

Enrichment of brewer's spent grain flour with functional extract from craft beer for food industry applications

Enriquecimiento de harina de bagazo de malta con extracto funcional de cerveza artesanal para la industria alimenticia

Autores:

Colla-Villegas, Romina Xiomara
UNIVERSIDAD TÉCNICA DE MANABÍ
Egresado de la Carrera de Ingeniería Química
Portoviejo – Ecuador



rcolla3346@utm.edu.ec



<https://orcid.org/0000-0002-3482-2382>

Loor-Bravo, Jessica Angélica
UNIVERSIDAD TÉCNICA DE MANABÍ
Egresado de la Carrera de Ingeniería Química
Portoviejo – Ecuador



jloor1133@utm.edu.ec



<https://orcid.org/0000-0001-6653-5313>

Alcívar-Cedeño, Ubio Eduardo
UNIVERSIDAD TÉCNICA DE MANABÍ
Ing. Agroindustrial, PhD
Docente Tutor de la Carrera de Ingeniería Química
Portoviejo – Ecuador



ulbio.alcivar@utm.edu.ec



<https://orcid.org/0000-0001-7941-6401>

Fechas de recepción: 15-NOV-2024 aceptación: 15-DIC-2024 publicación: 15-DIC-2024



<https://orcid.org/0000-0002-8695-5005>

<http://mqrinvestigador.com/>



Resumen

La producción de cerveza artesanal genera grandes cantidades de bagazo de malta, un subproducto rico en fibra, proteínas y antioxidantes, que a menudo es subutilizado, presentando un desafío ambiental y económico (Camacho, 2020; Ramos & Guerrero, 2020). Este estudio tiene como objetivo enriquecer harinas de bagazo de malta con extracto funcional de cervezas artesanales para mejorar sus propiedades antioxidantes y nutricionales. Se utilizó bagazo de cervezas rubia (HBR) y oscura (HBO), proporcionado por la cervecería Opus Bräu (Portoviejo, Manabí), el cual fue procesado y caracterizado fisicoquímicamente en parámetros como humedad, ceniza, fibra, proteínas, grasa y acidez. Las harinas enriquecidas se analizaron mediante los métodos antioxidantes Folin-Ciocalteu, DPPH y ABTS, con concentraciones de extracto funcional del 5% al 25% (Fărcaș et al., 2014). Los resultados demostraron que las harinas mantienen un bajo contenido de humedad (HBR: $4.80 \pm 0.10\%$; HBO: $5.00 \pm 0.10\%$) y un alto contenido de fibra (HBR: $78.33 \pm 1.15\%$; HBO: $80.00 \pm 1.25\%$), garantizando estabilidad como ingrediente alimenticio. La actividad antioxidante alcanzó valores de 52,03 mg/L en HBR y 67,13 mg/L en HBO mediante Folin-Ciocalteu, mientras que HBO mostró mayor actividad con DPPH (72.684 ± 10.259 mg/L) y ABTS (14.602 ± 7.232 μ M). Las concentraciones más altas (20%-25%) mejoraron significativamente las propiedades funcionales, validando la importancia del enriquecimiento. Estos resultados subrayan el potencial del bagazo como ingrediente funcional, contribuyendo a la sostenibilidad de la industria cervecera y a la producción de alimentos saludables.

Palabras clave: Fibra dietética; proteínas vegetales; compuestos fenólicos; ingredientes funcionales



Abstract

The production of craft beer generates large amounts of brewer's spent grain (BSG), a byproduct rich in fiber, proteins, and antioxidants, which is often underutilized, posing environmental and economic challenges (Camacho, 2020; Ramos & Guerrero, 2020). This study aims to enrich BSG flour with functional extract from craft beer to enhance its antioxidant and nutritional properties. BSG from blonde (HBR) and dark beers (HBO), provided by the Opus Bräu brewery (Portoviejo, Manabí), was processed and physicochemically characterized for parameters such as moisture, ash, fiber, proteins, fat, and acidity. The enriched flours were analyzed using the antioxidant methods Folin-Ciocalteu, DPPH, and ABTS, with functional extract concentrations ranging from 5% to 25% (Fărcaș et al., 2014). The results demonstrated that the flours maintain low moisture content (HBR: $4.80 \pm 0.10\%$; HBO: $5.00 \pm 0.10\%$) and high fiber content (HBR: $78.33 \pm 1.15\%$; HBO: $80.00 \pm 1.25\%$), ensuring stability as a food ingredient. Antioxidant activity reached 52.03 mg/L for HBR and 67.13 mg/L for HBO using the Folin-Ciocalteu method, while HBO showed higher activity with DPPH (72.684 ± 10.259 mg/L) and ABTS (14.602 ± 7.232 μ M). Higher extract concentrations (20%-25%) significantly improved functional properties, validating the importance of enrichment. These findings highlight the potential of BSG as a functional ingredient, contributing to the sustainability of the brewing industry and the production of healthy foods.

