



Artículo de divulgación científica

<https://doi.org/10.61767/mjte.003.3.2430>

Ordoñez-Cano et al., 2024

Recibido: 21-11-2024

Revisado: 09-12-2024

Aceptado: 17-12-2024

Publicado: 20-12-2024

Potenciando el ruezno de pistache: Fermentación en estado sólido para la recuperación de compuestos fenólicos

Boosting pistachio green hull: Solid-state fermentation for the recovery of phenolic compounds

Andrés Javier Ordoñez-Cano¹, Edwin Rojo-Gutiérrez¹, Leonardo Sepúlveda-Torre² y José Juan Buenrostro-Figueroa^{1,*}

¹Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo A.C, Subsede Delicias. Laboratorio de Biotecnología y Bioingeniería, Av. 4 Sur 3828, Pablo Gómez, 33088 Delicias, Chihuahua, México.

²Universidad Autónoma de Coahuila. Departamento de Investigación en Alimentos, Facultad de Ciencias Químicas, Blvd. Venustiano Carranza 935, República, 25280 Saltillo, Coahuila, México.

*Correspondencia: jose.buenrostro@ciad.mx

Resumen

El pistache es uno de los frutos secos más consumidos a nivel mundial, gracias a los múltiples beneficios atribuidos a este producto, como lo es la prevención contra enfermedades del corazón y la mejora de la diabetes tipo 2. A partir de su producción se generan subproductos, como el ruezno, en el cual se han identificado compuestos fenólicos (CF) con diferentes actividades biológicas. Algunos de estos CF se encuentran libres y otros ligados a componentes de pared celular, sin embargo, estos últimos pueden ser liberados mediante la acción de enzimas producidas por microorganismos cultivados en fermentación en estado sólido (FES), incrementando su concentración en la fracción libre, al quedar desvinculados de la pared celular. Para optimizar la FES y obtener los productos deseados, es fundamental establecer las condiciones adecuadas del proceso, así como seleccionar el microorganismo idóneo, cuyo papel es crucial debido a su capacidad para generar enzimas específicas que faciliten la bioconversión de los componentes de la pared celular en productos de interés.

Palabras clave: Residuo vegetal, valorización, microorganismos, fermentación, antioxidantes.



Artículo de divulgación científica

Ordoñez-Cano et al., 2024

Abstract

The pistachio is one of the most consumed nuts worldwide, thanks to the multiple benefits of this product, such as the prevention of heart disease and the improvement of type 2 diabetes. By-products are generated from its production, such as the green hull, in which phenolic compounds (PC) with different biological activities have been identified. Some of these PCs are free, and others are bound to cell wall components; however, the latter can be released by the action of enzymes produced by microorganisms cultivated in solid-state fermentation (SSF), increasing their concentration in the free fraction, as they are detached from the cell wall. To optimize SSF and obtain the desired products, it is essential to establish the appropriate process conditions and select the ideal microorganism, whose role is crucial due to its capacity to generate specific enzymes that facilitate the bioconversion of cell wall components into products of interest.

Keywords: Plant residue, valorization, microorganisms, fermentation, antioxidants.

1. Introducción

La FES es un proceso donde se utilizan hongos, levaduras o bacterias para originar diversos productos de interés utilizando materiales sólidos como soporte, como los materiales sintéticos o inertes adicionados con nutrientes como la espuma de poliuretano y la agrolita, los cuales son materiales porosos que permiten la retención de agua y el intercambio gaseoso del microorganismo (Castañeda-Casasola *et al.*, 2017). Por otro lado, otros soportes ampliamente utilizados en FES son los residuos de alimentos vegetales (RAV), como las cáscaras de papa, naranja, piña, entre otros (Cano y Postigo *et al.*, 2021; Kumar *et al.*, 2021).

Actualmente, los RAV son ampliamente utilizados en FES, debido a que proporcionan un entorno adecuado para el crecimiento de microorganismos, por su composición natural que les provee nutrientes, además de que representa una vía prometedora de valorización, puesto que se ofrecen oportunidades para la gestión sustentable de residuos y el desarrollo de una economía circular (Cano y Postigo *et al.*, 2021).

