

**BAGAZO DE MALTA (BSG): BIORRESIDUO CON POTENCIAL
APLICACIÓN A NIVEL FUNCIONAL, MATERIAL Y
ENERGÉTICO**

**BREWERS' SPENT GRAIN (BSG): BIORESIDUAL WITH POTENTIAL
APPLICATION AT FUNCTIONAL, MATERIAL, AND ENERGETIC
LEVEL**

Clara Inés Camacho Villanueva¹ y Carlos David Grande Tovar^{2*}

¹ *Química, Grupo de Investigación Ciencias, Educación y Tecnología - CETIC, Programa de Química, Facultad de Ciencias Básicas, Universidad del Atlántico, Carrera 30 # 8-49, Puerto Colombia, Atlántico, Colombia Orcid.org/0000-0002-1217-6367*

² *Doctor en Ciencias-Química, Grupo de Investigación en Fotoquímica y Fotobiología, Programa de Química, Facultad de Ciencias Básicas, Universidad del Atlántico, Carrera 30 # 8-49, Puerto Colombia, Atlántico, Colombia Orcid.org/0000-0002-6243-4571.
Email: carlosgrande@mail.uniatlantico.edu.co*

Recibido: 28/07/2020

Aceptado: 11/12/2020

*Cite this article as: C. Camacho y C. Grande "BAGAZO DE MALTA (BSG): BIORRESIDUO CON POTENCIAL APLICACIÓN A NIVEL FUNCIONAL, MATERIAL Y ENERGÉTICO", *Prospectiva*, Vol 19, N° 1, 2021.*

<http://doi.org/10.15665/rp.v19i1.2472>

RESUMEN

Una de las agroindustrias más importante a nivel mundial es la cervecera. Según la FAO, se producen 113.654.000 kilogramos de cervezas al año, impulsando la economía de un país y la producción incontrolada de residuos sólidos. Entre los residuos sólidos, el que genera mayor preocupación es el bagazo de malta (BSG), dado que representa el 85% del total de los subproductos, con una tasa aproximada de 20 kg de BSG, por cada 100 litros de cerveza producida. Además, su alta carga contaminante eleva los índices de materia orgánica e impacta los recursos naturales al disponerse en vertederos o rellenos sanitarios. Una alternativa, es la incorporación de esta biomasa hacia otros procesos que propicien un programa de economía circular. La presente revisión, tiene como objetivo mostrar el nivel de evidencia científica en el aprovechamiento del BSG, recopilando nuevas alternativas de aplicación del residuo y contribuyendo al desarrollo de sistemas sostenibles en la producción de cervezas. Se hace énfasis en la producción de metabolitos obtenidos a partir de procesos fermentativos, tales como, alimentos funcionales, biomateriales, carbón activado y biocombustibles.

Palabras Claves: Bagazo de Malta (BSG), Bioactivos, Biocombustibles, Biomateriales, Biomasa, Residuos Agroindustriales.

ABSTRACT

One of the most important agro-industries worldwide is the brewery. According to the FAO, 113,654,000 kilograms of beers are produced per year, boosting the economy of a country and the uncontrolled production of solid waste. Among solid waste, the one that generates the greatest concern is malt bagasse (BSG), since it represents 85% of the total by-products, with an approximate rate of 20 kg of BSG for every 100 liters of beer produced. In addition, its high pollutant load raises the levels of organic matter and impacts natural resources when disposed of in landfills or landfills. An alternative, is the incorporation of this biomass into other processes that promote a circular economy program. The objective of this review is to show the level of scientific evidence in the use of the BSG, compiling new alternatives for the application of the residue and contributing to the development of sustainable systems in the production of beers. Emphasizing the production of metabolites obtained from fermentation processes, such as functional foods, biomaterials, activated carbon and biofuels.

Key Words: Brewers' spent grain (BSG), Bioactive, Biofuels, Biomaterials, Agroindustrial Residues.

1. INTRODUCCIÓN

La cerveza es la bebida más popular en el mundo, después del té y las bebidas gasificadas [1]. Sus inicios datan del año 3500 A.C., en los asentamientos sumerios, en donde fue descubierta accidentalmente y utilizada para abastecer las necesidades energéticas del hombre en sus labores diarias [2]. La cerveza, se considera una pieza fundamental del desarrollo de la civilización, pues cambió su naturaleza nómada, desarrollando su comunicación e interés por la agricultura que, posteriormente, fomenta su incorporación en las actividades económicas [1], [2]. En la actualidad, la producción de cerveza es tan importante que contribuye al producto interno bruto de un país y según la FAO, ocupa una posición económica estratégica con una producción mundial anual superior a 113,654.000 millones de kilogramos de cerveza. Entre las operaciones unitarias en la producción de la cerveza, se encuentran el malteado, la molienda y maceración, el filtrado del mosto, la cocción y fermentación, maduración, envasado y distribución (Figura 1). El bagazo de malta (BSG) se genera en la etapa de filtración del mosto, como se puede observar en la Figura 1 [3], [4].

El BSG es considerado como una fuente de biomasa con alto contenido de humedad y residuos glucoproteicos que brindan un medio propicio para la proliferación de microbiota bacteriana forastera [6]. Por tanto, para reducir los riesgos de contaminación cruzada y asegurar la calidad del subproducto (BSG), su secado y disposición deben ser inmediatas. La transformación mediante mecanismos biotecnológicos (Figura 2) es una herramienta potencial en el aprovechamiento del BSG, desarrollando diversas aplicaciones en la obtención de productos para la alimentación humana, producción de energía y fármacos, asimismo, generando industrias cerveceras sostenibles. El propósito de este estudio es resaltar el valor agregado del bagazo de malta a nivel funcional, material y energético como alternativa en la incorporación de un nuevo proceso productivo y mitigación de impactos ambientales.

Figura 1. Esquema del proceso de obtención de cerveza. Fuente: adaptado de [2] Kunze, 2014.

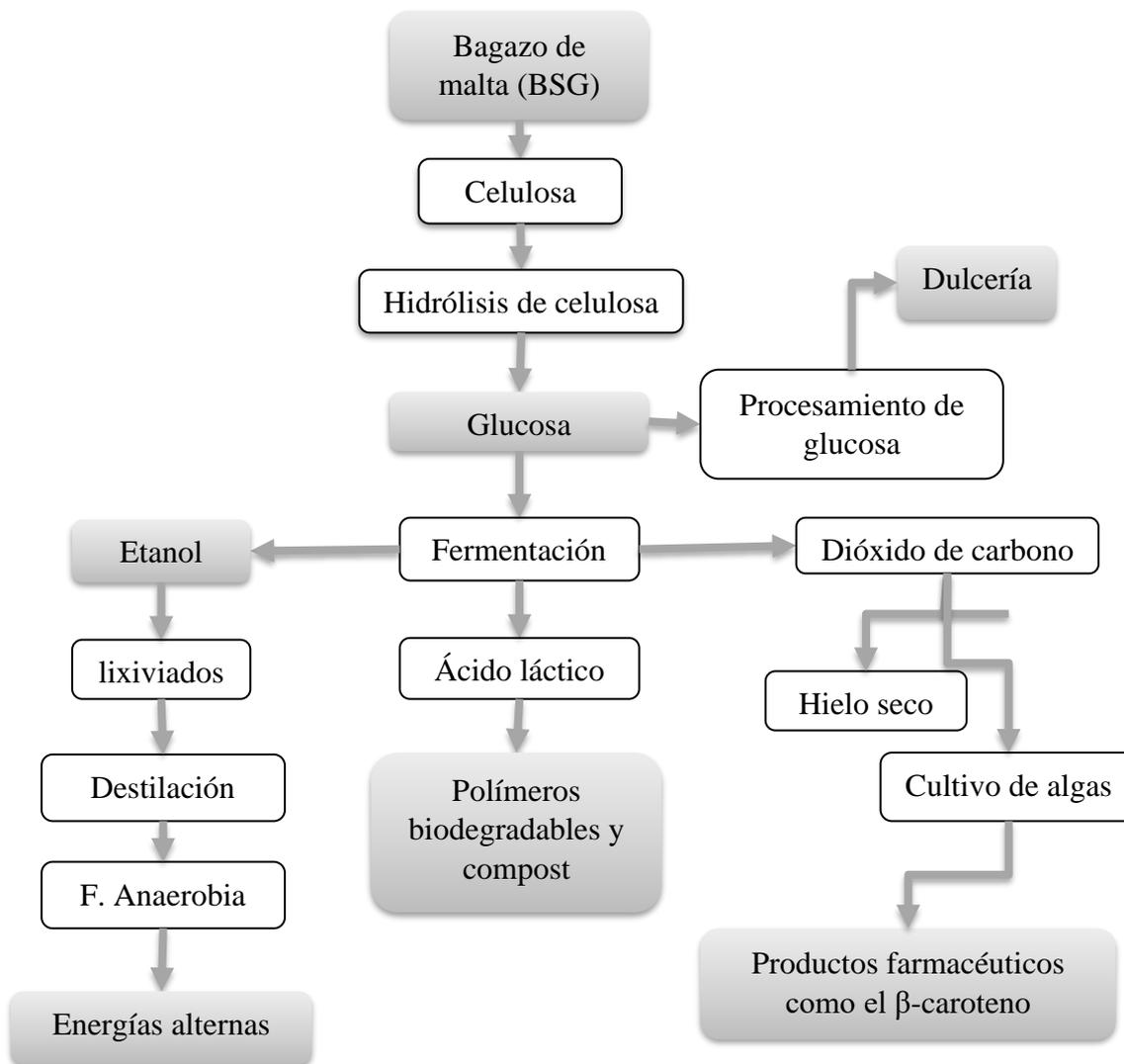


Imagen tomada de [5]