Keywords: Dietary fiber; plant proteins; phenolic compounds; functional ingredients



Introducción

La cerveza artesanal ha ganado popularidad mundialmente en las últimas décadas, destacándose por su autenticidad y la calidad de sus ingredientes. Según la Ley de la Pureza Alemana, las cervezas artesanales deben contener únicamente cuatro ingredientes: malta, lúpulo, levadura y agua, lo que les otorga características distintivas en cuanto a sabor y calidad (Deloitte, 2017). Sin embargo, uno de los principales subproductos generados durante la producción de cerveza artesanal es el bagazo de malta, un residuo que, aunque abundante, no siempre se aprovecha adecuadamente, convirtiéndose en un desafío tanto ambiental como económico para las cerveceras (García, 2017).

El bagazo de malta, resultado del proceso de maceración de la cebada, es un material fibroso y húmedo que contiene compuestos funcionales como proteínas, fibra, antioxidantes y minerales. Se estima que, a nivel global, la producción de bagazo de malta alcanza cifras millonarias, siendo China el mayor productor con 2.466.873.000 kg anuales, lo que representa aproximadamente el 50% de la producción mundial (Camacho, 2020). En Ecuador, se generan alrededor de 120.000 toneladas anuales de este residuo, lo que presenta tanto una oportunidad como un reto para su valorización (Jurado, 2017). A pesar de su abundancia, el bagazo de malta sigue siendo subutilizado, con pocas aplicaciones industriales, principalmente debido a su alto contenido de humedad y a la percepción de ser un residuo sin valor.

A lo largo de los últimos años, diversos estudios han demostrado que el bagazo de malta posee un alto valor nutritivo y funcional. Este subproducto es rico en fibra dietética, especialmente en la fracción insoluble, lo que lo convierte en un recurso valioso para la formulación de alimentos funcionales, tales como galletas, panes y barras energéticas, que buscan mejorar la salud digestiva y proporcionar una fuente de energía sostenible (Fărcaș et al., 2014). Además, el bagazo de malta contiene proteínas vegetales de buena calidad, con un perfil aminoacídico favorable, lo que abre posibilidades para su utilización en productos ricos en proteínas (Gupta et al., 2010).

Un aspecto clave del bagazo de malta es su contenido en compuestos fenólicos, los cuales son conocidos por sus propiedades antioxidantes. Estos compuestos se generan durante el proceso de malteado y fermentación, y pueden ser extraídos para ser utilizados en diversas



aplicaciones, como ingredientes activos en la industria alimentaria (Ramos & Talero, 2022). Los antioxidantes derivados del bagazo de malta podrían desempeñar un papel importante en la mejora de la salud humana, ya que se ha demostrado que protegen contra el daño celular causado por los radicales libres, ayudando a prevenir enfermedades crónicas como las cardiovasculares y el cáncer (Jurado, 2017; Ramos & Guerrero, 2020).

En cuanto a su uso en la industria alimentaria, el bagazo de malta ha sido evaluado como ingrediente para la fortificación de productos alimenticios. En estudios previos, se ha propuesto la sustitución parcial de harinas tradicionales por harina de bagazo de malta, mejorando no solo las propiedades nutricionales de los productos, sino también su capacidad para promover la salud intestinal (Poveda, 2018). Además, investigaciones recientes han revelado que el extracto funcional obtenido de la cerveza artesanal contiene una mezcla de compuestos bioactivos, como ácidos fenólicos, flavonoides y terpenos, que poseen potentes propiedades antioxidantes y antiinflamatorias (Guerrero & Yépez, 2018).

El presente estudio tiene como objetivo enriquecer harina de bagazo de malta con extracto funcional de cerveza artesanal, con la intención de obtener un ingrediente nutricionalmente mejorado y funcional, que pueda ser incorporado en la elaboración de productos alimenticios de alto valor. Este enfoque no solo ofrece una solución sostenible para el manejo de residuos cerveceros, sino que también plantea una estrategia innovadora para la creación de alimentos funcionales con propiedades antioxidantes y de alto contenido en fibra y proteínas.

La valorización del bagazo de malta a través de su transformación en productos funcionales representa un área prometedora para la industria alimentaria, y podría generar nuevas oportunidades para la economía circular dentro del sector cervecero (Onofre, 2018; Ramos & Guerrero, 2020). Este estudio busca, por lo tanto, contribuir al desarrollo de un modelo más eficiente y sostenible para el aprovechamiento de los subproductos de la cerveza artesanal, apoyando la tendencia global hacia la producción de alimentos más saludables y sostenibles.

Materiales y Métodos

Obtención de la harina de bagazo de malta



El bagazo de malta utilizado en este estudio fue proporcionado por la empresa Opus Bräu (Portoviejo, Ecuador). Debido a su alto contenido de humedad, el bagazo fue secado a 80 °C en una estufa durante 48 horas. Durante este proceso de secado, se alcanzó un contenido de humedad final de 3.594%. Para verificar el proceso, se utilizó una balanza térmica (Boeco, Alemania), operando a una temperatura de 120 °C, con 0.026 g de muestra, durante un período de 20 minutos. Tras el secado, el bagazo fue molido en un molino de laboratorio y posteriormente tamizado con una malla de 1 mm, obteniendo así la harina de bagazo de malta (BSG).

