



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

Nota de Investigação. Recebido:13/07/2024. Aceito:16/03/2025. Publicado:29/04/2025. Chave: e2024-39.

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

## Efeito da fermentação com *Aspergillus oryzae* sobre o conteúdo fitoquímico e nutricional dos cereais

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



Ortiz-Robledo Faviola\*<sup>1,2</sup> ID, Araiza-Rosales Elia<sup>3</sup> ID, Herrera-Gamboa Jaime<sup>2</sup> ID, Villanueva-Fierro Ignacio<sup>4</sup> ID, Torres-Fraga Karla<sup>5</sup> ID, Pámanes-Carrasco Gerardo\*\*<sup>1</sup> ID

<sup>1</sup>Universidad Juárez del Estado de Durango, Instituto de Silvicultura e Industria de la Madera, Boulevard del Guadiana, 501, Ciudad Universitaria, 34160, Durango, Durango, México. <sup>2</sup>Instituto Tecnológico del Valle del Guadiana, Tecnológico Nacional de México, Km 22.5 carretera Durango-México, Villa Montemorelos, 34371, Durango, Durango, México. <sup>3</sup>Universidad Juárez del Estado de Durango, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Carretera Durango-Mezquital Km 11.5, 34307, Durango, Durango, México. <sup>4</sup>Instituto Politécnico Nacional, Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional. Calle Sigma 119, Fraccionamiento 20 de Noviembre II, C.P. 34220, Durango, México. <sup>5</sup>Universidad Politécnica de Durango, Carretera Durango-México Km. 9.5, Localidad Dolores Hidalgo, C.P. 34300. Durango, Durango, México. \*Autor responsável: Ortiz-Robledo Faviola. \*\*Autor para correspondência: Pámanes-Carrasco Gerardo. E-mail: favor7@yahoo.com.mx, e\_araiza2002@hotmail.com, jaime.hg@vguadiana.tecnm.mx, ifierro62@yahoo.com, karlatf@hotmail.com, gerardo.pamanes@gmail.com

### RESUMO

O objetivo do presente trabalho foi fermentar grãos de cereais com *Aspergillus oryzae* em diferentes tempos (0, 3, 5 e 7 dias) para aumentar seu conteúdo fenólico total, proteico e taninos condensados. Para isso, foram utilizados grãos de quatro cereais: milho, aveia, cevada e sorgo. Os grãos foram submetidos a uma fermentação em estado sólido com uma cepa de *Aspergillus oryzae*. Os maiores aumentos de proteína bruta no milho, sorgo e aveia foram observados aos 5 e 7 dias de fermentação. Em relação ao teor fenólico, o maior teor foi observado aos 7 dias em todos os grãos. Por outro lado, o teor de taninos condensados apresentou um maior aumento no milho e no sorgo aos 5 dias de fermentação, enquanto na aveia foi atingido aos 7 dias. A cevada não apresentou diferenças entre 3 e 7 dias. Em conclusão, a fermentação em estado sólido aumentou o teor fitoquímico e nutricional dos cereais, ao manipular o tempo de fermentação.