El Bagazo de malta (BSG)

El Bagazo de malta o el BSG, es el subproducto obtenido en la etapa de clarificación del mosto. Se caracteriza por conservar el 30% de las propiedades del grano de malta sin gastar [6]. Según el tiempo de tostión del grano, se pueden obtener diferentes tonalidades. Por cada hectolitro de cerveza, se producen entre 15-20 kg del BSG lo que corresponde a 4.800 millones de kilogramos a nivel mundial [9]. En América, los países con mayor producción del BSG son Brasil, México y Estados Unidos, por encima de países como Colombia que tienen un menor número de habitantes y, por ende, menor número de consumidores. No obstante, la cantidad producida también es significativa en Colombia (100.000.000 kg/año) [9]. A nivel mundial, China lidera la lista como el mayor productor del BSG generando 2.466.873. 000 kilogramos anualmente, lo que representa el 50% de la producción mundial. En la figura 3 se muestra la producción elevada del BSG en estos cinco países del continente americano.

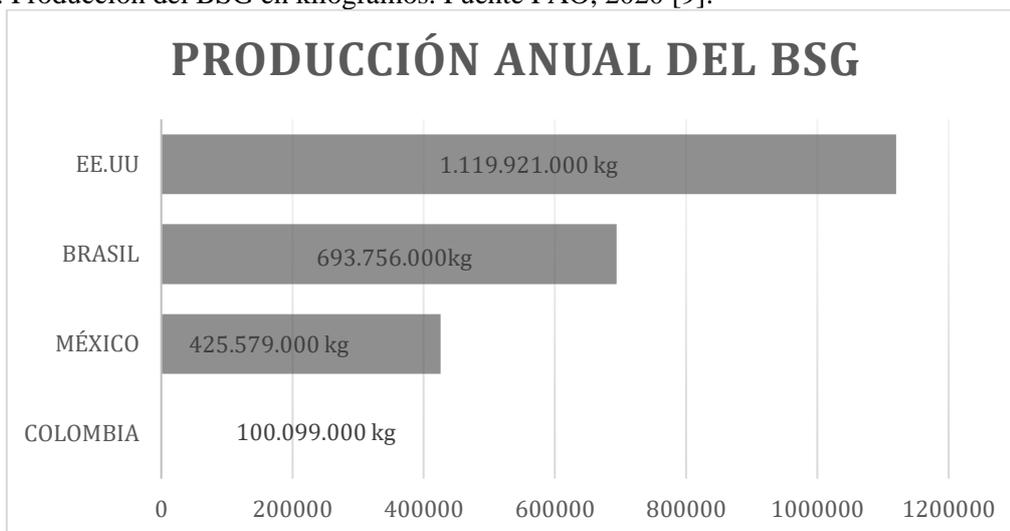
Figura 2. Esquema general de posibles aplicaciones del bagazo de malta. Fuente:[6], [7], [8]



Esta alta producción del BSG en la industria cervecera lo convierte en un problema operacional, pues su composición rica en azúcares y humedad facilita la proliferación de microorganismos patógenos, elevando los niveles de Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) hasta en un 60%, lo que representa un incremento en los costos por un mayor consumo de materiales, transporte, energía de secado y mano de obra necesarios en la disposición de este biorresiduo [6], [10], [11]. Una alternativa al problema operacional del BSG es su uso como alimento animal [6], pero es poca la demanda para la cantidad de biorresiduo que se genera anualmente y termina por disponerse en vertederos, generando un impacto negativo al medio ambiente [6], [10], [11].

Las entidades gubernamentales como el departamento Nacional de Planeación en Colombia, estipula desde el año 2018 que se deben reutilizar como mínimo el 20% de los residuos agroindustriales que están siendo dispuestos en rellenos sanitarios y según la directiva 2008/98/CE “el BSG se define como un biorresiduo compostable que proviene de la agroindustria lo que sugiere su aprovechamiento en la biorremediación de suelos” [85].

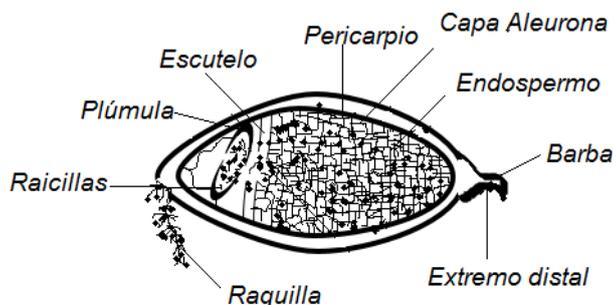
Figura 3. Producción del BSG en kilogramos. Fuente FAO, 2020 [9].



Composición química del BSG

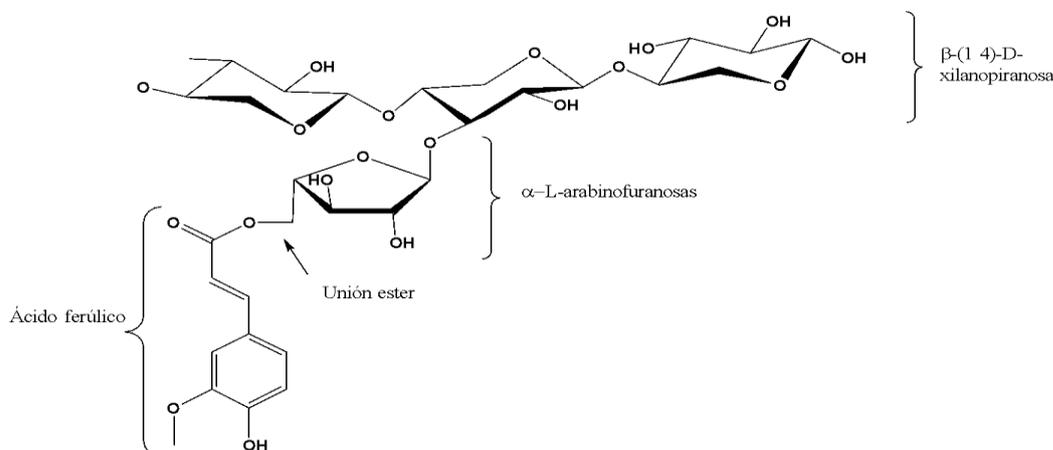
El BSG se compone fundamentalmente del pericarpio que es la cáscara de salvado que contiene el almidón o endospermo en el grano de malta (Figura 4) y dependiendo de cómo se lleve a cabo la molienda, se pueden hallar restos amiláceos útiles en el aprovechamiento [12], [13].

Figura 4. Sección longitudinal del grano de Planta de cebada (*Hordeum vulgare*). Fuente: [6] Mussatto et al., 2006.



Las proteínas que se encuentran en mayor proporción son las hordeinas, mientras que del material lipídico, se han caracterizado triglicéridos y ácidos esenciales como el linoleico, ampliamente utilizado en la industria farmacéutica [12], [14]. El arabinoxilano es un polisacárido insoluble que se encuentra disponible en la hemicelulosa del BSG, haciendo parte del 20 al 30% en peso seco. Su fórmula molecular es $C_{20}H_{20}O_{15}$ y consta de dos azúcares, arabinofuranosa y xilopiranososa [14]. En la Figura 5 se muestra la estructura química del arabinoxilano, donde la arabinofuranosa y xilopiranososa se encuentran unidas por enlaces glucosídicos o puentes de unión éster adyacente y entrecruzados con el ácido ferúlico [15].

