

Propiedades tecno-funcionales del bagazo de malta (BSG) obtenido del proceso de elaboración de cerveza

Trabajo de grado para optar por el título de Especialista en Alimentación y Nutrición

Julián David Ortiz Guerra

Asesor

Mauricio Restrepo Gallego, PhD

Unilasallista Corporación Universitaria
Facultad de Ingenierías
Especialización en Alimentación y Nutrición
Caldas, Antioquia

2023

Contenido

Resumen.....	6
Abstract.....	7
Introducción.....	8
Justificación.....	10
Objetivos.....	12
Metodología.....	13
Marco teórico y resultados.....	14
Fundamentos teóricos del bagazo de malta cervecero (BSG).....	14
Malta.....	14
Origen.....	14
Estructura y composición.....	15
Embrión.....	15
Cascarilla.....	15
Endospermo.....	16
Importancia en la industria cervecera.....	17
Elaboración del mosto cervecero.....	18
Obtención del BSG.....	19

Composición del BSG.....	20
Técnicas aplicadas al BSG para la extracción de compuestos bioactivos.....	21
Técnicas aplicadas al extracto del BSG para la identificación y cuantificación de sus compuestos bioactivos.	25
Propiedades tecnológicas del BSG.....	27
Propiedades funcionales del BSG.....	31
BSG y salud.....	36
Contenido fenólico y capacidad antioxidante del BSG.....	37
BSG, fibra y función prebiótica.....	39
BSG y salud cardiovascular.....	39
BSG y otros aportes a la salud del consumidor.....	40
Discusión.....	42
Conclusiones.....	44
Referencias.....	46

Lista de tablas

Tabla 1. Técnicas de extracción aplicadas al BSG para la extracción de compuestos bioactivos.....	22
Tabla 2. Resultados, propiedades tecnológicas e impacto sobre el desarrollo de alimentos con BSG.....	27
Tabla 3. Hallazgos de propiedades funcionales del BSG.....	32
Tabla 4. Contenido promedio de ácidos fenólicos en muestras de BSG.....	38

Lista de figuras

Figura 1. Estructura del grano de cebada.....	17
Figura 2. Proceso de obtención del mosto cervecero.....	19
Figura 3. Diagrama de obtención del BSG en el proceso de obtención del mosto.....	20

Resumen

El propósito de este trabajo se concentra en las propiedades tecnológicas y funcionales del bagazo de la malta (Brewers' Spent Grain - BSG) resultante del proceso de elaboración de cerveza, el cual se considera un subproducto de descarte o de uso para alimentación animal de manera directa. Para esto se llevó a cabo la búsqueda, clasificación y revisión de material bibliográfico de carácter científico proveniente de bases de datos.

Toda producción de alimentos y bebidas está asociada a la generación de residuos que tienen un alto impacto en el entorno. Son diversos los esfuerzos que se hacen para encontrar alternativas de descarte más amigables con el entorno o el diseño de nuevos productos que lo aprovechen desde su potencial tecnológico y/o funcional.

Se explora el origen y la composición del BSG, profundizando en los compuestos de interés por sus propiedades y aplicaciones tecnológicas en la industria de alimentos, así como aquellos que poseen potenciales propiedades funcionales; así mismo, se contemplan las técnicas de extracción de compuestos y técnicas analíticas de los mismos con sus ventajas en comparación con otras, fueran tradicionales o innovadoras. Se compilan los hallazgos de los diferentes estudios y se presentan las proyecciones del subproducto, resultado de lo investigado, para su futura aplicación en la industria de los alimentos ingrediente tecnológico o con desempeño biológico a partir de sus propiedades funcionales.

Finalmente, se presenta una conclusión con recomendaciones para el aprovechamiento del BSG obtenido de la industria cervecera artesanal local.

Palabras clave: BSG, subproducto, propiedades tecnológicas, propiedades funcionales, técnicas de extracción.

Abstract

The purpose of this work focuses on the technological and functional properties of Brewers' Spent Grain (BSG) resulting from the brewing process, which is considered a by-product to be discarded or used directly for animal feed. For this purpose, a search, classification and review of scientific literature from databases was carried out.

All food and beverage production is associated with the generation of waste that has a high impact on the environment. Various efforts are made to find more environmentally friendly alternatives for discarding or designing new products that take advantage of its technological and/or functional potential.

The origin and composition of the BSG is explored, delving into the compounds of interest for their properties and technological applications in the food industry, as well as those that have potential functional properties; likewise, the extraction techniques of compounds and analytical techniques with their advantages in comparison with others, whether traditional or innovative, are contemplated. The findings of the different studies are compiled and the projections of the by-product are presented, as a result of the research, with a view to a future application in the food industry as a technological ingredient or with biological performance based on its functional properties.

Finally, a conclusion is presented with recommendations for the use of the BSG obtained from the local craft brewing industry.

Keywords: BSG, by-product, technological properties, functional properties, extraction techniques.

Introducción

Los objetivos de desarrollo sostenible (ODS) adoptados por las Naciones Unidas en 2015 (*Objetivos de Desarrollo Sostenible, s/f*) contemplan una serie de metas con las cuales, de cumplirse para el año 2030, la calidad de vida integral de la humanidad mejoraría considerablemente. Algunos de ellos vinculan directa o indirectamente a la industria de los alimentos y contemplan con especial interés la erradicación del hambre, la salud y el bienestar, la disponibilidad de agua limpia y saneamiento, y la producción y consumo responsables. En este marco, las empresas productoras de alimentos buscarían, en un estado ideal de producción, no solo el uso eficiente de materias primas y recursos energéticos, sino también la disposición adecuada de residuos agroindustriales que tienen alto impacto ambiental. Mucho mejor resultaría si se piensa en el desarrollo de nuevos ecosistemas de negocios a partir del aprovechamiento de los subproductos generados.

En este orden de ideas, se prevé un sistema ecológicamente consciente que gire en torno a los conceptos de generación de cero residuos y economía circular para la valorización efectiva de los residuos y subproductos de la industria agroalimentaria, con el fin de minimizar los impactos negativos sobre el medio ambiente (Bhat, 2021) y aprovechar las bondades nutritivas, funcionales y tecnológicas de los mismos, para la producción de alimentos más acordes a las nuevas tendencias de consumo y salud. Así, uno de los subproductos provenientes de la producción de cerveza, el afrecho o bagazo de malta cervecera, es objeto de este estudio.

En la sección Marco teórico y resultados, se sientan las bases conceptuales y generalidades del bagazo de malta, su composición y la importancia de algunos de sus componentes para el diseño y la formulación de algunos alimentos, así como para la salud. De igual manera, se presenta el panorama actual de las enfermedades crónicas no transmisibles y su relación con la ingesta de

algunos nutrientes. Simultáneamente, se presentan las diferentes técnicas de tratamiento aplicadas al bagazo de malta, sus efectos en la extracción de compuestos y los resultados de su aplicación; seguido, se exponen las técnicas de análisis de los compuestos extraídos; por último, se compilan los resultados de los estudios indagados con miras a la aplicación del bagazo de la malta o alguno(s) de su(s) componente(s) para el desarrollo de alimentos con mejores atributos sensoriales y/o funcionales.

Justificación

La industria de alimentos crece cada año con referencia a la demanda de productos innovadores que van en consonancia con las tendencias de lo orgánico, natural, artesanal, saludable, responsable con el medio ambiente y sostenible. Es por esto que se debe pensar en el diseño de procesos más eficientes que permitan satisfacer la demanda aprovechando al máximo recursos como materias primas y subproductos, buscando cada vez más mayor inmersión en la cultura de la economía circular.

La producción de cerveza crece a nivel mundial gracias a la diversificación que se ha evidenciado en el mercado a partir del segmento de las cervecerías artesanales. En el mismo sentido, se incrementa la cantidad de subproductos generados en diferentes etapas del proceso. Uno de ellos es el afrecho o bagazo de malta (*Brewers' Spent Grain - BSG*), el cual consiste en la parte insoluble del grano de cebada malteada que fue utilizado para la producción del mosto cervecero. El BSG representa el 85% de los subproductos cerveceros (Estevez et al., 2023) y 20 Kg de BSG son generados por cada 100 litros de cerveza (Sibhatu et al., 2021). En esta proporción, el BSG se convierte en un subproducto de alta importancia desde dos perspectivas: La primera, por su impacto en la estabilidad del medio ambiente, si este fuera desechado. La segunda, por la riqueza en su composición, que permite pensar en el aprovechamiento no solo para la alimentación animal, sino también para enriquecer los atributos sensoriales, nutricionales y funcionales de alimentos destinados para el ser humano.

En comparación con otros residuos industriales, el BSG posee una gran reserva de proteínas, fibras (celulosa, arabinosilano y lignina) y compuestos fenólicos (Qazanfarzadeh et al, 2023), entre otros. Su composición lo perfila como un subproducto sumamente aprovechable para su uso como fuente de fibra y otros compuestos con propiedades tecnológicas y funcionales en

alimentos de consumo masivo, que pueden contribuir a que la población mejore la ingesta de nutrientes y fibra, según las recomendaciones de diferentes organismos a nivel mundial.

En la actualidad, existe una gran preocupación a nivel mundial debido al incremento de muertes causadas por las enfermedades no transmisibles, entre las cuales se encuentran las enfermedades cardiovasculares, los cánceres, enfermedades respiratorias crónicas y la diabetes, incluyendo las enfermedades renales consecuencia de la diabetes. El consumo de alimentos hipercalóricos, altos en sodio, azúcares y grasas, en contraposición a un disminuido o casi nulo consumo de agua, frutas, vegetales y fibra, son factores que contribuyen a la aparición de estas enfermedades. Existen también otros factores de riesgo, como los metabólicos, que aumentan el riesgo de enfermedades no transmisibles, y por lo que se refiera a las muertes atribuibles, el principal factor de riesgo metabólico es la tensión arterial elevada (a la que se atribuye el 19% de las muertes a nivel mundial), seguida del aumento de la glucosa en sangre y el sobrepeso y la obesidad. (Organización Mundial de la Salud, 2022).