**Palavras-chave:** fermentação em estado sólido, fungos filamentosos, compostos bioativos, fenóis.

### 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 de *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.



## INTRODUÇÃO

Os cereais são uma importante fonte de alimento para humanos e animais, pois fornecem energia, proteínas e uma variedade de substâncias bioativas (Xiao *et al.*, 2015<sup>a</sup>; Borrás & Torres, 2016). Esses compostos bioativos, chamados fitoquímicos ou metabólitos secundários, são moléculas orgânicas que não participam diretamente do metabolismo primário, mas apresentam diversas atividades biológicas (Camacho-Escobar *et al.*, 2020). Os compostos fenólicos são o grupo de metabólitos secundários mais abundantes nas plantas; sua estrutura básica é formada por um grupo hidroxila ligado a um anel aromático e, a partir dessa estrutura, origina-se uma variedade de compostos, como: ácidos fenólicos, cumarinas, ligninas, taninos e flavonóides (Sánchez, 2022). Os fenóis encontrados nos cereais podem ser solúveis, insolúveis ou ligados. Entre os solúveis, encontram-se os fenóis livres, glicosilados e esterificados, que se localizam em maior quantidade nas camadas externas dos grãos, como o pericarpo, o tegumento e as células de aleurona (Cabrera-Soto *et al.*, 2009). A maioria dos fenóis insolúveis forma ligações covalentes com componentes da parede celular, como pectina, celulose e proteínas estruturais (Shahidi & Yeo, 2016). Nos cereais, os fenóis mais abundantes são derivados do ácido benzóico, ácidos cinâmicos e flavonóides (Balli *et al.*, 2019). Estes exibem diversas propriedades biológicas, como antioxidantes, anti-inflamatórias, antimicrobianas, entre outras (Torres-León *et al.*, 2019). A bioatividade dos compostos fenólicos depende de sua bioacessibilidade, que se traduz na liberação da matriz alimentar para que possam estar disponíveis (Gutierrez-Gijalva *et al.*, 2016).

A fermentação em estado sólido (FES) é uma técnica utilizada em países orientais desde a antiguidade para produzir uma variedade de alimentos tradicionais (Xu *et al.*, 2018). É definida como um processo eficiente e econômico no qual microrganismos crescem sobre substratos sólidos, para transformá-los e enriquecê-los nutricionalmente ou para produzir diversos metabólitos secundários, sob baixos níveis de umidade (Liu *et al.*, 2022). Microrganismos como fungos, leveduras e bactérias lácticas são utilizados no processo de fermentação, mas os mais comumente usados são os fungos filamentosos, que são capazes de se adaptar a diferentes ambientes com baixos requisitos de atividade de água.

Atualmente, esse processo é aplicado para aumentar a bioacessibilidade de nutrientes e compostos fenólicos (Gebru & Sbhatu, 2020). Em estudos anteriores, uma variedade de cereais foi fermentada em estado sólido para melhorar seu conteúdo fenólico (Cia *et al.*, 2012; Bhanja Dey & Kuhad, 2014<sup>a</sup>; Bhanja Dey & Kuhad, 2014<sup>b</sup>; Xiao *et al.*, 2015<sup>a</sup>; Xu *et al.*, 2018; Gebru & Sbhatu, 2020).

Com base no exposto, o objetivo do presente trabalho foi fermentar grãos de quatro cereais em diferentes tempos com *Aspergillus oryzae* para aumentar seu conteúdo fenólico e proteico.



## MATERIAL E MÉTODOS

### Matéria-prima

Foram utilizados grãos de milho da variedade CAFIME do ciclo primavera-verão 2022, fornecidos pelo INIFAP-Durango (campo experimental Francisco I. Madero localizado no município de Pánuco de Coronado, Durango), enquanto os grãos de aveia, cevada e sorgo foram comprados no mercado local. Todos os grãos foram limpos e armazenados à temperatura ambiente até seu uso posterior.

### Obtenção e conservação da cepa

O fungo *Aspergillus oryzae* cepa 2094 foi fornecido pelo cepário do Instituto Tecnológico de Durango-TecNM. Utilizou-se como meio de conservação Agar Papa Dextrosa (PDA) a uma temperatura de 30 °C. O inóculo foi preparado a partir de um cultivo de 13 dias de desenvolvimento por suspensão de esporos em água destilada a uma concentração de  $1 \times 10^6$  esporos/mL.