Derivado de la producción agrícola, se generan subproductos que no son utilizados, como es el caso del ruezno de pistache (RP) (Arjeh *et al.*, 2020; Pakdaman *et al.*, 2021). El RP es el residuo

obtenido tras la cosecha del fruto de pistache, del cual se menciona que posee una alta cantidad de antioxidantes benéficos para la salud (Arjeh *et al.*, 2020). Una fracción de estos compuestos antioxidantes interactúan con diferentes componentes de pared celular, por lo que no pueden ser aprovechados. Sin embargo, el proceso de FES permite su liberación gracias a enzimas generadas por el microorganismo empleado, lo que contribuye a la generación de productos de alto valor antioxidante (Cerdá-Cejudo *et al.*, 2023). Diferentes estudios han demostrado que los extractos del RP presentan efectos similares a los observados en antioxidantes sintéticos, por ello el extracto de RP podría ser una alternativa para reducir el uso de antioxidantes sintéticos y significar un impacto en la industria de bienes de consumo (Erşan *et al.*, 2018; Özbek *et al.*, 2018; Pakdaman *et al.*, 2021).

2. Panorama del cultivo de pistache

México se encuentra catalogado como productor emergente, puesto que el cultivo del pistache se ha explotado muy poco económicamente hablando, debido a su producción de 54 toneladas por año (García-Moreno *et al.*, 2021). El pistache necesita un periodo de entre 5 y 10 años para lograr su producción, por lo que muchos agricultores prefieren otros cultivos que



Artículo de divulgación científica

Ordoñez-Cano et al., 2024

les regresen su inversión económica en periodos cortos de tiempo (Martínez-Ruíz *et al.*, 2019).

El árbol de pistache es caducifolio y presenta un sistema radicular que le permite buscar agua a mayor profundidad, lo que le confiere resistencia a climas áridos y generar un impacto ambiental menor comparado a otros cultivos que requieren grandes cantidades de agua para su producción, como es el caso del nogal pecanero (De León-Delgado *et al.*, 2020).

Su cultivo requiere una acumulación de 900 horas frío, lo que corresponde a temperaturas por debajo de los 7 °C para una efectiva producción de frutos (Martínez-Márquez & Rodríguez-Moreno, 2008).

2.1 Importancia del consumo de pistache

El pistache es uno de los frutos secos más importantes en el mundo y en la actualidad es un alimento que se produce en el mundo como necesidad alimentaria por su alta demanda (Özbek *et al.*, 2018), ya que derivado de su consumo, para el año 2023 se produjeron 1.2 millones de toneladas, lo que lo coloca como el quinto fruto seco más consumido en el mundo, solo por detrás del anacardo, la nuez, la almendra y la avellana (INC, 2024).

Su fruto es pequeño y de forma ovalada que consiste en una semilla comestible rodeada por una cascara leñosa y otra carnosa. De estos subproductos, el más importante es la semilla, la cual se ha utilizado para la repostería, elaboración de helados y fabricación de cosméticos (Martínez-Ruíz *et al.*, 2019). Esta semilla es consumida mundialmente por sus beneficios a la salud, debido a que es fuente de micronutrientes, ácidos grasos, proteínas y compuestos bioactivos que intervienen en la salud humana (Moreno-Rojas *et al.*, 2022). En su contenido nutricional se encuentra un porcentaje de 18 – 22% de proteínas, de 48 – 63% de ácidos grasos, un contenido de fibra de 8 – 12% y un contenido de agua que oscila entre 3 – 6% (Mateos *et al.*, 2022).

