. 2020. Ethnobotany of food plants (*quelites*) sold in two traditional markets of Oaxaca, Mexico. *South African Journal of Botany*. 130: 215-223. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2020.01.002>
- Martínez, L. C. 2014. Pseudocereals as Functional Foods: Huauzontle, a Mexican Case Study. BIT's 3rd Annual World Congress of Food-2014. Changchun, China.
- Martínez-Villaluenga, C., E. Peñas y B. Hernández-Ledesma. 2020. Pseudocereal grains: Nutritional value, health benefits and current applications for the development of gluten-free foods. *Food and Chemical Toxicology* 137: 111178. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fct.2020.111178>
- Menzel, A., H. Samouda, F. Dohet, S. Loap, M. S. Ellulu y T. Bohn. 2021. Common and novel markers for measuring inflammation and oxidative stress *ex vivo* in research and clinical practice-which to use regarding disease outcomes? *Antioxidants* 10(3): 414. DOI: <https://doi.org/10.3390/antiox10030414>
- Miike, S., A. S. McWilliam y H. Kita. 2001. Trypsin induces activation and inflammatory mediator release from human eosinophils through protease-activated receptor-2. *The Journal of Immunology* 167(11): 6615-6622. DOI: <https://doi.org/10.4049/jimmunol.167.11.6615>
- Morales, D., M. Miguel y M. Garcés-Rimón. 2021. Pseudocereals: a novel source of biologically active peptides. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* 61(9): 1537-1544. DOI: <https://doi.org/10.1080/10408398.2020.1761774>
- Pandey, M., A. Bhati, K. Priya, K. K. Sharma y B. Singhal. 2022. Precision postbiotics and mental health: the management of post-COVID-19 complications. *Probiotics and Antimicrobial Proteins* 14(3): 426-448. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12602-021-09875-4>
- Rollán, G. C., C. L. Gerez y J. G. LeBlanc. 2019. Lactic fermentation as a strategy to improve the nutritional and functional values of pseudocereals. *Frontiers in Nutrition* 6: 98. DOI: <https://doi.org/10.3389/fnut.2019.00098>
- Román-Cortés, N. R., M. D. R. García-Mateos, A. M. Castillo-González, J. Sahagún-Castellanos y M. A. Jiménez-Arellanes. 2018. Características nutricionales y nutraceuticas de hortalizas de uso ancestral en México. *Revista Fitotecnia Mexicana* 41(3): 245-253.
- Salar, R. K., M. Certik y V. Brezova. 2012. Modulation of phenolic content and antioxidant activity of maize by solid state fermentation with *Thamnidium elegans* CCF 1456. *Biotechnology Bioengineering* 17: 109-116. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12257-011-0455-2>
- Santiago-López, L., A. Almada-Corral, H. S. García, V. Mata-Haro, A. F. González-Córdova, B. Vallejo-Cordoba y A. Hernández-Mendoza. 2023. Antidepressant and anxiolytic effects of fermented huauzontle, a Prehispanic Mexican pseudocereal. *Foods* 12(1): 53. DOI: <https://doi.org/10.3390/foods12010053>
- Uddin, M. K., A. S. Juraimi, M. S. Hossain, M. A. Un Nahar, M. E. Ali y M. M. Rahman. 2014. Purslane weed (*Portulaca oleracea*): a prospective plant source of nutrition, omega-3 fatty acid, and antioxidant attributes. *The Scientific World Journal* 2014: 951019. DOI: <https://doi.org/10.1155/2014/951019>
- Usman, M., P. J. Patil, A. Mehmood, A. Rehman, H. Shah, J. Haider, K. Xu, C. Zhang y X. Li. 2022. Comparative evaluation



- of pseudocereals peptides: A review of their nutritional contribution. *Trends in Food Science & Technology* 122: 287-313. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2022.02.009>
- Zhao, D. y N. P. Shah. 2016. Lactic acid bacterial fermentation modified phenolic composition in tea extracts and enhanced their antioxidant activity and cellular uptake of phenolic compounds following *in vitro* digestion. *Journal of Functional Foods* 20: 182-194. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jff.2015.10.033>
- Zulueta, A., M. J. Esteve y A. Frígola. 2009. ORAC and TEAC assays comparison to measure the antioxidant capacity of food products. *Food Chemistry* 114(1): 310-316. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.09.033>