### Fermentação em estado sólido (FES)

A FES foi realizada com o método descrito por [Bhanja Dey & Kuhad \(2014<sup>a</sup>\)](#). Foram pesados 200 g de cada grão (milho, aveia, cevada e sorgo), que foram depositados em frascos de vidro de 1 L, adicionaram-se 200 mL de água destilada e esterilizaram-se a 121 °C por 15 min. Após o término do processo, deixou-se esfriar à temperatura ambiente. Posteriormente, os grãos esterilizados foram inoculados com 20 mL da suspensão de esporos (previamente preparada). O tempo de incubação foi de 0, 3, 5 e 7 dias, respectivamente, a uma temperatura de 30 °C. Uma vez concluído o processo de fermentação, os grãos fermentados foram esterilizados novamente e deixados para secar a 55 °C por um período de 72 horas. Posteriormente, foram moídos em um moinho Wiley (Arthur H. Thomas, Filadélfia, PA, EUA) até um tamanho de partícula de 1 mm, para depois serem armazenados em sacos Ziploc em local escuro e seco à temperatura ambiente para posterior análise.

### Análises químicas

O teor de proteína bruta (PB) nos grãos fermentados foi determinado de acordo com a [AOAC \(1990\)](#). Os compostos fenólicos foram realizados de acordo com a metodologia proposta por [Heimler \*et al.\* \(2005\)](#). Um grama da amostra foi macerado com 90 mL de etanol a 70% (ajustado para pH 2.0) e deixado durante toda a noite à temperatura ambiente. Em seguida, a mistura foi filtrada e depois desengordurada com éter de petróleo. Posteriormente, o extrato desengordurado foi evaporado à temperatura ambiente e redissolvido em etanol a 70% (pH 2.0) até um volume final de 2 mL. Para a determinação dos fenóis totais (FT), foram retirados 125 µL de extrato fenólico, adicionou-se 0.5 mL de água desionizada e 125 µL de reagente Folin-Ciocalteu. A mistura foi deixada em repouso por 6 minutos e, em seguida, foram adicionados 1.25 mL de carbonato de



sódio ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) a 7%. O volume final foi ajustado para 3 mL com água desionizada. A mistura foi deixada em repouso por 90 minutos e, após esse tempo, mediu-se a absorvância a 760 nm, utilizando água como branco. A quantidade total de fenóis foi expressa como equivalentes de ácido galico ( $\mu\text{g}$  EAG/g de farinha). Para a determinação dos taninos condensados (TC), adicionaram-se a 50  $\mu\text{l}$  do extrato 3 mL de solução de vanilina a 4% em metanol e 1.5 mL de ácido clorídrico concentrado. A mistura foi deixada em repouso por 15 minutos e a absorção foi medida a 500 nm, utilizando-se metanol como branco. A quantidade de TC foi expressa como equivalentes de catequina ( $\mu\text{g}$  EC/g de farinha).

### **Análise estatística**

Os dados obtidos de proteína bruta, fenóis totais e taninos condensados foram analisados com ANOVA unidirecional e as médias foram comparadas com o teste de Tukey ( $p < 0.05$ ), utilizando o pacote estatístico SAS versão 9.0 (SASInc., Cary, NC, EUA). Todos os tratamentos foram realizados em triplicata e os valores foram expressos como média  $\pm$  desvio padrão.