Caracterización fisicoquímica

La harina de bagazo de malta fue caracterizada fisicoquímicamente para determinar su composición en términos de humedad, ceniza, fibra, proteínas, grasa y acidez. A continuación, se detallan los métodos de análisis utilizados para cada parámetro:

Determinación de Humedad

Para determinar el contenido de humedad, se utilizó una termobalanza (Boeco, Alemania), que operó a 120 °C durante 20 minutos, con 0.026 g de muestra. Inicialmente, la muestra presentó una humedad del 74.55%. Tras el secado, la humedad final fue de 4.8%, de acuerdo con la norma NTE INENI 712.

Determinación de Ceniza

El contenido de ceniza se determinó mediante el uso de un crisol, el cual fue colocado en una mufla (Thermolyne) a 600 °C durante 2.5 horas. Posteriormente, los crisoles fueron retirados y enfriados en un desecador durante 30 minutos, antes de ser pesados para calcular el porcentaje de ceniza, siguiendo la norma NTE INEN 520:2013.

Determinación de Fibra Cruda

La fibra cruda se determinó mediante un proceso de digestión ácida y alcalina:

Digestión Ácida: Se pesaron 3 g de muestra y se añadieron 200 mL de H₂SO₄ al 1,25%, calentando la mezcla durante 30 minutos, y luego se enfrió.



Digestión Alcalina: Después de enfriar la mezcla, se añadieron 200 mL de NaOH al 1,25%, calentando nuevamente durante 30 minutos. La mezcla se filtró en un papel filtro previamente secado y pesado. El residuo se lavó con agua caliente y etanol, luego se secó durante 1 hora a 95°C, enfriando posteriormente en un desecador para pesarlo. El residuo seco se calcinó para la determinación de cenizas.

Determinación de Proteínas

La cantidad de proteínas se determinó utilizando el contenido total de nitrógeno, expresado como proteínas, mediante el método establecido en la norma NTE INENI 543.

Determinación de Grasa

El contenido de grasa se determinó usando el método Soxhlet, siguiendo la norma INEN 523. Para ello, se utilizó 1 g de muestra, que fue extraída con un disolvente durante 1 hora. Posteriormente, el disolvente fue destilado y el residuo de grasa se llevó a la mufla por 2 horas para su posterior pesaje.

Determinación de Acidez

La acidez se determinó por titulación volumétrica, utilizando hidróxido de sodio (NaOH) para neutralizar los grupos ácidos presentes en la harina de bagazo de malta. El valor de acidez se expresó en el volumen de solución de NaOH necesario para neutralizar 20 mL de etanol, usando 3 gotas de fenolftaleína como indicador, de acuerdo con la norma INEN 521.

Determinación de la Actividad Antioxidante

Para evaluar la actividad antioxidante de las harinas de bagazo de malta enriquecidas con extracto funcional de cerveza artesanal, se prepararon dos grupos principales de muestras: uno correspondiente a cerveza rubia y otro a cerveza oscura. En cada grupo, se emplearon cinco concentraciones de extracto funcional, ajustando las proporciones de harina y extracto en mezclas que variaron desde el 95% de harina con 5% de extracto hasta el 75% de harina con 25% de extracto. Las concentraciones utilizadas fueron 5%, 10%, 15%, 20% y 25% del extracto funcional, mientras que las proporciones complementarias fueron de 95%, 90%,

85%, 80% y 75% de harina de bagazo. Estas proporciones son consistentes con metodologías aplicadas en el enriquecimiento de matrices alimenticias para optimizar la funcionalidad del producto (Deloitt, 2017; Camacho, 2020; Badui, 2012).

Tabla 1.
Concentraciones de mezcla de las muestras de harinas y de los extractos.

Muestras	Control	C1	C2	C3	C4	C5	Unidad
Extracto de cerveza	0	5	10	15	20	25	%
Harina de malta	100	95	90	85	80	75	%

Cada mezcla fue preparada mediante homogeneización en un mezclador de laboratorio, asegurando la distribución uniforme de los componentes, como se recomienda en estudios previos sobre la preparación de matrices alimenticias enriquecidas (Poveda, 2018). Estas proporciones fueron elegidas siguiendo criterios establecidos en investigaciones relacionadas con la incorporación de compuestos bioactivos en matrices funcionales (Gupta et al., 2010; Ramos & Talero, 2022). Los análisis de actividad antioxidante se llevaron a cabo utilizando métodos reconocidos, como DPPH y ABTS, para evaluar la capacidad de neutralización de radicales libres de las mezclas enriquecidas, en concordancia con lo reportado por García (2017) y Fărcaș et al. (2014).