Este trabajo reúne los resultados de una variedad de estudios que han podido evidenciar los beneficios que potencialmente tiene el BSG a partir de su composición, no solo a nivel tecnológico para la industria de alimentos, sino también para el consumidor que busca alimentos más sanos con funciones biológicas comprobadas para el beneficio de su salud.

Objetivos

Objetivo general

Exponer las propiedades tecnológicas y funcionales del bagazo de malta (BSG) obtenido del proceso de fabricación de cerveza, encontradas en diferentes estudios.

Objetivos específicos

- Definir el concepto de bagazo de malta cervecero (BSG) y su composición.
- Enunciar las técnicas de tratamiento aplicadas al BSG para la extracción de los compuestos de interés, asociadas a sus ventajas y/o desventajas.
- Enumerar las técnicas analíticas utilizadas para la determinación y cuantificación de los compuestos de interés extraídos del BSG.
- Describir las principales propiedades funcionales y tecnológicas del bagazo de malta.

Metodología

Para la redacción de esta monografía se emplearon métodos bibliométricos y revisiones críticas de artículos de investigación, libros relacionados con la ciencia de alimentos en general y sus capítulos, así como libros dedicados específicamente a la industria de la cervecería; publicados en diferentes revistas agrupadas en bases de datos como Science Direct, editoriales como Springer y Brewers Publications. En cuanto a los artículos consultados, la búsqueda se restringió cronológicamente a aquellos en un lapso comprendido entre enero 2019 y los publicados hasta el 2023, incluso con fecha posterior a la fecha de publicación de esta monografía; no obstante, para contextualizar y fortalecer la información, se incluyeron algunos artículos y otro material bibliográfico anteriores al 2019. Las palabras clave usadas para la búsqueda fueron: BSG, propiedades funcionales, propiedades tecnológicas, propiedades tecno-funcionales, subproducto, contenido fenólico y capacidad antioxidante. Los anteriores términos fueron usados de manera individual y combinados. Toda la búsqueda se llevó a cabo en inglés. Dada la novedad de las investigaciones sobre el BSG como subproducto con potencial de alto valor para la industria de alimentos, no se excluyeron los estudios con modelos animales. Finalmente, se tuvieron en cuenta artículos de investigación que, a nivel general, han comprobado que la ingesta de los compuestos hallados en el BSG es altamente beneficiosa para la salud.

Marco teórico y resultados

Por el carácter de este trabajo de monografía, considerando que el resultado de la búsqueda bibliográfica es un compendio teórico de los avances sobre el tema de las propiedades del BSG, se fusionan los elementos conceptuales del marco teórico general con los hallazgos de la búsqueda.

Fundamentos teóricos del bagazo de malta cervecero (BSG)

Malta

El término malta, en la industria cervecera, hace referencia a la cebada (*Hordeum vulgare L*) que ha sido sometida al proceso de malteado, en el cual se generan condiciones para comenzar su germinación y luego es interrumpida bajo ciertos parámetros de humedad y temperatura, lo que permite obtener granos del cereal con alta disponibilidad de almidón que posteriormente, por tratamientos térmicos que favorecen la acción enzimática endógena, será transformado en compuestos fermentables y no fermentables para la obtención de la cerveza.

Sin embargo, el término no es exclusivo para la cebada, pues pueden maltearse diferentes cereales como trigo, centeno, entre otros.

Origen

La cebada (*Hordeum vulgare L.*) es uno de los cultivos fundadores de la agricultura del Viejo Mundo. Los restos arqueológicos de granos de cebada encontrados en varios yacimientos del Creciente Fértil (Zohary y Hopf 1993; Diamond 1998) indican que el cultivo fue domesticado hacia el año 8000 a.C. (Badr et al, 2000).

La cultura cervecera de los antiguos egipcios y sumerios está bien documentada y es conocida incluso fuera del mundo de los aficionados a la cerveza. Las tablillas que documentan

las fases de malteado y elaboración de la cerveza datan de hace casi 4.000 años, con referencias a la malta de cebada y la cerveza un par de miles de años antes. Estas culturas antiguas cocían la cebada en panes, que se mezclaban con agua caliente y se machacaban, un proceso de elaboración de cerveza que descompone los almidones de los granos en azúcares simples que la levadura puede comer fácilmente (Prague's Pub & Beer Guide, 2018).

Estructura y composición

La estructura del grano de malta (cebada malteada) puede resumirse en tres componentes principales: el embrión, cáscara y endospermo.

Embrión. El embrión es la parte fértil de la semilla de cebada, que también contiene almidón, proteínas y lípidos. Éstos se utilizan durante el desarrollo del embrión tras la fecundación y como fuente inicial de alimento cuando las semillas cosechadas comienzan la germinación. (Fox, 2009).

Cascarilla. La cascarilla es la envoltura protectora externa de los granos de cereales. Constituye aproximadamente el 10% de la masa de la semilla. Se compone de varias capas de células muertas con altos niveles de celulosa inerte, lignina, arabinosilano y otros polímeros de carbohidratos. (Craft Beer & Brewing, *s/f*)

La cascarilla está compuesta por dos estructuras distintas y superpuestas: la palea y la lemma. La palea cubre la cara ventral, mientras que la lemma está ubicada en el lado opuesto, o cara dorsal del grano. El examen detallado de un grano de cebada maduro revela que, aunque parece relativamente unidimensional, en realidad está compuesto de muchas capas distintas. En los granos, el pericarpio está situado directamente debajo de la cáscara y sólo tiene unas pocas células de grosor. La siguiente capa es la testa, la dura cubierta exterior de la semilla que protege

el embrión y las reservas de energía. En la cebada, el tegumento (testa) y el pericarpio están fusionados y actúan como un escudo que impide que la humedad y otros factores ambientales lleguen a los tejidos vivos que protegen. Los polifenoles (también conocidos como taninos) se concentran en la capa del tegumento. La cáscara de cebada se compone de materiales resistentes y abrasivos como la lignina, los pentosanos, las hemicelulosas y el sílice, lo que la hace resistente a la degradación enzimática durante la maceración y capaz de proporcionar la estructura estable necesaria para mantener un lecho poroso durante la filtración.

Un componente importante de la composición química de la cebada y el trigo es el ácido ferúlico. Este compuesto orgánico se concentra en las paredes celulares de la cubierta de la semilla y la capa de aleurona, donde se entrecruza con el arabinoxilano.

Bajo el tegumento se encuentra la capa de aleurona. Al igual que el pericarpio, esta capa especializada sólo tiene dos o tres células de grosor y es activa en el grano maduro, a diferencia del endospermo amiláceo encerrado o de la cáscara que lo recubre. Esta capa no crece, pero produce enzimas que acceden a las reservas de energía almacenadas en el endospermo que necesita el embrión para germinar con éxito (Mallet, 2014).

Endospermo. El endospermo amiláceo puede representar hasta el 80% del peso total del grano, lo que lo convierte en la estructura más grande de los granos de cebada maduros. La estructura interna del endospermo consiste en una mezcla de gránulos grandes y pequeños de almidón incrustados en una matriz proteica. Los gránulos de almidón grandes tienen un tamaño aproximado de 25μ y contienen alrededor del 90% del almidón del grano. Los gránulos más pequeños miden aproximadamente 5μ de diámetro y representan el 10% restante (Mallet, 2014). Alrededor del 10%-12% del grano es proteína y la mayor parte de esta proteína se localiza en el

endospermo como las proteínas de almacenamiento hordeína (35%), glutelina (35%), albúmina (10%) y globulina (20%) (Craft Beer & Brewing, *s/f*).

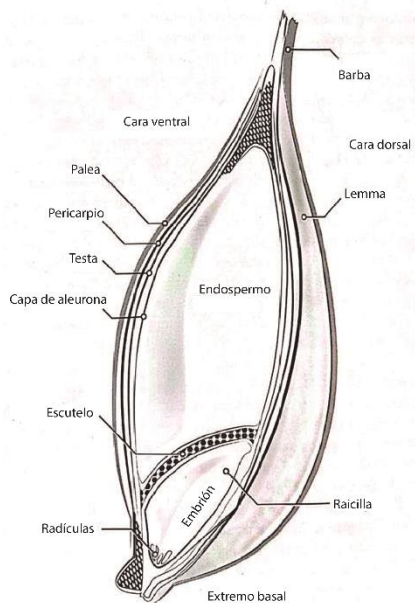


Figura 1. Estructura del grano de cebada (Mallet, 2014).

Importancia en la industria cervecera

La malta es uno de los ingredientes que se usa en más proporción junto con el agua para la elaboración de cerveza. Según las variables del proceso de malteado y el grano, las maltas se pueden clasificar en cinco familias: maltas base, maltas caramelo, maltas especiales, maltas torradas y maltas de otros cereales. En cada familia de malta hay diversos tipos que aportan a la cerveza colores, aromas, sabores y también, composición diferentes. Además de su aporte a los atributos sensoriales de la cerveza, la malta es la materia prima que tiene como función principal aportar los azúcares fermentables que posteriormente se convertirán en alcohol etílico, azúcares

no fermentables que contribuyen al sabor y cuerpo de la cerveza, y otros compuestos como proteínas y minerales.

Elaboración del mosto cervecero

Durante el proceso de elaboración de cerveza se llevan a cabo diferentes etapas que persiguen, cada una, objetivos particulares para la obtención final de un producto inocuo y aceptable sensorialmente. Una de ellas es la obtención del mosto cervecero.