## **RESULTADOS E DISCUSSÃO**

### **Proteína bruta (PB)**

A Tabela 1 mostra os resultados do teor de proteína bruta dos grãos de cereais fermentados em diferentes momentos. O milho e a aveia atingiram os níveis mais altos de PB a partir do 5º dia de fermentação ( $p < 0.05$ ), enquanto a cevada e o sorgo atingiram esses níveis a partir do 3º dia de fermentação ( $p < 0.05$ ). Diversos estudos com diferentes microrganismos demonstraram o aumento da proteína durante a fermentação. Por sua vez, (Chen *et al.*, 2013 & Chen *et al.*, 2014) observaram um aumento na PB na farinha de soja de 50.46 para 58.99 e 9.2 %, respectivamente, ao fermentá-la com *Aspergillus oryzae* por 0, 25 e 36 h. Da mesma forma, Xiao *et al.* (2015<sup>b</sup>) observaram que a fermentação da farinha de grão-de-bico com *Cordyceps militaris* aumentou o teor de PB de 22.13 para 26.43%. Além disso, Xiao *et al.* (2018) trabalharam com farinha de feijão vermelho fermentada com *Cordyceps militaris* e observaram um aumento significativo de 9.3% (23.61% para 25.81%) com o processo de fermentação. Por sua vez, Chen *et al.* (2021) fermentaram farinha de soja com as bactérias *Bacillus velezensis* por 24 horas e, posteriormente, com *Lactobacillus plantarum* por 48 horas; os resultados mostraram um aumento de PB de 47.28% para 51.08% às 24 horas, enquanto às 48 horas foi obtido um máximo de 52.36%. Da mesma forma, Sánchez-García *et al.* (2022) trabalharam com sementes de lentilha, quinoa e suas farinhas, fermentando-as com o macrofungo *Pleurotus ostreatus* em diferentes tempos. Obtiveram um aumento significativo no teor de proteína total entre 7 e 26%. Além disso, observaram que o tamanho das partículas, bem como o substrato, influenciaram o teor de proteína. Da mesma forma, Cubillos-Orjuela *et al.* (2024) fermentaram um produto alimentício que incluía uma porcentagem de palha de cereais (10 e 20%) com bactérias lácticas e descobriram que, ao incluir 20%



de palha de cereais e fermentar por 48 horas, obteve-se um aumento de 2,2% de proteína bruta.

**Tabela 1. Teor de proteína bruta (% PB) em grãos fermentados em diferentes momentos**

Tempo de fermentação (dias)	Milho	Aveia	Cevada	Sorgo
Controle	11.11 ± 0.30 <sup>cd</sup>	15.33 ± 0.04 <sup>c</sup>	11.44 ± 0.22 <sup>ab</sup>	13.27 ± 0.26 <sup>ab</sup>
0	10.89 ± 0.11 <sup>d</sup>	16.05 ± 0.18 <sup>bc</sup>	12.65 ± 0.45 <sup>a</sup>	12.65 ± 0.45 <sup>b</sup>
3	11.80 ± 0.38 <sup>bc</sup>	16.09 ± 0.16 <sup>bc</sup>	11.64 ± 0.60 <sup>ab</sup>	13.57 ± 0.10 <sup>a</sup>
5	12.64 ± 0.25 <sup>a</sup>	16.47 ± 0.47 <sup>ab</sup>	9.93 ± 0.74 <sup>c</sup>	13.96 ± 0.05 <sup>a</sup>
7	11.86 ± 0.15 <sup>b</sup>	17.02 ± 0.46 <sup>a</sup>	11.12 ± 0.27 <sup>bc</sup>	13.97 ± 0.48 <sup>a</sup>

Valores expressos como médias ± desvio padrão. <sup>a-d</sup>Letras diferentes na mesma coluna apresentam diferenças estatísticas ( $p < 0.05$ )

