



Abanico Veterinario. Enero-Diciembre 2025; 16:1-13. <http://dx.doi.org/10.21929/abavet2025.5>

Nota de Investigación. Recibido:13/07/2024. Aceptado:16/03/2025. Publicado:29/04/2025. Clave: e2024-39.

<https://www.youtube.com/watch?v=ILxhUfRZRLA>

Efecto de la fermentación con *Aspergillus oryzae* sobre el contenido fitoquímico y nutricional de cereales

Effect of fermentation with *Aspergillus oryzae* on the phytochemical and nutritional content of cereals



Ortiz-Robledo Faviola*^{1,2} , Araiza-Rosales Elia³ , Herrera-Gamboa Jaime² , Villanueva-Fierro Ignacio⁴ , Torres-Fraga Karla⁵ , Pámanes-Carrasco Gerardo**¹ 

¹Universidad Juárez del Estado de Durango, Instituto de Silvicultura e Industria de la Madera, Boulevard del Guadiana, 501, Ciudad Universitaria, 34160, Durango, Durango, México. ²Instituto Tecnológico del Valle del Guadiana, Tecnológico Nacional de México, Km 22.5 carretera Durango-México, Villa Montemorelos, 34371, Durango, Durango, México. ³Universidad Juárez del Estado de Durango, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Carretera Durango-Mezquitil Km 11.5, 34307, Durango, Durango, México. ⁴Instituto Politécnico Nacional, Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional. Calle Sigma 119, Fraccionamiento 20 de Noviembre II, C.P. 34220, Durango, México. ⁵Universidad Politécnica de Durango, Carretera Durango-México Km. 9.5, Localidad Dolores Hidalgo, C.P. 34300. Durango, Durango, México. *Autor responsable: Ortiz-Robledo Faviola. **Autor de correspondencia: Pámanes-Carrasco Gerardo. E-mail: favior7@yahoo.com.mx, e_araiza2002@hotmail.com, jaime.hg@vguadiana.tecnm.mx, ifierro62@yahoo.com, karlatf@hotmail.com, gerardo.pamanes@gmail.com

RESUMEN

El objetivo del presente trabajo fue fermentar granos de cereales con *Aspergillus oryzae* a diferentes tiempos (0, 3, 5 y 7 días) para incrementar su contenido fenólico total, proteico y taninos condensados. Para esto, se utilizaron granos de cuatro cereales: maíz, avena, cebada y sorgo. Los granos se sometieron a una fermentación en estado sólido con una cepa de *Aspergillus oryzae*. Los mayores incrementos de proteína cruda en maíz, sorgo y avena fueron observados a los 5 y 7 días de fermentación. En relación al contenido fenólico, se mostró el mayor contenido a los 7 días en todos los granos. Por otro lado, el contenido de taninos condensados mostró un mayor incremento en maíz y sorgo a los 5 días de fermentación, mientras que en avena se alcanzó a los 7 días. La cebada no mostró diferencias de 3 a 7 días. En conclusión, la fermentación en estado sólido incrementó el contenido fitoquímico y nutricional de cereales, al manipular el tiempo de fermentación.

Palabras clave: fermentación en estado sólido, hongos filamentosos, compuestos bioactivos, fenoles.

ABSTRACT

The aim of this study was the fermentation of cereal grains with *Aspergillus oryzae* at different times (0, 3, 5 and 7 days) to increase the total phenolic, protein and condensed tannins content. Therefore, four cereal grains were used: corn, oat, barley and sorghum. Cereal grains were subjected to a solid-state fermentation with *Aspergillus oryzae*. Higher increases of protein in corn, oat and sorghum were observed at 5 and 7 days of fermentation. In relation to phenolic content, the highest content was shown at 7 days of fermentation in all grains. Otherwise, condensed tannins showed higher contents in corn and sorghum at 5 days of fermentation; whereas, oat reached higher contents at 7 days. No changes were observed in barley among 3 and 7 days of fermentation time. In conclusion, solid state fermentation increased phytochemicals and nutritional contents by changing fermentation time.

Keywords: state-solid fermentation, filamentous fungi, bioactive compounds, phenolics.