Figura 5. Estructura química del arabinoxilano. Fuente: [15] Reis et al., 2015.



El arabinoxilano le brinda un valor agregado al BSG por ser una fuente promisoría de alimentos funcionales y productos farmacéuticos. Su alta resistencia a la hidrólisis por parte de las enzimas intestinales lo clasifica como prebiótico y su actividad antioxidante como inmunomodulador frente a neoplasias colónicas [16], [17]. Además, en el BSG se pueden encontrar ácidos fenólicos y carotenoides con múltiples propiedades biológicas [14], [15]. En la Tabla 1 se muestra la composición química del BSG donde cada componente sirve como bloque de construcción en la explotación industrial de este biorresiduo [18].

Cabe decir que la composición del BSG depende de diferentes aspectos como el tipo de suelo donde se cultiva el grano de cebada, la época del año, el proceso de malteado, y los aditivos utilizados en la producción del mosto [19].

Tabla 1. Composición química del BSG (con base en la materia seca)

Componente	Valor	Unidades	Referencia
Celulosa (glucano)	21,73	g/g	[20]
Hemicelulosa	19,27	g/g	[20]
Xilano	13,63	g/g	[20]
Arabino	5,64	g/g	[20]
Lignina	19,40	g/g	[20]
Fósforo	6000	(mg/kg)	[20]
Calcio	3600	(mg/kg)	[20]
Magnesio	1900	(mg/kg)	[20]
Hierro	154,90	(mg/kg)	[20]
Hordeinas B y C	18,80	%p/p	[18]
Ácidos grasos	6710	% Abundancia	[12]
Ácido Linoleico	80,00	% Abundancia	[12]
Alquilesorcinoles	30,00	% Abundancia	[12]
Esteroles	910,00	% Abundancia	[12]
Cetonas esteroideas	25,00	% Abundancia	[12]
Monoglicerol	610,00	% Abundancia	[12]
Glucósidos de esterol	390,00	% Abundancia	[12]
Triglicéridos	25,30	% Abundancia	[12]
<i>p</i> -Hidroxibenzaldehído	7,58	Fracción molar (%)	[13]

Vanilina	1,16	Fracción molar (%)	[13]
<i>Trans-p</i> -ácido cuprico	35,41	Fracción molar (%)	[13]
8,8':6,7'-ácido diferúlico (AT)	28,11	Fracción molar (%)	[13]
Ácido <i>trans</i> -ferúlico	15,70	Fracción molar (%)	[13]
<i>Cis-p</i> -ácido cúmico	3,17	Fracción molar (%)	[13]
Flavonoides	2,59	Fracción molar (mg/g)	[20]

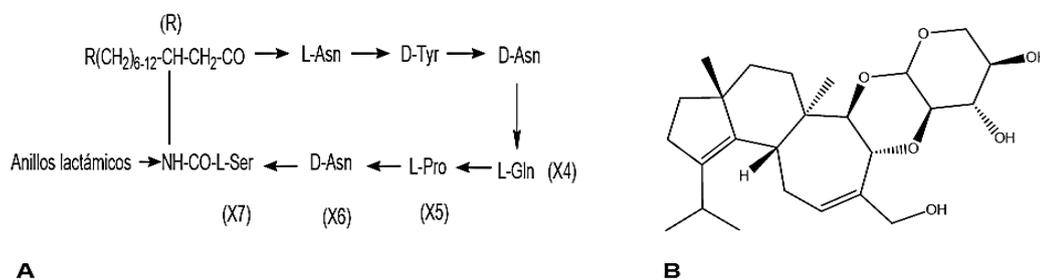
BSG como sustrato en la obtención de metabolitos secundarios

El BSG es un medio de inoculación rico en nutrientes útiles para los procesos fermentativos, lo cual ha impulsado un gran número de estudios como sustrato en la obtención de importantes metabolitos entre los que se encuentran agentes antibacterianos [4], [21], ácidos grasos [22], carotenos [11], [23] y proteína unicelular [14], [24].

Mediante fermentación sumergida (LSF), el BSG se implementó como sustrato en la obtención de agentes antibacterianos como el lipopéptido iturina A, y la erinacina C a partir de *Bacillus subtilis RB14* y el hongo medicinal *Hericiium erinaceus*, respectivamente.

En la inoculación de *Bacillus subtilis RB14* en el BSG se utilizaron polipéptidos, glucosa, KH₂PO₄ y MgSO₄·7H₂O como suplementos adicionales que actuaron promoviendo el crecimiento bacteriano de hasta 10⁹ CFU/mL, facilitando de esta forma la producción de 600 mg/L del lipopéptido iturina A en la segunda fermentación [4]. En la Figura 6 se observa la conformación estructural del lipopéptido iturina A y la estructura química de la ericina C.

Figura 6. A) Lipopéptido Iturina A: R es un CH₃CH₂CH(CH₃) ó CH₃CH₂CH(CH₃) con nC₁₄, iso C₁₅, anteiso C₁₅ β-aminoácido. B) Estructura química de erinacina C. Fuente: [25] Bonmatin et al., 2003.



En relación con la producción de erinacina C, [26] Wolters y colaboradores (2016) evaluaron la efectividad del BSG como sustrato frente a residuos de trigo (WB), siendo el BSG el mejor medio para la inoculación de *Hericiium erinaceus*, al obtener una concentración superior del metabolito erinacina C en un 43,2%. Por otro lado, por medio de la fermentación en estado sólido (SSF), también se han obtenido importantes bioactivos usando el BSG como sustrato. Cabe resaltar que la SSF presenta varias ventajas sobre la fermentación sumergida, ya que recrea el hábitat natural de los biotransformadores, reduce los costos en procesos como la esterilización, genera menor número de efluentes y necesita menor cantidad de energía en la separación y purificación de los productos [26].

En la SSF, el BSG se implementó como componente de sustrato mixto para la inoculación de *Saccharomyces cerevisiae*, *Kluyveromyces marxianus* y kéfir, determinando un incremento de tres veces la biomasa, producción de minerales, lípidos y compuestos volátiles como β-pineno, al cual se le atribuyen diferentes propiedades farmacológicas. Este metabolito se obtuvo de kéfir con un rendimiento de 4 kg a partir de 60 g de BSG, 25 g de raicillas de malteadas, 30 mL de cáscara de naranja, 10 mL de melaza, cáscara de papa, 100 mL de suero y 50 mL de agua destilada. Adicionalmente, se determinó la cantidad de lípidos, proteínas y minerales, destacándose el uso de *Saccharomyces cerevisiae*, al ser capaz de producir 38,50% p/p de proteínas en peso seco. Por otra parte, la mayor contribución del

material lipídico se obtuvo de *Kluyveromyces marxianus*, reportando un 25,50% p/p de producción [22], [27].

En definitiva, el BSG es un medio útil para la inoculación de microorganismos usando la fermentación como mecanismo de aprovechamiento y acondicionamiento de esta materia prima. En la Tabla 2 se muestran los compuestos bioactivos más importantes obtenidos a partir de bagazo de malta.

Tabla 2. Compuestos bioactivos obtenidos a partir del aprovechamiento del BSG

Bioactivo	Método de obtención	Aplicación	Referencia
Ácidos Fenólicos	Extracción con etanol al 60%	Antioxidante	[23], [28]
Ácido Ferúlico		Antimutagénico	
Ácido <i>p</i> -Cumarico		Antiaterogénico	
Ácido Cafeico		Anticolesterolémico	
Arabinosilano	Hidrólisis Alcalina	Prebiótico	[18]
Erinacina C	<i>F. Hericium erinaceus</i>	Antibacteriano	[4]
Lipopéptido iturina A	<i>F. Bacillus subtilis RB14</i>	Antibacteriano	[21]
Hidrolizados Proteicos	<i>F. Aspergillus oryzae</i> <i>F. Bacillus licheniformis</i>	Antihipertensivo Antiglucemiante	[23]
α -amilasa	<i>F. Bacillus sp. KR-8104</i>	Obtención de maltosa	[24]
Propilenglicol	<i>F. Rhodosporidium toruloides</i>	Anticongelantes	[11], [29]
2-butenodioico		Aditivo en alimentos	
Acido Linoleico		Producción de omega 6	
β -caroteno		Fuente de vitamina A	
L-valina		Antiglucémico	
alanina	<i>F. Rhodosporidium toruloides</i>	BSG-PI con actividad biológica	[11], [29], [30]
L-cisteína			
ácido L-glutámico			
ácido butanodioico			
L-5-oxoprolina			
ácido esteárico			
uracilo	<i>F. Pleurotus ostreatus</i> SSF <i>F. Bacillus licheniformis</i> <i>F. Aspergillus oryzae</i>	BSG-PI con actividad inhibitoria sobre DPP-IV y ACE, asociadas a trastornos como la hiperglicemia, hipertensión.	[26], [27], [31]
Proteína unicelular			
Ácido Láctico	<i>F. Lactobacillus rhamnosus</i>	Probiótico	[32]
Xilitol	<i>F. Candida Guilliermondii</i>	Edulcorante	[6]
Dicetopiperazina, Pirazinas, Pirimidoles	Carbonización Hidrotermal	Antibacteriano	[33]