## Fenóis totais

A Tabela 2 apresenta os resultados do teor fenólico total em grãos de cereais fermentados com *Aspergillus oryzae* em diferentes momentos. Em geral, observa-se que o teor fenólico de todos os grãos aumentou à medida que o tempo de fermentação aumentou. No milho, os valores mais altos ( $p < 0.05$ ) foram observados a partir de 5 dias de fermentação, enquanto que na aveia e na cevada o maior teor fenólico ( $p < 0.05$ ) foi observado aos 7 dias de fermentação. No sorgo, o teor fenólico foi semelhante de 3 a 7 dias de fermentação ( $p > 0.05$ ). O aumento observado na aveia, na cevada e no sorgo após 7 dias de fermentação foi de 248%, 117% e 57%, respectivamente. O milho, após 5 dias de fermentação, apresentou um aumento de 59%. De acordo com [Saharan et al. \(2017\)](#), o aumento do teor fenólico durante a fermentação está relacionado à produção de enzimas pelo fungo, tais como  $\alpha$ -amilase,  $\beta$ -glicosidase e xilanase, que têm a capacidade de hidrolisar carboidratos, degradar a parede celular e liberar compostos fenólicos. A melhoria do teor fenólico em cereais fermentados com fungos filamentosos foi observada por outros autores, [Cai et al. \(2012\)](#) fermentaram farinhas de aveia com *Aspergillus oryzae* var. *effuses*, *Aspergillus oryzae* e *Aspergillus niger* por 3 dias a 25 °C e relataram que o fungo *Aspergillus oryzae* var. *effuses* aumentou em maior grau o teor fenólico nas farinhas fermentadas. Por sua vez, [Bhanja Dey & Kuhad, \(2014<sup>a</sup>\)](#) fermentaram grãos inteiros de trigo, arroz integral, aveia e milho com *Aspergillus oryzae* NCIM 1212, *Rhizopus oligosporus* NCIM 1215, *Aspergillus awamori* MTCC No. 548 e *Rhizopus oryzae* RCK2012 a 30 °C por 3 dias. Os resultados demonstraram que o teor fenólico em todos os grãos fermentados com *Aspergillus oryzae* NCIM 1212 apresentou valores mais elevados do que com os outros fungos. Da mesma forma, [Bhanja Dey & Kuhad \(2014<sup>b</sup>\)](#) fermentaram grãos de trigo com *Rhizopus oryzae* RCK2012 e descobriram que a fermentação aumentou em 377% o teor fenólico nos extratos aquosos. Por sua vez, [Abd Razak et al. \(2015\)](#) estudaram o efeito da fermentação com *Rhizopus*



*oligosporus* e *Monascus purpureus* (individualmente e misturados) sobre o teor fenólico do farelo de arroz. Esses autores descobriram que o teor fenólico dos extratos aquosos e metanólicos das amostras fermentadas era maior do que o das amostras não fermentadas, com exceção do extrato aquoso da amostra fermentada com *Monascus purpureus*. Também observou-se que a mistura dos fungos nos extratos aquosos produziu um maior teor fenólico do que individualmente, enquanto que, nos extratos metanólicos, o teor fenólico foi semelhante em ambas as formas. Por sua vez, Sandhu et al. (2016) fermentaram seis variedades de trigo com *Aspergillus awamori* a 30 °C por 6 dias. Os resultados mostraram que a fermentação aumentou consideravelmente o teor fenólico no quarto dia nas seis variedades. Além disso, Saharan et al. (2017) avaliaram grãos de trigo, arroz, aveia, milho e sorgo fermentados com *Aspergillus oryzae* (MTCC 3107) durante 6 dias a 30 °C. Encontraram os valores mais altos de teor fenólico no trigo e na aveia no quarto dia de fermentação; enquanto que no arroz, sorgo e milho, o aumento máximo foi observado no quinto dia. Por sua vez, Sánchez-Magaña et al. (2019) investigaram o efeito do tempo de fermentação sobre o teor fenólico livre, ligado e total em farinhas de milho cru, cozido e fermentado em diferentes tempos com *Rhizopus oligosporus* NRRL 2710. Eles descobriram que a fermentação aumentou o teor fenólico livre a partir de 48 horas e o valor máximo (227.75 mg de ácido gálico/100 g de amostra) ocorreu às 108 horas. Com relação ao teor fenólico ligado e total, ele começou a aumentar a partir de 72 horas, com um valor máximo (993.44 mg de ácido gálico/100 g de amostra) às 108 horas. De acordo com o relatado em estudos anteriores, é importante considerar vários fatores que influenciam o teor fenólico dos cereais, como espécie, variedade, microrganismo, tempo de fermentação, método de extração e método de análise.