El mosto cervecero es un producto intermediario que se obtiene gracias a la mezcla controlada en proporción, tiempo y otras variables como temperatura y pH, de agua y cebada malteada molida. Para iniciar se calienta agua potable en el tanque de agua caliente para ser mezclada con la malta molida en el tanque de maceración. Una vez se cumplen las condiciones y se alcanzan las características esperadas de la mezcla grano-agua, se procede a filtrar la fase líquida mediante recirculación de la misma a través de la cama de granos que se va compactando. Cuando se termina la etapa de recirculación se procede a separar el grano y el líquido limpio para transferir este último al tanque de cocción donde se le adicionará lúpulo y se llevara a hervor por un tiempo determinado; simultáneamente se hace un lavado a la cama de granos con agua caliente para terminar de retirar azúcares que pudieran haber quedado en la torta, tal como se muestra en la figura 2 a.

2a

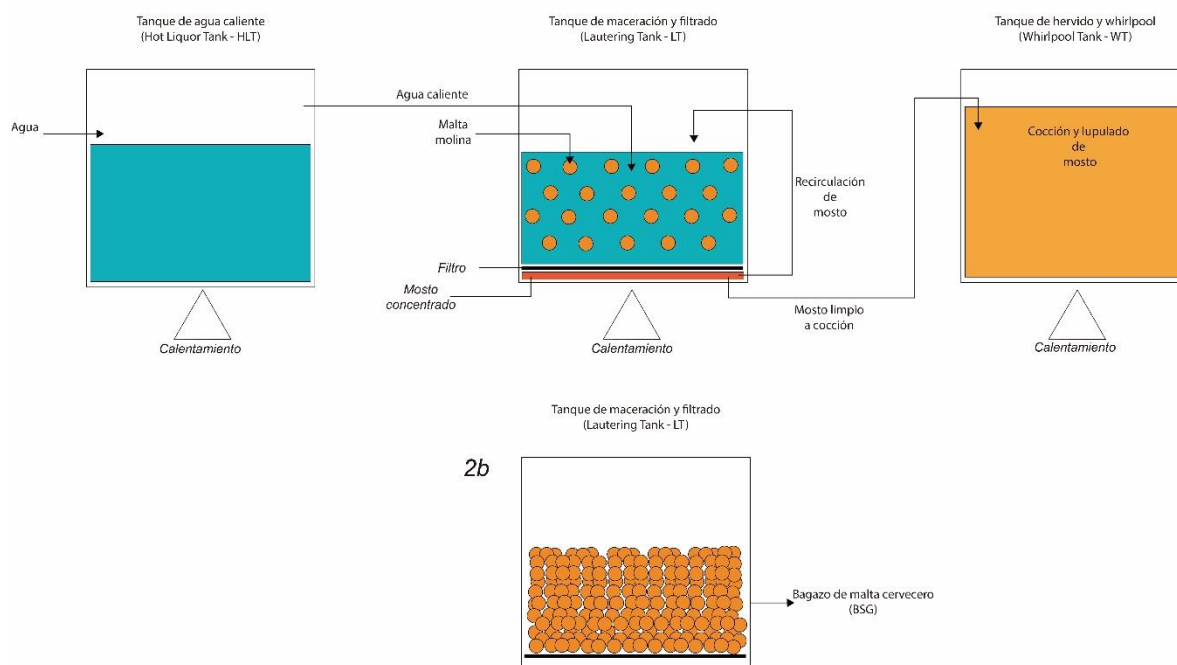


Figura 2. 2 a. Proceso de obtención del mosto cervicero. 2 b. Tanque de maceración con BSG.

Obtención del BSG

Una vez terminada la etapa de lavado de grano, en el tanque de maceración queda la cama con un alto porcentaje de humedad (70-80%) (Wang et al, 2023). Este bagazo de malta cervicera o BSG, por sus siglas en inglés (*Brewers' Spent Grain*) es retirado del recipiente y puede ser aprovechado o desechado. Aproximadamente son generados 20 Kg de BSG por cada 100 L de cerveza producida (Wang et al, 2023), siendo un subproducto de importante consideración para su tratamiento. La Figura 2b ilustra la cebada malteada molida que queda como subproducto en el tanque de maceración. La Figura 3 muestra los pasos generales por los cuales se obtiene como subproducto el BSG.

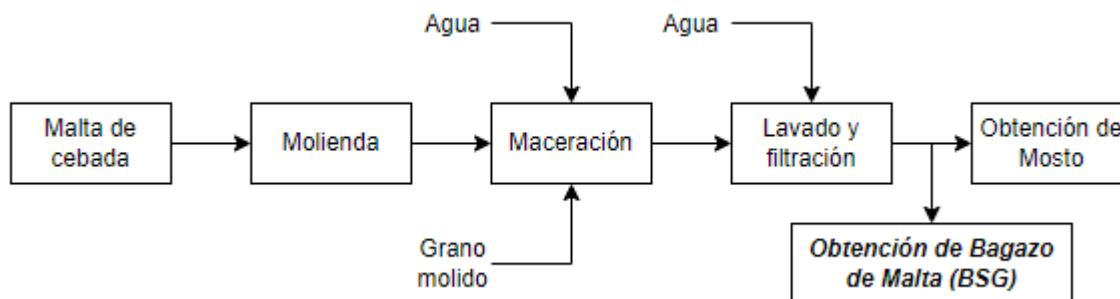


Figura 3. Diagrama de obtención del BSG en el proceso de obtención del mosto.

Composición del BSG

Los principales BSG de cervecería son básicamente materiales lignocelulósicos, compuestos por un 50-70% de fibra, un 15-25% de proteínas, un 7-10% de lípidos, un 1-12% de almidón, un 2-5% de cenizas y otros. La fibra dietética soluble de las BSG incluye arabinosilanos altamente ramificados, β -glucanos, xiloglucanos, mientras que el componente de fibra dietética insoluble está compuesto por celulosa, lignina, arabinosilanos poco ramificados y otros (Ikram et al., 2017).

Los arabinosilanos son un componente principal de la fibra bruta en la BSG convencional. La celulosa, es decir, los residuos de glucosa β -(1,4)-ligados son otra fibra abundante en la BSG. Bajos niveles de β -(1-3, 1-4)-glucanos y otros polisacáridos derivados de la pared celular del endospermo también pueden estar presentes como fibra de la BSG. La lignina representa aproximadamente el 20% del total de la fibra BSG. La proteína BSG consiste en albúminas, globulinas, glutelinas y prolaminas, que es similar a la del grano de cebada original. Los aminoácidos esenciales representan aproximadamente el 30% del contenido total de proteína BSG, siendo la lisina la más abundante (Waters et al., 2012). Además, la BSG es una fuente rica en compuestos fenólicos, en particular ácidos hidroxicinámicos (HCA), incluidos los ácidos ferúlico,

p-cumárico, sinápico y cafeico (Musatto et al., 2007). El BSG también contienen una variedad de minerales y vitaminas, que tienen muchas funciones biológicas, como antioxidantes y actividades antiaterogénicas y antiinflamatorias (Ikram et al., 2017).

Técnicas aplicadas al BSG para la extracción de compuestos bioactivos

En coherencia con los propósitos que se buscan alcanzar mediante el aprovechamiento de residuos agroindustriales, varios estudios han buscado la extracción de compuestos bioactivos utilizando técnicas más amigables con el medio ambiente e incluso más económicas, lo que resultaría en una consecuente producción de ingredientes de alto valor tecnológico y funcional y de bajo costo para la industria de alimentos.

En la Tabla 1 se compila las técnicas de extracción utilizadas en algunos estudios, aplicadas sobre el BSG para la extracción de los compuestos bioactivos de interés para cada investigación en particular.

Estudio	Compuestos de interés	Técnicas de tratamiento y extracción	Ventajas	Referencia
<i>Valorization of brewer's spent grain by consecutive supercritical carbon dioxide extraction and enzymatic hydrolysis.</i>	Aceites y azúcares.	Preacondicionamiento lavando BSG con agua hasta que no se observó turbidez y secándola en un horno de convección de aire hasta alcanzar un contenido final de humedad del 8,5% (p/p). Extracción con CO ₂ super crítico sobre 8,5 g de BSG seco a temperaturas de 40 a 80°C y presión de 20 a 40 MPa, según previa definición de granulometría. Posterior tratamiento enzimático con celulasa, 1,4-(1,3:1,4)-β-d-glucano 4-glucanohidrolasa de <i>Aspergillus niger</i> .	Doble efecto en la inclusión del BSG en el concepto de la economía circular: (1) disolvente verde para la extracción de aceite rico en ácido linoleico. (2) como agente de pretratamiento que mejora el rendimiento de la hidrólisis enzimática. Lo anterior en conjunto permitió un aumento de la extracción de azúcar en un 20% en comparación con el BSG no tratado	Alonso-Riaño et al., 2022.
<i>Pressurized liquid extraction of brewer's spent grain: Kinetics and crude extracts characterization.</i>	Fenoles, aceites, azúcares reductores y azúcares totales.	Secado del BSG en horno con circulación forzada de aire a 45°C durante 24 horas hasta peso constante, alcanzando humedad y volátiles de 4,9 ± 0,1 wt%. Posterior molienda a diferentes tamaños de tamiz, mezcla de las fracciones y empaque en bolsas de polietileno al vacío a -4°C. Las extracciones líquidas presurizadas (PLE) se llevaron a cabo en un sistema semicontinuo. Disolventes: agua desionizada, etanol y soluciones hidroalcohólicas en proporciones de etanol a agua de 0,25, 0,50 y 0,75 en extracciones líquidas presurizadas a temperaturas de 60 a 120 °C. Los experimentos se realizaron a una presión constante de 10 MPa. La cámara de extracción se llenó con aproximadamente 6 g de BSG. Las extracciones dinámicas se realizaron con un flujo constante de disolvente de 2, 4 y 6 mL/min. Los extractos se recogieron en matraces aforados de fondo redondo de 50 mL	En comparación con el método Soxhlet de, la extracción líquida presurizada (PLE) demostró ser una tecnología adecuada para la recuperación de biocompuestos de interés cuando se usan como solventes mezclas de agua presurizada y etanol/agua, siendo respetuosa con el medio ambiente. Su viabilidad técnica quedó demostrada con este estudio.	Herbst et al., 2021