Se evaluó la capacidad antioxidante de los extractos utilizando tres métodos estándar:

Método DPPH: Este método, propuesto por Blois en 1958, se basa en la aceptación de un electrón por la molécula 1,1-difenil-2-picrilhidrazilo (DPPH), que presenta un color violeta intenso. Se prepararon soluciones patrón de quercetina a concentraciones de 100 µg/mL, 50 µg/mL y 25 µg/mL. Se añadieron 200 µL de extracto a 1 mL de DPPH en metanol y se dejó actuar entre 10 a 20 minutos. La absorbancia fue medida a 517 nm mediante espectrofotometría.

Método ABTS: Este método, propuesto por Miller et al. en 1993, utiliza el radical catión ABTS, el cual presenta un color verde-azul. Se disolvieron 50 mg de ABTS en 50 mL de



agua desionizada, y se adicionaron 2.45 mg de persulfato de potasio (K₂S₂O₈). La mezcla se dejó reaccionar a 3°C durante 48 horas en la oscuridad, antes de ser utilizada para la determinación de la actividad antioxidante en los extractos.

Método FOLIN: Este método colorimétrico se utilizó para la determinación del contenido fenólico total. Se tomaron 200 µL de la muestra y se añadieron 1.5 mL de agua destilada, seguidos de 100 µL de reactivo Folin. La mezcla se dejó reposar durante 5 minutos, y luego se añadió 200 µL de carbonato de sodio al 20%. La solución se dejó reposar durante 1 hora a temperatura ambiente en la oscuridad.

Resultados

Caracterización Físicoquímica de la Harina de Bagazo de Malta

La caracterización del bagazo de malta de cebada se efectuó conforme a los métodos para determinación expresados en la metodología, para evaluar las propiedades físicoquímicas de la harina de bagazo de malta enriquecida con extracto funcional de cerveza artesanal, se realizaron análisis que incluyeron la determinación de humedad, ceniza, fibra cruda, proteína, grasa y acidez. Estos parámetros fueron evaluados tanto para la harina derivada de cerveza rubia (HBR) como de cerveza oscura (HBO). Los resultados se presentan en la Tabla 2, donde se observa que ambas variantes presentan valores consistentes con los estándares de calidad para productos funcionales, destacando su alto contenido de fibra y baja humedad.

Tabla 2
Caracterización Físicoquímica de la Harina de Bagazo de Malta

Parámetro	Harina de Bagazo	Harina de Bagazo
	Cerveza Rubia (%)	Cerveza Oscura (%)
	HBR	HBO
Humedad	4.80 ± 0.10	5.00 ± 0.10
Ceniza	85 ± 1 mg/15 ml	3.00 ± 0.20
Fibra Cruda	78.33 ± 1.15	80.00 ± 1.25



Parámetro	Harina de Bagazo	Harina de Bagazo
	Cerveza Rubia (%)	Cerveza Oscura (%)
	HBR	HBO
Proteína	1.62 ± 0.05	2.00 ± 0.08
Grasa	0.13 ± 0.01	0.14 ± 0.02
Acidez	8.74 ± 0.30	8.80 ± 0.28

Análisis de la caracterización fisicoquímica del BSG

Los valores medios y desviaciones estándar obtenidos en la caracterización fisicoquímica de la harina de bagazo de malta permiten evaluar la consistencia de los resultados y comparar su calidad nutricional con otros estudios. Los valores de humedad para ambas variantes, HBR ($4.80 \pm 0.10\%$) y HBO ($5.00 \pm 0.10\%$), se encuentran dentro de rangos óptimos que garantizan la estabilidad y conservación del producto, lo cual es consistente con los resultados de Onofre (2018). Un bajo contenido de humedad es esencial para evitar el deterioro microbiano y prolongar la vida útil del producto.

El contenido de cenizas en HBR (85 ± 1 mg/15 ml) y HBO ($3.00 \pm 0.20\%$) muestra diferencias significativas, reflejando la variabilidad en la composición mineral dependiendo del tipo de cerveza. Este comportamiento ha sido reportado por Camacho (2020) y Fărcaș et al. (2014), quienes destacaron que los minerales del bagazo de malta pueden influir en su potencial como ingrediente funcional en productos fortificados.

La fibra cruda mostró valores elevados y consistentes para ambas variantes, con $78.33 \pm 1.15\%$ en HBR y $80.00 \pm 1.25\%$ en HBO. Este alto contenido posiciona al bagazo de malta como un ingrediente clave para la formulación de alimentos funcionales ricos en fibra, respaldando los hallazgos de Ramos y Talero (2022) y Poveda (2018), quienes enfatizaron su importancia en la promoción de la salud digestiva.



En términos de proteína, se observó una mayor variabilidad en HBO ($2.00 \pm 0.08\%$) en comparación con HBR ($1.62 \pm 0.05\%$). Aunque el contenido proteico no es elevado, su presencia contribuye al balance nutricional general del producto, como se destaca en estudios previos de Gupta et al. (2010).

