



Artículo

Evaluación de las condiciones de fermentación en estado sólido de residuos de cáscara de piña para la liberación de compuestos bioactivos por *Aspergillus niger* spp.

A. Danitza Casas Rodríguez ¹ , Juan A. Ascacio-Valdés ¹ , Mirjam Desirée Dávila-Medina ¹ Liliana ¹ , Miguel A. Medina Morales ² , Londoño-Hernández ³ y Leonardo Sepúlveda ^{1,*}

¹ Departamento de Investigación en Alimentos, Facultad de Química, Universidad Autónoma de Coahuila, Saltillo 25280, México; danitza.casas@uadec.edu.mx (ADC-R.); alberto_ascaciovaldes@uadec.edu.mx (JAA-V.); deseadaavila@uadec.edu.mx (MDD-M.)

² Laboratorio de Biotecnología Ambiental, Departamento de Biotecnología, Facultad de Química, Universidad Autónoma de Coahuila, Saltillo 25280, México; miguel.medina@uadec.edu.mx

³ Tecnología e Ingeniería, Universidad Nacional Abierta y Distancia, Palmira 763531, Colombia; liliana.londono@unad.edu.co

* Correspondencia: leonardo_sepulveda@uadec.edu.mx

Resumen: Actualmente los residuos agroindustriales pueden aprovecharse para la obtención de compuestos bioactivos. La fermentación en estado sólido es una alternativa para la valorización de estos residuos y poder liberar

compuestos bioactivos que pueden ser de interés para diferentes sectores industriales. El objetivo de este estudio fue evaluar las condiciones de fermentación en estado sólido utilizando residuos de cáscara de piña como sustrato con *Aspergillus niger* spp., para liberar compuestos bioactivos utilizando un diseño exploratorio de Plackett-Burman. Se evaluaron las condiciones de temperatura, humedad, inóculo, NaNO₃, MgSO₄, KCl y KH₂PO₄ en el proceso de fermentación. Se determinó la capacidad antioxidante y se identificaron los principales compuestos de los extractos de fermentación. Los resultados revelaron que la cepa *Aspergillus niger* HT3 alcanzó una liberación de taninos hidrolizables de 10,00 mg/g, mientras que *Aspergillus niger* Aa20 alcanzó una liberación de taninos condensados de 82,59 mg/g. El KH₂PO₄ afecta la liberación de taninos condensados con *A. niger* Aa20, y el MgSO₄ afecta la liberación de taninos hidrolizables con *A. niger* HT3. Además, se demostró una actividad antioxidante positiva para las técnicas DPPH, ABTS y FRAP. Los principales compuestos de la cáscara de piña fermentada fueron el ácido 3-feruloiquinico, el ácido cafeico, el lariciresinol y el 3-hidroxi-floretna 2'-O-xilosil-glucósido, entre otros. El proceso de fermentación en estado sólido es una alternativa biotecnológica para la liberación de compuestos bioactivos.

Palabras clave: taninos condensados; taninos hidrolizables; antioxidante; Plackett-Burman; DPPH; FRAP



Cita: Casas-Rodríguez, AD; Ascacio-Valdés,

JA; Dávila Medina,

MARYLAND; Medina Morales, MA;

Londoño-Hernández, L.; Sepúlveda,

L. Evaluación de estado sólido

Condiciones de fermentación de

Residuos de cáscara de piña para la liberación

de compuestos bioactivos por *Aspergillus niger*

spp. *Aplica. Microbiol.* 2024, 4, 934–947.

<https://doi.org/10.3390/applmicrobiol4020063>

Editor académico: Nikolaos

Kopsahelis

Recibido: 15 de marzo de 2024

Revisado: 4 de junio de 2024

Aceptado: 5 de junio de 2024

Publicado: 8 de junio de 2024



Copyright: © 2024 por los autores.

Licenciario MDPI, Basilea, Suiza.

Este artículo es un artículo de acceso abierto distribuido bajo los términos y

condiciones de los Creative Commons

Licencia de atribución (CC BY)

(<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

1. Introducción

Actualmente los compuestos bioactivos están ganando gran interés debido a la importancia de sus beneficios para la salud humana y sus aplicaciones en la industria alimentaria, farmacéutica y cosmética, entre otras. Estos compuestos se llaman taninos; son metabolitos secundarios que se encuentran en plantas y frutas [1]. Los taninos se han clasificado en varios grupos; entre ellos, se encuentran los condensados, que son oligómeros o polímeros de flavan-3-oles y flavan-3,4-dioles [2]. Dentro de estos grupos también se encuentran las proantocianidinas, y entre las más comunes se encuentran la epicatequina, la galocatequina, la catequina y la epigallocatequina. Además, los taninos hidrolizables se dividen en dos grandes grupos: los galotaninos, que son ésteres del ácido gálico, y los elagitaninos, que son ésteres del ácido elágico [3,4].

Los taninos han sido de gran interés debido a sus actividades biológicas como su actividad antioxidante, antimicrobiana, antiinflamatoria, quimioterapéutica, antiglicémica y otras. También se pueden aplicar en medicamentos, alimentos, suplementos, productos dermatológicos y cosméticos [3,5]. Se han encontrado compuestos bioactivos en frutos de cáscara de desecho

como uva, naranja, granada y rambután. Según la Organización para la Agricultura y la Alimentación (FAO), la producción mundial de piña en 2022 fue de 29.361.138 toneladas [6].

Los países productores incluyen Costa Rica, Filipinas, Brasil, Tailandia e India.

Los residuos de piña pueden variar entre un 60-80% (dependiendo de la variedad) y corresponden a la corona, cáscara, hojas, corazón y tallos [7]. Por ello se buscan alternativas para aprovechar este tipo de residuos; entre los posibles usos se encuentran la fabricación de textiles, papel y alimentos para animales [8], la producción de bioetanol [9], la producción de envases reciclados [10] y la preparación de pigmentos naturales [11], entre otros.

Sin embargo, se ha demostrado que los residuos de cáscara de piña también son una fuente potencial para la obtención de taninos [12]. Estos residuos son ricos en minerales (magnesio, potasio, zinc y sodio, entre otros), distintas vitaminas como A, C, K y E [13], y compuestos aromáticos como limoneno, hexanoato de etilo, acetato de butilo, 1-butanol y furfural, entre otros [14]. Se han utilizado varias tecnologías convencionales y emergentes para obtener este tipo de compuestos, incluida la extracción asistida por soxhlet, la extracción líquido-líquido, la extracción de vapor, la infusión, la extracción por ultrasonidos [15], la autohidrólisis [16], la extracción por microondas y con fluidos supercríticos [17].

Actualmente se buscan nuevas alternativas amigables con el medio ambiente para la obtención de taninos; La fermentación en estado sólido es un bioproceso que ocurre en niveles bajos de agua. Se ha informado principalmente del uso de levaduras y hongos filamentosos [18]. Es muy importante estudiar los factores que afectan el proceso de fermentación en estado sólido como la temperatura, la humedad y el pH, entre otros [19].

El objetivo de este trabajo fue evaluar las condiciones del proceso de fermentación en estado sólido utilizando *Aspergillus niger* spp. para la liberación de compuestos polifenólicos de los residuos de cáscara de piña e identificar los principales compuestos con actividad antioxidante.

2. Materiales y Métodos 2.1.

Obtención de residuos de cáscara de piña y reactivos

Los residuos de cáscara de piña se recolectaron en un mercado local ubicado en el centro de la ciudad de Saltillo, Coahuila. Los residuos se cortaron en trozos pequeños, se lavaron, se colocaron en recipientes y se secaron en estufa (Luzeren®, modelo WGL-65B, Shanghai, China) a 60 °C por 72 h. Una vez secados, se molieron en una licuadora, finalmente obteniendo un polvo.

Ácido gálico (CAS 149-91-7), catequina (CAS 18829-70-4), trolox (CAS 53188-07-1), DPPH (CAS 1898-66-4), ABTS (CAS 30931-67-0) y TPTZ (CAS 3682-36-7) eran de Sigma-Aldrich® (St. Louis, MI, EE. UU.). Fenol (CAS 108-95-2), nitrato de sodio (CAS 7631-99-4), cloruro de potasio (CAS 7447-40-7), sulfato de magnesio (CAS 10034-99-8), acetato de sodio (CAS 127-09-3), persulfato de potasio (7727-21-1) y sulfato de hierro (CAS 7782-63-7) eran de FAGA®Lab. Ácido sulfúrico (CAS 7664-93-9), ácido clorhídrico (CAS 7647-01-0), fosfato monopotásico (CAS 7778-77-0) de Analytika®. Etanol (CAS 64-17-5), carbonato de sodio (CAS 497-19-8), isobutanol (CAS 78-83-1), metanol (CAS 67-56-1) y dextrosa (50-99-7) fueron de Jalmek® (Nuevo León, México). El ácido acético (CAS 64-19-7) era de Macron Fine Chemicals™. El agar patata dextrosa era de BD Bioxon™ (Kowale, Polonia). El reactivo Folin era de Godel BellMR Reagents. El agua destilada fue proporcionada por la Facultad de Ciencias Químicas de la Universidad Autónoma de Coahuila.