**Tabla 2. Contenido fenólico total ( $\mu\text{g}$  EAG/g harina) en granos fermentados a diferentes tiempos**

Tempo de fermentação (dias)	Milho	Aveia	Cevada	Sorgo
Controle	456.03 $\pm$ 23.34 <sup>c</sup>	342.76 $\pm$ 7.75 <sup>d</sup>	338.98 $\pm$ 15.56 <sup>d</sup>	703.73 $\pm$ 31.58 <sup>b</sup>
0	513.03 $\pm$ 32.10 <sup>c</sup>	382.28 $\pm$ 19.63 <sup>d</sup>	381.14 $\pm$ 3.40 <sup>d</sup>	752.87 $\pm$ 4.98 <sup>b</sup>
3	622.95 $\pm$ 24.76 <sup>b</sup>	748.6 $\pm$ 86.66 <sup>c</sup>	487.44 $\pm$ 6.71 <sup>c</sup>	923.68 $\pm$ 122.63 <sup>ab</sup>
5	727.09 $\pm$ 13.96 <sup>a</sup>	1068.53 $\pm$ 20.58 <sup>b</sup>	586.7 $\pm$ 19.70 <sup>b</sup>	1069.7 $\pm$ 118.56 <sup>a</sup>
7	690.95 $\pm$ 17.93 <sup>a</sup>	1194.07 $\pm$ 33.89 <sup>a</sup>	736.08 $\pm$ 49.49 <sup>a</sup>	1107.38 $\pm$ 119.64 <sup>a</sup>

Valores expressos como médias  $\pm$  desvio padrão. <sup>a-d</sup>Letras diferentes na mesma coluna apresentam diferenças estatísticas ( $p < 0,05$ )

### Taninos condensados (TC)

A Tabela 3 mostra o teor de taninos condensados nos grãos de cereais fermentados. Foram encontradas diferenças significativas ( $p < 0.05$ ) à medida que o tempo de fermentação avançava. No milho, esse comportamento foi mais observado, pois o teor de TC aumentou à medida que o tempo de fermentação aumentou em relação ao tempo 0. Por sua vez, o sorgo registrou o maior teor de TC (202.11  $\mu\text{g}$  EC/g de farinha) após 5



dias de fermentação, enquanto o milho atingiu seu máximo (97.19 µg EC/g de farinha) após 7 dias ( $p < 0.05$ ). [Espitia-Hernández et al. \(2022\)](#) relataram resultados opostos aos do presente estudo com sorgo; eles trabalharam com duas variedades de sorgo (vermelho e preto) fermentadas em estado sólido com *Aspergillus oryzae* e *Aspergillus niger* por 96 h. O sorgo vermelho fermentado com *Aspergillus oryzae* não apresentou diferenças significativas ( $p > 0.05$ ), enquanto que com *Aspergillus niger* apresentou um aumento a partir das 12 h, com o valor mais alto às 72 h (76.07 mg EC/100 g de amostra). Em relação ao sorgo preto fermentado com *Aspergillus oryzae*, os taninos condensados diminuíram a partir de 24 horas ( $p < 0.05$ ); ao contrário, com *Aspergillus niger*, o teor de TC aumentou a partir de 36 horas e o valor mais alto foi obtido às 84 horas (73.20 mg EC/100 g de amostra). Um estudo prévio com bactérias lácticas e leveduras foi realizado por [Terefe et al. \(2021\)](#), que avaliaram o efeito da fermentação em estado sólido com *Lactobacillus plantarum* e *Saccharomyces cerevisiae* e sua cocultura sobre o teor de taninos condensados na farinha de milho às 0, 12, 24, 36 e 48 horas. O teor de TC diminuiu com todas as cepas à medida que o tempo de fermentação aumentava; os valores mais baixos foram apresentados com a cocultura às 48 h (12.3% EC). As informações publicadas sobre o efeito da fermentação em estado sólido sobre o teor de taninos condensados em cereais são muito limitadas. No entanto, existem estudos realizados com outras espécies, conforme relatado por [Dhull et al. \(2020\)](#), que avaliaram o efeito da fermentação em estado sólido de três variedades de lentilhas (HM-1, LL-931 e Sapna) com *Aspergillus awamori* sobre o teor de taninos condensados. Os resultados nas três variedades indicaram um aumento do TC à medida que o tempo de fermentação aumentava, maximizando o teor de taninos aos 6 dias nas três variedades (3.16, 4.52 e 4.30 mg EC/g de base seca, respectivamente).