Las características benéficas de este fruto seco de deben a la presencia de compuestos como luteína, zeaxantina, antocianinas, flavonas, flavonoides, flavonoles e isoflavonas (Mandalari *et al.*, 2022). Entre las propiedades que ejercen se encuentra: a) Actividad antidiabética, mejorando marcadores de la homeostasis de glucosa y disminuyendo el estrés oxidativo; b) Actividad antiinflamatoria, aliviando y mejorando algunos índices de inflamación; c) Actividad antioxidante, neutralizando especies reactivas de oxígeno, disminuyendo la peroxidación de lípidos y mejorando las defensas antioxidantes; d) Actividad cardiovascular, mejorando el perfil lipídico y reduciendo o manteniendo la presión sanguínea; e) Actividad anticancerígena, destruyendo células cancerosas e induciendo el estrés oxidativo; y f) Actividad de la microbiota intestinal, incrementando la abundancia de bacterias benéficas (Mateos *et al.*, 2022).

3. Ruezno como subproducto del pistache

El fruto del pistache al ser cosechado genera un gran subproducto, el cual corresponde a la cáscara verde-amarillenta que lo cubre llamada RP. Si tomamos la cosecha como el total, encontramos que, al procesar el pistache para su comercialización, se elimina entre 50 y 60% de subproducto de RP (Cardullo *et al.*, 2021). Es importante encontrarle una utilidad, ya que, aunado a la cantidad de residuo que se genera, es propenso a contaminaciones microbianas por su alto contenido de humedad, lo que genera problemas ambientales y de salud (Arjeh *et al.*, 2020).

3.1 Compuestos fenólicos en ruezno de pistache

Los CF son metabolitos secundarios importantes en las plantas, debido a que desempeñan diferentes funciones ante estímulos del ambiente. Estos CF conceden propiedades bioactivas como la actividad antioxidante, antimicrobiana, antiinflamatoria, anticancerígena y antialérgica (Noorolahi *et al.*, 2020). Por ello, han sido utilizados como alternativa en medicina para tratar enfermedades en seres humanos,



Artículo de divulgación científica

Ordoñez-Cano et al., 2024

como la hipertensión, diabetes o enfermedades oculares, y en consecuencia se han incluido en la industria farmacéutica (Celaya *et al.*, 2022).

El RP como subproducto se utilizó como alimento para ganado, sin embargo, la alta cantidad de CF interaccionó con carbohidratos, proteínas y minerales que se encuentran en la dieta, lo que causó problemas nutricionales debido a que los CF no permitieron la absorción de nutrientes (Arjeh *et al.*, 2020). Ante esta problemática y con el objetivo de dar un valor agregado el RP, se inició su uso en proyectos de investigación, donde se descubrió que es una fuente rica en CF con actividad antioxidante (Cardullo *et al.*, 2021; Noorolahi *et al.*, 2022; Pakdaman *et al.*, 2021). De esta manera, este residuo ha captado la atención de investigadores por las propiedades biológicas que posee como antimicrobiano y antioxidante, lo que ha impulsado estudios que incrementarán el valor de este subproducto que no ha sido explotado en su totalidad (Özbek *et al.*, 2018).

El contenido de CF es mayor en el RP que en cualquier otro subproducto del fruto, incluida la semilla (Moreno-Rojas *et al.*, 2022). Estos CF naturales encontrados en este residuo, pueden sustituir a los antioxidantes sintéticos, como el BHT y el BHA (Pakdaman *et al.*, 2021), debido a que se ha reportado capacidad antioxidante en los extractos de RP (Mandalari *et al.*, 2022).

4. Fermentación en estado sólido como herramienta asistida

La FES es un proceso bioquímico en el que los microorganismos como bacterias y hongos degradan materiales sólidos que generalmente son alguna materia prima correspondiente a subproductos de procesos agroindustriales. Este proceso requiere un bajo contenido de agua y un material poroso que permitan mejor circulación del aire para que el microorganismo pueda crecer de forma óptima en la superficie del material y libere los compuestos de interés (Kumar *et al.*, 2021).

Durante la FES, el microorganismo empleado produce enzimas que actúan como tijeras, las cuales degradan la pared celular del sustrato y liberan compuestos más simples como alcoholes, ácidos orgánicos, pigmentos, antibióticos o compuestos aromáticos, por lo que este proceso es ampliamente utilizado en la industria alimentaria para la producción de alimentos fermentados como pan, queso, yogurt y miso (Costa *et al.*, 2018).