2.2. Propiedades fisicoquímicas de los residuos de cáscara

de piña Para la caracterización del sustrato-soporte, los residuos de cáscara de piña fueron sometidos a dos análisis, los cuales fueron el índice de absorción de agua (WAI) y el punto crítico de humedad (CMP). Estos análisis se determinaron según la metodología reportada por Buenrostro-Figueroa et al. [20]. Para WAI, se colocaron 1,5 g de materia seca en un tubo de centrifugación de 50 mL con 15 mL de agua destilada, se agitó manualmente durante 1 min a temperatura ambiente y luego se centrifugó a 3000 × g durante 10 min (Premiere®, Modelo XC-2450), Muskogee, OK, EE. UU.). Se descartó el sobrenadante y se calculó el WAI a partir del peso restante del gel expresado en g de gel/g de peso seco. El CMP se estimó añadiendo 1 g de muestra en una termobalanza (OHAUS, modelo MB23, Greifensee, Suiza).

donde se monitoreó la pérdida de peso por deshidratación hasta alcanzar el punto de inflexión para la determinación de los parámetros.

2.3. Análisis aproximado de residuos de cáscara de piña

El análisis proximal consistió en la determinación del contenido de humedad, cenizas y grasa según la metodología AOAC según Polonia-Rivera et al. [20]. El contenido de carbohidratos totales se determinó mediante el método fenol-sulfúrico según Polonia-Rivera et al. [21] con algunas modificaciones donde se realizó una curva estándar con dextrosa con una concentración de 0 a 140 ppm. Los azúcares reductores se determinaron según Selvanathan y Masngut [22]. El contenido de proteína se realizó según el método espectrofotométrico de Lowry según la metodología reportada por Redmile-Gordon et al. [23] La determinación de fibra se determinó según lo reportado por Púa et al. [24].

2.4. Evaluación de cepas de hongos con capacidad invasiva sobre residuos de cáscara de piña

Se evaluaron cinco cepas de hongos del Departamento de Investigación en Alimentos de la Universidad Autónoma de Coahuila, previamente identificadas y caracterizadas (*Aspergillus* HT3, *Aspergillus niger* GH1 [MUM 23.16], *Aspergillus niger* Aa20, *Aspergillus* Aa120 y *Aspergillus oryzae*). Las cepas se reactivaron en agar papa dextrosa (PDA) a 30 °C durante 5 días. La capacidad de crecimiento invasivo del microorganismo se evaluó utilizando como sustrato residuos de cáscara de piña molida. La cinética de crecimiento se realizó tomando mediciones cada 24 h durante 5 días y determinando la tasa de crecimiento [25]. Posteriormente se realizaron extracciones recuperando con 15 mL de etanol (50%), para su posterior análisis.

2.5. Cuantificación de compuestos polifenólicos

Los taninos hidrolizables (HT) se determinaron utilizando el método de Folin-Ciocalteu descrito por Zaki et al. [26] con algunas modificaciones. Se colocó una alícuota de 20 µL de extracto de fermentación (las muestras se diluyeron a 1:100) en un pocillo de microplaca, luego se agregaron 20 µL de reactivo de Folin-Ciocalteu y se dejaron reposar durante 5 min, y luego 20 µL de carbonato de sodio. (0.01 M) y se dejaron reposar por 5 min, y finalmente se diluyeron en 125 µL de agua destilada y se leyeron a 750 nm en un lector de microplacas (Thermo Scientific, Waltham, MA, USA). Los valores se calcularon utilizando una curva de calibración de ácido gálico (0–200 ppm). El contenido de taninos hidrolizables se expresó como mg/g de peso de cáscara de piña. Los taninos condensados (CT) se determinaron según la metodología descrita por Palacios et al. [27], con algunas modificaciones. El HCl-Isobutanol se preparó disolviendo 70 mg de $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ en 10 mL de HCl 36% y la solución alcanzó hasta 200 mL con isobutanol. Se agregaron alícuotas de 333 µL de extractos a 2 mL de reactivo HCl-Isobutanol en un tubo de vidrio con tapa de rosca a 100 °C durante 1 h. Después de enfriar a temperatura ambiente, se pipetearon 180 µL a los pocillos de la microplaca y se leyeron a 460 nm en un lector de microplacas (Thermo Scientific, Waltham, MA, EE. UU.). Los valores se calcularon utilizando una curva de calibración de catequina (0–1500 ppm). El contenido de CT se expresó como mg/g de peso de cáscara de piña.

2.6. Evaluación de condiciones de fermentación en estado sólido (SSF) utilizando residuos de cáscara de piña para la liberación de compuestos bioactivos

Se utilizó un diseño exploratorio de Plackett-Burman para la liberación de polifenoles para evaluar las condiciones de la SSF. El diseño utilizó dos niveles (+1, -1): 7 factores que fueron temperatura, humedad, inóculo, NaNO_3 , MgSO_4 , KCl y KH_2PO_4 , y 8 tratamientos, los cuales se realizaron por triplicado; los factores y el tratamiento se muestran en la Tabla 1. La variable respuesta fue la cantidad de HT y CT; su cuantificación se realizó según las metodologías de la Sección 2.5. Los extractos se recuperaron añadiendo 15 ml de una mezcla de etanol: agua (50% v/v), y luego se filtraron y almacenaron para su posterior análisis.

Tabla 1. Matriz condensada de tratamientos de diseño de Plackett-Burman y niveles de factor para polifenol liberar.

Tratos	Temperatura (°C)	Humedad (%)	inóculo (esporas/g)	NaNO3	MgSO4	KCl	KH2PO4
1	−1	−1	−1	1	1	1	−1
2	1	−1	−1	−1	−1	1	1
3	−1	1	−1	−1	1	−1	1
4	1	1	−1	1	−1	−1	−1
5	−1	−1	1	1	−1	−1	1
6	1	−1	1	−1	1	−1	−1
7	−1	1	1	−1	−1	1	−1
8	1	1	1	1	1	1	1

Factores	Niveles	
	+1	−1
Temperatura (°C)	30	25
Humedad (%)	80	70
Inóculo (esporas/g)	1 × 107	1 × 106
NaNO3 (g/L)	15,6	7,65
MgSO4 (g/L)	3,04	1,52
KCl (g/L)	3,04	1,52
KH2PO4 (g/L)	6,08	3.04

2.7. Análisis del Contenido Polifenólico de los Extractos de Fermentación mediante RP-HPLC-ESI-MS

Para la identificación del contenido polifenólico de los extractos de fermentación, se se filtraron con una membrana de nailon de 0,45 µm; luego se tomaron 1,5 mL y se colocaron en un vial para cromatografía. La identificación se realizó según la metodología reportada por Díaz-Herrera et al. [28]. Los análisis por fase inversa – Líquido de alto rendimiento La cromatografía se realizó en un sistema Varian HPLC que incluye un muestreador automático. (Varian ProStar 410, Palo Alto, CA, EE. UU.), una bomba ternaria (Varian ProStar 230I, EE. UU.), y un detector PDA (Varian ProStar 330, EE. UU.). Una masa trampa de iones para cromatógrafo líquido. espectrómetro (Espectrómetro de masas Varian 500-MS IT, EE. UU.) equipado con un electrospray También se utilizó una fuente de iones.

2.8. Determinación de la capacidad antioxidante

El ensayo DPPH se realizó utilizando la metodología descrita por Sepúlveda et al. [16], con algunas modificaciones. El radical DPPH se preparó a una concentración de 60 µM en solución metanólica. Luego, 193 µL de solución DPPH-Metanol y 7 µL de Los extractos de fermentación se mezclaron y se colocaron en una microplaca. Se utilizó metanol como blanco. y se usó una solución de DPPH-metanol como absorbancia de control. Una solución estándar de Trolox Se preparó de 0 a 200 ppm. Las muestras se leyeron a 540 nm en un lector de microplacas. (Thermo Scientific, Waltham, MA, EE. UU.). Se calculó la actividad eliminadora de radicales. según la Ecuación (1):

$$RSA \text{ (\%)} = \frac{(Ac - Soy)}{C.A} \times 100 \tag{1}$$

donde Ac es la absorbancia del control y Am es la absorbancia de la muestra. El ensayo ABTS se realizó utilizando la metodología de Sepúlveda et al. [15], con algunas modificaciones. Se preparó una solución de ABTS (7 mM) y se mezcló con una solución de K2S2O8 (2,45 mM). Se dejó reposar en oscuridad durante 12 h a temperatura ambiente. Un Se mezclaron y colocaron alícuotas de 193 µL de solución ABTS y 7 µL de extracto de fermentación. en una microplaca. Se utilizó etanol como blanco de lectura y ABTS-Etanol como control. absorbancia. Se preparó una solución estándar de Trolox en un rango de 0 a 200 ppm. Las muestras se leyeron a 750 nm en un lector de microplacas (Thermo Scientific, Waltham, MA, EE.UU). Los resultados se expresaron según la Ecuación (1).