		periódicamente para construir las curvas de extracciones globales durante 60 min de extracción. Se recogieron aproximadamente 5 mL de solución y se almacenaron en matraces ámbar a -4 °C para su análisis.		
<i>Pulsed electric field (PEF) as pre-treatment to improve the phenolic compounds recovery from brewers' spent grains.</i>	Compuestos fenólicos.	La aplicación de PEF se utilizó como pretratamiento para, posteriormente, realizar la extracción de los compuestos fenólicos de la siguiente manera: 15 g de grano gastado de cervecero (2 g de materia seca), previamente sometido a tratamiento PEF se extrajeron agitando dos veces con 30 mL de etanol/agua (4:1 v/v). Los sobrenadantes se recogieron y evaporaron a 35 °C en un rotavapor, y finalmente el extracto seco se reconstituyó con 2 mL de metanol/agua (1:1 v/v). Los extractos se almacenaron a -18 °C antes del análisis. Luego se comparó con extracto sin pretratamiento PEF (control).	Aunque los tratamientos sólido-líquido son los procedimientos más utilizados para la extracción de compuestos fenólicos en muestras de BSG, se utilizó como pretratamiento de extracción la aplicación de campo eléctrico pulsado (PEF) para mejorar la recuperación de compuestos fenólicos. Se optimizaron los parámetros del PEF y este pretratamiento a una intensidad de campo eléctrico de 2,5 kV/cm, frecuencia de 50 Hz durante 14,5 s fue capaz de mejorar la recuperación total de fenoles libres y ligados en 2,7 y 1,7 veces, respectivamente, en comparación con las muestras de control sin tratamiento PEF, probablemente debido al aumento de la permeabilidad de la membrana celular, lo que facilita la extracción de compuestos bioactivos.	Martín-García et al., 2020

<i>Impact of the use of pressurized liquids on the extraction and functionality of proteins and bioactives from brewers' spent grain.</i>	Contenido proteico, contenido fenólico total y actividad antioxidante.	El BSG se recibió con 85% de humedad inicial, se lavó y se secó en horno de convección de aire a 45°C hasta humedad 8% (p/p). Se molió para obtener finura menor a 0,5 mm. La extracción de proteínas se llevó a cabo empleando un sistema de extracción por disolvente acelerado (ASE 150, Dionex, Sunnyvale, CA, EE.UU.). Para ello, se mezclaron 1,5 g de BSG con 9 g de arena, utilizada como agente dispersivo. Se optimizaron los parámetros que más afectaban a la extracción por PLE (tiempo de extracción, temperatura de extracción, composición del disolvente y número de ciclos).	La aplicación de líquidos presurizados (PLE) usados en la extracción de compuestos del BSG se comparó con las extracciones alcalinas asistidas con ultrasonido (UAE). Este nuevo método la aplicación de de 4,7% de etanol a 155°C durante 10 minutos extrajo 36% más de proteínas que el metodo convencional. 35% de etanol con un tiempo de extracción de 17 minutos, permitió una extracción mayor de compuestos fenólicos en comparación con el método tradicional. También hubo mejor desempeño en la actividad antioxidante con PLE, inhibición de la colesterol esterasa, inhibición de la enzima convertidora de la angiotensina. Mayor bioactividad de los extractos PLE debido a mayor cantidad de péptidos hidrofóbicos extraídos y la cantidad de algunos ácidos fenólicos como el cumárico, transferúlico y p-hidroxibenzoico fueron especialmente abundantes en los extractos PLE.	González-García et al., 2021
<i>Recovery of lignins with antioxydant activity from Brewers' Spent Grain and olive tree</i>	Ligninas y capacidad antioxidante.	Primera hidrólisis ácida (H ₂ SO ₄ 72%) a 30°C por una hora. Segunda hidrólisis con ácido diluído (H ₂ SO ₄ 4%) en autoclave (121°C, 1 h).	Las condiciones óptimas (120 °C y 5 h) permitieron rendimientos de lignina del 54,4%, la cual mostró un rendimiento mayor que la de la poda de olivo, con pureza relativamente alta (>75%). La	Cassoni et al, 2023

<i>pruning using deep eutectic solvents</i>			lignina obtenida de la poda de olivo demuestra tener mayor poder antioxidante que la del BSG. El peso molecular de la lignina obtenida (28000g/mol) se asemeja a la lignina Kraft comercial.	
---	--	--	--	--

Tabla 1. Técnicas de extracción aplicadas al BSG para la obtención de compuestos de interés

Algunos estudios, como el realizado por Naibaho et al. (2022), resaltan la importancia de la aplicación de proteasas para una extracción más eficiente de proteínas desde el BSG, usando enzimas como Protamex y Flavourzyme, permitiendo la obtención de proteínas con alta capacidad antioxidante y la evidencia de contenidos importantes de compuestos fenólicos tanto en las proteínas extraídas como en los sedimentos generados.

Técnicas aplicadas al extracto del BSG para la identificación y cuantificación de sus compuestos bioactivos.

Adicional a las técnicas de extracción aplicadas al BSG con o sin pretratamiento para la obtención de compuestos de interés biológico y tecnológico, se llevó a cabo la cuantificación y caracterización de estos por técnicas que son bien conocidas en el campo del análisis instrumental a nivel de laboratorio e industrial. La mayoría de los estudios actuales presentan técnicas de análisis combinadas con el fin de optimizar la investigación y facilitar nuevos conocimientos frente al BSG como fuente de compuestos e ingredientes de alto impacto en la industria. Para algunos de los estudios reportados en la tabla anterior, las técnicas de análisis y cuantificación fueron las siguientes.

La determinación y cuantificación del perfil de ácidos grasos fueron determinadas por el método establecido por la AOAC (Ácidos grasos en aceites y grasas. Preparación de ésteres metílicos por el método del trifluoruro de boro AOAC 969.33-1969 (1997), Fatty acids in oils and fats. 1969, 1997.). Después de prepararse los ésteres metílicos de ácidos grasos, se analizaron por cromatografía de gases (GC). Su cuantificación se realizó relacionando el área de los picos con el área de un patrón interno (tricosanoato de metilo). El contenido fenólico total de los extractos de CO₂ supercrítico, se determinó por el método de Folin-Ciocalteu. El contenido total de flavonoides (TFC) se determinó mediante el método del tricloruro de aluminio descrito por Spinelli et al.

(2016) con ligeras modificaciones. La actividad antioxidante de los extractos de CO₂ supercrítico se evaluó mediante el método ABTS. Los carbohidratos de los extractos obtenidos por dióxido de carbono supercrítico e hidrólisis enzimática fueron cuantificados mediante cromatografía líquida de alta resolución (HPLC). El rendimiento de extracción se determinó gravimétricamente midiendo el peso del extracto a diferentes intervalos de tiempo. (Alonso-Riaño et al., 2022).

Los extractos del BSG obtenidos desde la fase alcohólica fueron analizados por métodos espectrofotométricos para determinar los compuestos fenólicos totales por el método Folin-Ciocolteu con cálculo posterior comparado con curvas de ácido gálico, los compuestos flavonoides totales y la actividad antioxidante. El contenido total de flavonoides se determinaron bajo el método propuesto por Zhisen et al., (1999), el cual consistió en añadir alícuotas (0,1 a 0,3 mL) de muestras, y metanol hasta 0,4 mL, 1,6 mL de agua destilada y 0,12 mL de NaNO₂ (5 % p/v) a matraces ámbar y se mezclaron. Después de 5 min, se añadieron 0,12 mL de AlCl₃ (10 % p/v); y después de 5 min, se añadieron 0,8 mL de NaOH (1 mol·L⁻¹) y 0,96 mL de agua destilada. La absorbancia de la mezcla se midió a 510 nm. La catequina se utilizó como referencia, y los resultados se expresaron como mg de equivalente de catequina por 100 g de muestra (mg CE/100 g). La actividad antioxidante se realizó por tres métodos, usando el extracto solubilizado en una solución de metanol:agua (80% v/v); estos métodos son ABTS, DPPH y FRAP. El contenido de azúcares reductores y azúcares reductores totales presentes en los extractos se determinó por el método colorimétrico DNS. En contraste, para los extractos obtenidos por el método Soxhlet, se practicó cromatografía de gases acoplada a un espectrofotómetro de masas (Herbst et al., 2021).

Propiedades tecnológicas del BSG

El BSG ha sido objeto de estudio debido a su composición y a la gran cantidad que se genera derivado del proceso de elaboración de la cerveza. Diversas investigaciones se han enfocado en este subproducto con el fin de encontrar usos y aplicaciones de este a la fabricación de diferentes alimentos, buscando mejoramiento de atributos sensoriales u optimización de procesos. En la Tabla 2 se exponen algunos estudios con sus hallazgos frente a las propiedades tecnológicas del BSG.