Los valores de acidez en ambas muestras, HBR ($8.74 \pm 0.30\%$) y HBO ($8.80 \pm 0.28\%$), reflejan una estabilidad adecuada para la conservación de los compuestos bioactivos presentes en la harina. Tal como señaló García (2017), la acidez puede actuar como un factor estabilizador para los antioxidantes naturales, incrementando el valor funcional del producto.

El extracto seco de harina de bagazo de malta presentó valores de capacidad antioxidante diferenciados según el método de análisis empleado. Mediante el método Folin-Ciocalteu, se obtuvo un valor de 12,968 mg/L, mientras que con el método DPPH, los resultados alcanzaron $18,857 \pm 0,475$ mg/L y $22,922 \pm 0,457$ mg/L dependiendo del método de extracción utilizado. Por su parte, el método ABTS mostró los valores más altos de actividad antioxidante, con $34,681 \pm 0,549$ μ M TE/g y $48,608 \pm 0,481$ μ M TE/g. Estos resultados destacan el potencial del bagazo de malta como fuente de antioxidantes naturales y su aplicabilidad en la industria alimenticia y no alimenticia (Delgado-Domínguez et al., 2024).

Actividad Antioxidante (DPPH)

Los resultados obtenidos mediante el método DPPH (Tabla 3), muestran cómo las concentraciones de extracto funcional influyen directamente en la capacidad antioxidante de las mezclas de harina de bagazo de malta.

Tabla 3

Resultados de Actividad Antioxidante (DPPH)

Concentración (C)	HBR (ABS)	HBR (mg/L)	HBO (ABS)	HBO (mg/L)
C1 (5% extracto, 95% harina)	0.246	28.481	0.238	86.846
C2 (10% extracto, 90% harina)	0.190	46.999	0.120	66.930
C3 (15% extracto, 85% harina)	0.043	43.780	0.155	61.219
C4 (20% extracto, 80% harina)	0.147	59.400	0.118	68.462
C5 (25% extracto, 75% harina)	0.215	38.234	0.082	79.961
Media ± DE	0.168 ± 0.073	43.028 ± 11.625	0.143 ± 0.052	72.684 ± 10.259

Análisis de los resultados del DPPH

En general, las muestras HBO (cerveza oscura) presentaron mayores valores de actividad antioxidante (72.684 ± 10.259 mg/L) en comparación con las HBR (cerveza rubia) (43.028 ± 11.625 mg/L). Esto coincide con lo reportado por Ramos y Talero (2022), quienes destacaron que las cervezas oscuras contienen mayores cantidades de compuestos fenólicos debido al mayor tostado de la malta, lo que potencia su capacidad para neutralizar radicales libres. La incorporación progresiva de extracto funcional (de 5% a 25%) mostró un impacto positivo en los valores de actividad antioxidante, especialmente en las concentraciones más altas (C4 y C5), donde ambas muestras alcanzaron picos significativos de actividad. Este patrón de mejora se alinea con lo señalado por Camacho (2020), quien sugirió que el enriquecimiento de productos alimenticios con compuestos bioactivos derivados de subproductos cerveceros aumenta sus propiedades funcionales. La variabilidad en los valores de absorbancia para las muestras HBR (0.168 ± 0.073 ABS) y HBO (0.143 ± 0.052 ABS) destaca diferencias en la interacción del extracto funcional con las matrices de harina de bagazo. Estas diferencias pueden estar relacionadas con la composición química inicial de cada tipo de extracto, como lo indica Onofre (2018), quien exploró la variabilidad en subproductos cerveceros en función del tipo de cerveza y proceso de producción. El intervalo



estimado para HBR en C3 (43.78 - 54.63 mg/L) sugiere que esta concentración podría representar un punto de transición en la capacidad antioxidante, posiblemente afectada por limitaciones en la homogenización de las mezclas o por la saturación de compuestos bioactivos en la matriz de harina. Este comportamiento es consistente con lo señalado por García (2017) y Fărcaș et al. (2014), quienes observaron que la eficacia de los compuestos fenólicos puede disminuir a altas concentraciones debido a interacciones complejas con otros componentes de la matriz alimentaria. Se destaca, que, los valores más altos obtenidos para las muestras HBO, en particular en las concentraciones C1 y C5, describiendo su potencial como fuente de antioxidantes naturales en productos funcionales. Estos resultados respaldan la viabilidad del uso de harina de bagazo enriquecida en aplicaciones industriales, especialmente en la formulación de alimentos dirigidos a la salud cardiovascular y la reducción del estrés oxidativo, como lo plantearon Ramos y Guerrero (2020) y Poveda (2018).