Para la cuantificación de HT se utilizaron las cepas *A. niger* Aa20 y *A. niger* HT3, y TC. La Figura 2A muestra la cuantificación de HT con *A. niger* Aa20 y *A. niger* HT3. La cepa de *A. niger* Aa20 liberó 6,02 mg/g de HT a las 48 h. Sin embargo, *A. niger* HT3, liberó 10,00 mg/g de HT a las 72 h. Según estos resultados, *A. niger* HT3 fue el cepa que favoreció la liberación de HT. La Figura 2B muestra la cuantificación de CT con *A. niger* Aa20 y *A. niger* HT3. La cepa de *A. niger* Aa20 liberó 82,59 mg/g de CT a las 48 h.

mi . dedo a an . Se utilizaron o e quan cepas o an las cepas de A. niger Aa20 y A. niger HT3 para la cuantificación de HT y CT. La Figura 2A muestra la cuantificación de HT con A. niger Aa20 y A. niger HT3. La cepa de A. niger Aa20 liberó 6,02 mg/g de HT a las 48 h. Sin embargo, A. niger HT3, nueva cepa de A. niger Aa20, liberó 6,02 mg/g de HT a las 48 h. Sin embargo, A. niger HT3 liberó hasta 10,00 mg/g de HT a las 72 h. De acuerdo con estos resultados, A. niger HT3 fue la cepa que recibió 10,00 mg/g de HT a las 72 h. Según estos resultados, A. niger HT3 fue la cepa que favoreció la liberación de HT. La Figura 2B muestra la cuantificación de CT con A. niger Aa20 y A. niger HT3. La cepa de A. niger Aa20 liberó 82,59 mg/g de CT a las 48 h. Sobre el y A. niger HT3. La cepa de A. niger Aa20 liberó 82,59 mg/g de CT a las 48 h. Por otro lado, A. niger HT3 liberó 78,71 mg/g de CT a las 72 h. Ambas cepas favorecieron, por el contrario, A. niger HT3 liberó 78,71 mg/g de CT a las 72 h. Ambas cepas favorecieron la liberación de CT; sin embargo, la cepa de A. niger Aa20 fue la que presentó mayor liberación de CT. Por otro lado, A. niger HT3 liberó 78,71 mg/g de CT a las 72 h. Ambas cepas favorecieron

liberación de CT; sin embargo, la cepa de A. niger Aa20 fue la que presentó mayor liberación de CT. la liberación de sin embargo, la cepa de A. niger Aa20 fue la de mayor liberación

CONNECTICUT, de TC.

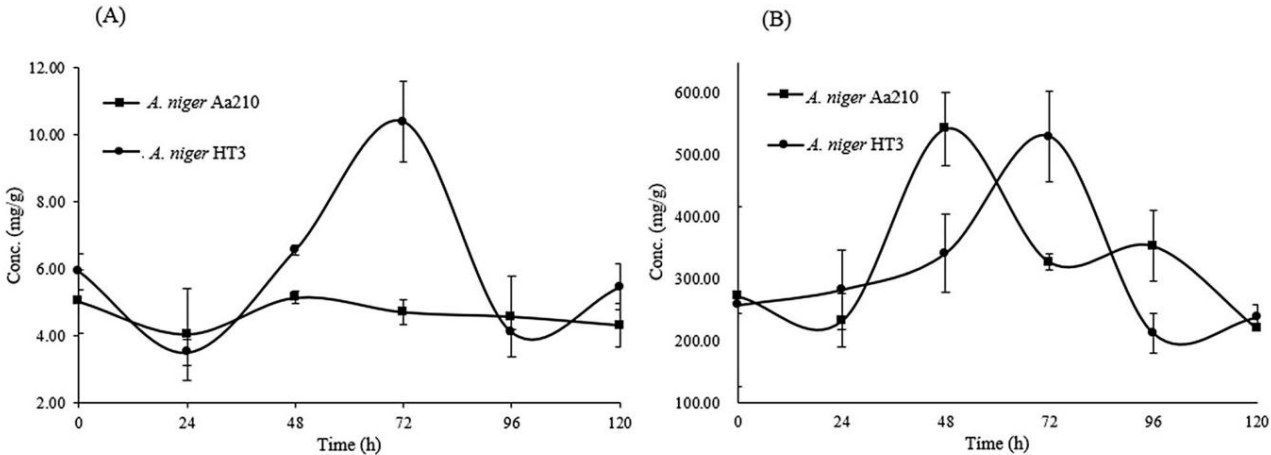


Figura 2. Cinética de cuantificación de (A) HT y (B) CT de A. niger Aa20 y A. niger HT3. Figura 2. Cinética de cuantificación de (A) HT y (B) CT de A. niger Aa20 y A. niger HT3.

3.4. Evaluación de las Condiciones de la SSF para la Liberación de HT y CT

3.4. Evaluación de las Condiciones de la PES para la Liberación de HT y CT

La Figura 3A muestra los tratamientos utilizados para la liberación de HT; para A. niger HT3, una fermentación de 72 h y el tratamiento 6 tuvo la mayor liberación de HT con un tiempo de fermentación de 72 h y el tratamiento 6 tuvo la mayor liberación de HT con una concentración de 17,44 $\pm$ 2,55 mg/g de la muestra seca de cascara de pino. Las condiciones de concentración de 17,44 $\pm$ 2,55 mg/g de la muestra seca de cascara de pino. Las condiciones del tratamiento 6 fueron una temperatura de 30 $\pm$ 0,5 $^{\circ}$ C, 80% de humedad, inoculo de 1×10^6 y la concentración de 17,44 $\pm$ 2,55 mg/g de la muestra seca de cascara de pino. La Figura 3B muestra los tratamientos utilizados para la liberación de CT; para A. niger Aa20 se utilizó un tiempo de fermentación de 48 h y el tratamiento 4 tuvo la mejor liberación de CT con una concentración de 92,03 $\pm$ 11,23 mg/g de la muestra seca de cascara de pino. Las condiciones del tratamiento 4 fueron una temperatura de 30 $^{\circ}$ C, 80% de humedad, inoculo de 1×10^6 y concentración de sales de NaNO_3 (15,6 g/L), MgSO_4 (1,52 g/L), KCl (1,52 g/L) y KH_2PO_4 (3,04 g/L). En comparación con la muestra no fermentada (SWF), la fermentación favorece la liberación de compuestos polifenólicos hasta 2,1 veces.

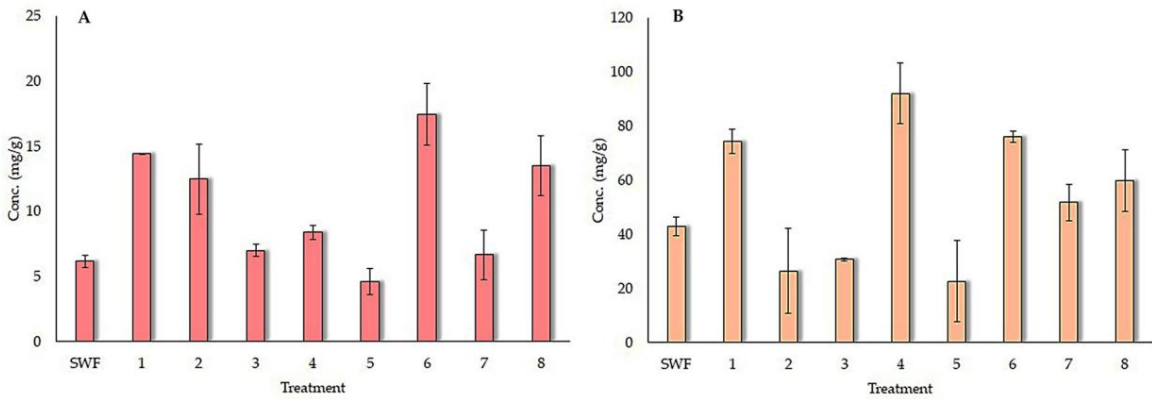


Figura 3. Concentración de polifenoles encontrados en el proceso de fermentación: (A) Concentraciones HT de tratamientos con A. niger HT3; y (B) concentraciones de CT de los tratamientos A. niger Aa20.

La Figura 4A muestra el efecto estandarizado de los factores que afectan la liberación de HT con A. niger Cepa HT3. El MgSO_4 afecta directamente a la liberación de HT. El resto de factores que no exceder la línea de puntos no tiene ningún efecto sobre la liberación de HT. La Figura 4B muestra el estándar efecto de los factores que afectan la liberación de CT con la cepa A. niger Aa20. KH_2PO_4 afecta directamente

la liberación de CT. El resto de factores que no superan la línea de puntos no tienen efecto sobre la liberación de CT.