Estudio	Materiales	Tratamiento	Resultados	Autor(es)
<i>Baking properties of flour and nutritional value of rye bread with brewers' spent grain.</i>	Harina de centeno tipo 720 (RF). Dos tipos de bagazo de malta (BSG): BSG de cebada (BBSG). BSG con adición de trigo sarraceno (BBSG+B). Control: harina de centeno y pan.	Mezclas de harina de centeno con un contenido del 10% y el 20% de BBSG Y BBSG+B	La suplementación de RF con BBSG y BBSG + B tuvo un efecto significativo sobre algunas características del pan. Ambos suplementos aumentaron la absorción de agua de la harina y no afectaron a los tiempos de desarrollo y estabilidad de la masa. A su vez, provocaron diferencias significativas en el ablandamiento de la masa, aumentándolo en la masa que contenía BBSG, y disminuyéndolo en la masa con BBSG + B en comparación con la masa RF. El rendimiento del pan aumentó junto con el incremento del contenido de BBSG y BBSG + B en las mezclas de harina.	Czubaszek et al, 2021
<i>Fundamental study in the application of brewers spent grain and fermented brewers spent grain on the quality of pasta.</i>	BSG y FBSG (BSG fermentado) molidos y secados por pulverización, como ingredientes fuente de fibra. Control: sémola y harina integral.	Las adiciones de ingredientes fuente de fibra se calcularon basándose en el agua absorbida y se ajustaron para alcanzar 3g/100g y 6g/100g, de acuerdo a las declaraciones "fuente de fibra" (SF) y "alto contenido de fibra" (HF) (UE, 2006).	La inclusión de BSG y FBSG debilitó las propiedades de la red de gluten frente al control de sémola, pero fue más favorable que el control de harina integral. La adición de BSG y FBSG mejoró la resistencia a la tracción y la firmeza de la pasta en comparación con la pasta integral.	Neylon et al, 2021

<i>Impact of solid-state fermented Brewers' Spent Grains incorporation in biscuits on nutritional, physical and sensorial properties.</i>	BSG no procesado congelado a - 20°C hasta su uso (UBSG)	Fermentación del UBSG con <i>Rhizopus Oligosporus</i> (ROBSG)	El estudio demostró que la sustitución del 30% (p/p) de la harina de trigo por ROBSG dio como resultado galletas con un sabor y una textura aceptables. Indica el potencial del uso de RO SSF para mejorar aún más las propiedades nutricionales y texturales de las aplicaciones alimentarias que contienen subproductos como la BSG. Además, dado que aún no existen normativas relativas a la utilización de BSG en los alimentos, es necesario realizar investigaciones adicionales para evaluar su seguridad cuando se incorpore a nuevos desarrollos de producción.	Wang et al, 2023
<i>Fiber modification of brewers' spent grain by autoclave treatment to improve its properties as a functional food ingredient.</i>	BSG obtenido de cervecería local.	Secado a 75°C hasta humedad de 2-5%, molido para obtener partículas < 385 µm y almacenado en foil no transparente de aluminio a 4°C.	En este estudio, se encontró que una autoclave puede modificar la composición de fibra dietética, lo que conduce a cambios en la composición proximal, así como las propiedades físicas, incluyendo las propiedades de hidratación, capacidad de retención de aceite, y el valor de color de BSG. Además, aunque la TA con presión aumentó el contenido de humedad de la BSG, también redujo la Aw, lo que amplía la seguridad de la BSG durante el almacenamiento debido a la inhibición del crecimiento microbiano.	Nabaiho et al, 2021
<i>Soy-based yogurt-alternatives enriched with brewers' spent grain flour and protein hydrolysates: Microstructural evaluatoin</i>	BSG obtenido de una producción local de cerveza light. Harina de BSG. (BSGF) Tres extractos proteicos	BSG secado por convección hasta alcanzar humedad de 2-5 g/100 g de muestra, molienda a tamaño de partícula de 150 µm. BSGF empacada en foil de aluminio y almacenada a	Las propiedades reológicas mostraron que los derivados de BSG aumentaron significativamente ($p < 0,05$) el índice de viscosidad del yogur de un rango de 44-80 el primer día a un rango de 91-150 a los 14 días	Naibaho et al, 2023

<p><i>and physico-chemical properties during the storage.</i></p>	<p>diferentes tratados con proteasas (BSGPs)</p>	<p>4°C. BSGPs prerados bajo protocolos de estudios previos. Adición de 5g/Kg de Protamex (BSGP-P) y adición de 5g/Kg de Protamex y 1g/Kg de Flavourzyme (BSG-PF)</p>	<p>de almacenamiento mostrando un efecto de refuerzo en la red formada de SYA. También preservó el comportamiento de flujo y la consistencia durante el almacenamiento mostrado por el valor de sinéresis que fue estable durante los 14 días de almacenamiento en un rango de 270-380 g/kg. Los derivados de BSG permitieron el crecimiento de las BL, lo que se demostró por la conservación del pH durante el almacenamiento refrigerado, así como por la mayor producción de ácido. La sustitución de los derivados de BSG en la fermentación del SYA hizo fluctuar el periodo de fermentación debido a su impacto en el crecimiento de las BL y, en consecuencia, en la formación de la textura. Los derivados de BSG modificaron la formación microestructural durante el proceso de fermentación, permitiendo así preservar el comportamiento de fluidez y la consistencia durante el almacenamiento. La limitación del estudio es que la influencia de la BSG sobre el crecimiento de especies específicas de BL sigue sin estar clara, además de la posibilidad de que la BSG altere la aceptabilidad sensorial de la SYA.</p>	
---	--	--	---	--

Tabla 2. Resultados, propiedades tecnológicas e impacto sobre el desarrollo de alimentos con BSG.

Siendo las propiedades tecnológicas del BSG un aspecto muy importante que motiva las investigaciones, no se puede dejar de lado que existen técnicas individuales o en combinaciones que favorecen no solo la extracción de compuestos, sino la exhibición de sus propiedades tecnológicas, más que otras. Por ejemplo, La caracterización tecnofuncional de las proteínas extraídas del BGS (BGSP) demostró que los tratamientos enzimáticos generaban una mayor capacidad de retención de aceite, capacidad de formación de espuma y estabilidad de la espuma, aunque tenían un menor índice de actividad de emulsión. Por ello, los BSGP tratados con proteasas podrían tener un mejor rendimiento en el procesado de alimentos. (Naibaho et al., 2022). Resultados semejantes a los anteriores fueron detallados por Chin et al., (2022), en los que los extractos obtenidos por fermentación en estado sólido con *Rhizopus oligosporus*, posteriormente sometido a tratamiento enzimáticos con proteasas y analizados, mostraron mejores capacidades emulsionantes, espumantes y capacidades de unión agua/aceite que las halladas en el BSG sin tratamiento. En este estudio, los extractos fueron aplicados a una formulación de mayonesa desmostrándose una mejor estabilidad de la emulsión expresada en cremosidad, microestructura y viscosidad.

Otra investigación muy interesante realizada por Ibbet et al., (2019) sobre el efecto que tiene la aplicación del procesamiento hidromecánico sobre el BSG en húmedo, pasándolo por molino coloidal y posteriores experimentos de aplicación en diferentes soluciones, permitió obtener un material rico en proteínas que, entre otras cosas, muestra potencial estabilidad para su desempeño como estabilizante en formulaciones de alimentos o bebidas, de igual manera para la formulación de alimentos aceite-agua por su carácter hidrófilo-hidrófobo y, además, se encontró que la fracción fina de la molienda facilita la acción enzimática de las proteasas.

A nivel tecnológico, resulta interesante la aplicación del BSG no solo como ingrediente o aditivo para mejorar procesos productivos o propiedades del alimento que lo contiene; también su incursión tecnológica en avances como la microencapsulación ha sido de estudio para futuras innovaciones. La investigación realizada por Cian et al., (2021) mostró que la utilización del concentrado proteico de BSG como material de microencapsulación de hierro y ácido ascórbico, permitió obtener un fortificante con mayor bioaccesibilidad al hierro y mayor contenido de este, teniendo en cuenta que la fortificación con hierro es difícil y la mayoría de las fuentes de hierro son reactivas a la matriz alimenticia.

Propiedades funcionales del BSG

Por la composición que tiene este subproducto agroindustrial, varios investigadores han considerado de manera muy importante la contribución potencial que este podría tener como ingrediente dentro del desarrollo de productos alimenticios funcionales, sin afectar la aceptación del producto a nivel sensorial por parte de los consumidores. En la Tabla 3 se presentan los hallazgos de algunos estudios que demuestran que el BSG es un ingrediente con propiedades funcionales con alto potencial e incluso, de bajo costo, para su aplicación en el desarrollo de alimentos y/o mejoramiento de los ya existentes, buscando que su incursión sea de gran impacto a un menor costo.

Estudio	Materiales	Tratamiento	Principales resultados.	Autor(es)
<i>Recovery of lignins with antioxydant activity from Brewers' Spent Grain and olive tree pruning using deep eutectic solvents</i>	BSG facilitado por cervecería portuguesa.	Primera hidrólisis ácida (H ₂ SO ₄ 72%) a 30°C por una hora. Segunda hidrólisis con ácido diluido (H ₂ SO ₄ 4%) en autoclave (121°C, 1 h).	Las condiciones óptimas (120 °C y 5 h) permitieron rendimientos de lignina del 54,4%, la cual mostró un rendimiento mayor que la de la poda de olivo, con pureza relativamente alta (>75%). La lignina obtenida de la poda de olivo demuestra tener mayor poder antioxidante que la del BSG. El peso molecular de la lignina obtenida (28000g/mol) se asemeja a la lignina Kraft comercial.	Cassoni et al, 2023
<i>Conventional water bath heating on undried brewers' spent grain: Funcionalidad, fatty acids, volatiles, polyphenolic and antioxidant properties.</i>	BSG facilitado por cervecería local polaca.	Molienda a grosor 0,2 mm. Almacenamiento en bolsa de polietileno y almacenamiento a temperatura de congelación (-20°C). Tratamiento de baño María convencional (CWH) a diferentes temperaturas y tiempos de exposición (80, 90 y 100°C a 15, 30 y 60 min) a BSG sin secar.	La CWH a 80 °C aumentó la cantidad de flavan-3-oles, mientras que 100 °C a 30 y 60 min mejoró el valor ABTS. El CWH disminuyó significativamente el ácido graso saturado y mejoró el ácido graso poliinsaturado, permitiendo así una mayor producción de PUFAs a partir de BSG y promoviendo potencialmente su uso como ingrediente alimentario funcional o con fines nutraceuticos. . Además, el CWH eliminó las percepciones de olores picantes, florales, a especias y a setas y formó percepciones de olores afrutados, dulces y agradables, así como compuestos relacionados con aceites esenciales comparando con el BSG sin tratamiento.	Naibaho et al, 2023
<i>Influence of drying methods on health indicators of brewers spent grain for</i>	BSG fresco obtenido de una microcervecería local en San Francisco, CA., Bay Area, usado para la producción de una cerveza tipo IPA (India Pale Ale) con 1,9% de	Secado intermitente por infrarrojo (IRD): calentador catalítico infrarrojo de gas sin llama (Temperatura entre 350-380°C). Secado por aire caliente (HAD): secador de aire caliente	Se observó un efecto positivo en los parámetros de salud del hígado y el tejido adiposo, el colesterol y las proteínas fecales en comparación con la dieta de control. Las hormonas	Thai et al, 2022