INTRODUCCIÓN

Los cereales son fuente importante de alimento para humanos y animales, ya que proveen energía, proteínas y una variedad de sustancias bioactivas (Xiao *et al.*, 2015^a; Borrás & Torres, 2016). Estos compuestos bioactivos llamados fitoquímicos o metabolitos secundarios, son moléculas orgánicas que no tienen una participación directa en el metabolismo primario, pero presentan diversas actividades biológicas (Camacho-Escobar *et al.*, 2020). Los compuestos fenólicos son el grupo de metabolitos secundarios que más abundan en las plantas; su estructura básica está conformada por un grupo hidroxilo unido a un anillo aromático y a partir de esta estructura se origina una variedad de compuestos como: ácidos fenólicos, cumarinas, ligninas, taninos y flavonoides (Sánchez, 2022). Los fenoles que se encuentran en cereales pueden ser solubles, insolubles o ligados. Dentro de los solubles, se encuentran los fenoles libres, glucosilados y esterificados y se ubican en mayor cantidad en las capas exteriores de los granos como el pericarpio, testa y células de aleurona (Cabrera-Soto *et al.*, 2009). La mayoría de los fenoles insolubles forman enlaces covalentes con componentes de la pared celular como la pectina, celulosa y proteínas estructurales (Shahidi & Yeo, 2016). En los cereales, los fenoles más abundantes son derivados del ácido benzoico, ácidos cinámicos y flavonoides (Balli *et al.*, 2019). Estos exhiben diversas propiedades biológicas como antioxidantes, antiinflamatorias, antimicrobianas, entre otras (Torres-León *et al.*, 2019). La bioactividad de los compuestos fenólicos depende de su bioaccesibilidad, que se traduce como la liberación de la matriz alimenticia para que puedan estar disponibles (Gutierrez-Gijalva *et al.*, 2016).

La fermentación en estado sólido (FES), es una técnica utilizada en países orientales desde tiempos antiguos para producir una variedad de comidas tradicionales (Xu *et al.*, 2018). Se define como un proceso eficiente y económico en el que microorganismos crecen sobre sustratos sólidos, para transformarlos y enriquecerlos nutricionalmente o para producir diversos metabolitos secundarios, bajo reducidos niveles de humedad (Liu *et al.*, 2022). Los microorganismos como hongos, levaduras y bacterias lácticas, son empleados en el proceso de fermentación, pero los más comúnmente utilizados son los hongos filamentosos, los cuales son capaces de adaptarse a diferentes ambientes con bajos requerimientos de actividad de agua.

Actualmente, este proceso se aplica para aumentar la bioaccesibilidad de nutrientes y compuestos fenólicos (Gebru & Sbhatu, 2020). En estudios previos, fermentaron en estado sólido una variedad de cereales para mejorar su contenido fenólico (Cia *et al.*, 2012; Bhanja Dey & Kuhad, 2014^a; Bhanja Dey & Kuhad, 2014^b; Xiao *et al.*, 2015^a; Xu *et al.*, 2018; Gebru & Sbhatu, 2020).

Con base en lo anterior, el objetivo del presente trabajo fue fermentar granos de cuatro cereales a diferentes tiempos con *Aspergillus oryzae* para incrementar su contenido fenólico y proteico.



MATERIAL Y MÉTODOS

Materia prima

Se emplearon granos de maíz variedad CAFIME del ciclo primavera-verano 2022, los cuales fueron proporcionados por el INIFAP-Durango (campo experimental Francisco I. Madero ubicado en el Municipio de Pánuco de Coronado, Durango), mientras que los granos de avena, cebada y sorgo fueron comprados en el mercado local. Todos los granos fueron limpiados y almacenados a temperatura ambiente hasta su posterior uso.

Obtención y conservación de la cepa

El hongo *Aspergillus oryzae* cepa 2094 fue proporcionado por el cepario del Instituto Tecnológico de Durango-TecNM. Se utilizó como medio de conservación Agar Papa Dextrosa (PDA) a una temperatura de 30 °C. El inóculo fue preparado a partir de un cultivo de 13 días de desarrollo por suspensión de esporas en agua destilada a una concentración de 1×10^6 esporas/mL.

Fermentación en estado sólido (FES)

La FES se realizó con el método descrito por [Bhanja Dey & Kuhad \(2014^a\)](#). Se pesaron 200 g de cada grano (maíz, avena, cebada y sorgo) los cuales se depositaron en frascos de vidrio de 1 L, se agregaron 200 mL de agua destilada y se esterilizaron a 121 °C por 15 min, terminado el proceso se dejaron enfriar a temperatura ambiente. Posteriormente, los granos esterilizados se inocularon con 20 mL de la suspensión de esporas (preparada previamente). El tiempo de incubación fue de 0, 3, 5 y 7 días respectivamente a una temperatura de 30 °C. Una vez concluido el proceso de fermentación, los granos fermentados fueron esterilizados nuevamente y se dejaron secar a 55 °C por un periodo de 72 h. Posteriormente, fueron molidos en un molino Wiley (Arthur H. Thomas, Philadelphia, PA, USA) a un tamaño de partícula de 1 mm, para después guardarlos en bolsas Ziploc en un lugar oscuro y seco a temperatura ambiente para su posterior análisis.