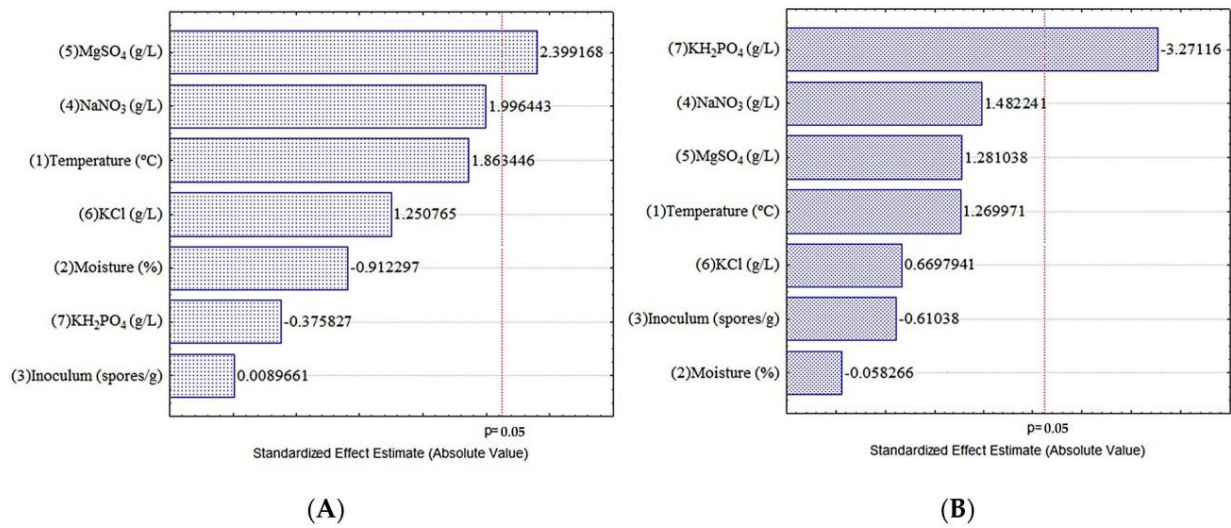


Figura 4. Diagrama de Pareto de las variables que afectan el proceso de fermentación: (A) HT para A. niger HT3; y (B) CT para A. niger Aa20.

3.5. Identificación de HT y CT por HPLC-MS

El contenido polifenólico (Tabla 2) de la muestra no fermentada y de los extractos SSF de La cáscara de piña con A. niger Aa20 (Tratamiento 4) y A. niger HT3 (Tratamiento 6) se determinaron mediante HPLC-MS. En la muestra no fermentada, 10 compuestos pertenecientes a las familias de Ácidos hidroxicinámicos, metoxiflavonoles, estilbenos, ácidos hidroxibenzoicos, flavonas y Se identificaron isoflavonas. En el tratamiento 4 con A. niger Aa20, cinco compuestos pertenecientes a las familias de curcuminoides, ácidos hidroxicinámicos, lignanos, ácidos metoxicinámicos, y se identificaron flavonoles. En el tratamiento 6 con A. niger HT3, 10 compuestos pertenecientes a las familias de lignanos, ácidos hidroxicinámicos, metoxiflavonoles, catequinas, flavanonas, Se identificaron ácidos metoxicinámicos, ácidos hidroxibenzoicos y antocianinas.

Cuadro 2. Compuestos polifenólicos identificados en el tratamiento 6 con A. niger HT3 y el tratamiento 4 con A. niger Aa20.

Muestra sin fermentar				
No.	Peso molecular	Fórmula química	Molécula	Familia
1	341.0	C15H18O9	Ácido cafeico 4-O-glucósido	Ácidos hidroxicinámicos
2	314.9	C16H12O7	ramnetina	Metoxiflavonoles
3	389.0	C20H22O8	Resveratrol 3-O-glucósido	estilbenos
4	322.9		Ácido gálico 3-O-galato	Ácidos hidroxibenzoicos
5	252.9	C15H10O4	7,4'- Dihydroxiflavona	Flavonas
6	352.8	C16H18O9	Ácido 1-cafeoilquínico	Ácidos hidroxicinámicos
7	370.8	C20H20O7	Sinensetina	metoxiflavonas
8	336.8	C16H18O8	Ácido 3-p-cumaroilquínico	Ácidos hidroxicinámicos
9	622.8	C28H32O16	Isorhamnetina 3-O-glucósido	Metoxiflavonoles
10	414.9	C21H20O9	7-O-ramnósido	isoflavonas
			Daidzín	

Tratamiento 4 de la cepa A. niger Aa20				
No.	Peso molecular	Tabla 2. Cont. Fórmula química	Molécula	Familia
1	368,8	C21H20O6	4 con curcumina de la cepa Aa20	curcuminoides
No.	352,9	C16H12O5	Ácido 1-cafeoilquinico-Lariciresinol	Ácidos hidroxycinámicos
2	368,8	C20H24O6	Curcumina	lignanos
3	352,9	C17H20O9	Ácido 1-cafeoilquinico-Lariciresinol	Ácidos hidroxycinámicos
4	380,5	Quercetina	Quercetina 3'-sulfato	Flavonoles
5	300,8	No. Reso	molecular	Ácidos metoxycinámicos
4	380,5	Fórmula química	Molécula Tratamiento 6 de la cepa HT3 de A. niger	Flavonoles
5	300,8			Flavonoles
Familia				
1 n°	358,6	C20H24O6	Lariciresinol	lignanos
2	352,9	C16H12O5	Ácido 1-cafeoilquinico	Ácidos hidroxycinámicos
3	283,9	C16H12O5	Lariciresinol	lignanos
4	306,8	C15H14O7	Metilgalangina	Metoxiflavonoles
5	256,7	C13H12O4	Ácido 1-cafeoilquinico	Ácidos hidroxycinámicos
6	311,9	C15H14O7	(+)-galocatequina	Catequinas
7	311,9	C15H14O7	Metilgalangina	Metoxiflavonoles
8	311,9	C15H14O7	pinocembrina	Flavonones
9	256,7	C13H12O4	(-)-galocatequina	Catequinas
10	588,9	C39H58O4	Ácido 1-cafeoilquinico	Ácidos hidroxycinámicos
11	588,9	C39H58O4	Ferulato de escotanol	Ácidos metoxycinámicos
12	600,9	C7H6O5	ácido galágico	Ácidos metoxycinámicos
13	289,0	C15H14O6	(+)-catequina	Catequinas
14	289,0	C15H14O6	(+)-catequina	Catequinas
15	286,6	C15H11O6	cianidina	antocianinas

3.6. Actividad antioxidante de los extractos de fermentación

3.6. Actividad antioxidante de los extractos de fermentación.

La Figura 5 muestra los tratamientos de cada una de las cepas utilizadas en comparación con la muestra no fermentada para la actividad DPPH. Tratamiento 6, que corresponde a A. niger HT3, muestra un mayor porcentaje de inhibición, alcanzando hasta 60,28% ± 1,74. Este resultado obtuvo un mayor porcentaje de inhibición, alcanzando hasta 60,28 ± 1,74%. Este resultado en comparación con la muestra no fermentada representa una mejora de hasta 1,5 veces en DPPH. En comparación con la muestra no fermentada, el tratamiento 6, que corresponde a A. niger Aa20, obtuvo un mayor porcentaje de actividad. El tratamiento 6, que corresponde a A. niger Aa20, obtuvo un mayor porcentaje de actividad. El resultado obtenido, alcanzando hasta el 57,87 ± 0,46%. Este resultado comparado con la inhibición de la muestra no fermentada, representa una mejora de hasta 1,5 veces en la actividad DPPH.

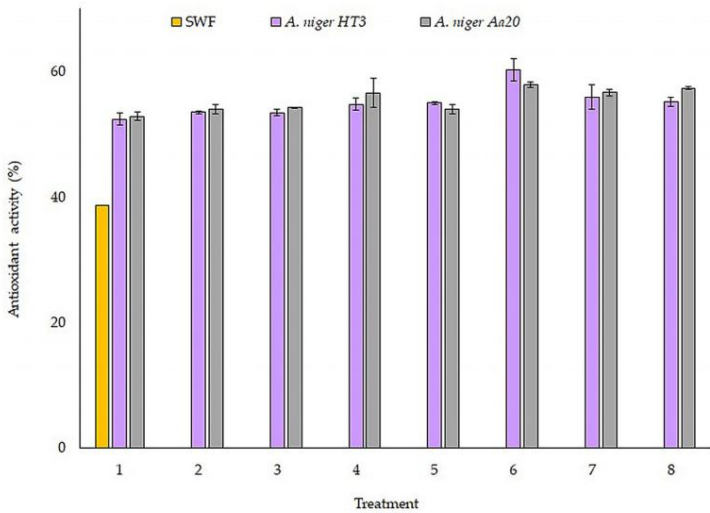


Figura 5. Actividad antioxidante de los residuos de cáscara de piña de los extractos de fermentación para DPPH.