BSG-PI: extractos proteicos hidrolizados del BSG; DPP-IV: dipeptidil peptidasa IV; ACE: enzima transmutadora angiotensina. F: fermentación. Fuente: autoría propia

2. PROPIEDADES BIOLÓGICAS DEL BSG

El BSG es una fuente potencialmente valiosa de ácidos fenólicos debido a que se compone básicamente de hemicelulosa, un compuesto bioactivo que provee ácidos hidroxicinámicos tales como el ácido

ferúlico, *p*-cumárico y caféico [23], [34]. La importancia de los ácidos hidroxicinámicos radica en que desarrollan propiedades antimutagénica [35], [36], antiteratogénica [37], [38] y antiinflamatoria [37], [39]. La actividad antimutagénica y antioxidante de los extractos de malta se ha evaluado frente a agentes oxidantes que dañan el ADN donde los extractos del BSG actúan como quelantes del hierro protegiendo el material genético y revirtiendo la oxidación [14], [28], [40].

La actividad antiteratogénica se estudió en diez mujeres voluntarias a las cuales se les suministró fibra de cebada y una dieta con contenido estándar de carbohidratos, grasas y proteínas. Como resultado, se obtuvo un efecto benéfico en el metabolismo de lípidos y la función intestinal, disminuyendo significativamente las concentraciones plasmáticas totales de lipoproteínas de baja densidad (LDL) y triglicéridos [41]. La actividad antiinflamatoria se evaluó en la inhibición del interferón gamma citocina (IFN- γ) por medio de hidrolizados proteicos aislados del BSG reflejando una notoria reducción de esta sustancia y resultando útil en el tratamiento de enfermedades inflamatorias como la enfermedad Crohn [23]. Dada estas propiedades, resultaría interesante abordar la temática del COVID-19 y la posible aplicación de derivados del BSG en el tratamiento o eliminación del COVID-19 de la cual no se encuentran evidencias bibliográficas.

Con respecto a la actividad antioxidante del BSG, se han obtenido BSG-PI (extractos proteicos hidrolizados) junto a otro subproducto de la industria cervecera como lo es la levadura usada (BSY) aprovechando su alto contenido de vacuolas proteasas que permiten la hidrólisis del contenido proteico presente en el BSG. Las vacuolas proteasas que intervinieron en la producción de los hidrolizados fueron caracterizadas por cromatografía líquida, elucidando la presencia de serina, peptidasas y metalopeptidasas [18]. Esta sinergia en el aprovechamiento de diferentes residuos provenientes de la industria cervecera demuestra la posibilidad de acondicionar residuos y generar procesos para la valorización de los subproductos mencionados.

BSG como alimento funcional

La incorporación del BSG en la industria de alimentos resulta muy interesante debido a su alto contenido en fibra (arabinosilano), proteínas y minerales [42], [43]. Básicamente, los esfuerzos se han encaminado en la producción de panes integrales, meriendas tipo galletas, bocadillos extruidos, mecats y alimentos con alto contenido proteico [28], [44]–[48].

No obstante, el BSG tiene una limitación como fuente nutricional con respecto al trigo y es que afecta las propiedades reológicas del alimento debido a la presencia de compuestos volátiles que son liberados en el proceso de horneado [45]. Una alternativa para la solución de este inconveniente es mezclar la harina fermentada y no fermentada del BSG, pues las enzimas producidas en la fermentación hidrolizan el arabinosilano, mejorando las propiedades sensoriales y la vida útil del producto, además, este proceso mejora el efecto antioxidante (AA) de la masa. En la Tabla 3 se compara el efecto AA de harina del BSG simple y mezclada con harina fermentada, frente al trigo en las mismas condiciones.

Tabla 3. Actividad antioxidante in vitro de muestras de harina.

Muestra	Fenoles totales	Actividad de eliminación de DPPH		Ensayo FRAP
	Equivalente de Ácido Gálico	Equivalente Trolox		Equivalente Trolox
Trigo*	17,10±0,60	8,20±0,10	8,00 ± 0,30	13,30±1,90
Trigo**	15,20±1,80	ND	ND	36±2,60
BSG*	52,70±2,60	29,90±0,60	26,50±0,40	80,3±3,30
BSG**	535,80±20,40	454,0±29,60	417,40±17,20	1036,0±89,70

*Simple, **Mezclado. ND: no determinado. Fuente: Ktenioudaki et al., 2015

Al analizar la actividad de eliminación del 2,2-difenil-1-picrilhidracilo (DPPH) y la capacidad antioxidante total del plasma (FRAP), el BSG presentó mayor actividad antioxidante (AA) que el BSG_{simple} y el trigo en las mismas condiciones, debido a la mayor cantidad de fenoles totales medidos en equivalentes Trolox y TEAC para ambos ensayos [49].

Este comportamiento frente al trigo se atribuye principalmente al tratamiento de glucosilación o pardeamiento no enzimático que sufre el grano de malta en la etapa de tostión (posterior al secado),

ausente en el grano de trigo [50]. La glucosilación o *reacción de Maillard*, produce melanoidinas coloreadas provenientes de la condensación térmica (activada en la etapa de tostión), entre compuestos carbonílicos (azúcares reductores) y aminoácidos presentes en el grano de malta, dando lugar a la formación de una base de *schiff* inestable que luego sufre un reordenamiento de Amadori y la posterior reacción de *Strecker* [51], [52]. Los productos de la reacción de maillard (MRP) o antioxidantes, son polifenoles oxidados, grupos pirrólicos, oligoelementos (hierro y cobre) y riboflavinas (vitamina B2) que actúan secuestrando radicales de oxígeno que luego son estabilizados termodinámicamente por quelación. Lo anterior fue verificado por Lagner (2013) en un estudio realizado *in vitro* con células de carcinoma de colon LS 180 donde los MRP de alto y bajo peso molecular inhibieron la actividad proliferativa de estas células.

Dadas las consideraciones anteriores, cabe mencionar que la AA del BSG varía de acuerdo con el proceso de tostión al que haya sido sometido el grano de malta, es decir, una harina a base del BSG chocolate va tener un efecto antioxidante diferente a la producida con el BSG tipo *Lager-Pilsener*, pues los cambios en la temperatura y cinética de tostión modifican la polimerización de los MRP variando la conjugación de las moléculas y su AA [52], [53]. El inconveniente radica, en que no existe unificación de criterios al respecto, mientras que McCarthy y colaboradores (2012) reportaron que un tono chocolate de la malta presenta mayor AA, Moreira y colaboradores (2013) publicaron que un tono *Lager-Pilsener* presenta mayor AA [34]. Esta diferencia de criterios requiere estudios adicionales que validen el método analítico y disminuya la incertidumbre en la variable de respuesta. Una herramienta útil son los análisis multivariados o quimiométricos utilizados ampliamente en el estudio de la variación de la AA en el *Theobroma Cacao* [52].

Por otra parte, una forma de mejorar las propiedades reológicas de la harina obtenida del BSG y su efecto prebiótico es el uso directo de xilanasas, enzimas que hidrolizan el arabinosilano en arabinoligosacáridos (AXOS), prebióticos que favorecen el crecimiento de la flora intestinal [54].

El efecto prebiótico de los AXOS ha sido reconocido en la fermentación de las bacterias acidolácticas (LAB) *Bifidobacterium adolescentis* (ATCC 15703) y *Lactobacillus brevis* (DSMZ 1264) presentes en el microbiota intestinal, utilizando el BSG como medio inoculador. Este medio ofreció un crecimiento favorable de las LAB y la producción de ácidos grasos de cadena corta como el acetato, propionato, butirato y lactato, cuyo función es disminuir el pH intestinal e impedir el crecimiento y reproducción de las bacterias patógenas, lo cual evidencia que la ingesta de alimentos con el BSG es una manera inocua y amigable para tratar la enfermedad inflamatoria intestinal [54]–[56].