Análisis químicos

Se determinó el contenido de proteína cruda (PC) en los granos fermentados de acuerdo con la [AOAC \(1990\)](#). Los compuestos fenólicos se llevaron a cabo de acuerdo a la metodología propuesta por [Heimler et al. \(2005\)](#). Un gramo de muestra se maceró con 90 mL de etanol al 70 % (ajustado a pH 2.0) y se dejó toda la noche a temperatura ambiente. Después, la mezcla se filtró y luego se desengrasó con éter de petróleo. Posteriormente, el extracto desengrasado se evaporó a temperatura ambiente y se redisolvió en etanol al 70 % (pH 2.0) a un volumen final de 2 mL. Para la determinación de fenoles totales (FT), se tomaron 125 µL de extracto fenólico, se le agregó 0.5 mL de agua desionizada y 125 µL de reactivo Folin-Ciocalteu. La mezcla se dejó reposar por 6 min, y luego se agregaron 1.25 mL de carbonato de sodio (Na_2CO_3) al 7 %. El volumen final se ajustó a 3 mL con agua desionizada. La mezcla se dejó reposar por 90 min y una vez pasado el tiempo, se midió la absorbancia a 760 nm, como blanco se utilizó agua. La



cantidad de fenoles totales se expresó como equivalentes de ácido gálico (μg EAG/g harina). Para la determinación de taninos condensados (TC), a 50 μl del extracto se le agregaron 3 mL de solución de vainillina al 4 % en metanol y 1.5 mL de ácido clorhídrico concentrado. La mezcla se dejó reposar por 15 min y la absorción se midió a 500 nm, se empleó metanol como blanco. La cantidad de TC se expresó como equivalentes de catequina (μg EC/g harina).

Análisis estadístico

Los datos obtenidos de proteína cruda, fenoles totales y taninos condensados se analizaron con ANOVA de una sola vía y las medias se compararon con la prueba de Tukey ($p < 0.05$), empleando el paquete estadístico SAS versión 9.0 (SASInc., Cary, NC, USA). Todos los tratamientos se efectuaron por triplicado y los valores se expresaron como la media $\pm$ desviación estándar.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Proteína cruda (PC)

En la Tabla 1 se muestran los resultados del contenido de proteína cruda de los granos de cereales fermentados a diferentes tiempos. El maíz y la avena alcanzaron los niveles más altos de PC desde el día 5 de fermentación ($p < 0.05$), mientras que, la cebada y el sorgo desde el día 3 de fermentación ($p < 0.05$). Diversos estudios con diferentes microorganismos han demostrado el incremento de proteína durante la fermentación. Por su parte, (Chen *et al.*, 2013 & Chen *et al.*, 2014) observaron un incremento en la PC en harina de soya de 50.46 a 58.99 y 9.2 %, respectivamente, al fermentarla con *Aspergillus oryzae* por 0, 25 y 36 h. De igual manera, Xiao *et al.* (2015^b) observaron que la fermentación de harina de garbanzo con *Cordyceps militaris*, aumentó el contenido de PC de 22.13 a 26.43 %. Adicionalmente, Xiao *et al.* (2018) trabajaron con harina de frijol rojo fermentada con *Cordyceps militaris* y observaron un incremento significativo del 9.3 % (23.61 a 25.81 %) con el proceso de fermentación. Por su parte, Chen *et al.* (2021) fermentaron harina de soya con las bacterias *Bacillus velezensis* por 24 h y posteriormente con *Lactobacillus plantarum* por 48 h; los resultados mostraron un aumento de PC de 47.28 a 51.08 % a las 24 h, mientras que a las 48 h se obtuvo un máximo de 52.36 %. Asimismo, Sánchez-García *et al.* (2022) trabajaron con semillas de lentejas, quínoa y sus harinas, fermentándolas con el macrohongo *Pleurotus ostreatus* a diferentes tiempos. Obteniendo un incremento significativo en el contenido de proteína total entre 7 y 26 %. Además, observaron que el tamaño de partícula, así como el sustrato, influyeron sobre el contenido de proteína. Del mismo modo, Cubillos-Orjuela *et al.* (2024) fermentaron un producto alimenticio que incluía un porcentaje de tamo de cereales (10 y 20 %) con bacterias lácticas, y encontraron que al incluir 20 % de tamo de cereales y fermentar por 48 h se obtuvo un incremento de 2.2 % de proteína cruda.



Tabla 1. Contenido de proteína cruda (% PC) en granos fermentados a diferentes tiempos

Tiempo de fermentación (días)	Maíz	Avena	Cebada	Sorgo
Control	11.11 ± 0.30 ^{cd}	15.33 ± 0.04 ^c	11.44 ± 0.22 ^{ab}	13.27 ± 0.26 ^{ab}
0	10.89 ± 0.11 ^d	16.05 ± 0.18 ^{bc}	12.65 ± 0.45 ^a	12.65 ± 0.45 ^b
3	11.80 ± 0.38 ^{bc}	16.09 ± 0.16 ^{bc}	11.64 ± 0.60 ^{ab}	13.57 ± 0.10 ^a
5	12.64 ± 0.25 ^a	16.47 ± 0.47 ^{ab}	9.93 ± 0.74 ^c	13.96 ± 0.05 ^a
7	11.86 ± 0.15 ^b	17.02 ± 0.46 ^a	11.12 ± 0.27 ^{bc}	13.97 ± 0.48 ^a

Valores expresados como medias ± desviación estándar. ^{a-d} Literales diferentes en la misma columna presentan diferencias estadísticas (p < 0.05).

