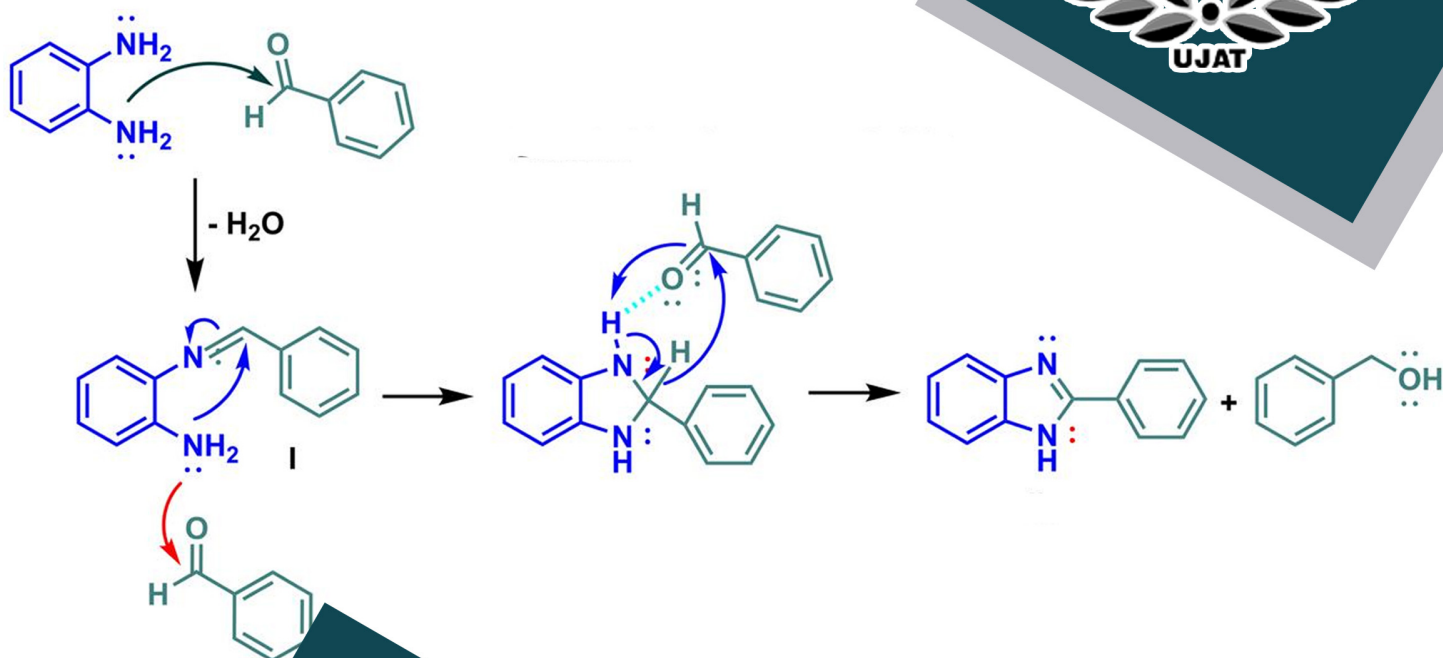




UJAT

UNIVERSIDAD JUÁREZ
AUTÓNOMA DE TABASCO

“ESTUDIO EN LA DUDA. ACCIÓN EN LA FE”



JOBS π \ddot{a}_x

DACB • UJAT

Journal of Basic Sciences

Volúmen 12
Número 33
enero-abril 2026

ISSN:2448-4997
<https://revistajobs.ujat.mx>

OPEN  ACCESS





En este número del Journal of Basic Sciences, se reúne un conjunto de resultados de investigaciones que, abarcando diversas áreas del conocimiento, presentan un punto de convergencia dado por la búsqueda de soluciones a diversos desafíos de nuestra realidad actual.

De esta forma, en el estudio sobre la gamificación sobre la enseñanza de las matemáticas, se presenta un acercamiento hacia la inclusión educativa, ya que se demuestra que mediante el uso adecuado de herramientas lúdicas y digitales es posible reducir la ansiedad y potenciar la autonomía en estudiantes con necesidades educativas especiales; señalando que la transformación de las aulas, hacia sitios en donde se fomente la participación activa de los estudiantes, se facilita enormemente mediante la aplicación adecuada de este tipo de estrategias.

En otro orden de ideas, la segunda contribución presenta una metodología basada en el principio de la química verde para la síntesis de benzimidazoles; empleando ultrasonido y aplicando un proceso que elimina el uso de disolventes nocivos, se llega a optimizar el tiempo de reacción, logrando buenos rendimientos. Siguiendo esta tendencia de optimización de procesos y aprovechamiento integral de recursos, en el tercer artículo se analiza el potencial de transformación microbiana del bagazo de malta de cebada; mediante la modificación planteada, se mejora la composición de este subproducto de la industria cervecera, lo que permite su aplicación hacia el desarrollo de alimentos funcionales.

La gestión adecuada del entorno es el tema central de dos contribuciones incluidas en este número. Por un lado, se presenta el uso exitoso de *Sagittaria lancifolia* para efectuar procesos de remediación de aguas residuales agrícolas en Tabasco. Por otro lado, se rescata la dimensión social a través de un estudio cualitativo de memoria ambiental, mediante la recuperación de narrativas locales sobre la erupción del volcán El Chichonal del año 1982, se destaca cómo los habitantes de la comunidad Aquiles Serdán dan significado a los cambios en su paisaje fluvial y agrícola, mostrando un registro de resiliencia que va más allá de los datos geológicos.

Por último, en dos artículos se abordan aspectos relativos a la salud pública y el impacto de contextos críticos. Así, se presenta un análisis sobre la prevalencia de anemia en estudiantes de nuevo ingreso en la UJAT, subrayando la necesidad de mantener una vigilancia epidemiológica constante que coadyuve a asegurar el desarrollo integral de los miembros de la comunidad universitaria. Por último, se incluye un estudio sobre los hábitos de sueño durante el periodo de aislamiento provocado por la pandemia de COVID-19, donde se advierten alteraciones psicológicas persistentes derivadas del confinamiento.

En síntesis, el conjunto de contribuciones que integra este número, ofrece un panorama en donde se muestra cómo la ciencia no solo busca la explicación de fenómenos aislados, sino que la aplicación del conocimiento científico lleva a la articulación de respuestas ante diversas problemáticas, en una búsqueda de una sociedad más sustentable y en equilibrio con su entorno.

DIRECTORIO INSTITUCIONAL

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco

Lic. Guillermo Narváez Osorio.
Rector

Dr. Luis Manuel Hernández Govea.
Secretario de Servicios Académicos

Dr. Wilfrido Miguel Contreras Sánchez.
Secretario de Investigación, Posgrado y Vinculación

Dr. Pablo Marín Olán. Director de Difusión,
Divulgación Científica y Tecnológica

Directorio Divisional División Académica de Ciencias Básicas

Dra. Hermicenda Pérez Vidal.
Directora

Dr. Luis Manuel Martínez González.
Coordinador de Investigación

M.C. Abel Cortazar May.
Coordinador de Docencia

L.Q. Esmeralda León Ramos.
Coordinador de Difusión Cultural y Extensión

CONSEJO EDITORIAL

- **Dr. Carlos Ernesto Lobato García.** Editor en Jefe. DACB, Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, <https://orcid.org/0000-0003-3734-7780>
- **Dr. Adib Abiu Silahua Pavón.** Gestor Editorial. DACB, Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, <https://orcid.org/0000-0001-5344-1430>

COMITÉ EDITORIAL

- **Mtra. Claudia Gisela Vázquez Cruz.** Editora Asociada. Actuaría. DACB, Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, <https://orcid.org/0009-0002-1791-5621>
- **Mtra. María Hortensia Almaguer Cantú.** Editora Asociada. Ciencias de la Computación. DACB, Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, <https://orcid.org/0009-0007-7839-9014>
- **Dr. José Arnold González Garrido.** Editor Asociado. Ciencias Farmacéuticas. DACB, Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. <https://orcid.org/0000-0003-1135-4050>
- **Dr. José Luis Benítez Benítez.** Editor Asociado. Física. DACB, Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. <https://orcid.org/0009-0000-0561-5029>
- **Mtro. Guillermo Chávez Hernández.** Editor Asociado. Geofísica. DACB, Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, <https://orcid.org/0000-0002-3555-9678>
- **Dra. Addy Margarita Bolívar Cimé.** Editora Asociada. Matemáticas. DACB, Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, <https://orcid.org/0000-0002-7342-0888>
- **Dra. Nancy Romero Ceronio.** Editora Asociada. Química. DACB, Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, <https://orcid.org/0000-0001-8169-3811>

JOURNAL OF BASIC SCIENCES, Vol. 12, Núm. 33, abril de 2026, es una publicación continua cuatrimestral, editada por la División Académica de Ciencias Básicas de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, Av. Universidad S/N, Zona de la Cultura, Col. Magisterial, C.P. 86040, Villahermosa Tabasco, México. Tel. (+52) (933) 358 1500 Ext. 5040. <https://revistajobs.ujat.mx>. Editor Responsable de la Revista: Carlos Ernesto Lobato García. Reserva de derechos al uso exclusivo 04-2015-052110084000-203, ISSN: 2448-4997, ambos otorgado por el Instituto Nacional del Derecho de Autor. Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, Av. Universidad S/N, Zona de la Cultura, Col. Magisterial, Centro, Tabasco. C.P. 86040. Fecha de última actualización, 30 de enero de 2025.