Por sua vez, [Altop et al. \(2018\)](#) trabalharam com folhas de oliveira para fermentá-las em estado sólido com quatro cepas de *Aspergillus niger* (F1, F2, F3 e F4) e analisar seu efeito sobre o teor de taninos condensados. A fermentação aumentou o teor de taninos condensados nas folhas de oliveira com todas as cepas, e o valor mais alto de TC foi encontrado com a cepa F2 (11.44%). Da mesma forma, [Duhan et al. \(2021\)](#) fermentaram em estado sólido o bolo de amendoim (resíduo obtido após a extração do óleo de amendoim) com *Aspergillus oryzae* durante 6 dias para determinar seu efeito sobre o teor de taninos condensados. Os resultados demonstraram claramente que a fermentação aumentou o teor de TC, apresentando seu valor máximo (245 µg/g) após 6 dias de fermentação. O mencionado acima indica que o tipo de cereal, variedade, espécie, microrganismo e cepas desempenham um papel muito importante durante a FES para liberar os taninos condensados da parede celular.



**Tabela 3. Teor de taninos condensados ( $\mu\text{g EC/g}$  farinha) em grãos fermentados em diferentes tempos**

Tempo de fermentação (dias)	Milho	Aveia	Cevada	Sorgo
Controle	76.04 $\pm$ 3.46 <sup>a</sup>	76.11 $\pm$ 8.68 <sup>a</sup>	40.29 $\pm$ 5.63 <sup>b</sup>	130.99 $\pm$ 5.77 <sup>c</sup>
0	37.43 $\pm$ 2.94 <sup>c</sup>	43.02 $\pm$ 8.47 <sup>b</sup>	77.02 $\pm$ 2.76 <sup>a</sup>	156.37 $\pm$ 2.82 <sup>b</sup>
3	59.03 $\pm$ 3.43 <sup>b</sup>	76.16 $\pm$ 8.63 <sup>a</sup>	40.19 $\pm$ 5.76 <sup>b</sup>	145.19 $\pm$ 2.69 <sup>b</sup>
5	63.04 $\pm$ 11.37 <sup>ab</sup>	73.97 $\pm$ 11.28 <sup>a</sup>	43.02 $\pm$ 2.99 <sup>b</sup>	202.11 $\pm$ 3.26 <sup>a</sup>
7	51.48 $\pm$ 5.28 <sup>bc</sup>	97.19 $\pm$ 5.96 <sup>a</sup>	48.68 $\pm$ 2.65 <sup>b</sup>	151.23 $\pm$ 8.50 <sup>b</sup>

Valores expressos como médias  $\pm$  desvio padrão. <sup>a-c</sup>Letras diferentes na mesma coluna apresentam diferenças estatísticas ( $p < 0.05$ )

## CONCLUSÕES

A fermentação em estado sólido com *Apergillus oryzae* aumentou significativamente o teor de proteína bruta e o teor fenólico total em grãos de aveia, cevada, milho e sorgo após 3 dias de fermentação. Com base nos resultados, considera-se que o melhor tempo de fermentação para aumentar o conteúdo nutricional e fitoquímico no milho e no sorgo é de 5 dias de fermentação, enquanto que para a aveia e a cevada é de 7 dias de fermentação. A FES é uma técnica eficiente, simples e econômica que pode ser utilizada para enriquecer os componentes nutricionais e fitoquímicos dos grãos de cereais.

## 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<sup>a</sup>. 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<sup>b</sup>. 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](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](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](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://agrocienza-colpos.org/index.php/agrocienza/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<sup>a</sup>. 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<sup>b</sup>. 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>