Las principales ventajas de la FES, es que podemos utilizar RAV como sustrato, dándole un tratamiento a estos residuos que pudieran generar problemas ambientales; procesos con menor requerimiento de agua; generación de una amplia gama de productos finales a partir del sustrato fermentado y la facilidad de escalamiento a nivel industrial (Osorio-Díaz, 2022).

4.1 Utilización de microorganismos en FES

Los microorganismos más utilizados en FES son las levaduras y hongos filamentosos, puesto que son capaces de adaptarse a entornos sólidos (Herrera-Beltrán & Salazar-Garcés, 2021). El microorganismo se elige de acuerdo con las enzimas que genera para liberar algún compuesto específico, ya que se encargan de transformar el RAV en diferentes productos de interés. Por ejemplo, los hongos del género *Aspergillus* se han utilizado ampliamente para la producción de enzimas, como lipasa, proteasa, celulasa y tanasa, las cuales se conoce su función en las industrias de alimentos y farmacéutica, además de tratar efluentes provenientes de procesos industriales. Otro ejemplo de aplicación de estas enzimas es la acción de tanasa, la cual se encarga de hidrolizar CF complejos liberando moléculas de azúcar y ácido gálico (Herrera-Beltrán & Salazar-Garcés, 2021).

4.2 Parámetros de proceso en la FES

El proceso requiere ciertos factores para el correcto crecimiento del microorganismo y la liberación de los metabolitos de interés. La temperatura nos puede afectar en el crecimiento, desarrollo y producción de enzimas al no fijar su



Artículo de divulgación científica

Ordoñez-Cano et al., 2024

valor requerido (Cerdeja-Cejudo *et al.*, 2023). La humedad, aunque se encuentra limitada en el medio, presenta cantidad suficiente para facilitar las reacciones del metabolismo del microorganismo, por ello es necesario utilizar materias primas que tengan la capacidad de absorber altas cantidades de agua, la cual se encontrará disponible para el crecimiento y desarrollo del microorganismo (Herrera-Beltrán & Salazar-Garcés, 2021). La concentración de esporas juega un papel fundamental en la FES ya que, dependiendo el microorganismo y el inóculo de esporas añadido en el proceso, observaremos una fase de adaptación más rápida o lenta, y del mismo modo la disposición de nutrientes en el medio será menor si colocamos una alta concentración de esporas (Herrera-Beltrán & Salazar-Garcés, 2021).

Por último, el sustrato es uno de los factores más importantes de la FES, debido a que debe presentar ciertas condiciones para poder ser empleado en FES. El soporte utilizado puede ser de origen natural o sintético y debe contener una fuente de carbono y nutrientes que le ayuden al microorganismo a crecer y desarrollarse; debe presentar porosidad para que el microorganismo logre penetrar cada parte del sustrato y su respiración se ejecute adecuadamente (Cerdeja-Cejudo *et al.*, 2023; Herrera-Beltrán & Salazar-Garcés, 2021). Finalmente, es importante plantear las condiciones de proceso óptimas para que la FES cumpla su propósito.

5. Conclusiones

El RP es un subproducto con un alto contenido de CF que presenta beneficios a la salud, gracias a su actividad biológica como antioxidante y antimicrobiano. Estos CF se pueden extraer por medio de FES, sin embargo, es necesario conocer la composición del RP en cuanto a contenido de ácidos grasos, carbohidratos y proteínas, para determinar si es factible emplearse en un proceso de fermentación. Así mismo, es importante conocer cuáles son los valores de humedad que puede soportar el material, debido que, al no encontrar agua libre en el cultivo, esta materia prima debe tener una amplia capacidad de

absorber agua que se encontrará disponible para el crecimiento y desarrollo del microorganismo.

Existen muchos estudios en los que se han utilizado cáscaras de frutos, por lo que podría emplearse el RP como soporte en un proceso de FES para observar si los microorganismos son capaces de crecer en el sustrato y analizar si causa algún efecto en el contenido de CF, es decir, aumentando su contenido.