Las opiniones expresadas por los autores no necesariamente reflejan la postura del editor de la publicación y de esta Casa Editora.

Las publicaciones respaldadas con el sello editorial de la UJAT no podrán utilizarse para entrenar modelos de IA generativa, a menos de que haya una declaración expresa, tanto de la Universidad como de los autores y/o herederos.

CONTENIDO

	Pág.
Effectiveness of gamification in teaching mathematics to students with special educational needs	1-14
Síntesis de derivados de benzimidazoles (2-aryl-1H-benzo[d]imidazoles) promovida por energía ultrasónica, en ausencia de solventes y catalizadores	15-26
Modificación secuencial del bagazo de cebada mediante ultrasonido e hidrólisis enzimática	27-41
<i>Sagittaria lancifolia</i> en la remoción de DQO y nutrientes de efluentes agrícolas con humedales artificiales de flujo subsuperficial	42-58
Percepciones comunitarias sobre caída de ceniza del volcán El Chichonal en el paisaje fluvial de Aquiles Serdán, Tabasco	59-72
Prevalencia de anemia de universitarios de la unidad Chontalpa-UJAT	73-82
Hábitos de Sueño en Aislamiento Social por la Pandemia de COVID-19	83-91

Modificación secuencial del bagazo de cebada mediante ultrasonido e hidrólisis enzimática

Sequential modification of brewers' spent grain by ultrasound and enzymatic hydrolysis

**Primo-Mora A.R.^{1*}, Aparicio-Saguilán A.², Páramo-Calderón, D.E.², Sánchez-Ocampo P.M.²
, Utrilla-Coello, R.G.³**

¹División de estudios de posgrado. Doctorado en Biotecnología. Universidad del Papaloapan. Tuxtpec, Oaxaca, México.

²Centro de Investigaciones Científicas. Instituto de Biotecnología. Universidad del Papaloapan. Tuxtpec, Oaxaca, México.

³Tecnológico Nacional de México TecNM. Campus Acapulco de Juárez, Guerrero. México.

* aprimo@unpa.edu.mx

Resumen

El bagazo de malta de cebada (BSG), subproducto abundante de la industria cervecera, contiene fibra dietética y compuestos fenólicos con potencial funcional. Este estudio evaluó la modificación del BSG mediante un tratamiento secuencial consistente en ultrasonido (US, 80% amplitud, 30 min) seguido de hidrólisis enzimática con Driselasa por 1 y 4 h (HE, 1-4h) para mejorar sus propiedades funcionales y antioxidantes. La densidad aparente permaneció estable entre tratamientos (0.286-0.313 g/cm³). El US incrementó la capacidad de hinchamiento (15%), retención de agua (22%) y retención de aceite (54%) comparado con el BSG nativo. Los tratamientos secuenciales US→HE atenuaron parcialmente estos efectos. El contenido de fenoles totales disminuyó en muestras tratadas (31-45%), mientras que la capacidad antirradical DPPH aumentó en US→HE (14%) y la actividad ABTS apareció únicamente en muestras tratadas, maximizándose con US→HE-4h. Los tratamientos liberan compuestos fenólicos más reactivos pese a la reducción del contenido total. La modificación del BSG proporciona ingredientes mejorados para el desarrollo de alimentos funcionales.

Palabras claves: *Hidrólisis enzimática, ultrasonido, bagazo de cebada, propiedades funcionales.*

Abstract

Brewer's spent grain (BSG), an abundant byproduct of the brewing industry, contains dietary fiber and phenolic compounds with functional potential. This study evaluated the sequential modification of BSG through ultrasound (US, 80% amplitude, 30 min) followed by Driselase enzymatic hydrolysis 1 and 4 h (EH, 1-4h) to improve its functional and antioxidant properties. Bulk density remained stable across treatments (0.286-0.313 g/cm³). US increased swelling capacity (15%), water holding capacity (22%), and oil holding capacity (54%) compared to native BSG. Sequential US→EH treatments partially attenuated these effects. Total phenolic content decreased in treated samples (31-45%), while DPPH antiradical capacity increased in US→EH treatments (14%) and ABTS activity appeared only in treated samples, maximizing with US→EH-4h. Treatments release more reactive phenolic compounds despite reduced total content. BSG modification provides improved functional ingredients for the development of functional foods.

Keywords: *Enzymatic hydrolysis, ultrasound, brewer's spent grain, functional properties.*

Recibido: 17-septiembre-2025, Aceptado: 19-febrero-2026, Publicado: 30-abril-2026

1. Introducción

El desarrollo de alimentos funcionales representa una de las tendencias más significativas en la industria alimentaria moderna, impulsado por la creciente demanda de productos que proporcionen beneficios nutricionales y para la salud más allá de la nutrición básica [1]. Estos alimentos han demostrado su capacidad para prevenir enfermedades crónicas como la diabetes y enfermedades cardiovasculares, modular la microbiota intestinal y aportar compuestos bioactivos con propiedades antioxidantes y cardioprotectoras [2]. La investigación en esta área se ha centrado en identificar y utilizar ingredientes novedosos, a menudo derivados de fuentes sostenibles, que puedan ser incorporados en formulaciones alimentarias para generar estos efectos beneficiosos [3].

Paralelamente, la valorización de residuos agroindustriales ha emergido como una estrategia crucial para la sostenibilidad, la economía circular y la reducción del desperdicio en la industria alimentaria [4]. En este contexto, el bagazo de malta de cebada (BSG, por sus siglas en inglés) destaca como el subproducto más abundante de la industria cervecera, con una generación estimada de 39 millones de toneladas anuales a nivel mundial [5]. Este residuo, compuesto principalmente por paredes celulares ricas en fibra dietética (60-70% en base seca), proteínas (15-25%), β -glucanos, arabinosilanos y compuestos fenólicos, posee un potencial significativo como ingrediente funcional [6]. Su aprovechamiento no solo aborda un problema ambiental, sino que también ofrece una oportunidad económica para la industria, al transformar un desecho en un producto de valor añadido. A pesar de su rica composición, la estructura lignocelulósica compleja del BSG limita la biodisponibilidad de sus nutrientes y la liberación de los compuestos bioactivos, restringiendo su aplicación directa en formulaciones alimentarias [7]. Para superar esta barrera, la industria y la academia han explorado diversas estrategias. Estudios previos han utilizado tratamientos individuales, como el uso de enzimas (celulasas y hemicelulasas) para hidrolizar la matriz de fibra y mejorar su digestibilidad [8], y el ultrasonido de alta potencia para romper las paredes celulares y facilitar la extracción de compuestos bioactivos [9, 10]. Sin embargo, la investigación ha sido limitada en cuanto a la comparación sistemática de estos métodos. El efecto comparativo del tratamiento ultrasónico y, especialmente, la sinergia generada por su aplicación secuencial con la hidrólisis enzimática, sobre las propiedades funcionales y antioxidantes del BSG, sigue siendo un área poco explorada [11].