La Figura 6 muestra los tratamientos de cada una de las cepas utilizadas en comparación con la muestra no fermentada para la actividad ABTS. El tratamiento 7, que corresponde a A. niger HT3, obtuvo un mayor porcentaje de inhibición, alcanzando hasta 77,38 ± 6,64%. Este resultado en comparación con la muestra no fermentada representa una mejora de hasta 2,6 veces en ABTS actividad. El tratamiento 6, que corresponde a A. niger Aa20, obtuvo un mayor porcentaje de

obtuvieron un mayor porcentaje de inhibición, alcanzando hasta $77,38\% \pm 6,64$. Este resultado respecto a la muestra no fermentada representa una mejora de hasta 2,6 veces, en ABTS se obtuvo un mayor porcentaje de inhibición, alcanzando hasta $77,38\% \pm 6,64$. Este resultado es comparable al tratamiento 6, que corresponde a *A. niger* Aa20, obtuvo un mayor porcentaje respecto a la muestra no fermentada, representa una mejora de hasta 2,6 veces en el ABTS de inhibición, alcanzando hasta $81,41\% \pm 4,06$. Este resultado se comparó con la actividad sam no fermentada. El tratamiento 6, que corresponde a *A. niger* Aa20, obtuvo un mayor porcentaje, lo que representa una mejora de hasta 2,8 veces en la actividad ABTS, de inhibición, alcanzando hasta $81,41\% \pm 4,06$. Este resultado comparado con el sam no fermentado alcanza una inhibición de hasta $81,41 \pm 4,06\%$. Este resultado comparado con la muestra no fermentada.

se supone una mejora de hasta 2,8 veces en la actividad ABTS, supone una mejora de hasta 2,8 veces en la actividad ABTS.

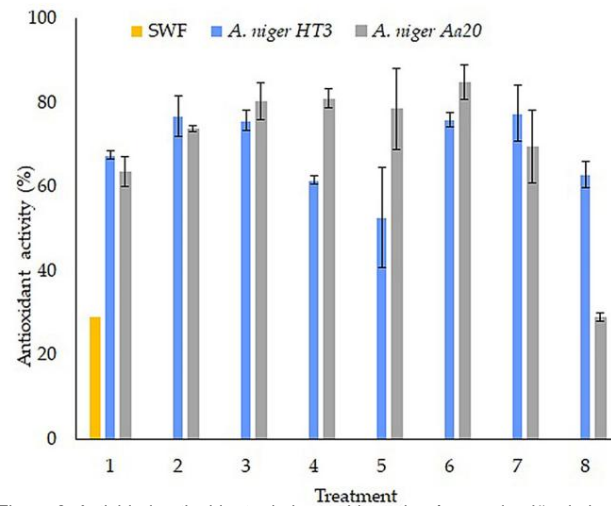


Figura 6. Actividad antioxidante de los residuos de cáscara de piña de los extractos de fermentación de ABTS.

Figura 6. Actividad antioxidante de los residuos de cáscara de piña de los extractos de fermentación de ABTS.

Figura 6. Actividad antioxidante de los residuos de cáscara de piña de los extractos de fermentación de ABTS.

La Figura 7 muestra los tratamientos de cada una de las cepas utilizadas en comparación con la no La

Figura 7 muestra los tratamientos de cada una de las cepas utilizadas en comparación con la no La

muestra fermentada para la actividad FRAP. El tratamiento 4, que corresponde a A. niger HT3, en la Figura 7 muestra un mayor poder antioxidante, alcanzando hasta 176.64 ± 27.81 mEq Trolox/g. Esta muestra representativa alcanza hasta 176.64 ± 27.81 mEq Trolox/g. Este resultado se compara con la actividad del FRAP. El tratamiento 4, que corresponde a A. niger HT3, obtuvo un mayor poder antioxidante, alcanzando hasta 176.64 ± 27.81 mEq Trolox/g. Este resultado se compara con la actividad del FRAP. El tratamiento 4, que corresponde a A. niger HT3, obtuvo un mayor poder antioxidante, alcanzando hasta 176.64 ± 27.81 mEq Trolox/g. Este resultado se compara con la actividad del FRAP.

El resultado comparado con la muestra no fermentada representa una mejora de hasta 2.9 veces respecto a una muestra no fermentada sufre una mejora de hasta 2.9 veces el Trolox/g. Este resultado en la actividad del FRAP. El tratamiento 4, que corresponde a A. niger HT3, obtuvo un mayor poder antioxidante, alcanzando hasta 176.64 ± 27.81 mEq Trolox/g. Este resultado se compara con la actividad del FRAP. El tratamiento 4, que corresponde a A. niger HT3, obtuvo un mayor poder antioxidante, alcanzando hasta 176.64 ± 27.81 mEq Trolox/g. Este resultado se compara con la actividad del FRAP.

La muestra no fermentada representa una mejora de hasta 1.9 veces en la actividad del FRAP. La muestra no fermentada representa una mejora de hasta 1.8 veces en la actividad del FRAP.

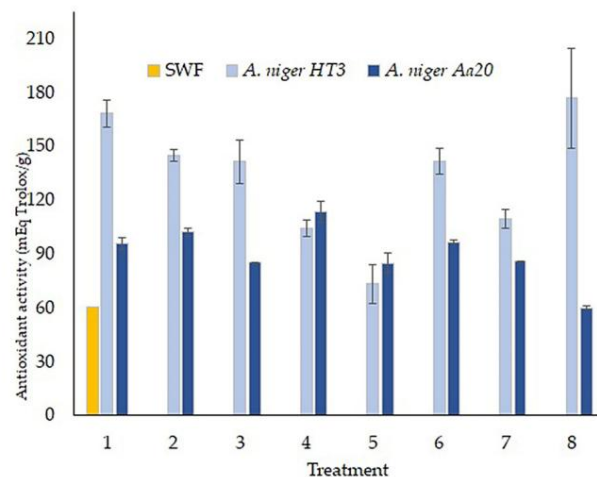


Figura 7. Actividad antioxidante de los residuos de cáscara de piña de los extractos de fermentación para FRAP.

Figura 7. Actividad antioxidante de los residuos de cáscara de piña de los extractos de fermentación para FRAP.

4. Discusion

Figura 7. Actividad antioxidante de los residuos de cáscara de piña de los extractos de fermentación para FRAP.

4.4. Caracterización físicoquímica

Los resultados del WAI fueron similares a los reportados por Polanía-Rivera et al. [21] en cáscara de piña (5,61 g/g de cáscara seca). Existen trabajos similares; por ejemplo, orujo de uva [4, 1]. Los resultados de C_{org} fueron similares a los reportados por Polanía-Rivera et al. [21] en pino-alcornoque (3,38 g/g de material seco [22]) y las semillas de mango de 3,4 a 4 g/g de material seco [31]. En el caso de la C_{org} de la cáscara de piña, existen trabajos similares; por ejemplo, orujo de uva. Los resultados de C_{org} fueron similares a los reportados por Polanía-Rivera et al. [21] en la cáscara de uva (4,23%), (5,61 g/g de piña seca). Existen trabajos similares por ejemplo, orujo de uva (14,37%). Con estos resultados, los residuos de cáscara de piña son un sustrato promotor para la PPE.

El contenido de humedad fue mayor al reportado por Selani et al. [32] (3,77%) en orujo de piña. Los valores reportados por Morais et al. [33] (8,8%) en piel secada al horno

eran similares. Sin embargo, los valores reportados por Huang et al. [34] (10,47–16,1%) en la cáscara de piña en diferentes cultivares fueron mayores. El contenido de cenizas fue similar al reportado por Sánchez-Prado et al. [35] del 1,5% para los residuos de cáscaras de piña. Sin embargo, Selani et al. [32] informaron un mayor contenido de cenizas del 2,24% en el orujo de piña liofilizado. Los valores reportados por Aparecida-Damasceno et al. [36] del 4,57% en la harina de cáscara de piña fueron superiores. Por otro lado, algunos autores mencionan que estos resultados se pueden atribuir a que son diferentes variedades de piña y se cultivan en diferentes zonas del mundo; además, pueden depender del tipo de suelo y de la maduración del fruto [37]. El contenido de grasa reportado en este trabajo se encuentra dentro de lo reportado por diferentes autores; por ejemplo, Huang et al. [34] informaron valores de 2,8% de grasa en la cáscara de piña, la variedad suave de cayena, mientras que Zakaria et al. [38] informaron valores de 1,8% de grasa en la cáscara de piña.