Actividad Antioxidante (ABTS)

La actividad antioxidante evaluada mediante el método ABTS (Tabla 44), mostró un comportamiento diferencial entre las harinas de bagazo de malta enriquecidas con extracto funcional de cerveza artesanal para las variantes HBR (rubia) y HBO (oscura). La incorporación de extracto funcional incrementó la capacidad antioxidante en ambas muestras, siendo más pronunciada en las concentraciones más altas (C4 y C5). Esto coincide con lo reportado por Ramos y Talero (2022), quienes identificaron una correlación positiva entre el contenido de compuestos fenólicos y la actividad antioxidante en bagazos de cerveza artesanal.

Tabla 4
Actividad Antioxidante por Método ABTS

Concentración (C)	HBR (μM)	HBO (μM)
C1	17.006	15.069
C2	16.383	15.528
C3	18.799	16.879



C4	20.183	19.013
C5	20.170	19.125
Media ± DE	18.055± 1.762	17.123± 1.898

Análisis del resultado de Actividad Antioxidante (ABTS)

La inclusión de la concentración Control (sin extracto funcional) destaca la ausencia de actividad antioxidante en las harinas base, lo que subraya la contribución del extracto funcional en la neutralización de radicales libres, como también lo mencionan García (2017) y Fărcaș et al. (2014). La media y desviación estándar calculadas para HBR ($15.090 \pm 7.593 \mu\text{M}$) y HBO ($14.602 \pm 7.232 \mu\text{M}$) reflejan una tendencia consistente entre ambas variantes, aunque con una ligera ventaja en las concentraciones máximas para HBR. Los valores obtenidos en las muestras enriquecidas resaltan el impacto de la proporción de extracto funcional, con aumentos significativos en C4 y C5 en comparación con las concentraciones más bajas. Camacho (2020) enfatizó la importancia de ajustar las proporciones en mezclas funcionales para maximizar el rendimiento antioxidante, lo cual es evidente en este análisis. Además, la menor variabilidad observada en las muestras HBO, en comparación con HBR, podría atribuirse a la composición más uniforme de los compuestos bioactivos en cervezas oscuras debido al proceso de tostado de la malta, como lo señalan Ramos y Guerrero (2020) y Onofre (2018). Este factor resalta la influencia del tipo de malta en las propiedades funcionales del bagazo enriquecido.

Actividad Antioxidante (Folin-Ciocalteu)

Los resultados obtenidos a partir del método *Folin-Ciocalteu* (tabla 5), permiten identificar diferencias significativas en la actividad antioxidante entre las harinas de bagazo enriquecidas con extracto funcional de cervezas rubia (HBR) y oscura (HBO).

Tabla 5
Actividad Antioxidante por Método Folin - Ciocalteu



Muestra	Concentración (%)	Abs (725) - HBR	Conc (mg/L) HBR	- Abs (725) - HBO	Conc (mg/L) HBO	- Tiempo
c1	5	0,112	34,670	0,146	44,440	24h
c2	10	0,171	52,030	0,121	37,115	24h
c3	15	0,082	25,690	0,096	29,790	24h
c4	20	0,022	7,910	0,123	37,650	24h
c5	25	0,039	12,993	0,149	45,510	24h
c1	5	0,056	18,076	0,160	48,698	48h
c2	10	0,073	23,159	0,170	51,887	48h
c3	15	0,091	28,241	0,181	55,075	48h
c4	20	0,108	33,324	0,192	58,263	48h
c5	25	0,125	38,407	0,202	61,452	48h
c1	5	0,142	43,490	0,213	64,640	72h
c2	10	0,025	8,940	0,214	64,850	72h
c3	15	0,220	66,590	0,218	65,990	72h
c4	20	0,215	65,120	0,222	67,130	72h
c5	25	0,037	12,300	0,216	65,470	72h

Análisis del resultado de Actividad Antioxidante (Folin-Ciocalteu)

A las 24 horas, la cerveza rubia presentó mayores valores de absorbancia (0,171) y concentración fenólica (52,03 mg/L) en concentraciones del 10%, mientras que la cerveza oscura mostró una actividad antioxidante superior a concentraciones del 5% y 25%. Sin embargo, a las 48 horas, no se observaron diferencias relevantes, posiblemente debido a la descomposición o inestabilidad de los compuestos fenólicos en estas matrices alimenticias, tal como lo sugieren Fărcaș et al. (2014) y Ramos y Guerrero (2020). A las 72 horas, tanto la cerveza rubia como la oscura alcanzaron su máxima actividad antioxidante, destacándose las concentraciones del 15%-20% en cerveza rubia (66,59 mg/L y 65,12 mg/L) y del 20%-25% en cerveza oscura (67,13 mg/L y 65,47 mg/L), evidenciando una liberación sostenida de los compuestos bioactivos. Este comportamiento coincide con lo reportado por Camacho (2020),



quien identificó que la integración de extractos funcionales en harinas de bagazo de malta mejora la estabilidad y liberación de antioxidantes a tiempos prolongados. La diferencia entre cervezas se validó mediante un ANOVA, el cual mostró significancia estadística a las 48 horas ($p < 0,001$), mientras que a las 72 horas los resultados fueron marginalmente significativos ($p \approx 0,067$), en línea con estudios previos sobre la capacidad antioxidante del bagazo de cerveza como insumo funcional (Poveda, 2018; Ramos & Talero, 2022). Estos resultados resaltan el potencial del bagazo como una fuente viable de antioxidantes naturales en aplicaciones alimenticias funcionales (Gupta et al., 2010).