Considerando que el tratamiento ultrasónico puede influir en la actividad enzimática mediante el fenómeno de cavitación acústica, facilitando la ruptura de paredes celulares y mejorando el acceso de las enzimas a sus sustratos específicos [12], la modificación secuencial (US \rightarrow HE) podría potenciar la liberación y estabilidad de los compuestos fenólicos. La comprensión de cómo estos tratamientos modifican la matriz del BSG es crucial para maximizar la funcionalidad del subproducto y su viabilidad como ingrediente. Por lo tanto, el objetivo de este estudio fue comparar el efecto del tratamiento ultrasónico y su combinación secuencial con hidrólisis enzimática con Driselasa sobre las propiedades funcionales y antioxidantes del BSG, buscando una estrategia más eficiente y sostenible para su revalorización y su integración en la cadena alimentaria.

2. Metodología Experimental

2.1. Obtención y acondicionamiento del bagazo de cebada

El BSG se obtuvo de una cervecera local en Tuxtepec, Oaxaca, México. El material se recolectó en diciembre de 2024, inmediatamente después de la filtración del mosto, para garantizar su frescura y minimizar la variabilidad estacional debida a factores ambientales como humedad y temperatura. Se obtuvieron aproximadamente 60 kg de BSG en peso fresco, en lotes controlados para asegurar homogeneidad. El BSG fresco se transportó al laboratorio en contenedores aislados a temperatura ambiente (≈ 30 °C) en un tiempo máximo de 30 min, con el objetivo de prevenir fermentación secundaria o

contaminación microbiológica. En el laboratorio, el material se lavó con agua purificada hasta que el efluente permaneció transparente, eliminando impurezas y azúcares residuales. Posteriormente, el BSG lavado se deshidrató en un horno convectivo (SUCESA, México) a 45 °C, con una velocidad de aire de 1 m/s durante 24 h. El bagazo seco se molió en una licuadora (Nutribullet, modelo NBF50400, EE. UU.) y se tamizó mediante un tamiz No. 40 (425 µm) para obtener una distribución homogénea del tamaño de partícula. Finalmente, el material procesado se almacenó en recipientes herméticamente sellados a temperatura ambiente hasta su análisis.

2.2. Tratamiento ultrasónico

El BSG se sometió a un tratamiento de ultrasonido de alta potencia utilizando un equipo Sonics Vibra-Cell VCX-130, operando a 130 W y 22 kHz. Se empleó un sonotrodo de titanio de ½ pulgada de diámetro para transmitir las ondas ultrasónicas a la muestra. El BSG se dispersó en agua destilada en una proporción 1:15 (BSG:agua) en un vaso de precipitados de 400 mL, preparando muestras individuales de 10 g de BSG con 150 mL de agua. El tratamiento se realizó con una amplitud del 80%, aplicando ciclos de 30 s de ultrasonido activo seguidos de 30 s de inactividad, durante un tiempo total de 30 min. El sonotrodo se posicionó a 1.5 cm del fondo del recipiente para asegurar una distribución homogénea de la energía ultrasónica en toda la muestra. Durante el proceso, las muestras se mantuvieron en un baño de agua a 2 °C para evitar un aumento excesivo de la temperatura. Al finalizar el tratamiento, las muestras se deshidrataron en un horno de convección a 45 °C hasta alcanzar peso constante. El material seco se almacenó en recipientes herméticamente sellados a temperatura ambiente hasta su posterior hidrólisis.

2.3. Hidrólisis enzimática secuencial posterior al tratamiento ultrasónico

Tras el acondicionamiento del material pretratado, se procedió con la hidrólisis enzimática utilizando Driselasa (Sigma-Aldrich), obtenida de basidiomicetos. Esta enzima, que contiene celulasa, xilanasas y laminarinasa, es eficaz en la degradación de las paredes celulares vegetales. Para ello, se tomaron 10 g del BSG previamente sometido a ultrasonido y secado, los cuales se suspendieron en 150 mL de buffer de acetato de sodio 10 mM. Se adicionaron 20 mg de Driselasa y se ajustó el pH a 4.5 con ácido cítrico, condiciones óptimas para la actividad enzimática. La mezcla se incubó a 37 °C durante dos tiempos distintos: 1 h y 4 h, con el objetivo de evaluar el efecto de la duración de la incubación sobre la eficiencia de la hidrólisis. La reacción se detuvo mediante calentamiento a 100 °C, asegurando la inactivación completa de la enzima. Posteriormente, el BSG modificado secuencialmente se secó a 45 °C durante 24 h y se reservó para su caracterización.

2.4. Densidad aparente (DA)

La densidad aparente del BSG se determinó mediante un método gravimétrico, siguiendo el procedimiento descrito por [13]. Se pesó con precisión 1 g de BSG seco y se transfirió cuidadosamente a una probeta graduada de 10 mL, evitando la compactación del material. Se registró el volumen ocupado por el BSG y se calculó la densidad aparente utilizando la siguiente fórmula:

$$DA \left(\frac{\text{g}}{\text{cm}^3} \right) = \frac{\text{Masa del BSG (g)}}{\text{Volumen del BSG (cm}^3\text{)}}$$

2.5. Capacidad de hinchamiento (CH)

La capacidad de hinchamiento del BSG se evaluó mediante la medición del volumen de agua absorbido por una masa conocida de muestra a lo largo del tiempo [13]. Para ello, se pesó 1 g de BSG seco y se colocó en un tubo de ensayo de 15 mL. Se añadió agua destilada hasta alcanzar un volumen total de 10 mL y se

dejó reposar la muestra durante 2 h. Se realizaron mediciones del volumen ocupado por la fibra hidratada a intervalos regulares: 0 (inicio), 15, 30, 45, 60, 90 y 120 min. La capacidad de hinchamiento, expresada en cm^3/g , se calculó como el incremento de volumen por unidad de masa de BSG, utilizando la siguiente fórmula:

$$\text{CH} \left(\frac{\text{cm}^3}{\text{g}} \right) = \frac{\text{Volumen ganado por el BSG (cm}^3\text{)}}{\text{Masa del BSG (g)}}$$

2.6. Capacidad de retención de agua (CRA)

La capacidad de retención de agua (CRA) del BSG se determinó siguiendo el método descrito por [14], con ligeras modificaciones. Se pesaron 0.2 g de BSG seco y se colocaron en tubos de centrifuga de 15 mL con 6 mL de agua destilada. Las muestras se agitaron continuamente durante 18 h a temperatura ambiente (~ 22 °C) y posteriormente se centrifugaron a $4500 \times g$ durante 25 min a 22 °C. Tras eliminar el sobrenadante, se registró la masa del residuo hidratado. La CRA se calculó mediante la ecuación:

$$\text{CRA} \left(\frac{\text{g}}{\text{g}} \right) = \frac{\text{Masa de agua retenida por la muestra (g)}}{\text{Masa del BSG (g)}}$$

2.7. Capacidad de retención de aceite (CRa)

La capacidad de retención de aceite (CRa) del BSG se determinó mediante una adaptación del método descrito por [13]. Se pesaron 2 g de BSG seco y se mezclaron con 20 mL de aceite de maíz en un tubo Falcon de 50 mL. La mezcla se agitó suavemente cada 5 min durante 30 min a temperatura ambiente (~ 22 °C) para asegurar un contacto adecuado entre el BSG y el aceite. Posteriormente, la mezcla se centrifugó a $2000 \times g$ durante 25 min para separar la fase sólida (BSG con aceite retenido) de la fase líquida (aceite no retenido). La CRa se calculó como la relación entre la masa de aceite retenido y la masa inicial de BSG seco, usando la ecuación:

$$\text{CRa} \left(\frac{\text{g}}{\text{g}} \right) = \frac{\text{Masa de aceite retenido por la muestra (g)}}{\text{Masa del BSG (g)}}$$

2.8. Determinación de fenoles totales

El contenido de fenoles totales se determinó mediante el método de Folin-Ciocalteu según [15], con modificaciones. Se mezclaron 100 μL del extracto con 6 mL de agua destilada, 0.5 mL de reactivo Folin-Ciocalteu y, tras 5 min, 1.5 mL de Na_2CO_3 al 20% (p/v); el volumen se ajustó a 10 mL con agua destilada. Las soluciones se incubaron 2 h a 25 ± 1 °C y se midió la absorbancia a 765 nm. La curva de calibración se construyó con ácido gálico (0.025–0.8 mg/mL en etanol al 80%). El blanco se preparó sustituyendo la muestra por disolvente, y los resultados se expresaron como mg equivalentes de ácido gálico (mg GAE) por g de bagazo de malta de cebada (base seca).