Fenoles totales

En la Tabla 2 se presentan los resultados del contenido fenólico total en granos de cereales fermentados con *Aspergillus oryzae* a diferentes tiempos. En general, se observa que el contenido fenólico de todos los granos se incrementó conforme aumentó el tiempo de fermentación. En el maíz se observaron los valores más altos (p < 0.05) a partir de los 5 días de fermentación, en tanto que en la avena y cebada el contenido fenólico más alto (p < 0.05) se observó a los 7 días de fermentación. En sorgo, el contenido fenólico fue similar desde los 3 hasta los 7 días de fermentación (p > 0.05). El incremento que tuvo la avena, la cebada y el sorgo a los 7 días de fermentación fue de 248 %, 117 % y 57 %, respectivamente. El maíz a los 5 días de fermentación tuvo un incremento de 59 %. Según [Saharan et al. \(2017\)](#), el aumento del contenido fenólico durante la fermentación está relacionado con la producción de enzimas por el hongo, tales como α-amilasa, β-glucosidasa y xilanasa que tienen la capacidad de hidrolizar carbohidratos, degradar la pared celular y liberar compuestos fenólicos. La mejora del contenido fenólico en cereales fermentados con hongos filamentosos, fue observado por otros autores [Cai et al. \(2012\)](#) fermentaron harinas de avena con *Aspergillus oryzae* var. *effuses*, *Aspergillus oryzae* y *Aspergillus niger* por 3 días a 25 °C y reportaron que el hongo *Aspergillus oryzae* var. *effuses* incrementó en mayor grado el contenido fenólico en las harinas fermentadas. Por su parte, [Bhanja Dey & Kuhad, \(2014^a\)](#) fermentaron granos enteros de trigo, arroz integral, avena y maíz con *Aspergillus oryzae* NCIM 1212, *Rhizopus oligosporus* NCIM 1215, *Aspergillus awamori* MTCC No. 548 y *Rhizopus oryzae* RCK2012 a 30 °C por 3 días. Los resultados demostraron que el contenido fenólico en todos los granos fermentados con *Aspergillus oryzae* NCIM 1212 mostraron valores más altos que con los demás hongos. De igual manera, [Bhanja Dey & Kuhad \(2014^b\)](#) fermentaron granos de trigo con *Rhizopus oryzae* RCK2012 y encontraron que la fermentación incrementó un 377 % el contenido fenólico en los extractos acuosos. Por su parte, [Abd Razak et al. \(2015\)](#) estudiaron el efecto de la fermentación con *Rhizopus oligosporus* y *Monascus purpureus* (de manera individual y mezclados) sobre el contenido fenólico del salvado de arroz. Estos autores encontraron que el contenido fenólico de extractos acuosos y metanólicos de las muestras fermentadas fue mayor que



las muestras no fermentadas, a excepción del extracto acuoso de la muestra fermentada con *Monascus purpureus*. También se observó que la mezcla de los hongos en los extractos acuosos produjo un mayor contenido fenólico que de manera individual, mientras que, en los extractos metanólicos el contenido fenólico fue similar en ambas formas. A su vez, [Sandhu et al. \(2016\)](#) fermentaron seis variedades de trigo con *Aspergillus awamori* a 30 °C por 6 días. Los resultados mostraron que la fermentación aumentó considerablemente el contenido fenólico al cuarto día en las seis variedades. Adicionalmente, [Saharan et al. \(2017\)](#) evaluaron granos de trigo, arroz, avena, maíz y sorgo fermentados con *Aspergillus oryzae* (MTCC 3107) durante 6 días a 30 °C. Encontrando en el trigo y avena los valores más altos de contenido fenólico al cuarto día de fermentación; mientras tanto, el arroz, sorgo y maíz el máximo incremento se observó al quinto día. Por su parte, [Sánchez-Magaña et al. \(2019\)](#) investigaron el efecto del tiempo de fermentación sobre el contenido fenólico libre, ligado y total en harinas de maíz crudo, cocido y fermentado a diferentes tiempos con *Rhizopus oligosporus* NRRL 2710. Ellos encontraron que la fermentación aumentó el contenido fenólico libre a partir de las 48 h y el valor máximo (227.75 mg ácido gálico/100 g muestra) se presentó a las 108 h. Con respecto al contenido fenólico ligado y total comenzó a aumentar a partir de las 72 h, con un valor máximo (993.44 mg ácido gálico/100 g muestra) a las 108 h. De acuerdo a lo reportado en estudios previos, es importante considerar varios factores que influyen en el contenido fenólico de cereales, como la especie, variedad, microorganismo, tiempo de fermentación, método de extracción y método de análisis.