El contenido de azúcar total se encuentra dentro del rango reportado en diferentes estudios. Díaz-Vela et al. [39] informaron valores del 22,59% en la harina de cáscara de piña. Por otro lado, Huang et al. [34] informaron valores del 69,5% en cáscaras de piña, la variedad suave de cayena. Los resultados obtenidos para los azúcares reductores fueron inferiores a los reportados por Huang et al. [34] del 38% en las cáscaras de piña, la variedad suave de cayena. Se ha descubierto que los residuos agroindustriales de la piña contienen varios tipos de azúcares. Según lo informado por Sepúlveda et al. [16] y Polania-Rivera et al. [21], los azúcares encontrados son principalmente glucosa, fructosa y sacarosa.

El contenido de proteína se encuentra dentro de los rangos reportados por diferentes autores; por ejemplo, Díaz-Vela et al. [39] informaron valores del 0,32% en la harina de cáscara de piña. Selani et al. [32] informaron valores de 4,71% en orujo de piña. El contenido de fibra se encuentra dentro de los rangos reportados previamente por diferentes autores. Huang et al. [34] informaron valores entre 7 y 8% en la cáscara de piña, la variedad Tainung. Morais et al. [33] reportaron valores entre 14-16% en cáscaras de piña con diferentes tratamientos, mientras que Aparecida-Damasceno [36] reportó valores de 4,92% en harina de cáscara de piña.

4.2. Adaptación de cepas de *Aspergillus* en la cinética de fermentación

Andrade-Damián et al. [25] mencionaron que las cepas de *Aspergillus* pueden adaptarse a sustratos complejos como *Curcuma longa* L. Por otro lado, Buenrostro-Figueroa et al. [30] mencionaron que los hongos filamentosos son los más utilizados en PES, debido a su capacidad de adaptarse al sustrato que presenta similitudes con el medio en el que crecen, además de tener un gran potencial para la liberación de compuestos bioactivos. . Otro estudio demostró la capacidad del hongo *A. niger* para desarrollar y degradar compuestos presentes en los residuos agroindustriales de la piña [40].

4.3. Liberación de taninos por fermentación en estado

sólido Polania-Rivera et al. [21] mencionaron que realizaron un proceso SSF por *Rhizopus oryzae* sobre cáscara de piña como sustrato; los resultados obtenidos fueron 83,77 mg GAE/g de HT y 66,5 mg QE/g de CT. Algunos autores mencionaron que el bajo contenido de polifenoles durante la fermentación de residuos de piña combinados con harina de soja y *Rhizopus oligosporus* podría estar relacionado con el hecho de que la mayoría de los compuestos están unidos a la membrana interna [41]. Otro estudio mencionó que las cepas de *Aspergillus* que utilizan SSF ayudan a liberar polifenoles y producen naturalmente enzimas que degradan la pared celular. Torres-León et al. [31] utilizaron semillas de mango SSF con *A. niger* GH1, donde hubo un aumento de 3,3 veces en el contenido fenólico total. Por otro lado, Buenrostro-Figueroa et al. [30] utilizaron residuos de higo en SSF con *A. niger* HT4, y los resultados demostraron un aumento en el contenido total de polifenoles de $10,19 \pm 0,04$ mg GAE/g. En otro trabajo de investigación, se estudiaron los fenólicos totales y los flavonoides de la pulpa del fruto de jambolan después del tratamiento con SSF en diferentes momentos con *Aspergillus niger* y *Aspergillus flavus*. Los resultados revelan que la pulpa de fruta fermentada de *A. flavus* mostró un aumento de fenólicos totales (685,88 mg GAE/100 g) y flavonoides (388 mg QE/100 g) [42]. Los resultados de este estudio indican que la SSF es un proceso biotecnológico prometedor para la obtención de compuestos bioactivos. Las cáscaras de piña eran un sustrato adecuado para ser utilizado como fuente de carbono y energía para el hongo filamentosos.

4.4. Evaluación de la actividad antioxidante en extractos de fermentación.

Por autohidrólisis, los extractos de residuos de piña pueden tener hasta un 80% y un 94% según un ensayo de antioxidantes DPPH y ABTS, respectivamente [16]. Polania et al. [43] utilizaron SSF de *Rhizopus oryzae* en desechos de piña y, como resultado, los extractos fermentados obtenidos exhibieron 61,46 y 77,39% en los ensayos de antioxidantes DPPH y ABTS, respectivamente. Además, se evaluó el orujo de melocotón de SSF utilizando *A. niger* y *R. oligosporus* y los extractos demostraron que el potencial antioxidante determinado por el ensayo de eliminación de radicales DPPH aumentó significativamente (>18%) durante todo el crecimiento del hongo. Además, Torres-León et al. [31] encontraron una correlación entre los polifenoles obtenidos de la semilla de mango de SSF por *A. niger* GH1 y su actividad antioxidante, la cual fue atribuida al proceso de fermentación, que, aparentemente, aumenta la actividad antioxidante al mejorar la biodisponibilidad de las moléculas bioactivas. Paz-Artega et al. [40] evaluaron un bioproceso sólido de *A. niger* GH1 en el corazón y la cáscara de piña, y los resultados indican una correlación positiva con la liberación de polifenoles y la actividad antioxidante por DPPH al observar un aumento del 25%.

Por otro lado, Chiet et al. [44] evaluaron el contenido de compuestos bioactivos y la capacidad antioxidante de la piña Jospine, Morris y Sarawak (*Ananas comosus*). Los resultados demostraron que la actividad eliminadora de FRAP en muestras de Jospine mostró la mayor capacidad antioxidante, seguida por Morris y luego Sarawak con el valor más bajo. Brito et al. [45] obtuvieron extractos de metanol y etanol mediante maceración de coronas de piña, donde los extractos mostraron un efecto antioxidante positivo utilizando el método FRAP. Larios-Cruz et al. [46] mencionaron que la valorización de los subproductos del pomelo puede llevarse a cabo mediante el proceso de fermentación debido a la liberación de compuestos antioxidantes. Los autores observaron que el contenido de agua tuvo un efecto importante sobre la PES; un aumento en este parámetro promovió la liberación de moléculas bioactivas. Por tanto, la SSF es útil para liberar una gran cantidad de compuestos bioactivos y mejorar la actividad antioxidante; esto se atribuyó a la hidrólisis enzimática microbiana [47].

4.5. Identificación de compuestos polifenólicos por HPLC-MS

Según Banerjee et al. [48], se encontraron diferentes compuestos bioactivos en los residuos de piña, como ácidos fenólicos, flavonoides, catequina, ácido gálico y ácido ferúlico. Otros autores mencionaron que, mediante el uso de PES con *Rhizopus oryzae* sobre residuos de piña, se identificaron algunos compuestos como ácido gálico, ácido clorogénico, catequina, ácido cafeico, epicatech, epicatech, ácido cumárico, escopoletina y quercetina [21]. Por otro lado, Paz-Artega et al. [40], utilizando SSF con *A. niger* GH1, identificaron 15 compuestos, por ejemplo, cafeoil hexósido, ácido 5-cafeoilquínico, espinacetina 3-O-glucosil-(1→6)-[apiosil(1→2)]-glucósido, éster etílico del ácido p-cumárico, ácido banzoico, p-cumaroil tirosina, hexósido de alcohol p-cumarílico, 4-vinilfenol, ácido p-cumaroil glicólico, aldarato de feruloilo, psoraleno, ácido cafeico 4-O-glucopside, p-cumaroil hexósido, (+)-galocatequina y galagil-hexósido.

5. Conclusiones

Los resultados obtenidos en el presente estudio muestran que la fermentación en estado sólido utilizando *Aspergillus niger* spp. las cepas y las cáscaras de piña como sustrato son eficaces para obtener una mayor liberación de compuestos bioactivos y, por tanto, una actividad antioxidante favorable. La cepa *A. niger* HT3 ayudó en la liberación de taninos hidrolizables, mientras que la cepa *A. niger* Aa20 ayudó en la liberación de taninos condensados. En un análisis por HPLC se identificaron hasta 33 compuestos, de los cuales tres fueron los principales, ácido 3-feruloilquínico, ácido cafeico, lariciresinol y 3-hidroxifloretina 2'-O-xilosil-glucósido. El proceso SSF con cáscara de piña como sustrato es una alternativa para la liberación de moléculas con potencial aplicación en la industria farmacéutica y alimentaria.

Contribuciones del autor: Conceptualización, ADC-R. y LS; metodología, ADC-R.; software, LS; validación, ADC-R. y LS; análisis formal, ADC-R. y LS; investigación, ADC-R.; recursos, JAA-V. y LS; curación de datos, ADC-R.; redacción: preparación del borrador original, ADC-R.; redacción: revisión y edición, ADC-R., JAA-V., MDD-M., LL-H., MAM-M. y LS; visual-

ización, ADC-R.; supervisión, LS Todos los autores han leído y aceptado la versión publicada del manuscrito.

Financiamiento: AD Casas Rodríguez agradece al CONAHCYT por su beca de posgrado (N° 1150329).

Declaración de disponibilidad de datos: Los datos que respaldan los hallazgos de este estudio están disponibles previa solicitud.