2.9. Actividad antirradical (DPPH)

La actividad antioxidante por DPPH se determinó según [16], con modificaciones. Se mezclaron 3.9 mL de solución de DPPH (0.025 mg/mL en metanol) y 0.1 mL del extracto de bagazo de malta de cebada. La mezcla se incubó 90 min en oscuridad a 25 ± 1 °C y se midió la absorbancia a 517 nm. La referencia se preparó sustituyendo la muestra por etanol al 80%. La curva de calibración se construyó con Trolox (0.025–0.8 mg/mL en etanol al 80%). Todas las determinaciones se realizaron por triplicado.

2.10. Actividad antirradical (ABTS)

La capacidad antioxidante por ABTS•+ se evaluó según [17]. El radical se generó mezclando ABTS (0.0384 g/5 mL) y persulfato de potasio (0.0066 g/5 mL), incubado 16 h en oscuridad a 25 ± 1 °C. La solución se diluyó con etanol absoluto hasta una absorbancia de 0.70 ± 0.05 a 734 nm. Para el ensayo, se mezclaron 980 μ L de la solución radical y 20 μ L del extracto de bagazo de malta de cebada; tras 7 min de incubación se midió la absorbancia a 734 nm. El blanco se preparó sustituyendo la muestra por etanol al 80%, y todas las determinaciones se realizaron por triplicado.

3. Resultados

3.1. Densidad aparente (DA)

La densidad aparente varió mínimamente entre tratamientos (0.286-0.313 g/cm³; $p > 0.05$) (Figura 1). Este comportamiento concuerda con estudios previos que reportan estabilidad de este parámetro bajo procesamiento moderado en subproductos cerveceros, indicando que la densidad aparente es relativamente resistente a modificaciones estructurales superficiales [18].

El ultrasonido incrementó ligeramente la densidad aparente (0.313 g/cm³ vs 0.286 g/cm³ del nativo). Este efecto se atribuye a la cavitación acústica, donde las ondas ultrasónicas generan burbujas microscópicas que colapsan violentamente, produciendo fuerzas de cizalla que fragmentan las partículas y reorganizan la estructura lignocelulósica hacia un empaquetamiento más compacto [19]. La reducción de espacios intersticiales resultante, consolidada durante el proceso de secado posterior al ultrasonido, explica el incremento observado en la densidad aparente.

Los tratamientos secuenciales (US→HE-1h y US→HE-4h) revirtieron este efecto, retornando a los valores del control (0.286 g/cm³). Esta reversión refleja un mecanismo de acción donde la hidrólisis enzimática actúa sobre la matriz previamente modificada por el ultrasonido. La Driselasa, con actividades celulasa y hemicelulasa, hidroliza específicamente enlaces β -1,4-glucosídicos en celulosa y degrada arabinosilanos presentes en la pared celular del BSG [20]. Esta degradación enzimática selectiva sobre la estructura pretratada genera cavidades microscópicas y aumenta la porosidad interna, contrarrestando efectivamente la compactación inicial inducida por el ultrasonido [21]. El tiempo de hidrólisis (1h vs 4h) no mostró diferencias, sugiriendo que la degradación enzimática alcanza un equilibrio estructural temprano bajo las condiciones evaluadas.

Los valores obtenidos (0.286-0.313 g/cm³) se mantienen consistentemente dentro del rango reportado para BSG procesado (0.25-0.35 g/cm³) [18], confirmando que los tratamientos preservan las características físicas básicas del material dentro de parámetros industrialmente aceptables. Esta consistencia es importante considerando que desviaciones significativas podrían limitar la aplicabilidad del BSG modificado en formulaciones comerciales.

Desde una perspectiva tecnofuncional, la estabilidad de la densidad aparente presenta ventajas operacionales significativas. Este parámetro influye directamente en la fluidez del material durante mezclado, su comportamiento de sedimentación en suspensiones, y las características volumétricas del producto final [22]. Una densidad aparente predecible facilita la dosificación automatizada, mejora la reproducibilidad en procesos de formulación, y permite un control más preciso de la textura en aplicaciones como productos de panadería, donde el volumen específico es crítico [23]. Adicionalmente, la consistencia de este parámetro simplifica los cálculos de escalamiento industrial y reduce la variabilidad lote a lote.

La estabilidad observada sugiere que las modificaciones estructurales inducidas por la secuencia de tratamientos ocurren principalmente a nivel microestructural sin afectar significativamente el comportamiento macroscópico. Sin embargo, es importante reconocer que la densidad aparente puede no

reflejar completamente las modificaciones microestructurales como cambios en porosidad interna, distribución de tamaños de poro, o área superficial específica [24]. Estas propiedades, relevantes para la funcionalidad del BSG en aplicaciones específicas, requieren técnicas de caracterización complementarias para una evaluación integral del impacto del proceso secuencial sobre la estructura del material.

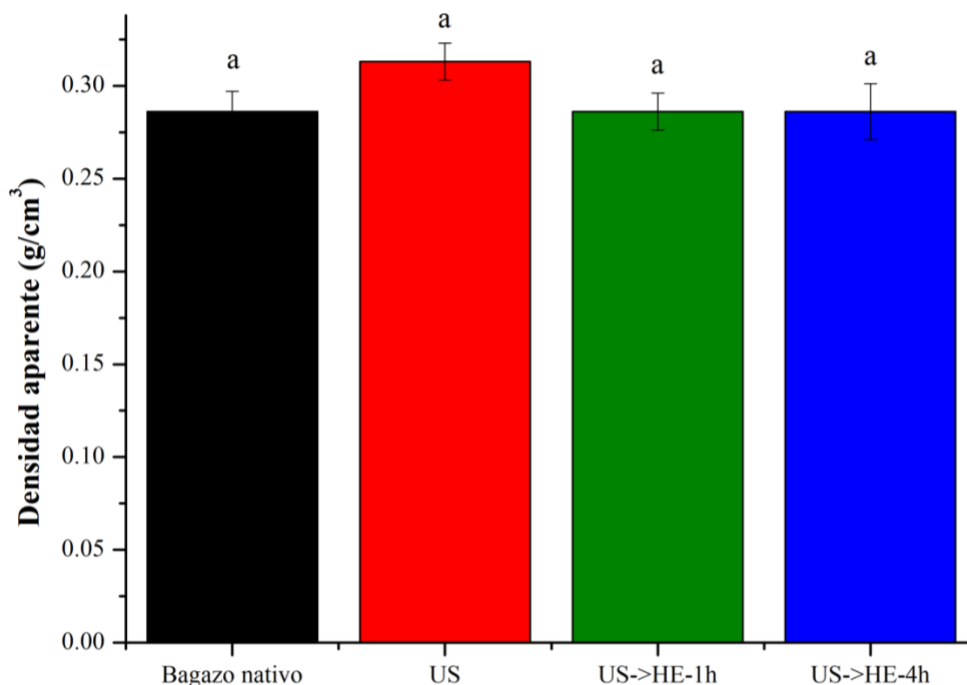


Figura 1. Densidad aparente del bagazo de cebada nativo y modificado mediante ultrasonido (US) y del proceso secuencial de ultrasonido seguido de hidrólisis enzimática (US→HE).

3.2. Capacidad de hinchamiento (CH)

La capacidad de hinchamiento mostró un incremento rápido en los primeros 30 min, alcanzando el equilibrio a los 180 min (Figura 2). Este comportamiento es típico de matrices ricas en fibra insoluble, donde la absorción inicial de agua es rápida hasta aproximarse al equilibrio de hidratación [25]. El ultrasonido alcanzó la mayor CH en equilibrio (~ 7.0 cm³/g vs 6.1 cm³/g del nativo), representando un incremento del 15%. Los tratamientos secuenciales (US→HE-1h y US→HE-4h) mostraron valores similares al BSG nativo (~ 6.1 -6.2 cm³/g), sin diferencias entre tiempos de hidrólisis. La superioridad del ultrasonido se atribuye a la cavitación acústica, que disrumpe enlaces de hidrógeno, desagrega la red lignocelulósica y expone grupos hidrofílicos, incrementando la porosidad y área superficial efectiva para captación de agua [26]. Los tratamientos secuenciales no mostraron sinergia para esta propiedad, retornando a valores del control. La cavitación acústica probablemente maximizó la exposición de sitios hidrofílicos disponibles, pero la posterior hidrólisis enzimática puede generar fragmentos solubles que no contribuyen al volumen de hinchamiento [26, 27]. Los valores obtenidos se mantuvieron dentro de rangos reportados para BSG [18]. La mejora del 15% con ultrasonido es relevante considerando que la CH influye directamente en la textura y aceptabilidad de algunos alimentos [28]. El ultrasonido resultó ser el método más eficiente para maximizar la CH, superando incluso a los tratamientos secuenciales. Este hallazgo es particularmente relevante para aplicaciones alimentarias donde una alta retención de agua es un factor crítico [29]. Si bien los tratamientos secuenciales no destacaron en este aspecto, podrían ofrecer ventajas

significativas en otros atributos funcionales, por lo que su evaluación debe ser específica para cada aplicación.