Tabla 2. Contenido fenólico total (µg EAG/g harina) en granos fermentados a diferentes tiempos

Tiempo de fermentación (días)	Maíz	Avena	Cebada	Sorgo
Control	456.03 ± 23.34 ^c	342.76 ± 7.75 ^d	338.98 ± 15.56 ^d	703.73 ± 31.58 ^b
0	513.03 ± 32.10 ^c	382.28 ± 19.63 ^d	381.14 ± 3.40 ^d	752.87 ± 4.98 ^b
3	622.95 ± 24.76 ^b	748.6 ± 86.66 ^c	487.44 ± 6.71 ^c	923.68 ± 122.63 ^{ab}
5	727.09 ± 13.96 ^a	1068.53 ± 20.58 ^b	586.7 ± 19.70 ^b	1069.7 ± 118.56 ^a
7	690.95 ± 17.93 ^a	1194.07 ± 33.89 ^a	736.08 ± 49.49 ^a	1107.38 ± 119.64 ^a

Valores expresados como medias ± desviación estándar. ^{a-d} Literales diferentes en la misma columna presentan diferencias estadísticas (p < 0.05).

Taninos condensados (TC)

La Tabla 3 muestra el contenido de taninos condensados en los granos de cereales fermentados. Se encontraron diferencias significativas (p < 0.05) conforme avanzaba el tiempo de fermentación. En el maíz se observó más este comportamiento, ya que el contenido de TC incrementó conforme aumentó el tiempo de fermentación con respecto al tiempo 0. Por su parte, el sorgo registró el mayor contenido de TC (202.11 µg EC/g harina) a los 5 días de fermentación, mientras que el maíz alcanzó su máximo (97.19 µg EC/g harina) a los 7 días (p < 0.05). [Espitia-Hernández et al. \(2022\)](#) reportaron resultados



opuestos a los del presente estudio con sorgo; trabajaron con dos variedades de sorgo (rojo y negro) fermentadas en estado sólido con *Aspergillus oryzae* y *Aspergillus niger* por 96 h. El sorgo rojo fermentado con *Aspergillus oryzae* no mostró diferencias significativas ($p > 0.05$), mientras que con *Aspergillus niger* se mostró un incremento a partir de las 12 h, con el valor más alto a las 72 h (76.07 mg EC/100 g muestra). Respecto al sorgo negro fermentado con *Aspergillus oryzae*, los taninos condensados disminuyeron a partir de las 24 h ($p < 0.05$); por el contrario, con *Aspergillus niger* aumentó el contenido de TC a partir de las 36h y el valor más alto se obtuvo a las 84 h (73.20 mg EC/100g muestra). Un estudio previo con bacterias lácticas y levaduras fue realizado por [Terefe et al. \(2021\)](#), los cuales evaluaron el efecto de la fermentación en estado sólido con *Lactobacillus plantarum* y *Saccharomyces cerevisiae* y su cocultivo sobre el contenido de taninos condensados en harina de maíz a 0, 12, 24, 36 y 48 h. El contenido de TC disminuyó con todas las cepas conforme aumentaba el tiempo de fermentación; los valores más bajos se presentaron con el cocultivo a las 48 h (12.3 % EC). La información publicada acerca del efecto de la fermentación en estado sólido sobre el contenido de taninos condensados en cereales es muy limitada. Sin embargo, hay estudios que se han realizado con otras especies, tal como lo reportan [Dhull et al. \(2020\)](#) ellos evaluaron el efecto de la fermentación en estado sólido de tres variedades de lentejas (HM-1, LL-931 y Sapna) con *Aspergillus awamori* sobre el contenido de taninos condensados. Los resultados en las tres variedades indicaron un incremento de TC conforme aumentaba el tiempo de fermentación, maximizándose el contenido de taninos a los 6 días en las tres variedades (3.16, 4.52 y 4.30 mg EC/g base seca, respectivamente).

Por su parte, [Altop et al. \(2018\)](#) trabajaron con hojas de olivo para fermentarlas en estado sólido con cuatro cepas de *Aspergillus niger* (F1, F2, F3 y F4) y analizar su efecto sobre el contenido de taninos condensados. La fermentación aumentó el contenido taninos condensados en las hojas de olivo con todas cepas y el valor más alto de TC se encontró con la cepa F2 (11.44 %). Así mismo, [Duhan et al. \(2021\)](#) fermentaron en estado sólido la torta de cacahuate (residuo obtenido después de extracción del aceite de cacahuate) con *Aspergillus oryzae* durante 6 días para determinar su efecto sobre el contenido de taninos condensados. Los resultados claramente demostraron que la fermentación incrementó el contenido de TC; presentando su valor máximo (245 µg/g) a los 6 días de fermentación. Lo mencionado anteriormente indica que el tipo de cereal, variedad, especie, microorganismo y cepas juegan un rol muy importante durante la FES para poder liberar los taninos condensados de la pared celular.