BSG como alimento animal

El BSG ha sido ampliamente utilizado como alimento en animales, ya que puede ser consumido húmedo, reduciendo costos, o seco, para prolongar la vida útil del biorresiduo [57]. No obstante, su alta susceptibilidad al deterioro ha promovido regulaciones como la emitida por la FDA en el año 2014 y que entró en vigor en el 2016, donde se exige que este residuo para ser aprovechado como pienso cumpla con estándares de calidad que aseguren la inocuidad del alimento reduciendo el riesgo en la transmisión de enfermedades por medio de los alimentos [58]. Actualmente, varias empresas a nivel mundial han establecido el manejo de este residuo para la alimentación animal, como es el caso de la empresa Damm S. A. en España, reconocida por ser una de las principales productoras de cerveza, la cual genera aproximadamente 90.000.000 de kilogramos de BSG anualmente, continuando su procesamiento a través de la cocción del BSG y cereales para la elaboración de pienso, enriqueciendo la alimentación animal y el beneficio en la producción de leche y carne [59]. Entre los beneficios como alimento animal se encuentran su alto contenido en fibra y proteína, que estimulan la producción de leche, contenido lipídico y peso del animal, sin afectar su fertilidad, concentraciones plasmáticas de glucosa y minerales [60]–[62]. Sin embargo, algunas especies poseen baja capacidad para metabolizar los nutrientes presentes en el material lignocelulósico del BSG [63]. Lo anterior explica el interés de los investigadores por desarrollar alimentos de forraje suplementado con el material polifenólico presente en el BSG, así se fortifica la leche y la carne con antioxidantes útiles en la alimentación humana, optimizando la asimilación de nutrientes por las diferentes especies [60], [64]. De este modo, Facceda *et al* [65] desarrolló un alimento a base de BSG reemplazando la soya en un 75% por BSG para la alimentación de vacas lactantes, el cual demostró que aumenta la digestibilidad y la producción de leche. Otro estudio realizado por Amoah *et al* [66] demostró que la inclusión de BSG entre un 17% y 25% en la dieta diaria

de los cerdos mejora la rentabilidad de la producción. Para la dieta de corderos, Radzik-Rant *et al* [67] estudio el efecto de la adición de BSG en un 35%, el cual dio como resultado el crecimiento de la masa corporal generando un mayor rendimiento en calidad y ganancias diarias.

3. EL BSG COMO FUENTE ALTERNATIVA DE ENERGÍA: BIOCOMBUSTIBLES

El alto contenido lignocelulósico hace que el BSG sea una materia prima de interés en la producción de biocombustibles de segunda generación y a diferencia de otras fuentes tradicionales como la caña de azúcar y el aceite de palma (fuentes de primera generación), el BSG no presenta el conflicto combustible-alimento al no atender contra la seguridad alimentaria [68]–[70].

El uso del BSG como fuente energética ha sido ampliamente reportado en la literatura para la obtención de biocombustibles como biogás [71], [72], bioetanol [69], [73], [74], biobutanol [75], biodiesel [76], carbonización hidrotermal [33] y biohidrógeno [77].

La obtención de biogás a partir de residuos agroindustriales como el BSG, consta de tres fases fermentativas: hidrolítica-acidogénica, acetogénica y metanogénica, cuya finalidad es degradar el contenido ligninolítico compuesto por macromoléculas (lípidos, proteínas y carbohidratos), hasta obtener moléculas sencillas como el metano y dióxido de carbono. Cada una de estas fases se lleva a cabo en reactores, mediante microorganismos especializados y en condiciones anaerobias. El producto resultante es una mezcla gaseosa de metano (CH₄), dióxido de carbono (CO₂), trazas de sulfuro de hidrógeno (H₂S), nitrógeno (N₂) y oxígeno (O₂). Finalmente, se separa y purifica el metano. En una investigación [78] se evaluó el BSG utilizando como cosustratos solubles, glucosa, acetato y el colorante mono azoico naranja ácido 7-AO7, en un sistema por lotes bajo un régimen mesófilo. La producción de la enzima celulasa por parte de los microorganismos, más la presencia de glucosa y acetato, optimizaron la cinética degradativa en las fases acetogénica y metanogénica dado que la glucosa aumenta la hidrólisis de la digestión anaerobia en la fase acetogénica y el acetato se descarboxila rápidamente en CH₄ y CO₂, acelerando el proceso en la fase metanogénica [79].

Por otra parte, el uso de un colorante azoico permite aprovechar simultáneamente el cultivo mixto de mesófilos inoculados en el BSG, tanto en la producción del biogás como en la biorremediación de este tipo de compuestos xenobióticos recalcitrantes, aportándole valor agregado al BSG como biomasa en la producción de biocombustibles [79]. Un ejemplo de estos microorganismos es el hongo mesófilo *Fusarium oxysporum*. Este actúa en un solo paso al producir celulasas que acondicionan y biotransforman el sustrato. En otra investigación [69], se inoculó *Fusarium oxysporum* en el BSG para la obtención de bioetanol, mejorando la eficiencia y rentabilidad del proceso, con rendimientos superiores al 60%. También se han implementado *Aspergillus oryzae*, *Saccharomyces cerevisiae* NCYC 479 (Wikinson et al., 2017), *Saccharomyces cerevisiae* NRRLYB 2293 [69] y *Neurospora crassa* [80]. En cuanto a la producción de biobutanol a partir del BSG, se obtuvo con ayuda de *Clostridium beijerinckii* DSM 6422 y un cocultivo de *C. acetobutylicum* /*S. cerevisiae*. La obtención de este biocombustible a partir del BSG es relevante, ya que posee mayor densidad energética, octanaje y mejor homogeneidad al mezclarse con la gasolina en comparación con el bioetanol. De manera alternativa, se puede obtener a partir de este cultivo mixto el xilitol, un edulcorante de importancia industrial y alto valor comercial [75], [81].

Otro biocombustible de segunda generación y de gran auge que se puede obtener a partir del BSG es el biodiesel, dado que su contenido en ácidos grasos es semejante a los aceites presentes en la composición de *Jatropha curcas*, semillas de té, tabaco, tomate, linaza y hojas de laurel bayo, vegetales estudiados en la producción de biodiesel [76].

El biodiesel a partir del BSG se obtuvo en un solo paso por transesterificación *in situ* con metanol (alcohol anhidrido) y ácido sulfúrico (catalizador), optimizando el tiempo, temperatura y dosis de los reactivos, que permitió obtener un rendimiento del 83,3% de la síntesis éster-monoalquílica. Cabe resaltar que de implementarse masivamente el biodiesel, representaría aproximadamente una disminución del 83% de los GEI producidos por la combustión global de diésel [76], [82]. Incluso, a escala industrial, el diésel ha sido sustituido por el BSG como fuente energética por la empresa *Alaska Brewing* reduciendo sus emisiones de GEI en un 70% [83].

Por otro lado, se ha manifestado, un creciente interés en la implementación de mecanismos incinerables como la pirólisis y la carbonización hidrotermal, en la obtención de biocarbón y bioaceites con utilidad energética [33], [84].

4. EL BSG COMO MATERIA PRIMA PARA LA OBTENCIÓN DE BIOMATERIALES

Los minerales presentes en el BSG, tales como el fósforo, magnesio, calcio y silicio coinciden con la naturaleza de los componentes químicos del sistema óseo, lo que ha permitido la exploración del BSG como biomaterial en recubrimientos para prótesis, implantes odontológicos e injertos óseos [85]. Los recubrimientos sintéticos se han convertido solo en una terapia para el tratamiento de anomalías, mientras que el uso de un biomaterial estimula el crecimiento del tejido óseo al facilitar la comunicación entre las células de una manera totalmente biocompatible y sin el riesgo de rechazo o de putrefacción por parte del tejido implantado. Saez y colaboradores (2014), presentaron resultados óptimos de citocompatibilidad al utilizar el BSG como material en el crecimiento óseo, dado que el material obtenido era osteogénico y muy similar a la hidroxiapatita utilizada como parámetro de control.

Además, se ha implementado el BSG como material de soporte en el relleno de espumas de poliuretano modificadas con caucho de neumático molido [86], así como también en la producción del ácido poliláctico [87] mejoramiento de bioplásticos como el polihidroxibutirato [88], [89] fabricación de tableros [89], papel [90] y ladrillos que aumentan su resistencia y porosidad [91]. Todos estos materiales son de amplia aplicación en diferentes industrias (farmacéutica, alimentaria, química, entre otras) representando una fuente importante de desarrollo económico.