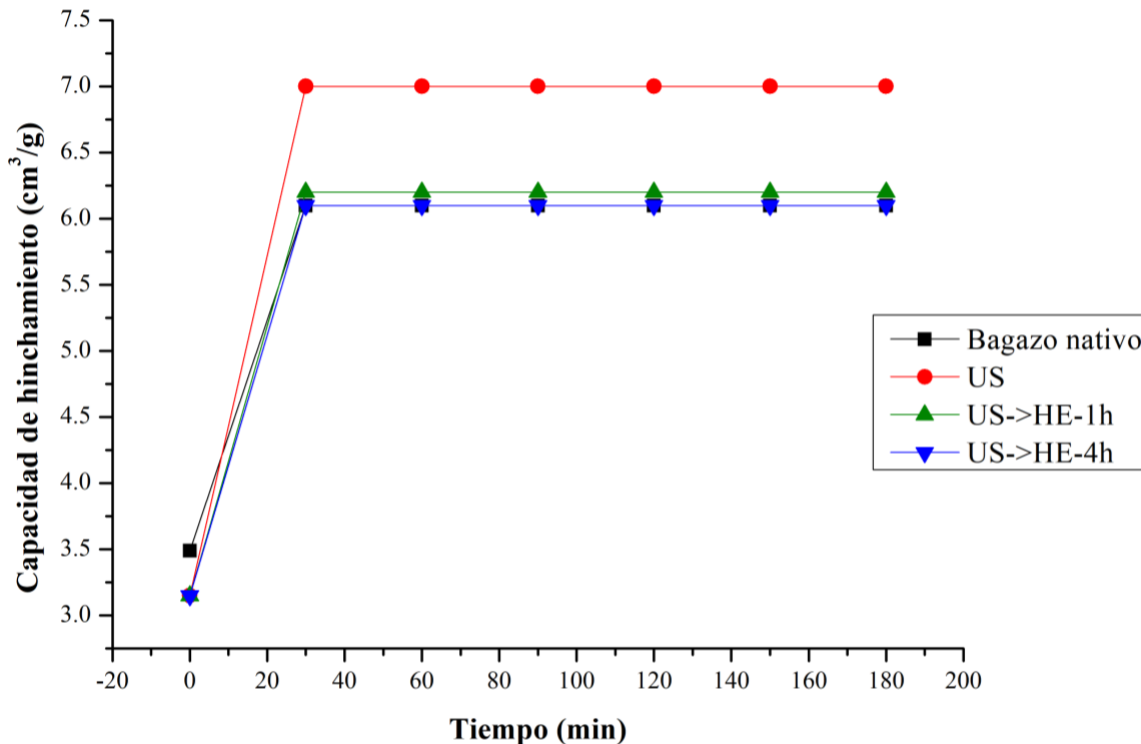


Figura 2. Capacidad de hinchamiento del bagazo de cebada nativo y modificado mediante ultrasonido (US) y del proceso secuencial de ultrasonido seguido de hidrólisis enzimática (US→HE).

3.3. Capacidad de retención de agua (CRA)

La capacidad de retención de agua mostró diferencias significativas entre tratamientos (Figura 3). El BSG nativo presentó una CRA de 3.43 g/g, mientras que el ultrasonido la incrementó significativamente hasta 4.18 g/g ($p < 0.05$), representando un aumento del 22%. Los tratamientos secuenciales (US→HE-1h y US→HE-4h) mostraron valores intermedios (3.85 y 3.81 g/g, respectivamente), superiores al nativo, pero inferiores al ultrasonido solo.

El incremento significativo con ultrasonido se atribuye a la cavitación acústica, que disrumpe la estructura lignocelulósica, incrementa la porosidad y expone grupos hidrofílicos (hidroxilos de celulosa y hemicelulosa), facilitando la interacción agua-matriz [26, 30]. La hidrólisis enzimática subsecuente redujo la CRA comparado con ultrasonido solo, aunque manteniéndose superior al control. Esta reducción puede atribuirse a la generación de fragmentos de bajo peso molecular que se liberan de la matriz, reduciendo la capacidad estructural de retención [27]. Adicionalmente, la degradación enzimática de arabinosilanos y β -glucanos puede alterar la red tridimensional responsable de la retención física del agua [31].

La ausencia de diferencias entre 1h y 4h de hidrólisis (3.85 vs 3.81 g/g) sugiere que las modificaciones estructurales alcanzan equilibrio temprano bajo las condiciones evaluadas, indicando que tiempos prolongados no proporcionan beneficios adicionales para este parámetro. Los valores obtenidos (3.43-4.18 g/g) se encuentran dentro del rango reportado para BSG (3.0-5.0 g/g) [18], confirmando la efectividad de los tratamientos. La mejora del 22% con ultrasonido es tecnológicamente relevante, considerando que la

CRA influye directamente en la textura y estabilidad durante almacenamiento en productos cárnicos, panadería y análogos vegetales [32].

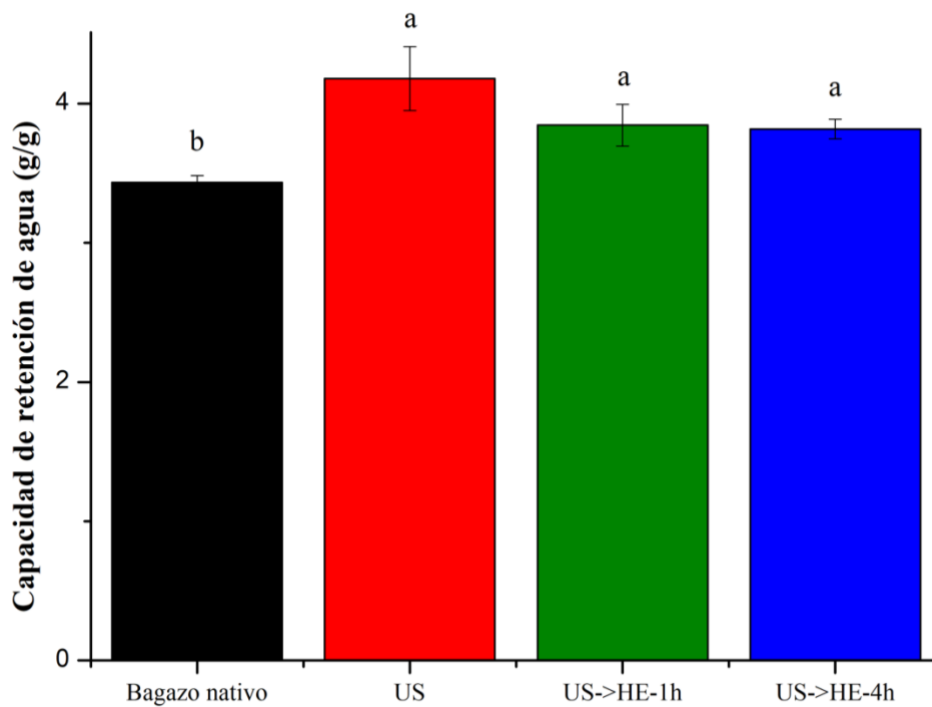


Figura. 3. Capacidad de retención de agua del bagazo de cebada nativo y modificado mediante ultrasonido (US) y del proceso secuencial de ultrasonido seguido de hidrólisis enzimática (US→HE).

3.4. Capacidad de retención de aceite (CRA)

La capacidad de retención de aceite mostró diferencias significativas entre tratamientos (Figura 4). El BSG nativo presentó una CRA de 1.69 g/g, mientras que el ultrasonido la incrementó significativamente hasta 2.61 g/g ($p < 0.05$), representando un aumento del 54%. Los tratamientos secuenciales (US→HE-1h y US→HE-4h) mostraron valores intermedios (2.15 y 2.10 g/g, respectivamente), superiores al nativo, pero inferiores al ultrasonido solo.