Tabla 3. Contenido de taninos condensados ($\mu\text{g EC/g}$ harina) en granos fermentados a diferentes tiempos

Tiempo de fermentación (días)	Maíz	Avena	Cebada	Sorgo
Control	76.04 $\pm$ 3.46 ^a	76.11 $\pm$ 8.68 ^a	40.29 $\pm$ 5.63 ^b	130.99 $\pm$ 5.77 ^c
0	37.43 $\pm$ 2.94 ^c	43.02 $\pm$ 8.47 ^b	77.02 $\pm$ 2.76 ^a	156.37 $\pm$ 2.82 ^b
3	59.03 $\pm$ 3.43 ^b	76.16 $\pm$ 8.63 ^a	40.19 $\pm$ 5.76 ^b	145.19 $\pm$ 2.69 ^b
5	63.04 $\pm$ 11.37 ^{ab}	73.97 $\pm$ 11.28 ^a	43.02 $\pm$ 2.99 ^b	202.11 $\pm$ 3.26 ^a
7	51.48 $\pm$ 5.28 ^{bc}	97.19 $\pm$ 5.96 ^a	48.68 $\pm$ 2.65 ^b	151.23 $\pm$ 8.50 ^b

Valores expresados como medias $\pm$ desviación estándar. ^{a-c} Literales diferentes en la misma columna presentan diferencias estadísticas ($p < 0.05$).

CONCLUSIONES

La fermentación en estado sólido con *Apergillus oryzae* aumentó significativamente el contenido de proteína cruda y contenido fenólico total en granos de avena, cebada, maíz y sorgo después de 3 días de fermentación. Con base en los resultados, se considera que el mejor tiempo de fermentación para incrementar el contenido nutricional y fitoquímico en maíz y sorgo es a los 5 días de fermentación, mientras que para la avena y cebada es a los 7 días de fermentación. La FES es una técnica eficiente, sencilla y económica que puede ser utilizada para enriquecer los componentes nutricionales y fitoquímicos de granos de cereales.

LITERATURA CITADA

ABD Razak DL, Abd Rashid NY, Jamaluddin A, Sharifudin SA, Long K. 2015. Enhancement of phenolic acid content and Antioxidant Activity of Rice Bran Fermented with *Rhizopus oligosporus* and *Monascus purpureus*. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*. 4(1): 33-38.

<https://doi.org/10.1016/j.bcab.2014.11.003>

ALTOP A, Coskun I, Filik G, Kucukgul A, Bekiroglu YG, Cayan H, Gungor E, Sahin A, Erener G. 2018. Amino acid, mineral, condensed tannin, and other chemical contents of olive leaves (*Olea europaea* L.) processed via solid-state fermentation using selected *Aspergillus niger* strains. *Ciencia e Investigación Agraria*. 45(2): 220-230.

<https://openaccess.ahievran.edu.tr/xmlui/handle/20.500.12513/4213>

AOAC. Association of Official Analytical Chemists. 1990. Official methods of analysis. 15th. ed. Association of Official Analytical Chemists. Arlington, VA.

<https://law.resource.org/pub/us/cfr/ibr/002/aoac.methods.1.1990.pdf>



BALLI D, Bellumori M, Paoli P, Pieraccini G, Di Paola M, De Filippo C, Di Gioia D, Mulinacci N, Innocenti M. 2019. Study on a fermented whole wheat: phenolic content, activity on PTP1B enzyme and in vitro prebiotic properties. *Molecules*. 24(6):1120.

<https://doi.org/10.3390%2Fmolecules24061120>

BHANJA-DEY T, Kuhad RC^a. 2014. Upgrading the antioxidant potential of cereals by their fungal fermentation under solid-state cultivation conditions. *Letters in Applied Microbiology*. 59 (5): 493-499.

<https://doi.org/10.1111/lam.12300>

BHANJA-DEY T, Kuhad RC^b. 2014. Enhanced production and extraction of phenolic compounds from wheat by solid-state fermentation with *Rhizopus oryzae* RCK2012. *Biotechnology Reports*. 4: 120-127.

<https://doi.org/10.1016/j.btre.2014.09.006>

BORRAS SLM, Torres VG. 2016. Producción de alimentos para animales a través de fermentación en estado sólido-FES. *Orinoquia*. 20(2): 47-54. ISSN 0121-3709.

http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S0121-37092016000200007&script=sci_arttext

CABRERA-SOTO ML, Salinas-Moreno Y, Velázquez-Cardelas A, Espinosa-Trujillo E. 2009. Contenido de fenoles solubles e insolubles en las estructuras del grano de maíz y su relación con propiedades físicas. *Agrociencia*. 43: 827-839. ISSN 2521-9766.

https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-31952009000800006

CAI S, Wang O, Wu W, Zhu S, Zhou F, Baoping J, Gao F, Zhang D, Liu J, Cheng Q. 2012. Comparative study of the effects of solid-state fermentation with three filamentous fungi on the total phenolic content (TPC), flavonoids, and antioxidant activities of subfractions from oats (*Avena sativa* L.). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 60: 507- 513.