<p><i>potential upcycling into food products.</i></p>	<p>malta acidulada (malta acidulada con ácido láctico).</p>	<p>de armario a 85°C. El BSG seco se molió utilizando un molino de muestras ciclónico modelo 3010-014 con una criba de 500 µm. Incorporación de BSG secos a dietas de ratones en comparación con dieta de control.</p>	<p>relacionadas con la diabetes de tipo II y el síndrome metabólico no mostraron diferencias, excepto la grelina y la leptina, que están directamente correlacionadas con el aumento del tejido adiposo blanco en ratones que consumen dietas ricas en grasas. Los ratones alimentados con dietas HAD e IRD BSG aumentaron la abundancia relativa de la microbiota de los filos Firmicutes y Bacteroidetes en comparación con la dieta control. Los métodos de secado no tuvieron efectos significativos en el análisis proximal, fibra, TSP, AC y microbiota observada, como indicación de que es posible aplicar la tecnología IRD para secar BSG sin efectos significativos en las propiedades del BSG. Además, el uso de nuestro novedoso método IRD para el secado de BSG puede aportar beneficios potenciales en términos de calidad sensorial y ahorro energético.</p>	
<p><i>Rejuvenated Brewers' Spent Grain: The impact of two BSG-derived ingredients on techno-functional and nutritional characteristics of fibre-enriched pasta.</i></p>	<p>EverVita Fibra (EVF): derivado del BSG con alto contenido de fibra. EverVita PRO (EVP): derivado del BSG con contenido de proteínas (proveídos por Anheuser-Busch InBev, Leuven, Belgium). Pasta producida con semolina de trigo durum. Pasta producida con harina integral. Pasta comercial enriquecida con fibra (control).</p>	<p>Adición de EVF y EVP en cantidades necesarias para alcanzar las declaraciones "fuente de fibra" y "alto en fibra" de acuerdo a las regulaciones de la Unión Europea. (Official Journal of European Union, 2006). Esto es, 3 g/100 g de pasta cocida y 6 g/100 g de pasta cocida.</p>	<p>A nivel nutricional, el contenido de proteína fue más alto en la pasta EVF (9,90 g/100g). La pasta con semolina y las pastas EVF y EVP al nivel de "fuente de fibra" mostraron los niveles más altos de almidón digerible. Se llevó a cabo un ensayo in vitro para evaluar la velocidad de digestión del almidón, así como para permitir el cálculo del índice glucémico previsto (pGI) y la carga glucémica (pGL) de la pasta. El control de sémola mostró un pGI de 56,92 ±</p>	<p>Sahin et al, 2021</p>

			<p>1,30, mientras que el control de harina integral resultó en un pGI inferior de $52,00 \pm 0,14$. El pGI de la pasta comercial rica en fibra representó el valor más alto entre todas las muestras ($71,49 \pm 2,77$). La inclusión de ingredientes derivados de BSG a nivel de "fuente de fibra" no afectó al pGI de la pasta a base de sémola (EVF: $58,24 \pm 0,27$; EVP: $59,09 \pm 1,84$). Sin embargo, la adición de EVP en el nivel "alto en fibra" provocó una disminución significativa de la hidrólisis del almidón durante la digestión ($39,78 \pm 1,47$). La carga glucémica prevista más baja se detectó en la pasta con EVP "rica en fibra" ($15,19 \pm 0,56$).</p>	
<p><i>Exploring the bioactive potential of brewers spent grain ohmic extracts.</i></p>	<p>BSG suministrado por cervecería local en Portugal.</p>	<p>Secado de BSG a 60°C en horno de convección, hasta 90% de materia seca y posterior almacenamiento en vacío. Dos extracciones acuosas de etanol (60 y 80% etanol:agua (v/v)) para calentamiento óhmico.</p>	<p>Los residuos sólidos obtenidos tenían una buena cantidad de fibra y proteína, lo que hace del residuo de BSG un buen candidato para ser un ingrediente bioactivo en productos alimenticios. El extracto etanólico al 60% fue el de mayor cantidad de contenido fenólico y el que presentó una mayor diversidad de compuestos fenólicos, siendo los ácidos 4-hidroxibenzoico y ferúlico los de mayor concentración ($125,86$ y $35,82 \mu\text{g/g BSG}$). También fue este extracto el que presentó mayor actividad antioxidante por el método ABTS, pero no fue el que presentó mayor actividad antioxidante por el método ORAC. Ambos extractos demostraron ser eficaces contra el crecimiento de <i>L. monocytogenes</i> y <i>B. cereus</i> y contra la formación de biopelículas. Ambos</p>	<p>Bonifácio-Lopes et al, 2022</p>

			extractos también demostraron no ser mutagénicos y tener una actividad antihipertensiva de 26,7 y 76,4 mg de ácido gálico equivalente/g BSG, respectivamente, aunque ambos extractos demostraron ser citotóxicos en determinadas concentraciones (todas por encima de 0,5 mg/mL).	
--	--	--	---	--

Tabla 3. Hallazgos de propiedades funcionales del BSG

Como ya se pudo evidenciar, se han aplicado diferentes métodos de extracción de compuestos sobre el BSG como matriz, y con miras a evaluar la capacidad antioxidante de algunos compuestos. En el estudio hecho por Abeynayake, Zhang, Yang y Chen (2022), se llevó a cabo una hidrólisis enzimática analizando varias enzimas comerciales en aplicación individual y en combinación para desarrollar péptidos con propiedades antioxidantes. En la investigación se halló que los péptidos obtenidos por la acción de alcalasa y su combinación con neutralasa, everlasa o flavourzyme, mostraron mayor actividad de eliminación de radicales evaluados por el método del radical libre 2,2-difenil-1-picrilhidracilo (DPPH). De igual manera, algunas de las combinaciones permitieron obtener péptidos que exhibieron actividades de barrido de radicales superóxido (Alcalasa y Flavourzyme). De manera muy significativa, se halló que los péptidos resultantes de la combinación de Everlasa y FoodPro PHT, demostraron ser eficaces en la quelación de iones ferrosos. Las propiedades anteriormente expuestas, según el estudio, pueden obedecer a la presencia de histidina, que bien se conoce por su alta capacidad de donación de protones de su anillo imidazólico. Los resultados son concluyentes, permitiendo considerar así el BSG como una materia prima de gran valor tecnológico y de bajo costo para la industria de alimentos.

BSG y salud.

El crecimiento de la población, el avance vertiginoso de la tecnología y el desarrollo en el conocimiento y las prácticas científicas han permitido profundizar en las causas de diversos problemas de salud de la población a nivel mundial desde diferentes perspectivas, y así mismo poner en evidencia la carencia que se tiene en cuanto a las buenas prácticas (de producción, distribución, comercialización y consumo) y la conciencia frente a la importancia de la puesta en práctica de hábitos de vida saludable.

Se ha demostrado que le BSG es un subproducto con alto potencial como ingrediente para su incursión en la industria de alimentos con fines tecnológicos y funcionales. Algunas compañías productoras de alimentos son cada vez más conscientes de la importancia de ofrecer al mercado, incluso de consumo masivo, alimentos con menos influencia de aditivos artificiales y más protagonismo de ingredientes que por lo menos promuevan el consumo de alimentos más naturales y con potencial beneficioso para la salud de quien lo ingiere.

A través de diversos estudios se ha demostrado la relación que tienen algunos compuestos presentes de manera natural en diferentes matrices alimenticias con beneficios a la salud humana. El BSG posee, de manera significativa, algunos de estos compuestos, que como se ha mostrado en la tabla anterior, exhiben potencial función biológica con perspectivas a ser aplicados en el desarrollo de alimentos con fines funcionales.

Contenido fenólico y capacidad antioxidante del BSG

En términos generales, un compuesto fenólico es aquel que en su estructura posee un anillo de benceno con uno o más grupos hidroxilos (-OH). Los conceptos genéricos “compuestos fenólicos”, “fenólicos” o “polifenoles” se refieren a más de 8000 compuestos encontrados en el reino vegetal (Vuong, 2021) que tienen propiedades de alto interés para la industria de alimentos a nivel tecnológico y funcional. Se sabe que los compuestos fenólicos exhiben propiedades antioxidantes que protegen contra diversas enfermedades.

Por ser una matriz vegetal que genera gran cantidad de residuos en la industria cervecera, el BSG ha sido foco de atención en los últimos años y en cuanto al contenido fenólico, se ha descubierto que el ácido ferúlico y el ácido p-cumárico son los dos principales compuestos fenólicos de las BSG, sobre todo en forma ligada en asociación con arabinoxilanos (Miafo et al.,

2021). En el estudio hecho por Jin et al (2022), se observó una elevada cantidad de compuestos fenólicos, incluyendo ácido ferúlico, ácido p-cumárico, ácido sináptico, ácido cafeico, ácido vanílico, ácido 4-OH-benzoico y catequina en todas las muestras de BSG artesanal evaluadas. La Tabla 4 muestra el contenido fenólico de cuatro diferentes muestras de BSG recolectadas en cervecerías artesanales de Fargo, ND y Moorhead, MN.

Contenido total de ácidos fenólicos	
Compuesto fenólico	Contenido (mg/Kg)
Contenido total de ácidos fenólicos en BSG	2309,7 ± 344,3
Contenido total de ácidos fenólicos en malta de control	2819,8 ± 67,9
Contenido de ácidos hidroxicinámicos	
Compuesto fenólico	Contenido (mg/Kg)
Ácido ferúlico	1893,3 ± 257,9
Ácido p-cumárico	365,5 ± 242,2
Ácido sináptico	12,8 ± 2,8
Ácido cafeico	18,3 ± 4,7
Contenido de ácidos 4-hidroxibenzoicos	
Compuesto fenólico	Contenido (mg/Kg)
Ácido vanílico	14,0 ± 2,4
Ácido 4-OH-benzoico	1,6 ± 0,4
Catequina	4,2 ± 3,1

Tabla 4. Contenido promedio de ácidos fenólicos en muestras de BSG.