Agradecimientos: AD Casas Rodríguez agradece al CONAHCYT por su beca de posgrado (N° 1150329). Todos los autores agradecen a la Universidad Autónoma de Coahuila por las facilidades brindadas.

Conflictos de intereses: Los autores declaran no tener conflictos de intereses.

Referencias

1. Teshome, E.; Teka, TA; Nandasiri, R.; Ruta, JR; Harouna, DV; Astatkie, T.; Urugo, MM Subproductos de frutas y sus aplicaciones industriales para beneficios nutricionales y promoción de la salud: una revisión integral. *Sostenibilidad* 2023, 15, 7840. [\[CrossRef\]](#)
2. Tu, Q.; Liu, S.; Li, Y.; Zhang, L.; Wang, Z.; Yuan, C. Los efectos de las regiones y los períodos de crianza del vino sobre los perfiles de taninos condensados y las percepciones de astringencia de los vinos Cabernet Sauvignon. *Química de los alimentos. X* 2022, 15, 100409. [\[Referencia cruzada\]](#) [\[PubMed\]](#)
3. Das, AK; Islam, N.; Faruk, O.; Ashaduzzaman; Dungani, R. Revisión sobre taninos: Procesos de extracción, aplicaciones y posibilidades. *S. África. J.Bot.* 2020, 135, 58–70. [\[Referencia cruzada\]](#)
4. Sharma, KP Degradación de taninos por la tanasa de fitopatógenos: la perspectiva de defensa de una planta. *Biocatal. Agrícola. Biotecnología.* 2019, 21, 101342. [\[Referencia cruzada\]](#)
5. Muanda, FN; Dicko, A.; Soulimani, R. Evaluación de compuestos polifenólicos, propiedades antioxidantes y antiinflamatorias in vitro de las cortezas de raíces de *Securidaca longepedunculata*. *Cuentas Rendus Biol.* 2010, 333, 663–669. [\[Referencia cruzada\]](#) [\[PubMed\]](#)
6. FAO. Base de datos FAOSTAT. Disponible en línea: <http://www.fao.org/faostat> (consultado el 3 de junio de 2024).
7. Hamzah, AFA; Hamzah, MH; Hombre, HC; Jamali, NS; Siajam, SI; Ismail, MH Actualizaciones recientes sobre la conversión de desechos de piña (*Ananas comosus*) en productos de valor agregado, perspectivas futuras y desafíos. *Agronomía* 2021, 11, 2221. [\[CrossRef\]](#)
8. Prado, KS; Spinacé, MA Aislamiento y caracterización de nanocristales de celulosa a partir de desechos de corona de piña y sus usos potenciales. En t. *J. Biol. Macromol.* 2019, 122, 410–416. [\[Referencia cruzada\]](#)
9. Casabar, JT; Ramaraj, R.; Tipnee, S.; Unpaprom, Y. Mejora de la hidrólisis con *Trichoderma harzianum* para bioetanol Producción de cáscara de fruta de piña sonicada. *Combustible* 2020, 279, 118437. [\[CrossRef\]](#)
10. Mamani, DC; Nole, KSO; Montoya, CEE; Huiza, PRESA; Alta, RYP; Vitorino, HA Minimización de los residuos orgánicos generados por la corona de piña: Un proceso sencillo para la obtención de celulosa para la elaboración de envases reciclables. *Reciclaje* 2020, 5, 24. [\[Referencia cruzada\]](#)
11. Hamidin, NAS; Abdullah, S.; Tampoco, FHM; Hadibarata, T. Aislamiento e identificación de pigmentos naturales verdes y amarillos de la pulpa y cáscara de piña. *Madre. Hoy Proc.* 2022, 63, S406–S410. [\[Referencia cruzada\]](#)
12. Li, T.; Shen, P.; Liu, W.; Liu, C.; Liang, R.; Yan, N.; Chen, J. Principales polifenoles en las cáscaras de piña y sus interacciones antioxidantes. En t. *J. Food Prop.* 2014, 17, 1805–1817. [\[Referencia cruzada\]](#)
13. Sun, G.-M.; Zhang, X.-M.; Soler, A.; Marie-Alphonsine, P. Composición nutricional de la piña (*Ananas comosus* (L.) Merr.). En *Composición Nutricional de Cultivares Frutales*; Simmonds, MSJ, Preedy, VR, Eds.; Elsevier: Nueva York, NY, EE. UU., 2016; págs. 609–637.
14. Elss, S.; Preston, C.; Hertzog, C.; Heckel, F.; Richling, E.; Schreier, P. Perfiles aromáticos de la piña (*Ananas comosus* [L.] Merr.) y productos de piña. *LWT-Ciencia de los alimentos. Tecnología.* 2005, 38, 263–274. [\[Referencia cruzada\]](#)
15. Zampar, GG; Zampar, IC; Beserra da Silva de Souza, S.; da Silva, C.; Barros, BCB Efecto de las mezclas de solventes en el ultrasonido. *Extracción asistida de compuestos del subproducto de la piña. Biociencia alimentaria.* 2022, 50, 102098. [\[Referencia cruzada\]](#)
16. Sepúlveda, L.; Romani, A.; Aguilar, CN; Teixeira, J. Valorización de residuos de piña para la extracción de compuestos bioactivos y glucósidos mediante autohidrólisis. *Innovación. Ciencia de los alimentos. Emergente. Tecnología.* 2018, 47, 38–45. [\[Referencia cruzada\]](#)
17. Wong-Paz, JE; Aguilar-Zárate, P.; Veana, F.; Muñiz-Márquez, DB Impacto de las tecnologías de extracción verde para la obtención de bioactivos compuestos de residuos de cítricos. *CONSEJO Rev. Espec. Ciencia. Quím.-Biol.* 2020, 23, 1–11. [\[Referencia cruzada\]](#)
18. Šelo, G.; Planinč, M.; Tišma, M.; Martinović, J.; Perković, G.; Bucić-Kojić, A. Bioconversión de orujo de uva con *Rhizopus oryzae* en condiciones de estado sólido: cambios en la composición química y perfil de compuestos fenólicos. *Microorganismos* 2023, 11, 956. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)
19. Handa, CL; de Lima, FS; Guelfi, MFG; da Silva Fernández, M.; Georgetti, SR; Ida, El Parámetros de la fermentación de harina de soja por *Monascus purpureus* o *Aspergillus oryzae* sobre la producción de compuestos bioactivos y actividad antioxidante. *Química de los alimentos.* 2019, 271, 274–283. [\[Referencia cruzada\]](#) [\[PubMed\]](#)
20. Buenrostro-Figueroa, J.; Ascacio-Valdés, A.; Sepúlveda, L.; De la Cruz, R.; Prado-Barragán, A.; Aguilar-González, MA; Rodríguez, R.; Aguilar, CN Uso potencial de diferentes subproductos agroindustriales como soporte para la producción de elagitanasa fúngica bajo fermentación en estado sólido. *Bioproductos alimentarios. Proceso.* 2014, 92, 376–382. [\[Referencia cruzada\]](#)
21. Polania-Rivera, AM; Toro, CR; Londoño, L.; Bolívar, G.; Ascacio, JA; Aguilar, CN Bioprocesamiento de biomasa residual de piña para la producción sustentable de compuestos bioactivos con alta actividad antioxidante. *J. Medidas alimentarias. Carácter.* 2023, 17, 586–606. [\[Referencia cruzada\]](#)