6. Referencias

1. Arjeh, E., Akhavan, H.-R., Barzegar, M., & Carbonell-Barrachina, Á. A. (2020). Bio-active compounds and functional properties of pistachio hull: A review. *Trends in Food Science & Technology*, 97, 55-64. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.tifs.2019.12.031>
2. Cano y Postigo, L. O., Jacobo-Velázquez, D. A., Guajardo-Flores, D., Garcia Amezcua, L. E., & García-Cayuela, T. (2021). Solid-state fermentation for enhancing the nutraceutical content of agrifood by-products: Recent advances and its industrial feasibility. *Food Bioscience*, 41, 100926. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.fbio.2021.100926>
3. Cardullo, N., Leanza, M., Muccilli, V., & Tringali, C. (2021). Valorization of Agri-Food Waste from Pistachio Hard Shells: Extraction of Polyphenols as Natural Antioxidants. *Resources*, 10(5).
4. Castañeda-Casasola, C.-C., Arana-Cuenca, A., Favela-Torres, E., Reyes, M. A. A., González-Becerra, A. E., & Téllez-Jurado, A. (2017). Xylanase enzymes production by *Aspergillus fumigatus* in solid-state fermentation and submerged fermentation. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, 17(1), 47-61. <https://doi.org/https://doi.org/10.24275/UA-M%20FIZT%20FCBI%20FREVMEIXINGQUIM%2018V17N1%20CASTANEDA>



Artículo de divulgación científica

Ordoñez-Cano et al., 2024

5. Celaya, L. S., Molina, A. C., González, M. A., Villa, W. C., Silva, L. R., & Viturro, C. I. (2022). Bioactive phenolic compounds and organic acids in the decoction of fruits and leaves of *Schinus areira* L. *Boletín Latinoamericano y del Caribe de Plantas Medicinales y Aromáticas*, 21(3), 343-351. <https://doi.org/https://doi.org/10.37360/blacp.ma.22.21.3.20>
6. Cerda-Cejudo, N. D., Buenrostro-Figueroa, J. J., Sepúlveda-Torre, L., Torres-León, C., Chávez-González, M. L., Ascacio-Valdés, J. A., & Aguilar, C. N. (2023). Solid-State Fermentation for the Recovery of Phenolic Compounds from Agro-Wastes. *Resources*, 12(3).
7. Costa, J. A. V., Treichel, H., Kumar, V., & Pandey, A. (2018). Chapter 1 - Advances in Solid-State Fermentation. In A. Pandey, C. Larroche, & C. R. Soccol (Eds.), *Current Developments in Biotechnology and Bioengineering* (pp. 1-17). Elsevier. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-444-63990-5.00001-3>
8. De León-Delgado, M. M., Legarreta González, M. A., Olivas García, J. M., Guerrero Morales, S., & Baray Guerrero, M. R. (2020). Análisis financiero y económico del cultivo del pistache en el Municipio de López, Chihuahua. *Revista Biológico Agropecuaria Tuxpan*, 8(2), 14-22. <https://doi.org/10.47808/revistabioagro.v8i2.175>
9. Erşan, S., Güçlü Üstündağ, Ö., Carle, R., & Schweiggert, R. M. (2018). Subcritical water extraction of phenolic and antioxidant constituents from pistachio (*Pistacia vera* L.) hulls. *Food Chemistry*, 253, 46-54. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.01.116>
10. Garcia-Moreno, P. J., de la Rosa, L. A., Stevens-Barron, J. C., Rodríguez-Ramirez, R., Corral-Díaz, B., Alvarez-Parrilla, E., Olivas-Aguirre, F. J., & Wall-Medrano, A. (2021). Dehiscence and prolonged storage of 'Kerman' Pistachios: Effects on morphometry and nutraceutical value. *Journal of Food Science and Technology*, 58(5), 1958-1968. <https://doi.org/10.1007/s13197-020-04707-9>
11. Herrera-Beltrán, G. M., & Salazar-Garcés, D. M. (2021). *Fermentación sólida en la industria alimentaria* Universidad Técnica de Ambato]. <https://repositorio.uta.edu.ec/jspui/handle/123456789/32591>
12. INC. (2024). *Global Statistical Review* (Nutfruit, Issue 3). https://inc.nutfruit.org/wp-content/uploads/2024/11/Nutfruit_Nov2024_low_links_.pdf
13. Kumar, V., Ahluwalia, V., Saran, S., Kumar, J., Patel, A. K., & Singhania, R. R. (2021). Recent developments on solid-state fermentation for production of microbial secondary metabolites: Challenges and solutions. *Bioresource Technology*, 323, 124566. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.biortech.2020.124566>
14. Mandalari, G., Barreca, D., Gervasi, T., Roussell, M. A., Klein, B., Feeney, M. J., & Carughi, A. (2022). Pistachio Nuts (*Pistacia vera* L.): Production, Nutrients, Bioactives and Novel Health Effects. *Plants*, 11(1).
15. Martínez-Márquez, J. R., & Rodríguez-Moreno, V. M. (2008). Reforestation with *Pistacia* species in semi-arid lands in Chihuahua, México. *Ciencia & Investigación Forestal*, 14(3), 529 - 538. <https://doi.org/10.52904/0718-4646.2008.306>
16. Martínez-Ruiz, N. R., Rodrigo-García, J., & Corral-Díaz, B. (2019). *Efecto del secado controlado sobre la calidad nutrimental del pistache (Pistacia vera L.) y subproductos producido en el Valle de Juárez, Chihuahua*,