Los resultados alcanzados en el estudio hecho por Connolly et al., (2021), demostraron que la actividad in vitro observada de los extractos ricos en fenoles puede traducirse en un efecto hipotensor in vivo. Dicha reducción, según este estudio y anteriores realizados por Suzuki, Kagawa, Ochiai, Tokimitsu y Saito (2002), sobre matrices alimenticias como los granos de café, es atribuida al ácido ferúlico y en menor medida, al ácido cafeico. La extracción asistida por enzimas tiene potencial como método alternativo sin disolventes para generar extractos ricos en fenoles a partir de BSG que pueden ser útiles en el tratamiento de la hipertensión.

BSG, fibra y función prebiótica

Diversos estudios y revisiones confirman que la poca ingesta de fibra está relacionada con la salud metabólica y una variedad de patologías incluyendo enfermedad cardiovascular, enfermedades del colon, motilidad intestinal y riesgo de carcinoma colorrectal. La ingesta de fibra alimentaria también está relacionada con la mortalidad. La microflora intestinal es un importante mediador de los efectos beneficiosos de la fibra alimentaria, incluida la regulación del apetito, los procesos metabólicos y las vías inflamatorias crónicas. (Barber et al., 2020).

Bonifácio-Lopes et al., (2023), llevaron a cabo un estudio con el fin de evaluar, entre otras propiedades, la función prebiótica de extractos de BSG obtenidos por extracción convencional sólido-líquido y extracción por calentamiento óhmico (OHE), usando como disolvente etanol:agua en proporciones 60% y 80% (v/v), y se evidenció que los extractos potenciaron el crecimiento de los microorganismos probióticos *Bifidobacterium animalis* B0, *Bifidobacterium animalis* spp. *Lactis* BB12, *Lactocaseibacillus casei* 01 y *Lactobacillus acidophilus* LA-5.

BSG y salud cardiovascular

La salud cardiovascular ha estado relacionada a múltiples factores, entre ellos la ingesta desmedida de azúcar y algunas grasas saturadas desde la fuente y en preparación de alimentos,. Estudios piloto como el de Schimidt-Combest et al., (2023), en el que evaluaron durante ocho semanas el impacto del consumo diario de BSG, aplicado en panecillos, sobre los perfiles lipídicos, la inflamación y las funciones metabólicas de adultos sanos, contra un grupo que no consumió BSG. Los resultados de esta investigación, aunque no arrojaron diferencias significativas sobre marcadores de salud cardiovascular entre los dos grupos evaluados, sí deja evidencia de que el

consumo de BSG mejora la ingesta de fibra, lo cual hace parte de buenos hábitos de alimentación que, consecuentemente, resultan en beneficios para la salud del consumidor.

Sin embargo, Ferreira et al., (2022) evaluaron in vitro e in vivo los efectos de péptidos bioactivos obtenidos del BSG y su desempeño ante la digestión gastrointestinal en un modelo de hiperlipidemia con roedores que fueron alimentados con una dieta rica en azúcar. Los resultados demostraron que, el BSG además de ser una fuente de péptidos bioactivos de bajo costo, la microencapsulación de estos es efectiva para mantener su actividad hipolipidémica durante el proceso digestivo, evidenciándose positivamente, tanto in vitro como in vivo, en la inhibición de enzimas de digestión de las grasas, entre ellas la lipasa pancreática y la colesterol esterasa, así como la reducción de los niveles séricos de lípidos (triglicéridos, colesterol y ácidos grasos libres), la ingesta energética, el tamaño de adipocitos viscerales, entre otros.

BSG y otros aportes a la salud del consumidor

El desarrollo de prototipos de alimentos con aplicación del BSG con diferentes tratamientos permite pensar en la masificación de productos con mejores perfiles nutricionales y de salud. Belén Gutiérrez-Barrutia et al., (2023), llevaron a cabo un estudio en el que evaluaron el valor nutricional y las posibles declaraciones de propiedades saludables de galletas con contenido reducido de azúcar con la aplicación de BSG extruido (EBSG) y fructooligosacáridos (FOS). Se caracterizaron las galletas mediante análisis de nutrientes y compuestos bioactivos antes y después de digestión enzimática in vitro, simulando la fermentación oral-gastrointestinal y en colon. Siguientemente, se analizó la bioaccesibilidad de antioxidantes, compuestos antiinflamatorios y antidiabéticos en los digeridos intestinales de las galletas y de ácidos grasos de cadena corta en muestras colónicas. Los análisis mostraron que las galletas elaboradas con EBSG exhibieron menor bioaccesibilidad intestinal a la glucosa y mayor en el caso de los compuestos fenólicos, en

comparación con galletas sin el EBSG. De igual manera, los autores lograron evidenciar que las galletas con 17% de EBSG mostraron una significativa inhibición intracelular de especies reactivas al oxígeno y la adición de FOS mejoró la producción de ácido butírico, mientras que el EBSG favoreció la producción de ácido valérico, el cual tiene un efecto quimioprotector.

Discusión

Los residuos generados en los procesos de producción de alimentos, y aquellos provenientes de la agroindustria en general, están teniendo una acogida importante dentro del concepto y práctica de la economía circular. La creación de nuevas empresas en el sector agroalimentario, la búsqueda de alimentos con menos incursión de aditivos artificiales y, en el mismo sentido, el deseo de una alimentación más saludable y acorde a las necesidades nutritivas de los diferentes grupos poblacionales, no solo han propiciado el aumento de subproductos, sino también el interés científico para el aprovechamiento de estos, con miras a producciones amigables con el medio ambiente, económicas y con alto valor agregado para la nutrición y la salud de los consumidores.

Los estudios contemplados para realizar la presente monografía, aunque con diferentes enfoques, se encuentran en varios puntos de mucha importancia para futuros desarrollos e investigaciones a partir del BSG; por ejemplo, de manera significativa, es sustancial considerar el tipo de técnicas de extracción de los compuestos de dicho material, puesto que la combinación de algunos métodos, o la leve modificación de los convencionales pueden, consecuentemente, permitir desarrollos optimizados en términos de procesos, tiempo, dinero y resultados. En el mismo sentido, esto puede facilitar las técnicas de análisis y cuantificación de los compuestos de interés en los estudios realizados. Otro punto de consideración en el cual convergen algunos de los estudios, es la búsqueda de compuestos con propiedades tecnológicas y funcionales con real aplicación a desarrollos industriales, ya sea para mejorar, por ejemplo, propiedades reológicas y sensoriales de los alimentos, protección ante la oxidación de los mismos o incursión de compuestos aislados con el fin de dar inicio a prototipos de alimentos funcionales en diversas industrias, como panificación, lácteos y suplementos dietarios.

Finalmente, aunque la investigación sobre el BSG y su aprovechamiento como materia prima para la consecución de compuestos de interés industrial puede considerarse novedosa debido al auge creciente de la industria cervecera artesanal, los resultados encontrados son prometedores frente a los diferentes retos que plantea el mercado: la necesidad de producciones limpias y sostenibles y la salud del ser humano a partir de la alimentación, asociada a adecuados hábitos de vida.

Conclusiones

- El BSG es un subproducto que se perfila como materia prima de alto valor científico e industrial, con potencialidad para la extracción de compuestos con propiedades tecnológicas funcionales.
- Las técnicas y métodos de extracción de compuestos de interés contenidos en el BSG son de gran relevancia no solo para su propósito explícito, sino para comparar y evaluar leves modificaciones de estos y nuevas metodologías que, junto con los reactivos usados, puedan ser más amigables con el medio ambiente y menos costosos.
- Siendo el BSG un material relativamente nuevo, es importante la consideración sobre las técnicas de análisis de los compuestos extraídos, de manera que se identifiquen estos y también se evalúe, por comparación, los resultados analíticos desde las diferentes técnicas de extracción, determinando su efectividad y eficiencia.
- Las propiedades tecnológicas encontradas en el BSG abren, evidentemente, retos para que la industria de los alimentos adopten procesos de investigación y desarrollo de alimentos con más aplicación de compuestos e ingredientes naturales que asemejen, mantengan o mejoren las propiedades sensoriales, reológicas y de conservación de los alimentos.
- El BSG, además de ser una fuente importante de fibra dietaria, contiene compuestos de alto valor biológico que tienen potencial influencia sobre la salud del ser humano. De manera muy importante, se considera su acción sobre diabetes, hipertensión, perfil lipídico (consecuentemente, sobre la salud cardiovascular) y salud del tracto gastrointestinal (salud metabólica).
- Aunque el BSG exhibe propiedades funcionales prometedoras para el desarrollo de alimentos con actividades biológicas específicas, algunas analizadas in vitro e in vivo, los

investigadores de varios estudios sugieren que se aumenten esfuerzos en profundizar la indagación de estas propiedades a partir de los compuestos extraídos, para generar resultados concluyentes que den paso a futuras producciones desde el aprovechamiento real del subproducto en cuestión.

- El BSG se puede considerar como un material fuente de compuestos como proteínas, polifenoles y fibra, que no solo contribuye a propiedades específicas (sensoriales, reológicas y de conservación) en el desarrollo de alimentos, sino que también puede ser aplicado con éxito en tecnologías de suma importancia industrial y nutricional, como la microencapsulación.