El incremento con ultrasonido se atribuye a la alteración de la estructura microfibrilar por cavitación acústica, que aumenta la porosidad y expone grupos hidrofóbicos capaces de interactuar con lípidos [33]. La disrupción de la matriz lignocelulósica crea cavidades adicionales que facilitan la captación y retención de aceite mediante interacciones hidrofóbicas y atrapamiento físico [34].

La hidrólisis enzimática subsecuente redujo parcialmente la CRA comparado con ultrasonido solo. Esta reducción puede explicarse por la degradación enzimática de componentes estructurales que generan sitios de retención, liberando fragmentos que no contribuyen a la capacidad de retención [35]. La ausencia de diferencias entre 1h y 4h indica que las modificaciones estructurales alcanzan equilibrio temprano.

Los valores obtenidos (1.69-2.61 g/g) se encuentran en el rango superior reportado para BSG procesado [18], confirmando la efectividad de los tratamientos. Desde una perspectiva tecnológica, la alta CRA mejora la retención de aceite en productos de panadería, reduce la sinéresis en embutidos y contribuye a la estabilidad durante almacenamiento [36]. Nutricionalmente, la capacidad de retención de aceite puede contribuir a la regulación de la absorción lipídica en el tracto gastrointestinal, con efectos potenciales sobre el colesterol sérico [37].

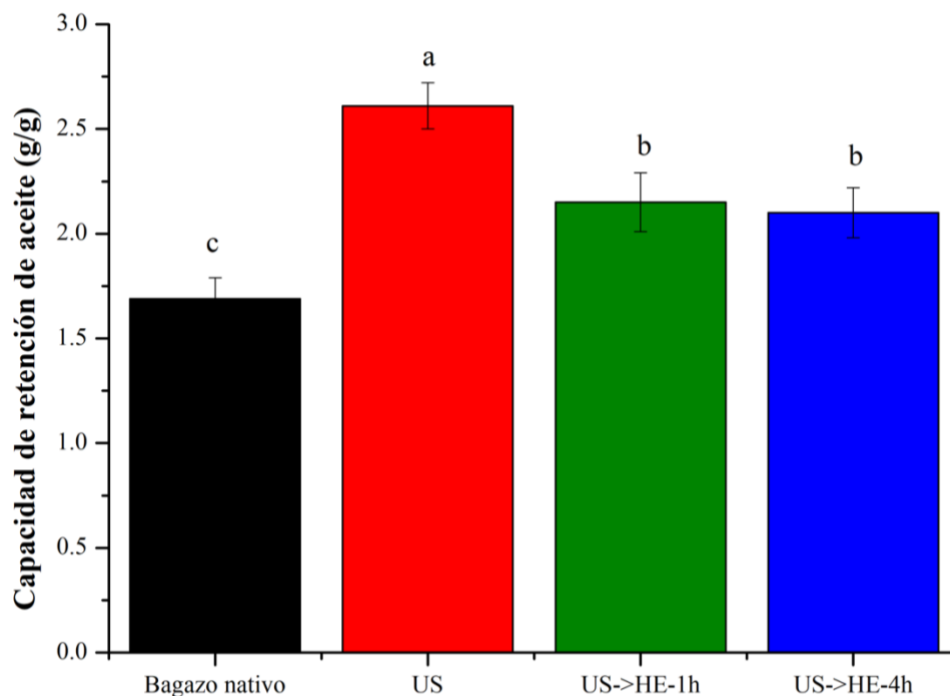


Figura. 4. Capacidad de retención de aceite del bagazo de cebada nativo y modificado mediante ultrasonido (US) y del proceso secuencial de ultrasonido seguido de hidrólisis enzimática (US→HE).

3.5. Contenido de fenoles totales y capacidad antirradical (DPPH y ABTS)

El contenido de fenoles totales (CFT) mostró diferencias significativas entre tratamientos (Tabla 1). El BSG nativo presentó la mayor concentración (1.62 mg EAG/g), mientras que todos los tratamientos redujeron significativamente este valor (0.89-1.10 mg EAG/g; $p < 0.05$). Esta reducción puede atribuirse a la degradación parcial o liberación de compuestos fenólicos durante los tratamientos [38].

La capacidad antirradical DPPH mostró un comportamiento diferente. Los tratamientos secuenciales (US→HE-1h y US→HE-4h) alcanzaron valores superiores al nativo (0.66 y 0.65 vs 0.58 mg ET/g; $p < 0.05$), mientras que el ultrasonido solo mantuvo valores similares al control. Este incremento sugiere la liberación de compuestos fenólicos de bajo peso molecular con mayor actividad específica [39].

La capacidad antirradical ABTS mostró actividad únicamente en las muestras tratadas. El BSG nativo no presentó actividad detectable, mientras que todos los tratamientos mostraron actividad significativa. El tratamiento secuencial US→HE-4h alcanzó el valor más alto (0.81 mg ET/g), superior al ultrasonido solo (0.71 mg ET/g). Esta actividad indica afinidad de los fenoles liberados hacia el radical ABTS hidrofílico [40].

La reducción del CFT acompañada del incremento en capacidad antirradical se explica por cambios en el perfil y estado de los compuestos fenólicos. La cavitación acústica puede romper enlaces éster entre fenoles y componentes de la pared celular, liberando ácidos fenólicos libres más reactivos [41]. La hidrólisis enzimática posterior puede generar agliconas y moléculas de menor peso molecular con mayor accesibilidad y reactividad redox [42, 43].

Los valores de capacidad antirradical obtenidos en este estudio (0.56-0.66 mg ET/g para DPPH y 0.44-0.81 mg ET/g para ABTS) son inferiores a los rangos reportados en la literatura para el bagazo de malta tratado [44]. Esta variación puede deberse a diferencias en el origen de la materia prima, los solventes o los métodos de extracción utilizados. A pesar de esto, el tratamiento del material resultó en una mejora significativa de

su capacidad antirradical. La mejora es particularmente notable en la actividad antioxidante frente al radical ABTS, lo cual es coherente con la literatura que indica que los compuestos fenólicos del bagazo tienen una mayor afinidad por este radical. Este potencial antioxidante demostrado en el material modificado es relevante para su aplicación en el desarrollo de alimentos funcionales. Los resultados indican que, aunque el CFT disminuyó, la eficacia antioxidante se mantuvo o incrementó, sugiriendo una modificación cualitativa del perfil fenólico provocada por la secuencia de tratamientos. Los tratamientos secuenciales US→HE resultan prometedores para maximizar la capacidad antirradical, particularmente frente al radical ABTS, para aplicaciones donde se requiera neutralización de radicales libres.

Tabla 1. Contenido de fenoles totales (CFT) y capacidad antirradical (DPPH y ABTS) del bagazo de malta de cebada nativo, modificado mediante ultrasonido (US) y del proceso secuencial de ultrasonido seguido de hidrólisis enzimática (US→HE) (media +/- desviación estándar).

Muestra	CFT (mg EAG/g s.s.)	DPPH (mg ET/g s.s.)	ABTS (mg ET/g s.s.)
Bagazo nativo	1.62 ± 0.03 ^a	0.58 ± 0.01 ^b	N.D.
US	1.09 ± 0.07 ^b	0.56 ± 0.03 ^b	0.71 ± 0.004 ^b
US→HE-1h	1.10 ± 0.11 ^b	0.66 ± 0.001 ^a	0.44 ± 0.02 ^c
US→HE-4h	0.89 ± 0.03 ^b	0.65 ± 0.008 ^a	0.81 ± 0.005 ^a

N.D: no detectable. Letras diferentes en una misma columna indican que las medias son significativamente diferentes entre sí de acuerdo con la prueba de Tukey ($p < 0.05$).