5. CONCLUSIONES Y EXPECTATIVAS

- La composición química del BSG lo convierte en una materia prima con gran potencial para su explotación. Por ejemplo, las proteínas, los ácidos hidroxicinámicos y el arabinosilano, le brindan un valor agregado al BSG que le permitiría ser aprovechado tanto en industria farmacéutica como la de alimentos, utilizando como mecanismo biotecnológico la fermentación. Además, su contenido lipídico y ligninolítico es útil en la producción de biocombustibles de segunda generación como el biodiesel, bioetanol, biobutanol y biogás. Un caso real de aprovechamiento se lleva a cabo en Alaska Brewing Company reduciendo en un 70% el uso de energía producto de combustibles fósiles y los GEI. En los usos actuales del BSG, el alimento para rumiantes y monogástricos genera una gran importancia debido a que se aprovecha el biorresiduo en un gran porcentaje. En este caso, la evolución de la economía lineal a la circular incorpora productos y valor agregado a este biorresiduo, además, promueve el aumento productivo de leches, carnes y productos derivados, esenciales en la alimentación humana. De igual forma, la diversidad de aplicaciones del BSG debido a sus propiedades biológicas, energéticas y lignocelulósicas hace que sea un biorresiduo aprovechable en un 100%, generando nuevas alternativas de usos y ganancias en la industria cervecera. De este modo, se espera que la industria cervecera forje todo un desarrollo biotecnológico en el uso del BSG como materia prima prometedora en la infraestructura de una biorrefinería fructífera y no solo producirá una cerveza de calidad, sino también un BSG que pueda ser aprovechado en diferentes áreas productivas de manera eficiente y rentable.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] I. S. Hornsey, "Beer: History and Types," B. Caballero, P. M. Finglas, and F. B. T.-E. of F. and H. Toldrá, Eds. Oxford: Academic Press, 2016, pp. 345–354.
- [2] W. Kunze, "Technology brewing and malting. 5 th revised English edition," *VLB Berlin*, 2014.
- [3] G. Dragone, J. B. Almeida e Silva, D. P. Silva, and L. Santos, "Elaboración de cervezas en Brasil: proceso de altas densidades," *Ind. Aliment.*, vol. 5, pp. 44–46, 2002.
- [4] A. W. KHAN, M. S. RAHMAN, and T. ANO, "Application of malt residue in submerged fermentation of *Bacillus subtilis*," *J. Environ. Sci.*, vol. 21, pp. S33–S35, 2009.
- [5] Robert Hendricks (2008) Brewer Spent Grains [Internet], flickr.com. Disponible desde: <<https://www.flickr.com/photos/rahbysahn/2256326061/in/photolist-4rog8t-gnifof-gniy9x-gnhUSQ-e67L1T-nsB3UX-25YAjDh-2gGoUZb-rpt4UB-qsFGFM-e7q4s7-nsB3PM-noMSzo-aiQ8v2-4rog5B-2cX4kVZ-2k9PZsk-nqy6r7-2kcViCe-2hBokpM-kRzE4Y-2hBokz6-v7mrRk-v7dKKJ-2hBkwLn-8e4CBC-8Fczot-2cC57jH-xwNG5G-2hefCog-QzAKM6-2gSBrmj->

- 2589LVn-2g4QBvT-65imeX-jrjE9F-4hXeKJ-6ajpXS-6ajpQL-2h69P4j-2ewkmjB-TccdLJ-4PHYgH-2dyBjEt-2cj35ov-AQywHq-7uf861-2aJ6rUw-8ogbdC-23uCRBu/> [Acceso 16 diciembre de 2020].
- [6] S. I. Mussatto, G. Dragone, and I. C. Roberto, “Brewers’ spent grain: generation, characteristics and potential applications,” *J. Cereal Sci.*, vol. 43, no. 1, pp. 1–14, 2006.
- [7] W. Artifon *et al.*, “Enzymatic hydrolysis behavior on malt bagasse for fermentative sugar disposal in thermostatic and ultrasonic bath,” *Environ. Qual. Manag.*, vol. 29, no. 4, pp. 87–94, Jun. 2020.
- [8] T. Arias Lafargue and L. López Ríos, “Propuesta tecnológica para el aprovechamiento energético del bagazo de cebada malteada de la cervecería Hatuey,” *Tecnol. Química*, vol. 35, no. 3, 2015.
- [9] “Global Forest Resources Assessment 2020,” *Global Forest Resources Assessment 2020*, 2020.
- [10] M. T. García-Cubero, P. E. Plaza, M. Coca, S. Lucas, and G. González-Benito, “Autohydrolysis of brewer’s spent grain (BSG) as pretreatment for the production of liquid biofuels,” *N. Biotechnol.*, vol. 33, p. 88, 2016.
- [11] S. T. Cooray, J. J. L. Lee, and W. N. Chen, “Evaluation of brewers’ spent grain as a novel media for yeast growth,” *AMB Express*, vol. 7, no. 1, pp. 1–10, 2017.
- [12] C. José, P. Prinsen, and A. Gutiérrez, “Chemical composition of lipids in brewer’s spent grain: A promising source of valuable phytochemicals,” *J. Cereal Sci.*, vol. 58, no. 2, pp. 248–254, 2013.
- [13] A. J. Jay *et al.*, “A systematic micro-dissection of brewers’ spent grain,” *J. Cereal Sci.*, vol. 47, no. 2, pp. 357–364, 2008.
- [14] E. F. Vieira, D. D. da Silva, H. Carmo, and I. M. Ferreira, “Protective ability against oxidative stress of brewers’ spent grain protein hydrolysates,” *Food Chem.*, vol. 228, pp. 602–609, 2017.
- [15] S. F. Reis, E. Coelho, M. A. Coimbra, and N. Abu-Ghannam, “Improved efficiency of brewer’s spent grain arabinoxylans by ultrasound-assisted extraction,” *Ultrason. Sonochem.*, vol. 24, pp. 155–164, 2015.
- [16] C. Teixeira, M. Nyman, R. Andersson, and M. Alminger, “Application of a dynamic gastrointestinal in vitro model combined with a rat model to predict the digestive fate of barley dietary fibre and evaluate potential impact on hindgut fermentation,” *Bioact. Carbohydrates Diet. Fibre*, vol. 9, pp. 7–13, 2017.
- [17] A.-M. Aura *et al.*, “Release of small phenolic compounds from brewer’s spent grain and its lignin fractions by human intestinal microbiota in vitro,” *J. Agric. Food Chem.*, vol. 61, no. 40, pp. 9744–9753, 2013.
- [18] E. Vieira *et al.*, “Valuation of brewer’s spent grain using a fully recyclable integrated process for extraction of proteins and arabinoxylans,” *Ind. Crops Prod.*, vol. 52, pp. 136–143, 2014.
- [19] S. Wilkinson, K. A. Smart, and D. J. Cook, “Optimisation of alkaline reagent based chemical pre-treatment of Brewers spent grains for bioethanol production,” *Ind. Crops Prod.*, vol. 62, pp. 219–227, 2014.
- [20] N. G. T. Meneses, S. Martins, J. A. Teixeira, and S. I. Mussatto, “Influence of extraction solvents on the recovery of antioxidant phenolic compounds from brewer’s spent grains,” *Sep. Purif. Technol.*, vol. 108, pp. 152–158, 2013.
- [21] N. Wolters, C. Schabronath, G. Schembecker, and J. Merz, “Efficient conversion of pretreated brewer’s spent grain and wheat bran by submerged cultivation of *Herichium erinaceus*,” *Bioresour. Technol.*, vol. 222, pp. 123–129, 2016.
- [22] T. Aggelopoulos, A. Bekatorou, A. Pandey, M. Kanellaki, and A. A. Koutinas, “Discarded oranges and brewer’s spent grains as promoting ingredients for microbial growth by submerged and solid state fermentation of agro-industrial waste mixtures,” *Appl. Biochem. Biotechnol.*, vol. 170, no. 8, pp. 1885–1895, 2013.
- [23] A. L. McCarthy, Y. C. O’Callaghan, A. Connolly, C. O. Piggott, R. J. FitzGerald, and N. M. O’Brien, “In vitro antioxidant and anti-inflammatory effects of brewers’ spent grain protein rich isolate and its associated hydrolysates,” *Food Res. Int.*, vol. 50, no. 1, pp. 205–212, 2013.
- [24] M. Hashemi, S. H. Razavi, S. A. Shojaosadati, and S. M. Mousavi, “The potential of brewer’s spent grain to improve the production of α -amylase by *Bacillus sp.* KR-8104 in submerged