Referencias

- Abeynayake, R., Zhang, S., Yang, W., & Chen, L. (2022). Development of antioxidant peptides from brewers' spent grain proteins. *LWT*, *158*, 113162.
- Alonso-Riano, P., Melgosa, R., Trigueros, E., Illera, A. E., Beltrán, S., & Sanz, M. T. (2022). Valorization of brewer's spent grain by consecutive supercritical carbon dioxide extraction and enzymatic hydrolysis. *Food Chemistry*, *396*, 133493.
- Badr, A., Sch, R., Rabey, H. E., Effgen, S., Ibrahim, H. H., Pozzi, C., & Salamini, F. (2000). On the origin and domestication history of barley (*Hordeum vulgare*). *Molecular biology and evolution*, *17*(4), 499-510.
- Barber, T. M., Kabisch, S., Pfeiffer, A. F., & Weickert, M. O. (2020). The health benefits of dietary fibre. *Nutrients*, *12*(10), 3209.
- Bhat, R. (2021). Sustainability challenges in the valorization of agri-food wastes and by-products. In *Valorization of agri-food wastes and by-products* (pp. 1-27). Academic Press.
- Bonifácio-Lopes, T., Castro, L. M., Vilas-Boas, A., Campos, D., Teixeira, J. A., & Pintado, M. (2023). Impact of gastrointestinal digestion simulation on brewer's spent grain green extracts and their prebiotic activity. *Food Research International*, *165*, 112515.
- Bonifacio-Lopes, T., Vilas-Boas, A., Machado, M., Costa, E. M., Silva, S., Pereira, R. N., ... & Pintado, M. (2022). Exploring the bioactive potential of brewers spent grain ohmic extracts. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, *76*, 102943.

Brewing with malt - A brief history of barley and malting - news. (s/f). Praguebeergarden.com - Prague's Pub & Beer Guide. Recuperado el 10 de junio de 2023, de <https://www.praguebeergarden.com/news/post/brewing-beer-malt-history>

Cassoni, A. C., Costa, P., Mota, I., Vasconcelos, M. W., & Pintado, M. (2023). Recovery of lignins with antioxidant activity from Brewer's spent grain and olive tree pruning using deep eutectic solvents. *Chemical Engineering Research and Design*, 192, 34-43.

Chin, Y. L., Chai, K. F., & Chen, W. N. (2022). Upcycling of brewers' spent grains via solid-state fermentation for the production of protein hydrolysates with antioxidant and techno-functional properties. *Food Chemistry: X*, 13, 100184.

Czubaszek, A., Wojciechowicz-Budzisz, A., Spychaj, R., & Kawa-Rygielska, J. (2021). Baking properties of flour and nutritional value of rye bread with brewer's spent grain. *LWT*, 150, 111955.

Diamond, J. M., & Ordunio, D. (1999). *Guns, germs, and steel* (Vol. 521). New York: Books on Tape.

Enfermedades no transmisibles. (s/f). Who.int. Recuperado el 20 de mayo de 2023, de <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/noncommunicable-diseases>

Estévez, A., Padrell, L., Iñarra, B., Orive, M., & San Martín, D. (2021). Brewery by-products (yeast and spent grain) as protein sources in gilthead seabream (*Sparus aurata*) feeds. *Aquaculture*, 543, 736921.

- González-García, E., Marina, M. L., & García, M. C. (2021). Impact of the use of pressurized liquids on the extraction and functionality of proteins and bioactives from brewer's spent grain. *Food Chemistry*, *359*, 129874.
- Gutierrez-Barrutia, M. B., Cozzano, S., Arcia, P., & del Castillo, M. D. (2023). Assessment Of In Vitro Digestion Of Reduced Sugar Biscuits With Extruded Brewers' Spent Grain. *Food Research International*, 113160.
- Herbst, G., Hamerski, F., Errico, M., & Corazza, M. L. (2021). Pressurized liquid extraction of brewer's spent grain: Kinetics and crude extracts characterization. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, *102*, 370-383.
- Ibbett, R., White, R., Tucker, G., & Foster, T. (2019). Hydro-mechanical processing of brewer's spent grain as a novel route for separation of protein products with differentiated techno-functional properties. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, *56*, 102184.
- 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.
- Jin, Z., Lan, Y., Ohm, J. B., Gillespie, J., Schwarz, P., & Chen, B. (2022). Physicochemical composition, fermentable sugars, free amino acids, phenolics, and minerals in brewers' spent grains obtained from craft brewing operations. *Journal of Cereal Science*, *104*, 103413.
- Mallett, J. (2014). *Malt: a practical guide from field to brewhouse* (Vol. 4). Brewers Publications.
- Martín-García, B., Tylewicz, U., Verardo, V., Pasini, F., Gómez-Caravaca, A. M., Caboni, M. F., & Dalla Rosa, M. (2020). Pulsed electric field (PEF) as pre-treatment to improve the

- phenolic compounds recovery from brewers' spent grains. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 64, 102402.
- Miafo, A. P. T., Muralikrishna, G., Koubala, B. B., & Kansci, G. (2021). Purification and structural characterization of calcium hydroxide isolated arabinoxylans derived from bran, spent grain and sorghum grains. *Journal of Cereal Science*, 100, 103266.
- Mussatto, S. I., Dragone, G., & Roberto, I. C. (2006). Brewers' spent grain: generation, characteristics and potential applications. *Journal of cereal science*, 43(1), 1-14.
- Mussatto, S. I., Dragone, G., & Roberto, I. C. (2007). Ferulic and p-coumaric acids extraction by alkaline hydrolysis of brewer's spent grain. *Industrial Crops and Products*, 25(2), 231-237.
- Naibaho, J., Jonuzi, E., Butula, N., Korzeniowska, M., & Yang, B. (2023). Soy-based yogurt-alternatives enriched with brewers' spent grain flour and protein hydrolysates: Microstructural evaluation and physico-chemical properties during the storage. *LWT*, 178, 114626.
- Naibaho, J., Korzeniowska, M., Wojdyło, A., Figiel, A., Yang, B., Laaksonen, O., ... & Viiard, E. (2021). Fiber modification of brewers' spent grain by autoclave treatment to improve its properties as a functional food ingredient. *LWT*, 149, 111877.
- Naibaho, J., Korzeniowska, M., Wojdyło, A., Ayunda, H. M., Foste, M., & Yang, B. (2022). Techno-functional properties of protein from protease-treated brewers' spent grain (BSG)

- and investigation of antioxidant activity of extracted proteins and BSG residues. *Journal of Cereal Science*, 107, 103524.
- Naibaho, J., Pudło, A., Bobak, Ł., Wojdyło, A., López, Á. A., Pangestika, L. M. W., ... & Yang, B. (2023). Conventional water bath heating on undried brewer's spent grain: Functionality, fatty acids, volatiles, polyphenolic and antioxidant properties. *Food Bioscience*, 53, 102523.
- Neylon, E., Arendt, E. K., Zannini, E., & Sahin, A. W. (2021). Fundamental study of the application of brewers spent grain and fermented brewers spent grain on the quality of pasta. *Food Structure*, 30, 100225.
- Objetivos de Desarrollo Sostenible*. (s/f). UNDP. Recuperado el 3 de mayo de 2023, de <https://www.undp.org/es/sustainable-development-goals>
- Qazanfarzadeh, Z., Ganesan, A. R., Mariniello, L., Conterno, L., & Kumaravel, V. (2022). Valorization of brewer's spent grain for sustainable food packaging. *Journal of Cleaner Production*, 135726.
- Sahin, A. W., Hardiman, K., Atzler, J. J., Vogelsang-O'Dwyer, M., Valdeperez, D., Münch, S., ... & Arendt, E. K. (2021). Rejuvenated Brewer's Spent Grain: The impact of two BSG-derived ingredients on techno-functional and nutritional characteristics of fibre-enriched pasta. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 68, 102633.
- Schmidt-Combest, S., Warren, C., Grams, M., Wang, W., Miketinas, D., & Patterson, M. (2023). Evaluation of brewers' spent grain on cardiovascular disease risk factors in adults: Lessons learned from a pilot study. *Bioactive Carbohydrates and Dietary Fibre*, 100367.

Sibhatu, H. K., Jabasingh, S. A., Yimam, A., & Ahmed, S. (2021). Ferulic acid production from brewery spent grains, an agro-industrial waste. *Lwt*, *135*, 110009.

Thai, S., Avena-Bustillos, R. J., Alves, P., Pan, J., Osorio-Ruiz, A., Miller, J., ... & McHugh, T. H. (2022). Influence of drying methods on health indicators of brewers spent grain for potential upcycling into food products. *Applied Food Research*, *2*(1), 100052.

The Oxford Companion to Beer Definition of endosperm. (s/f). Craft Beer & Brewing.

Recuperado el 26 de julio de 2023, de

<https://beerandbrewing.com/dictionary/286Lioimyx/>

The Oxford Companion to Beer Definition of husk. (s/f). Craft Beer & Brewing. Recuperado el 26 de julio de 2023, de <https://beerandbrewing.com/dictionary/2QYesNqOU0/>

Vuong, Q. V. (2008). Utilisation of bioactive compounds from agricultural and food waste. *Clin. Cancer Res.*, *11*, 4627-4633.

Wang, X., Xu, Y., Teo, S. Q., Heng, C. W., Lee, D. P. S., Gan, A. X., & Kim, J. E. (2023). Impact of solid-state fermented Brewer's spent grains incorporation in biscuits on nutritional, physical and sensorial properties. *LWT*, *182*, 114840.

Waters, D. M., Jacob, F., Titze, J., Arendt, E. K., & Zannini, E. (2012). Fibre, protein and mineral fortification of wheat bread through milled and fermented brewer's spent grain enrichment. *European Food Research and Technology*, *235*, 767-778.

Wang, X., Xu, Y., Teo, S. Q., Heng, C. W., Lee, D. P. S., Gan, A. X., & Kim, J. E. (2023).

Impact of solid-state fermented Brewer's spent grains incorporation in biscuits on nutritional, physical and sensorial properties. *LWT*, 182, 114840.

Zhang, G., & Li, C. (Eds.). (2010). *Genetics and improvement of barley malt quality*. Springer Science & Business Media.

Zohary, D., & Hopf, M. (2000). *Domestication of plants in the Old World: The origin and spread of cultivated plants in West Asia, Europe and the Nile Valley* (No. Ed. 3). Oxford university press.