4. Conclusiones

El tratamiento de ultrasonido (US) y su aplicación secuencial con hidrólisis enzimática (US→HE) modificaron de forma significativa las propiedades tecno-funcionales y antioxidantes del bagazo de malta de cebada (BSG), sin afectar su densidad aparente. El ultrasonido por sí solo aumentó la porosidad y la retención de agua y aceite, mientras que la hidrólisis enzimática realizada de manera posterior equilibró estos efectos. Aunque el contenido fenólico total disminuyó tras los tratamientos, la actividad antioxidante se mantuvo o incluso aumentó debido a la generación de compuestos fenólicos más pequeños y con mayor reactividad provocada por la secuencia del proceso. Las condiciones secuenciales US→HE-4h fueron las más efectivas, destacando en los ensayos DPPH y ABTS. El BSG modificado presenta aplicaciones potenciales en panificación, productos cárnicos, bebidas funcionales y barras energéticas, gracias a su equilibrio hidrofílico-lipofílico y su capacidad antioxidante. No obstante, se requieren estudios adicionales sobre escalabilidad, costos, estabilidad, validación sensorial y bioaccesibilidad. En conjunto, la modificación secuencial físico-enzimática del BSG es una estrategia sostenible y efectiva para valorizar un subproducto agroindustrial, aportando al desarrollo de ingredientes funcionales de nueva generación en el marco de la economía circular.

5. Agradecimientos

El autor expresa su agradecimiento al Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías (CONAHCYT) por el apoyo recibido mediante la Beca para Estudios de Doctorado (CVU: 212346). Asimismo, se agradece a la Universidad del Papaloapan por las facilidades brindadas y el respaldo institucional para la realización de este proyecto.

6. Conflicto de intereses

Los autores manifestamos que no existen conflictos de interés que pudieran condicionar los resultados, el análisis o la interpretación de los datos incluidos en este manuscrito. De igual forma, declaramos que en la elaboración, análisis y desarrollo del presente trabajo no se hizo uso de herramientas de inteligencia artificial.

7. Declaratoria de uso de Inteligencia Artificial

Los autores declaramos que en la elaboración, análisis y desarrollo del presente trabajo no se hizo uso de herramientas de inteligencia artificial.

8. Resumen Grafico



9. Roles de contribución

ROL	AUTORES(AS)
Cocentualización	Utrilla-Coello, R.G.
Investigación	Primo-Mora, A.R.
Metodología	Sánchez-Ocampo, P.M.
Supervisión	Páramo-Calderón, D.E.
Visualización	Páramo-Calderón, D.E.
Escritura-borrador-original	Primo-Mora, A.R.
Escritura-revisión-edición	Aparicio-Saguilán, A.

Nota. Contributor Role Taxonomy (CRediT)

10. Referencias

- [1] Granato, D., Barba, F. J., Bursac Kovačević, D., Lorenzo, J. M., Cruz, A. G., & Putnik, P. (2020). Functional foods: Product development, technological trends, efficacy testing, and safety. *Annual Review of Food Science and Technology*, 11, 93-118. <https://doi.org/10.1146/annurev-food-032519-051708>
- [2] Shahidi, F., & Ambigaipalan, P. (2018). Phenolics and polyphenolics in foods, beverages and spices: Antioxidant activity and health effects—A review. *Journal of Functional Foods*, 18, 820-897. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2015.06.018>
- [3] Galanakis, C. M. (2012). Recovery of high added-value components from food wastes: Conventional, emerging technologies and commercialized applications. *Trends in Food Science & Technology*, 26(2), 68-87. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2012.03.003>
- [4] Trevizan, J., Bido, G., Ferrari, A., & Felipe, D. (2021). Nutritional Composition of Malted Barley Residue from Brewery. *The Journal of Men's Studies*, 11, 27. <https://doi.org/10.5539/jms.v11n1p27>.
- [5] Ikram, S., Huang, L., Zhang, H., Wang, J., & Yin, M. (2017). Composition and nutrient value proposition of brewers spent grain. *Journal of Food Science*, 82(10), 2232-2242. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.13794>.
- [6] Verni, M., Pontonio, E., Krona, A., Jacob, S., Pinto, D., Rinaldi, F., Verardo, V., Díaz-De-Cerio, E., Coda, R., & Rizzello, C. (2020). Bioprocessing of Brewers' Spent Grain Enhances Its Antioxidant Activity: Characterization of Phenolic Compounds and Bioactive Peptides. *Frontiers in Microbiology*, 11. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2020.01831>.
- [7] Bonifácio-Lopes T, Vilas Boas AA, Coscueta ER, Costa EM, Silva S, Campos D, Teixeira JA, Pintado M. Bioactive extracts from brewer's spent grain. *Food Funct.* 2020 Oct 21;11(10):8963-8977. doi: 10.1039/d0fo01426e. Erratum in: *Food Funct.* 2021 Nov 29;12(23):12162. doi: 10.1039/d1fo90072b. PMID: 33001088.
- [8] Lynch, K., Strain, C., Johnson, C., Patangia, D., Stanton, C., Koç, F., Gil-Martínez, J., O'riordan, P., Sahin, A., Ross, R., & Arendt, E. (2021). Extraction and characterisation of arabinoxylan from brewers spent grain and investigation of microbiome modulation potential. *European Journal of Nutrition*, 60, 4393 - 4411. <https://doi.org/10.1007/s00394-021-02570-8>.
- [9] Forssell, P., Kontkanen, H., Schols, H., Hinz, S., Eijssink, V., Treimo, J., Robertson, J., Waldron, K., Faulds, C., & Buchert, J. (2008). Hydrolysis of Brewers' Spent Grain by Carbohydrate Degrading Enzymes. *Journal of The Institute of Brewing*, 114, 306-314. <https://doi.org/10.1002/J.2050-0416.2008.TB00774.X>.

- [10] Alonso-Riaño, P., Diez, M., Blanco, B., Beltrán, S., Trigueros, E., & Benito-Román, Ó. (2020). Water Ultrasound-Assisted Extraction of Polyphenol Compounds from Brewer's Spent Grain: Kinetic Study, Extract Characterization, and Concentration. *Antioxidants*, 9. <https://doi.org/10.3390/antiox9030265>.
- [11] Martín-García, B., Pasini, F., Verardo, V., Díaz-De-Cerio, E., Tylewicz, U., Gómez-Caravaca, A., & Caboni, M. (2019). Optimization of Sonotrode Ultrasonic-Assisted Extraction of Proanthocyanidins from Brewers' Spent Grains. *Antioxidants*, 8. <https://doi.org/10.3390/antiox8080282>.
- [12] Qian, J., Chen, D., Zhang, Y., Gao, X., Xu, L., Guan, G., & Wang, F. (2023). Ultrasound-Assisted Enzymatic Protein Hydrolysis in Food Processing: Mechanism and Parameters. *Foods*, 12. <https://doi.org/10.3390/foods12214027>.
- [13] Naibaho, J., Korzeniowska, M., Wojdyło, A., Figiel, A., Yang, B., Laaksonen, O., Foste, M., Vilu, R., & Viiard, E. (2021). Fiber modification of brewers' spent grain by autoclave treatment to improve its properties as a functional food ingredient. *LWT*, 149, 111877. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.111877>
- [14] Pramana, Y. S., Yulianto, A., Paramitasari, D., Supriyanti, A., & Elisa, S. (2023). Comparison of Dietary Fiber Characteristics Prepared from Cassava Pulp Using Acid-Heat Treatment and Extrusion Process. 1246. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1246/1/012047>
- [15] Yamazaki, E., Murakami, K., & Kurita, O. (2005). Easy preparation of dietary fiber with the high water-holding capacity from food sources. *Plant Foods for Human Nutrition*, 60(1), 17–23. <https://doi.org/10.1007/S11130-005-2537-9>
- [16] Chumark, P., Khunawat, P., Sanvarinda, Y., Phornchirasilp, S., Morales, N. P., Phivthongngam, L., Ratanachamnong, P., Srisawat, S. and Pongrapeeporn, K. S. 2008. The in vitro and ex vivo antioxidant properties, hypolipidaemic and antioatherosclerotic activities of water extract of *Moringa oleifera* Lam Leaves. *Journal of Ethnopharmacology*. 116:439-446
- [17] Siddhuraju, P. y Becker, K. 2003. Antioxidant properties of various solvent extracts of total phenolic constituents from three different agro-climatic origins of drumstick tree (*Moringa oleifera* Lam.). *J. Agric. Food. Chem.* 51(8) 2144-2155.
- [18] Naibaho, J., & Korzeniowska, M. (2021). The variability of physico-chemical properties of brewery spent grain from 8 different breweries. *Heliyon*, 7. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e06583>.
- [19] Devos, C., Bampouli, A., Brozzi, E., Stefanidis, G., Dusselier, M., Van Gerven, T., & Kuhn, S. (2024). Ultrasound mechanisms and their effect on solid synthesis and processing: a review. *Chemical Society Reviews*, 54, 85 - 115. <https://doi.org/10.1039/d4cs00148f>.
- [20] Zhang, T., Tang, H., Vavylonis, D., & Cosgrove, D. (2019). Disentangling loosening from softening: insights into primary cell wall structure. *The Plant journal: for cell and molecular biology*. <https://doi.org/10.1111/tpj.14519>.
- [21] Deng, L., Chen, Q., Ohm, J., Islam, S., Rao, J., Jin, Z., & Xu, M. (2024). Upcycling soybean meal through enzymatic conversion of insoluble fiber into soluble dietary fiber enhanced by ball milling.. *Journal of food science*. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.17185>.
- [22] Düsenberg, B., Schmidt, J., Sensoy, I., & Bück, A. (2023). Flowability of plant based food powders: Almond, chestnut, chickpea, coconut, hazelnut and rice. *Journal of Food Engineering*. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2023.111606>.
- [23] Oladunmoye, O., Akinoso, R., & Olapade, A. (2010). EVALUATION OF SOME PHYSICAL–CHEMICAL PROPERTIES OF WHEAT, CASSAVA, MAIZE AND COWPEA FLOURS FOR BREAD MAKING. *Journal of Food Quality*, 33, 693-708. <https://doi.org/10.1111/J.1745-4557.2010.00351.X>.
- [24] Zhang, G., Cai, D., Wang, M., Zhang, C., Zhang, J., & Wu, Z. (2013). Microstructural modification of diatomite by acid treatment, high-speed shear, and ultrasound. *Microporous and Mesoporous Materials*, 165, 106-112. <https://doi.org/10.1016/J.MICROMESO.2012.08.005>.