- fermentation system,” *N. Biotechnol.*, vol. 28, no. 2, pp. 165–172, 2011.
- [25] J.-M. Bonmatin, O. Laprévotte, and F. Peypoux, “Diversity among microbial cyclic lipopeptides: iturins and surfactins. Activity-structure relationships to design new bioactive agents,” *Comb. Chem. High Throughput Screen.*, vol. 6, no. 6, pp. 541–556, 2003.
- [26] C. D. Grande-Tovar, “Valoración biotecnológica de residuos agrícolas y agroindustriales,” *Editor. Bonaventuriana. Calí, Colomb.*, vol. 180, 2016.
- [27] T. Aggelopoulos, K. Katsieris, A. Bekatorou, A. Pandey, I. M. Banat, and A. A. Koutinas, “Solid state fermentation of food waste mixtures for single cell protein, aroma volatiles and fat production,” *Food Chem.*, vol. 145, pp. 710–716, 2014.
- [28] A. L. McCarthy *et al.*, “The hydroxycinnamic acid content of barley and brewers’ spent grain (BSG) and the potential to incorporate phenolic extracts of BSG as antioxidants into fruit beverages,” *Food Chem.*, vol. 141, no. 3, pp. 2567–2574, 2013.
- [29] S. Liang and C. Wan, “Carboxylic acid production from brewer’s spent grain via mixed culture fermentation,” *Bioresour. Technol.*, vol. 182, pp. 179–183, 2015.
- [30] A. Gregori, M. Švagelj, B. Pahor, M. Berovič, and F. Pohleven, “The use of spent brewery grains for *Pleurotus ostreatus* cultivation and enzyme production,” *N. Biotechnol.*, vol. 25, no. 2–3, pp. 157–161, 2008.
- [31] S. Gupta, A. K. Jaiswal, and N. Abu-Ghannam, “Optimization of fermentation conditions for the utilization of brewing waste to develop a nutraceutical rich liquid product,” *Ind. Crops Prod.*, vol. 44, pp. 272–282, 2013.
- [32] A. Djukić-Vuković, D. Mladenović, M. Radosavljević, S. Kocić-Tanackov, J. Pejin, and L. Mojović, “Wastes from bioethanol and beer productions as substrates for l (+) lactic acid production—A comparative study,” *Waste Manag.*, vol. 48, pp. 478–482, 2016.
- [33] J. Poerschmann, R. Koehler, and B. Weiner, “Identification and quantification of 2, 5-diketopiperazine platform biochemicals along with pyrazines and pyridinols in the dissolved organic matter phase after hydrothermal carbonization of brewer’s spent grain,” *Environ. Technol. Innov.*, vol. 5, pp. 95–105, 2016.
- [34] A. Connolly, C. O. Piggott, and R. J. FitzGerald, “Characterisation of protein-rich isolates and antioxidative phenolic extracts from pale and black brewers’ spent grain,” *Int. J. Food Sci. Technol.*, vol. 48, no. 8, pp. 1670–1681, 2013.
- [35] A. Murakami *et al.*, “FA15, a hydrophobic derivative of ferulic acid, suppresses inflammatory responses and skin tumor promotion: comparison with ferulic acid,” *Cancer Lett.*, vol. 180, no. 2, pp. 121–129, 2002.
- [36] W.-C. Chang, C.-H. Hsieh, M.-W. Hsiao, W.-C. Lin, Y.-C. Hung, and J.-C. Ye, “Caffeic acid induces apoptosis in human cervical cancer cells through the mitochondrial pathway,” *Taiwan. J. Obstet. Gynecol.*, vol. 49, no. 4, pp. 419–424, 2010.
- [37] R. Nagasaka, C. Chotimarkorn, I. M. Shafiqul, M. Hori, H. Ozaki, and H. Ushio, “Anti-inflammatory effects of hydroxycinnamic acid derivatives,” *Biochem. Biophys. Res. Commun.*, vol. 358, no. 2, pp. 615–619, 2007.
- [38] H. Yoshida and R. Kisugi, “Mechanisms of LDL oxidation,” *Clin. Chim. Acta*, vol. 411, no. 23–24, pp. 1875–1882, 2010.
- [39] E. O. Kim, K. J. Min, T. K. Kwon, B. H. Um, R. A. Moreau, and S. W. Choi, “Anti-inflammatory activity of hydroxycinnamic acid derivatives isolated from corn bran in lipopolysaccharide-stimulated Raw 264.7 macrophages,” *Food Chem. Toxicol.*, vol. 50, no. 5, pp. 1309–1316, 2012.
- [40] M. M. Moreira, D. O. Carvalho, R. P. S. de Oliveira, B. Johansson, and L. F. Guido, “Brewer’s spent grains protects against oxidative DNA damage in *Saccharomyces cerevisiae*,” 2017.
- [41] J. Li, T. Kaneko, L.-Q. Qin, J. Wang, and Y. Wang, “Effects of barley intake on glucose tolerance, lipid metabolism, and bowel function in women,” *Nutrition*, vol. 19, no. 11–12, pp. 926–929, 2003.
- [42] S. Spinelli, A. Conte, and M. A. Del Nobile, “Microencapsulation of extracted bioactive compounds from brewer’s spent grain to enrich fish-burgers,” *Food Bioprod. Process.*, vol. 100, pp. 450–456, 2016.
- [43] S. Patel and S. Shukla, “Fermentation of food wastes for generation of nutraceuticals and supplements,” in *Fermented foods in health and disease prevention*, Elsevier, 2017, pp. 707–

- 734.
- [44] M. H. Alu'datt *et al.*, "Preparation, characterization, nanostructures and bio functional analysis of sonicated protein co-precipitates from brewers' spent grain and soybean flour," *Food Chem.*, vol. 240, pp. 784–798, 2018.
- [45] A. Ktenioudaki, N. O'Shea, and E. Gallagher, "Rheological properties of wheat dough supplemented with functional by-products of food processing: Brewer's spent grain and apple pomace," *J. Food Eng.*, vol. 116, no. 2, pp. 362–368, 2013.
- [46] N. C. Steinmacher, F. A. Honna, A. V. Gasparetto, D. Anibal, and M. V. E. Grossmann, "Bioconversion of brewer's spent grains by reactive extrusion and their application in bread-making," *LWT-Food Sci. Technol.*, vol. 46, no. 2, pp. 542–547, 2012.
- [47] C. Cappa and C. Alamprese, "Brewer's spent grain valorization in fiber-enriched fresh egg pasta production: Modelling and optimization study," *LWT-Food Sci. Technol.*, vol. 82, pp. 464–470, 2017.
- [48] H.-W. Kim *et al.*, "Effects of dietary fiber extracts from brewer's spent grain on quality characteristics of chicken patties cooked in convective oven," *Korean J. Food Sci. An*, vol. 33, no. 1, pp. 45–52, 2013.
- [49] A. Ktenioudaki, L. Alvarez-Jubete, T. J. Smyth, K. Kilcawley, D. K. Rai, and E. Gallagher, "Application of bioprocessing techniques (sourdough fermentation and technological aids) for brewer's spent grain breads," *Food Res. Int.*, vol. 73, pp. 107–116, 2015.
- [50] V. Faist, M. Lindenmeier, C. Geisler, H. F. Erbersdobler, and T. Hofmann, "Influence of molecular weight fractions isolated from roasted malt on the enzyme activities of NADPH-cytochrome c-reductase and glutathione-S-transferase in Caco-2 Cells," *J. Agric. Food Chem.*, vol. 50, no. 3, pp. 602–606, 2002.
- [51] M. Mesías and C. Delgado-Andrade, "Melanoidins as a potential functional food ingredient," *Curr. Opin. Food Sci.*, vol. 14, pp. 37–42, 2017.
- [52] L. C. Carrillo, J. Londoño-Londoño, and A. Gil, "Comparison of polyphenol, methylxanthines and antioxidant activity in Theobroma cacao beans from different cocoa-growing areas in Colombia," *Food Res. Int.*, vol. 60, pp. 273–280, 2014.
- [53] B. Hucker, L. Wakeling, and F. Vriesekoop, "Investigations into the thiamine and riboflavin content of malt and the effects of malting and roasting on their final content," *J. Cereal Sci.*, vol. 56, no. 2, pp. 300–306, 2012.
- [54] M. Sajib *et al.*, "Valorization of Brewer's spent grain to prebiotic oligosaccharide: production, xylanase catalyzed hydrolysis, in-vitro evaluation with probiotic strains and in a batch human fecal fermentation model," *J. Biotechnol.*, vol. 268, pp. 61–70, 2018.
- [55] V. Stojceska and P. Ainsworth, "The effect of different enzymes on the quality of high-fibre enriched brewer's spent grain breads," *Food Chem.*, vol. 110, no. 4, pp. 865–872, 2008.
- [56] G. Mandalari, G. Bisignano, R. B. Lo Curto, K. W. Waldron, and C. B. Faulds, "Production of feruloyl esterases and xylanases by *Talaromyces stipitatus* and *Humicola grisea* var. *thermoidea* on industrial food processing by-products," *Bioresour. Technol.*, vol. 99, no. 11, pp. 5130–5133, 2008.
- [57] T. R. Dhiman, H. R. Bingham, and H. D. Radloff, "Production response of lactating cows fed dried versus wet brewers' grain in diets with similar dry matter content," *J. Dairy Sci.*, vol. 86, no. 9, pp. 2914–2921, 2003.
- [58] J. Byrne, "FDA reviewing part of animal feed rule after fury over spent grains proposal," May-2014.
- [59] Economía Cat., "Damm. Sostenibilidad y economía circular en el proceso de elaboración de cerveza," 2018.
- [60] F. S. Stefanello *et al.*, "Analysis of polyphenols in brewer's spent grain and its comparison with corn silage and cereal brans commonly used for animal nutrition," *Food Chem.*, vol. 239, pp. 385–401, 2018.
- [61] H. Seddighi and K. Thomas, "Economic returns of using brewery's spent grain in animal feed," *World Acad. Sci. Eng. Technol.*, no. 74, pp. 701–705, 2011.
- [62] N. G. Belibasakis and D. Tsirgogianni, "Effects of wet brewers grains on milk yield, milk composition and blood components of dairy cows in hot weather," *Anim. Feed Sci. Technol.*, vol.