<https://doi.org/10.1021/jf204163a>

CAMACHO-ESCOBAR MA, Ramos-Ramos DA, Ávila-Serrano NY, Sánchez-Bernal EI, López-Garrido SJ. 2020. Las defensas físico-químicas de las plantas y su efecto en la alimentación de los rumiantes. *Terra Latinoamericana*. 38(2): 443-453. ISSN 2395-8030.

<https://doi.org/10.28940/terra.v38i2.629>



CARDOSO-GUTIÉRREZ E, Aranda-Aguirre E, Robles-Jimenez LE, Castelán-Ortega OA, Chay-Canul AJ, Foggi G, Angeles-Hernández JC, Vargas-Bello-Pérez E, González-Ronquillo M. 2021. Effect of tannins from tropical plants on methane production from ruminants: A systematic review. *Veterinary and Animal Science*. 14: 1-12.

<https://doi.org/10.1016/j.vas.2021.100214>

CHEN L, Madl RL, Vadlani PV. 2013. Nutritional Enhancement of soy meal via *Aspergillus oryzae* solid-state fermentation. *Cereal Chemistry*. 90(6):529-534.

<https://doi.org/10.1094/CCHEM-01-13-0007-R>

CHEN L, Vadlani PV, Madl RL. 2014. High-efficiency removal of phytic acid in soy meal using two-stage temperature-induced *Aspergillus oryzae* solid-state fermentation. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 94(1): 13-118.

<https://doi.org/10.1002/jsfa.6209>

CHEN L, Zhao Z, Yu W, Zheng L, Li L, Gu W, Xu H, Wei B, Yan X. 2021. Nutritional quality improvement of soybean meal by *Bacillus velezensis* and *Lactobacillus plantarum* during two-stage-solid-state fermentation. *AMB Express*. 11(23): 1-11.

<https://doi.org/10.1186/s13568-021-01184-x>

CUBILLOS-ORJUELA DI, Rodríguez-Montana A, Rache LY, Borrás-Sandoval LM. 2024. Tamo de cereales como suplemento alimenticio procesado por fermentación en estado sólido. *Ciencia en Desarrollo*. 15(1):1-14.

https://revistas.uptc.edu.co/index.php/ciencia_en_desarrollo/article/view/17073

DHULL SB, Punia S, Kidwai MK, Kaur M, Chawla P, Purewal SS, Sangwan M, Palthania S. 2020. Solid-state fermentation of lentil (*Lens culinaris* L.) with *Aspergillus awamori*: effect on phenolic compounds, mineral content and their bioavailability. *Legume Science*. 2: e37.

<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/leg3.37>

DUHAN JS, Chawla P, Kumar S, Bains A, Sadh PK. 2021. Proximate composition, polyphenols and antioxidant activity of solid state fermented peanut press cake. *Preparative biochemistry & Biotechnology*. 51(4):1-10.

<https://doi.org/10.1080/10826068.2020.1815060>



ESPITIA-HERNÁNDEZ P, Ruelas-Chacón X, Chávez-González ML, Ascacio-Valdés JA, Flores-Naveda A, Sepúlveda-Torre L. 2022. Solid-state fermentation of sorghum by *Aspergillus niger*: effects on tannin content, phenolic profile and antioxidant activity. *Foods*. 11 (19):1-15. <https://www.mdpi.com/2304-8158/11/19/3121>

GEBRU YA, Sbhatu DB. 2020. Effects of fungi-mediated solid-state fermentation on phenolic contents and antioxidant activity of brown and white teff (*Eragrostis tef* (Zucc.) trotter) grains. *Journal of Food Quality*. 2020: 1-11.
<https://doi.org/10.1155/2020/8819555>

GUTIÉRREZ-GRIJALVA EP, Ambriz-Pérez DL, Leyva-López N, Castillo-López RI, Heredia JB. 2016. Bioavailability of dietary phenolic compounds: review. *Revista Española de Nutrición Humana y Dietética*. 20(2): 140-147.
<https://doi.org/10.14306/renhyd.20.2.184>

HEIMLER D, Vignolini P, Dini M, Romani A. 2005. Rapid tests to assess the antioxidant activity of *Phaseolus vulgaris* L. Dry Beans. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*. 53(8): 3053-3056. <https://doi.org/10.1021/jf049001r>