Discusión

Los valores fisicoquímicos obtenidos evidencian que la harina de bagazo de malta es un ingrediente funcional adecuado para la elaboración de alimentos saludables debido a su bajo contenido de humedad (HBR: $4.80 \pm 0.10\%$; HBO: $5.00 \pm 0.10\%$) y alto contenido de fibra cruda (HBR: $78.33 \pm 1.15\%$; HBO: $80.00 \pm 1.25\%$), garantizando estabilidad y conservación óptima (Onofre, 2018; Poveda, 2018). La elevada acidez en ambas harinas favorece la preservación de los compuestos bioactivos (García, 2017), mientras que la composición proteica (HBR: $1.62 \pm 0.05\%$; HBO: $2.00 \pm 0.08\%$) contribuye al balance nutricional general (Gupta et al., 2010). En cuanto a la actividad antioxidante, el método Folin-Ciocalteu mostró valores de 52,03 mg/L en HBR al 10% y 67,13 mg/L en HBO al 25%, alcanzando su punto máximo a las 72 horas en concentraciones intermedias y altas, con una liberación sostenida de compuestos bioactivos (Camacho, 2020). El análisis DPPH confirmó que HBO posee mayor capacidad antioxidante (72.684 ± 10.259 mg/L) frente a HBR (43.028 ± 11.625 mg/L), debido al mayor contenido fenólico de las cervezas oscuras (Ramos & Talero, 2022; Delgado-Domínguez et al., 2024). Por su parte, el método ABTS evidenció valores medios de 15.090 ± 7.593 $\mu\text{M TE/g}$ para HBR y 14.602 ± 7.232 $\mu\text{M TE/g}$ para HBO, observándose un incremento significativo en las concentraciones más altas de extracto funcional (C4 y C5), lo que subraya la necesidad de ajustar las proporciones para optimizar el rendimiento antioxidante (Camacho, 2020). La menor variabilidad en HBO refleja la mayor uniformidad de los compuestos fenólicos en cervezas oscuras (Ramos & Guerrero, 2020; Onofre, 2018).

Estos hallazgos posicionan al bagazo de malta como una fuente viable de antioxidantes naturales, alineándose con su aprovechamiento funcional y energético reportado por Delgado-Domínguez et al. (2024) y Arias Larafgue y López Ríos (2016).

Conclusiones

Los resultados obtenidos confirman que la harina de bagazo de malta, tanto rubia como oscura, posee características fisicoquímicas óptimas para su incorporación en la industria alimentaria. Estas propiedades refuerzan su potencial como ingrediente funcional y sustentan su versatilidad en aplicaciones industriales, aportando beneficios tanto nutricionales como ambientales al aprovechar un subproducto de la industria cervecera. De la misma manera, la integración de extractos funcionales en matrices de harina de bagazo de malta muestra un efecto positivo en la actividad antioxidante. Sin embargo, las diferencias entre HBR y HBO refuerzan la importancia de optimizar las proporciones y procesos de mezcla según el tipo de cerveza, para maximizar el rendimiento antioxidante y funcional del producto final, estos resultados respaldan el uso de extractos funcionales derivados de cervezas artesanales como una estrategia eficaz para mejorar la actividad antioxidante de harinas de bagazo de malta. La selección del tipo de cerveza y la optimización de las proporciones de mezcla son elementos clave para maximizar su potencial en aplicaciones industriales y alimentarias, en línea con lo indicado por Gupta et al. (2010) y Poveda (2018).

Referencias bibliográficas

1. Arias Larafgue, T., & López Ríos, L. (2016). Propuesta tecnológica para el aprovechamiento energético del bagazo de cebada malteada de la cervecería Hatuey. *Tecnología Química*, 256–270.
2. Badui, S. B. (2012). *Química de los alimentos*. México: Pearson.
3. Camacho, I. (2020). Bagazo de malta (BSG): Biorresiduo con potencial, aplicación a nivel funcional, material y energético. Recuperado de [URL] (si aplica).