- [25] Huang, Y., Li, C., Zheng, S., Fu, X., Huang, Q., Liu, G., & Chen, Q. (2024). Influence of Three Modification Methods on the Structure, Physicochemical, and Functional Properties of Insoluble Dietary Fiber from *Rosa roxburghii* Tratt Pomace. *Molecules*, 29. <https://doi.org/10.3390/molecules29092111>.
- [26] Sun, X., Liu, S., Zhang, X., Tao, Y., Boczkaj, G., Yoon, J., & Xuan, X. (2021). Recent advances in hydrodynamic cavitation-based pretreatments of lignocellulosic biomass for valorization. *Bioresource technology*, 126251. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2021.126251>.
- [27] Li, S., Hu, N., Zhu, J., Zheng, M., Liu, H., & Liu, J. (2022). Influence of modification methods on physicochemical and structural properties of soluble dietary fiber from corn bran. *Food Chemistry: X*, 14. <https://doi.org/10.1016/j.fochx.2022.100298>.
- [28] Dendegh, T., Ukeyima, M., & Dendegh, R. (2019). Proximate Composition, Functional and Sensory Properties of Pearl Millet, Soy Flour and Baobab Fruit Pulp Composite Flour as a Complementary Food. *Asian Food Science Journal*. <https://doi.org/10.9734/AFSJ/2019/V8I329992>.
- [29] Jeong, M., & Cho, S. (2023). Effect of pH-shifting on the water holding capacity and gelation properties of mung bean protein isolate. *Food research international*, 177, 113912. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2023.113912>.
- [30] Madison, M., Coward-Kelly, G., Liang, C., Karim, M., Falls, M., & Holtzapple, M. (2017). Mechanical pretreatment of biomass – Part I: Acoustic and hydrodynamic cavitation. *Biomass & Bioenergy*, 98, 135-141. <https://doi.org/10.1016/J.BIOMBIOE.2017.01.007>.
- [31] Zhu, N., Liu, Y., Zhang, X., Gao, H., Zeng, J., Yang, J., Song, J., Li, X., & Zhao, T. (2024). Effect of enzymatic hydrolysis of arabinoxylan on the quality of frozen dough during the subfreezing process. *Journal of the science of food and agriculture*. <https://doi.org/10.1002/jsfa.13433>.
- [32] Wang, Z., Wang, L., Yu, X., Wang, X., Zheng, Y., Hu, X., Zhang, P., Sun, Q., Wang, Q., & Li, N. (2023). Effect of polysaccharide addition on food physical properties: A review. *Food chemistry*, 431, 137099. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2023.137099>.
- [33] Hassan, Z., Imran, M., Ahmad, M., & Khan, M. (2021). Ultrasound-Assisted Modification of Insoluble Dietary Fiber from Chia (*Salvia hispanica* L.) Seeds. *Journal of Food Quality*. <https://doi.org/10.1155/2021/5035299>.
- [34] Sang, J., Li, L., Wen, J., Gu, Q., Wu, J., Yu, Y., Xu, Y., Fu, M., & Lin, X. (2021). Evaluation of the Structural, Physicochemical and Functional Properties of Dietary Fiber Extracted from Newhall Navel Orange By-Products. *Foods*, 10. <https://doi.org/10.3390/foods10112772>.
- [35] Zhang, M., Liao, A., Thakur, K., Huang, J., Zhang, J., & Wei, Z. (2019). Modification of wheat bran insoluble dietary fiber with carboxymethylation, complex enzymatic hydrolysis and ultrafine comminution. *Food chemistry*, 297, 124983. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.124983>.
- [36] Türker, İ., & Isleroglu, H. (2023). Dietary fibers of fenugreek seeds: Storage stability and food application. *Food and Health*. <https://doi.org/10.3153/fh23015>.
- [37] Zhu, R., Tan, S., Wang, Y., Zhang, L., & Huang, L. (2023). Physicochemical Properties and Hypolipidemic Activity of Dietary Fiber from Rice Bran Meal Obtained by Three Oil-Production Methods. *Foods*, 12. <https://doi.org/10.3390/foods12193695>.
- [38] Iadecola, R., Ciccioritti, R., Ceccantoni, B., Bellincontro, A., & Amoriello, T. (2022). Optimization of Phenolic Compound Extraction from Brewers' Spent Grain Using Ultrasound Technologies Coupled with Response Surface Methodology. *Sustainability*. <https://doi.org/10.3390/su14063309>.
- [39] Carciocchi, R., Sologubik, C., Fernández, M., Manrique, G., & D'Alessandro, L. (2018). Extraction of Antioxidant Phenolic Compounds from Brewer's Spent Grain: Optimization and Kinetics Modeling. *Antioxidants*, 7. <https://doi.org/10.3390/antiox7040045>.

- [40] Kitrytė, V., Šaduikis, A., & Venskutonis, P. (2015). Assessment of antioxidant capacity of brewer's spent grain and its supercritical carbon dioxide extract as sources of valuable dietary ingredients. *Journal of Food Engineering*, 167, 18-24. <https://doi.org/10.1016/J.JFOODENG.2014.12.005>.
- [41] Zhong, X., Zhang, S., Wang, H., Yang, J., Li, L., Zhu, J., & Liu, Y. (2022). Ultrasound-alkaline combined extraction improves the release of bound polyphenols from pitahaya (*Hylocereus undatus* 'Foolon') peel: Composition, antioxidant activities and enzyme inhibitory activity. *Ultrasonics Sonochemistry*, 90. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2022.106213>.
- [42] Kornpointner, C., Scheibelreiter, J., & Halbwirth, H. (2022). Snailase: A Promising Tool for the Enzymatic Hydrolysis of Flavonoid Glycosides From Plant Extracts. *Frontiers in Plant Science*, 13. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.889184>.
- [43] Vilas-Franquesa, A., Frygas, C., Casertano, M., Montemurro, M., & Fogliano, V. (2023). Upcycling mango peels into a functional ingredient by combining fermentation and enzymatic-assisted extraction. *Food chemistry*, 434, 137515. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2023.137515>.
- [44] Flavia Rafaela Ludka, Ana Beatriz Klosowski, Giovani Almeida Camargo, Aline Silva Justo, Evelyn Assis Andrade, Flávio Luis Beltrame, Juliana Bonametti Olivato, Brewers' spent grain extract as antioxidants in starch-based active biopolymers, *International Journal of Food Science and Technology*, Volume 59, Issue 1, January 2024, Pages 142–150, <https://doi.org/10.1111/ijfs.16785>