- 57, no. 3, pp. 175–181, 1996.
- [63] V. I. Kaur and P. K. Saxena, “Incorporation of brewery waste in supplementary feed and its impact on growth in some carps,” *Bioresour. Technol.*, vol. 91, no. 1, pp. 101–104, 2004.
- [64] C. Castillo, V. Pereira, Á. Abuelo, and J. Hernández, “Effect of supplementation with antioxidants on the quality of bovine milk and meat production,” *Sci. World J.*, vol. 2013, 2013.
- [65] A. Faccenda *et al.*, “Use of dried brewers’ grains instead of soybean meal to feed lactating cows,” *Rev. Bras. Zootec.*, vol. 46, no. 1, pp. 39–46, Jan. 2017.
- [66] K. Amoah, P. Asiedu, P. Wallace, Z. G. and S. W. A. Rhule, “The performance of pigs at different phases of growth on sun-dried brewers spent grain,” *Livest. Res. Rural Dev.*, vol. 29, no. 5, 2017.
- [67] A. Radzik-Rant *et al.*, “The effect of the addition of wet brewers grain to the diet of lambs on body weight gain, slaughter value and meat quality,” *Arch. Anim. Breed.*, vol. 61, no. 2, pp. 245–251, Jun. 2018.
- [68] E. E. S. Lora, “Bioenergía y biorrefinerías para caña de azúcar y palma de aceite,” *Rev. Palmas*, vol. 37, pp. 119–136, 2016.
- [69] R. Liguori, C. R. Soccol, L. Porto de Souza Vandenberghe, A. L. Woiciechowski, and V. Faraco, “Second generation ethanol production from brewers’ spent grain,” *Energies*, vol. 8, no. 4, pp. 2575–2586, 2015.
- [70] C. D. Grande Tovar, *Aprovechamiento de residuos agroindustriales: biocombustibles*, no. 662.88 G751a. Universidad de San Buenaventura, 2014.
- [71] H. Wang *et al.*, “Biomethanation from enzymatically hydrolyzed brewer’s spent grain: impact of rapid increase in loadings,” *Bioresour. Technol.*, vol. 190, pp. 167–174, 2015.
- [72] M. Sežun, V. Grilc, G. D. Zupančič, and R. Marinšek-Logar, “Anaerobic digestion of brewery spent grain in a semi-continuous bioreactor: inhibition by phenolic degradation products,” *Acta Chim Slov*, vol. 58, no. 1, pp. 158–166, 2011.
- [73] S. Wilkinson, K. A. Smart, S. James, and D. J. Cook, “Bioethanol production from brewers spent grains using a fungal consolidated bioprocessing (CBP) approach,” *Bioenergy Res.*, vol. 10, no. 1, pp. 146–157, 2017.
- [74] C. Xiros and P. Christakopoulos, “Enhanced ethanol production from brewer’s spent grain by a *Fusarium oxysporum* consolidated system,” *Biotechnol. Biofuels*, vol. 2, no. 1, p. 4, 2009.
- [75] P. E. Plaza, L. J. Gallego-Morales, M. Peñuela-Vásquez, S. Lucas, M. T. García-Cubero, and M. Coca, “Biobutanol production from brewer’s spent grain hydrolysates by *Clostridium beijerinckii*,” *Bioresour. Technol.*, vol. 244, pp. 166–174, 2017.
- [76] E. Mallen and V. Najdanovic-Visak, “Brewers’ spent grains: Drying kinetics and biodiesel production,” *Bioresour. Technol. Reports*, vol. 1, pp. 16–23, 2018.
- [77] M. K. Arantes, H. J. Alves, R. Sequinel, and E. A. da Silva, “Treatment of brewery wastewater and its use for biological production of methane and hydrogen,” *Int. J. Hydrogen Energy*, vol. 42, no. 42, pp. 26243–26256, 2017.
- [78] J. Zhang and L. Zang, “Enhancement of biohydrogen production from brewers’ spent grain by calcined-red mud pretreatment,” *Bioresour. Technol.*, vol. 209, pp. 73–79, 2016.
- [79] I. C. Gonçalves, A. Fonseca, A. M. Morão, H. M. Pinheiro, A. P. Duarte, and M. I. A. Ferra, “Evaluation of anaerobic co-digestion of spent brewery grains and an azo dye,” *Renew. Energy*, vol. 74, pp. 489–496, 2015.
- [80] C. Xiros, E. Topakas, P. Katapodis, and P. Christakopoulos, “Hydrolysis and fermentation of brewer’s spent grain by *Neurospora crassa*,” *Bioresour. Technol.*, vol. 99, no. 13, pp. 5427–5435, 2008.
- [81] H. Luo *et al.*, “Effectively enhancing acetone concentration and acetone/butanol ratio in ABE fermentation by a glucose/acetate co-substrate system incorporating with glucose limitation and *C. acetobutylicum*/*S. cerevisiae* co-culturing,” *Biochem. Eng. J.*, vol. 118, pp. 132–142, 2017.
- [82] “Resumen Ejecutivo ‘Evaluación del ciclo de vida de la cadena de producción de biocombustibles en Colombia’. BID Banco Interamericano de Desarrollo MME Ministerio de Minas y Energía MADR Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural MAVDT Ministerio del Med,” 2012.
- [83] L. M. W. Beharry, “MCS-APB tiger brewery–brewery spent grain questions,” 2015.

- [84] A. Sanna, S. Li, R. Linforth, K. A. Smart, and J. M. Andrésen, "Bio-oil and bio-char from low temperature pyrolysis of spent grains using activated alumina," *Bioresour. Technol.*, vol. 102, no. 22, pp. 10695–10703, 2011.
- [85] E. S. Rojo *et al.*, "Preparation, characterization and in vitro osteoblast growth of waste-derived biomaterials," *RSC Adv.*, vol. 4, no. 25, pp. 12630–12639, 2014.
- [86] K. Formela *et al.*, "Structural, thermal and physico-mechanical properties of polyurethane/brewers' spent grain composite foams modified with ground tire rubber," *Ind. Crops Prod.*, vol. 108, pp. 844–852, 2017.
- [87] A. George, K. Simet, A. Carradorini, and N. Faour, "Brewer's Spent Grain to Xylitol & Polylactic Acid," 2017.
- [88] M.-A. Berthet *et al.*, "Exploring the potentialities of using lignocellulosic fibres derived from three food by-products as constituents of biocomposites for food packaging," *Ind. Crops Prod.*, vol. 69, pp. 110–122, 2015.
- [89] P. Klímek, R. Wimmer, P. K. Mishra, and J. Kúdela, "Utilizing brewer's-spent-grain in wood-based particleboard manufacturing," *J. Clean. Prod.*, vol. 141, pp. 812–817, 2017.
- [90] S. C. L. Sousa, J. P. Silva, A. M. M. Ramos, and R. Simoes, "Pulping and papermaking potential of brewery spent grain," *Cellul. Chem. Technol.*, vol. 41, no. 2–3, pp. 183–191, 2007.
- [91] W. Russ, H. Mörtel, and R. Meyer-Pittroff, "Application of spent grains to increase porosity in bricks," *Constr. Build. Mater.*, vol. 19, no. 2, pp. 117–126, 2005.