Artículo de divulgación científica

Ordoñez-Cano et al., 2024

- México.
<http://cathi.uacj.mx/20.500.11961/7808>
17. Mateos, R., Salvador, M. D., Fregapane, G., & Goya, L. (2022). Why Should Pistachio Be a Regular Food in Our Diet? *Nutrients*, *14*(15).
 18. Moreno-Rojas, J. M., Velasco-Ruiz, I., Lovera, M., Ordoñez-Díaz, J. L., Ortiz-Somovilla, V., De Santiago, E., Arquero, O., & Pereira-Caro, G. (2022). Evaluation of Phenolic Profile and Antioxidant Activity of Eleven Pistachio Cultivars (*Pistacia vera* L.) Cultivated in Andalusia. *Antioxidants*, *11*(4).
 19. Noorolahi, Z., Sahari, M. A., Ahmadi Gavlighi, H., & Barzegar, M. (2022). Pistachio green hull extract as natural antioxidant incorporated to omega-3 rich kappa-carrageenan oleogel in dry fermented sausage. *Food Bioscience*, *50*, 101986. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.fbio.2022.101986>
 20. Noorolahi, Z., Sahari, M. A., Barzegar, M., & Ahmadi Gavlighi, H. (2020). Tannin fraction of pistachio green hull extract with pancreatic lipase inhibitory and antioxidant activity. *Journal of Food Biochemistry*, *44*(6), e13208. <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/jfbc.13208>
 21. Osorio-Díaz, M. C. (2022). *Enzimas pectinolíticas de cepas de Aspergillus niger (p. Micheli, 1729) en la fermentación de residuos agroindustriales de piña (Ananas comosus) y maracuyá (Passiflora edulis)* Universidad de Córdoba]. <https://repositorio.unicordoba.edu.co/handle/ucordoba/5024>
 22. Özbek, H. N., Halahlih, F., Göğüş, F., Koçak Yanık, D., & Azaizeh, H. (2018). Pistachio (*Pistacia vera* L.) Hull as a Potential Source of Phenolic Compounds: Evaluation of Ethanol–Water Binary Solvent Extraction on Antioxidant Activity and Phenolic Content of Pistachio Hull Extracts. *Waste and Biomass Valorization*, *11*(5), 2101-2110. <https://doi.org/10.1007/s12649-018-0512-6>
 23. Pakdaman, N., Dargahi, R., Nadi, M., Javanshah, A., Shakerardekani, A., & Saberi, N. (2021). Optimizing the Extraction of Phenolic Compounds from Pistachio Hulls. *Journal of Nuts*, *4*(12), 361-370. <https://doi.org/10.22034/jon.2021.1941474.132>