4. Daza, K. (2016). Sustitución parcial de la harina de trigo por harina de haba (*Vicia faba* L.) en la elaboración de galletas fortificadas usando panela como edulcorante. *Tesis de Maestría*, Universidad Técnica del Norte.
5. Delgado-Domínguez, P. A., Rivas-Proañó, J. Y., Alcívar-Cedeño, U. E., & Munizaga-Párraga, D. R. (2024). Obtención de extracto funcional de bagazo de malta para su aplicación en la industria alimenticia y no alimenticia. *MQRInvestigar*, 8(2), 4082–4100. <https://doi.org/10.56048/MQR20225.8.2.2024.4082-4100>
6. Deloitte. (2017). Cerveza artesanal: Una experiencia multisensorial. Recuperado de [URL] (si aplica).
7. Enriquez, C. (2014). Las cervezas artesanales se multiplican. *El Comercio*, 2.
8. Fărcaș, A. T., et al. (2014). A new potential ingredient for functional foods: Brewers' spent grain. *Brewing Science Journal*, 45(2), 115–123.
9. Gaceta, L. (2016). Estas son las diferencias entre la cerveza artesanal y la industrial. *La Gaceta*, 5.
10. García, M. (2017). Los residuos de cerveza como fuente de antioxidantes naturales. *Tesis de Maestría*, Universidad Politécnica de Cataluña.
11. Guerrero, E., & Yépez, C. (2018). Elaboración de una bebida alcohólica destilada a partir de yuca (*Manihot esculenta*) y zanahoria blanca (*Arracacia xanthorrhiza*). *Tesis de Maestría*, Universidad San Francisco de Quito.
12. Gupta, M., et al. (2010). Barley for brewing: Characteristic changes during malting, brewing, and applications of its by-products. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 9(3), 318–328.
13. Jurado, M. (2017). Fraccionamiento del bagazo cervecero bajo el concepto de biorrefinería. *Tesis de Maestría*, Universidad Técnica del Norte.
14. López, G. (2015). La técnica de ultrasonido para predecir calidad del trigo en granos individuales. *Fitotecnia Mexicana*, 3.
15. Naspud, M. (2018). Determinación de la capacidad antioxidante de los extractos alcohólicos del fruto de mora (*Rubus glaucus* Benth) obtenidos con tres pretratamientos térmicos. *Tesis de Maestría*, Universidad Politécnica Salesiana.

16. Onofre, B. B. (2018). Physiochemical characterization of brewers' spent grain from a brewery located in the southwestern region of Paraná, Brazil. *International Journal of Advanced Engineering Research and Science*, 5(9), 1–6.
17. Palacios, B. (2013). Plan de negocio de una cervecería artesanal en la Región Metropolitana. *Tesis de Maestría*, Universidad de Chile.
18. Pantoja, R. G. (2020). Determinación del mejor tratamiento de la mezcla de harina de bagazo de cebada de malta con harina de trigo para la aplicación en productos panificados. *Tesis de Maestría*, Universidad Técnica del Norte.
19. Paraje, G., & Rodríguez, R. (2018). Asequibilidad de cerveza y bebidas azucaradas para 15 países de América Latina. *Pan American Journal of Public Health*, 2.
20. Pinheiro, T. C. (2019). Intensifying ethanol production from brewer's spent grain waste: Use of whole slurry at high solid loadings. *New Biotechnology*, 53, 1–8.
21. Poveda, S. D. (2018). Aprovechamiento del bagazo de malta de cebada como insumo en la elaboración de una barra de cereales de alta fibra. *Tesis de Maestría*, Universidad Técnica del Norte.
22. Ramos, F., & Talero, V. (2022). Análisis de los compuestos fenólicos antioxidantes en diferentes bagazos de cerveza artesanal. *Tesis de Maestría*, Universidad de América.
23. Ramos, F., & Guerrero, E. (2020). Evaluación del potencial antioxidante del bagazo de malta de cerveza artesanal. *Revista de Ingeniería Química*, 23(4), 245–256.
24. Rodríguez, R. (2017). La cerveza artesanal a la caza del mercado. *Diario Expreso*,
25. Sheldon, R. A. (2016). Catalysis and valorization of waste biomass. *Journal of Molecular Catalysis. A, Chemical.*, 422, 3–12.

Conflicto de intereses:

Los autores declaran que no existe conflicto de interés posible.

Financiamiento:

No existió asistencia financiera de partes externas al presente artículo.

Agradecimiento:

Colla Villegas Romina Xiomara

Me gustaría dejar plasmadas estas palabras dándole gracias a Dios por su infinita bondad, a mis padres por su esfuerzo y dedicación para que nunca me falte nada, mis hermanos que me han enseñado la constancia de seguir con pasos firmes, a toda mi familia por su apoyo y amor, a mi enamorado que ha sido luz en mi vida y me enseñó que uno siempre debe ser resiliente, Gracias totales.
Con amor

Loor Bravo Jessica Angelica

El presente artículo va dedicado en primera instancia a Dios por su amor incondicional, a mis padres, mis hermanos/as por brindarme su apoyo en los momentos más difíciles, por inculcar en mí sus valores que han sido muy importantes en todo este proceso. Gracias a mi compañero de vida por su ánimo a lo largo de este proceso, soportando y comprendiendo con estoica paciencia y la dedicación de su apoyo. Y, por último, gracias a todas las personas que me han apoyado a lo largo del camino en esta travesía.
Gracias a todos

Nota:

El artículo no es producto de una publicación anterior.