HUANG R, Romero P, Belanche A, Ungerfeld EM, Yanez-Ruiz D, Morgavi DP, Popova M. 2023. Evaluating the effect of phenolic compounds as hydrogen acceptors when ruminal methanogenesis is inhibited *in vitro* -Part 1. Dairy cows. *Animal*. 17(5): 100788.
<https://doi.org/10.1016/j.animal.2023.100788>

LIU W, Dun M, Liu X, Zhang G, Ling J. 2022. Effects on total phenolic and flavonoid content, antioxidant properties, and angiotensin I-converting enzyme inhibitory activity of beans by solid-state fermentation with *Cordyceps militaris*. *International Journal of Food Properties*. 25(1): 477-491. <https://doi.org/10.1080/10942912.2022.2048009>

SAHARAN P, Sadh P, Duhan JS. 2017. Comparative assessment of effect of fermentation on phenolics, flavonoids and free radical scavenging activity of commonly used cereals. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*. 12: 236-240.
<https://doi.org/10.1016/j.bcab.2017.10.013>

SÁNCHEZ-MAGAÑA LM, Reyes-Moreno C, Milán-Carrillo j, Mora-Rochín S, León-López I, Gutiérrez-Dorado R, Cuevas-Rodríguez EO. 2019. Influence of solid-state bioconversión by *Rhizopus oligosporus* on antioxidant activity and phenolic compounds of maize (*Zea mays* L.). 53: 45-57.
<https://agrociencia-colpos.org/index.php/agrociencia/article/view/1750/1750>



SÁNCHEZ-GARCÍA J, Asensio-Grau A, García-Hernández J, Heredia A, Andrés A. 2022. Nutritional and antioxidant changes in lentils and quinoa through fungal solid-state fermentation with *Pleurotus ostreatus*. *Bioresources and Bioprocessing*. 9(51):1-12.

<https://doi.org/10.1186/s40643-022-00542-2>

SÁNCHEZ GFFL. 2022. Fitoquímica. Editorial UNAM FES Zaragoza. México. Pp. 133. ISBN:978-607-30-6019-6.

<https://www.zaragoza.unam.mx/wp-content/2022/Publicaciones/libros/cbiologia/Fitoquimica.pdf>

SANDHU KS, Punia S, Kaur M. 2016. Effect of duration of solid-state fermentation by *Aspergillus awamori* on antioxidant properties of wheat cultivars. *LWT-Food Science and Technology*. 71: 323-328. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2016.04.008>

SHAHIDI F, Yeo J. 2016. Insoluble-Bound Phenolics in Food. *Molecules*. 21(9):1216 <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/27626402/>

TEREFE ZK, Omwamba MN, Nduko JM. 2021. Effect of solid state fermentation on proximate composition, antinutritional factors and in vitro protein digestibility of maize flour. *Food Science & Nutrition*. 9: 6343-6352.

<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/fsn3.2599>

TORRES LC, Ramírez GN, Ascacio VJ, Serna CL, Dos Santos CMT, Contreras EJC, Aguilar CN. 2019. Solid-state fermentation with *Aspergillus niger* to enhance the phenolic contents and antioxidative activity of mexican mango seed: a promising source of natural antioxidants. *LWT-Food Science and Technology*. 112: 108236.

<https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.06.003>

XIAO Y, Rui X, Xing G, Wu H, Li W, Chen X, Jiang M, Dong M^a. 2015. Solid state fermentation with cordyceps militaris SN-18 enhanced antioxidant capacity and DNA damage protective effect of oats (*Avena sativa* L.). *Journal of Functional foods*. 16: 58-73.

<https://doi.org/10.1016/j.jff.2015.04.032>

XIAO Y, Xing G, Rui X, Li W, Chen X, Jiang M, Dong M^b. 2015. Effect of solid-state fermentation with *Coryceps militaris* SN-18 on physicochemical and functional properties of chickpea (*Cicer arietinum* L.) flour. *LWT-Food Science and Technology*. 63: 1317-1324.

<https://doi.org/10.1016/j.lwt.2015.04.046>



XIAO Y, Sun M, Zhang Q, Chen Y, Miao J, Rui Y, Dong M. 2018. Effects of *Cordyceps militaris* (L.) Fr. Fermentation on the nutritional physicochemical, functional properties and angiotensin I converting enzyme inhibitory activity of red beans (*Phaseolus angularis* [Willd.] W.F. Wight.) flour. *Journal of Food Science and Technology*. 55(4):1244-1255.

<https://link.springer.com/article/10.1007/s13197-018-3035-z>

XU LN, Guo S, Zhang S. 2018. Effects of solid-state fermentation with three higher fungi on the total phenol contents and antioxidant properties of diverse cereal grains. *FEMS Microbiology Letters*. 365(16): 1-8. <https://doi.org/10.1093/femsle/fny163>

[Errata Erratum](#)

<https://abanicoacademico.mx/revistasabanico-version-nueva/index.php/abanico-veterinario/errata>