22. Selvanathan, Y.; Masngut, N. Optimización del factor de proceso y caracterización de la producción de bebidas similares al vinagre mediante Fermentación espontánea a partir de residuos de cáscara de piña. *LWT* 2023, 182, 114818. [\[Referencia cruzada\]](#)
23. Redmile-Gordon, M.; Arménise, E.; Blanco, R.; Hirsch, P.; Goulding, K. Una comparación de dos ensayos colorimétricos, basados en técnicas de Lowry y Bradford, para estimar la proteína total en extractos del suelo. *Biol del suelo. Bioquímica*. 2013, 67, 166-173. [\[Referencia cruzada\]](#) [\[PubMed\]](#)
24. Púa, AL; Barreto, GE; Zuleta, JL; Herrera, OD Análisis de Nutrientes de la Raíz de la Malanga (Colocasia esculenta Schott) en el Trópico Seco de Colombia. *inf. Tecnol.* 2019, 30, 69–76. [\[Referencia cruzada\]](#)
25. Andrade-Damián, MF; Muñiz-Márquez, DB; Wong-Paz, JE; Veana-Hernández, F.; Reyes-Luna, C.; Aguilar-Zárate, P. Estudio exploratorio de la extracción de pigmentos de Curcuma longa L. mediante fermentación en estado deslizando utilizando cinco cepas de hongos. *Méx. J. Biotecnología*. 2019, 4, 1–11. [\[Referencia cruzada\]](#)
26. Zaki, NAM; Alwi, H.; Hashib, SA; Ibrahim, Reino Unido; Jai, J. Características del secado por microondas y calidad de la cáscara, el corazón y la pulpa de Ananas comosus. *Madre. Hoy Proc.* 2023, 87, 8-12. [\[Referencia cruzada\]](#)
27. Palacios, CE; Nagai, A.; Torres, P.; Rodríguez, JA; Salatino, A. Contenido de taninos de cultivares de sorgo cultivados en Brasil, según lo determinado por cuatro métodos de cuantificación. *Química de los alimentos*. 2020, 337, 127970. [\[Referencia cruzada\]](#) [\[PubMed\]](#)
28. Díaz-Herrera, R.; Álvarez-Pérez, OB; Ventura-Sobrevilla, J.; Ascacio-Valdés, A.; Aguilar-González, MA; Buenrostro-Figueroa, J.; Aguilar, CN Polifenoles de cáscara de granada como aditivo antioxidante para el desarrollo y caracterización de una nueva película comestible de pectina activa. *eFood* 2023, 4, e115. [\[Referencia cruzada\]](#)
29. Mala, T.; Piayura, S.; Itthivadhanapong, P. Caracterización del polvo de cáscara seca de piña (Ananas comosus L.) y su aplicación. como nuevo ingrediente alimentario funcional en productos de galletas saladas. *Alimentos del futuro* 2024, 9, 100322. [\[CrossRef\]](#)
30. Buenrostro-Figueroa, J.; Velázquez, M.; Flores-Ortega, O.; Ascacio-Valdés, J.; Huerta-Ochoa, S.; Aguilar, C.; Prado-Barragán, L. Fermentación en estado sólido de subproductos de higo (Ficus carica L.) utilizando hongos para la obtención de compuestos fenólicos con actividad antioxidante y evaluación cualitativa de los fenólicos obtenidos. *Proceso. Bioquímica*. 2017, 62, 16-23. [\[Referencia cruzada\]](#)
31. Torres-León, C.; Ramírez-Guzmán, N.; Ascacio-Valdés, J.; Serna-Cock, L.; dos Santos Correia, MT; Contreras-Esquivel, JC; Aguilar, CN Fermentación en estado sólido con Aspergillus niger para mejorar el contenido fenólico y la actividad antioxidante de la semilla de mango mexicano: una fuente prometedora de antioxidantes naturales. *LWT* 2019, 112, 108236. [\[CrossRef\]](#)
32. Selani, MM; Brazaca, SGC; dos Santos Días, CT; Ratnayake, WS; Flores, RA; Bianchini, A. Caracterización y posible aplicación del orujo de piña en un producto extruido para mejorar la fibra. *Química de los alimentos*. 2014, 163, 23–30. [\[Referencia cruzada\]](#)
33. Morais, RD; Rotta, EM; Sargi, SC; Bonafe, EG; Suzuki, RM; Souza, NE; Matsushita, M.; Visentainer, JV Composición próxima, contenido mineral y composición de ácidos grasos de las diferentes partes y cáscaras secas de frutas tropicales cultivadas en Brasil. *J. Braz. Química. Soc.* 2016, 28, 308–318. [\[Referencia cruzada\]](#)
34. Huang, CW; Lin, IJ; Liu, Y.; Mau, JL Composición, actividades enzimáticas y antioxidantes de la piña. En t. J. Proposición de Alimentos 2021, 24, 1244-1251. [\[Referencia cruzada\]](#)
35. Sánchez Pardo, MES; Cassellis, MER; Escobedo, RM; García, EJ Caracterización Química de los Residuos Industriales de la Piña (Ananas comosus). *J. Agrícola. Química. Reinar*. 2014, 3, 53–56. [\[Referencia cruzada\]](#)
36. Aparecida Damasceno, K.; Alvarenga Gonçalves, CA; Dos Santos Pereira, G.; Lacerda Costa, L.; Bastianello Campagnol, PC; Leal De Almeida, P.; Arantes-Pereira, L. Elaboración de barras de cereales que contienen harina de cáscara de piña (Ananas comosus L. Merrill). *J. Calidad de los alimentos*. 2016, 39, 417–424. [\[Referencia cruzada\]](#)
37. Hassan, A.; Othman, Z.; Siriphanich, J. Piña (Ananas comosus L. Merr.). En *Biología y Tecnología Poscosecha de Frutas Tropicales y Subtropicales*; Yahia, EM, Ed.; Elsevier: Amsterdam, Países Bajos, 2011.
38. Zakaria, NA; Rahman, RA; Zaidel, ADN; Dailin, DJ; Jusoh, M. Extracción de pectina de la cáscara de piña asistida por microondas. *Malayos. J. Fundam. Aplica. Ciencia*. 2021, 17, 33–38. [\[Referencia cruzada\]](#)
39. Díaz-Vela, J.; Totosaus, A.; Cruz-Guerrero, AE; de Lourdes Pérez-Chabela, M. Evaluación in vitro de la fermentación de subproductos agroindustriales de valor agregado: cáscara de nopal (Opuntia ficus-indica L.) y cáscara de piña (Ananas comosus) como ingredientes funcionales. En t. J. Ciencia de los alimentos. *Tecnología*. 2013, 48, 1460–1467. [\[Referencia cruzada\]](#)
40. Paz-Arteaga, SL; Ascacio-Valdés, JA; Aguilar, CN; Cadena-Chamorro, E.; Serna-Cock, L.; Aguilar-González, MA; Ramírez- Guzmán, N.; Torres-Leon, C. Bioprocesamiento de residuos de piña para la producción sostenible de compuestos bioactivos mediante fermentación en estado sólido. *Innovación. Ciencia de los alimentos. Emergente. Tecnología*. 2023, 85, 103313. [\[Referencia cruzada\]](#)
41. Correia, RT; McCue, P.; Magalhães, MM; Macêdo, GR; Shetty, K. Producción de antioxidantes fenólicos mediante la bioconversión en estado sólido de residuos de piña mezclados con harina de soja utilizando Rhizopus oligosporus. *Proceso. Bioquímica*. 2004, 39, 2167–2172. [\[Referencia cruzada\]](#)
42. Rajan, M.; Santana Andrade, JK; Chagas Barros, RG; Farias Lima Guedes, TJ; Narain, N. Mejora de las actividades polifenólicas y antioxidantes de la pulpa de fruta de jambolan (Syzygium cumini) mediante fermentación en estado sólido por Aspergillus niger y A. flavus. *Biocatal. Agrícola. Biotecnología*. 2023, 47, 102589. [\[Referencia cruzada\]](#)
43. Polania, AM; Londoño, L.; Ramírez, C.; Bolívar, G. Influencia de la aplicación de ultrasonido en cáscara de piña fermentada sobre el contenido fenólico total y la actividad antioxidante. *Fermentación* 2022, 8, 314. [\[CrossRef\]](#)
44. Chiet, CH; Zulkifli, RM; Hidayat, T.; Yaakob, H. Análisis de compuestos bioactivos y actividad antioxidante de cultivares de piña de Malasia. *Conferencia AIP. Proc.* 2014, 1589, 398–399. [\[Referencia cruzada\]](#)

-
45. Brito, TBN; Lima, LRS; Santos, MCB; Moreira, RFA; Cameron, LC; Fay, AEC; Ferreira, MSL Perfiles antimicrobianos, antioxidantes, volátiles y fenólicos de harina de tallo de repollo y corona de piña revelados por GC-MS y UPLC-MSE. *Química de los alimentos*. 2021, 339, 127882. [\[Referencia cruzada\]](#) [\[PubMed\]](#)
46. Larios-Cruz, R.; Buenrostro-Figueroa, J.; Prado-Barragán, A.; Rodríguez-Jasso, RM; Rodríguez-Herrera, R.; Montañez, JC; Aguilar, CN Valorización de subproductos de pomelo como soporte sólido para fermentación en estado sólido para producir extractos bioactivos antioxidantes. *Valorización de biomasa residual* 2019, 10, 763–769. [\[Referencia cruzada\]](#)
47. Erskine, E.; Ozkan, G.; Lu, B.; Capanoglu, E. Efectos del proceso de fermentación sobre la capacidad antioxidante de los subproductos de la fruta. *ACS Omega* 2023, 8, 4543–4553. [\[Referencia cruzada\]](#)
48. Banerjee, S.; Ranganathan, V.; Patti, A.; Arora, A. Valorización de residuos de piña para aplicaciones alimentarias y terapéuticas. *Tendencias Ciencia de los alimentos. Tecnología*. 2018, 82, 60–70. [\[Referencia cruzada\]](#)

Descargo de responsabilidad/Nota del editor: Las declaraciones, opiniones y datos contenidos en todas las publicaciones son únicamente de los autores y contribuyentes individuales y no de MDPI ni de los editores. MDPI y/o los editores renuncian a toda responsabilidad por cualquier daño a personas o propiedad que resulte de cualquier idea, método, instrucción o producto mencionado en el contenido.