

Bagazo producido en la industria cervecera: Alternativas de valorización y reutilización

Bagasse produced in the brewing industry:
Recovery and reuse alternatives

Raimilla Matías^a, Fernández-Ortúzar Juan Esteban^b,
González-Esparza Alexandra^a, Ravanal María Cristina^{a*}

^a Instituto de Ciencia y Tecnología de los Alimentos (ICYTAL), Facultad de Ciencias Agrarias y Alimentarias, Universidad Austral de Chile, Avda. Julio Sarrazín s/n, Isla Teja, Valdivia 5090000, Chile.

^b Gerencia de Operaciones y Supply Chain, Cervecería Kunstmann S.A, Ruta T-350, Número 950, Sector Torobayo, Valdivia 5090000, Chile.

ARTICLE INFO

Article history:

Received 05-07-2023

Accepted 05-08-2023

Keywords:

Biomass

Bagasse

Spent Brewery Grain

Carbohydrates

Circular Economy

Brewing Industry

Review Article,

Food Science

*Corresponding author:

María Cristina Ravanal

E-mail address:

maria.ravanal@uach.cl

ABSTRACT

Lignocellulosic waste is generated in many sectors of the agri-food industry and if these are properly processed, they can be used in industry to produce a variety of other high value-added products. Widely available waste is beer bagasse (spent brewery grain) which results from the maceration of the malt grain; it remains as the main waste covering around 85% of the waste generated. It accumulates in large amounts since world beer production in 2021 was 1.860 million hectoliters. Bagasse has a high moisture content and is composed of lignocellulosic biomass, with a significant content of proteins, fibres, lipids, ash, vitamins, amino acids, and phenolic compounds. Beer bagasse can be used as cattle feed, as it is rich in protein and does not cause digestive problems. It can be used as a functional ingredient in the food and pharmaceutical industry, providing fibre and protein to products. It can also serve as a substrate to produce biogas, enzymes and compounds in the food industry, or as food for insects, which in turn generate compounds for other products. Another use for bagasse is as a potential source of protein for aquafeeds, but it requires prior processing. It can also be utilised to make flour and enrich food products, providing nutritional and economic benefits. There are multiple ways to value this waste and there are still challenges to be addressed. The link between its production and uses aims to achieve the objectives of the circular economy.

RESUMEN

Los residuos lignocelulósicos se generan en muchos sectores de la industria agroalimentaria y, si se procesan adecuadamente, pueden utilizarse en la industria para producir una variedad de otros productos de alto valor agregado. Un residuo ampliamente disponible es el bagazo de cerveza (grano gastado de cervecería), que es el producto resultante de la maceración del grano de malta, quedando como el principal residuo, abarcando alrededor del 85% de los residuos generados, produciéndose en gran cantidad, ya que la producción mundial de cerveza en 2021 fue de 1.860 millones de hectolitros. El bagazo tiene un alto contenido de humedad y está compuesto por biomasa lignocelulósica, con un contenido importante de proteínas, fibras, lípidos, cenizas, vitaminas, aminoácidos y compuestos fenólicos. El bagazo de cerveza se puede utilizar como alimento para ganado, ya que es rico en proteínas y no causa problemas digestivos. Puede ser utilizado como ingrediente funcional en la industria alimentaria y farmacéutica, aportando fibra y proteína a los productos. También puede servir como sustrato para la producción de biogás, enzimas y compuestos en la industria alimentaria, o como alimento para insectos, que a su vez generan compuestos para otros productos. Otro uso es como fuente potencial de proteína para alimentos acuícolas, pero requiere un procesamiento previo. También puede utilizarse para hacer harina y enriquecer productos alimenticios, generando beneficios nutricionales y económicos. Existen múltiples formas de valorizar estos residuos y aún quedan desafíos por abordar. Es importante que todos los eslabones de producción y uso trabajen articulados para lograr una economía circular.

Palabras clave: Biomasa, Bagazo, Grano usado de cervecería, Carbohidratos, Economía Circular, Industria Cervecera.

INTRODUCCIÓN

La sobrepoblación mundial ha aumentado el requerimiento de energía, alimentos y combustibles. Estas necesidades provocan otra serie de problemas

como la crisis energética, cambio climático, extinción de especies, rápido agotamiento de los recursos naturales y alta producción de residuos. Por este motivo, es imprescindible buscar medidas a nivel mundial que contribuyan a mejorar el medioambiente y el bienes-

tar social y económico. Una alternativa para solucionar algunas de estas problemáticas actuales es la valorización de residuos, actividad donde los desechos agrícolas e industriales son utilizados para convertirlos en nuevos productos con mayor valor comercial. Esta alternativa es 100 % renovable al aprovechar la biomasa residual como materia prima y simultáneamente reducir la producción de residuos y los gastos de manipulación de estos (Torrente, 2019). Por ejemplo, el aprovechamiento de los residuos producidos por la industria cervecera, como el bagazo, siendo este desecho un potencial ingrediente, sustrato, o subproducto para su utilización en otras áreas. Históricamente se ha empleado el bagazo para compostaje y alimentación de ganado, desaprovechándose muchas propiedades y posibles usos en otras áreas de la industria alimentaria. El bagazo es un subproducto húmedo y altamente perecedero, procedente del proceso de maceración (Echenique y Oscariz, 2021). El gran volumen que se genera, su bajo coste y sus componentes, lo convierten en un recurso de alto potencial para su aprovechamiento. Es un componente heterogéneo, debido a numerosos factores como la variedad de cereal, el momento de la recolección, el régimen de malteado y macerado (Torrente, 2019).

Proceso productivo de la cerveza

Para la elaboración de la cerveza se requieren cuatro componentes esenciales; agua, malta, lúpulo y levadura. La cerveza se obtiene a través de tres principales procesos bioquímicos, que conllevan; a) preparar el grano del cereal germinante a través de la formación de enzimas como la α -amilasa y β -amilasa, b) degradar el almidón a glucosa en el proceso de maceración donde actúan estas enzimas y c) fermentar la glucosa a etanol y dióxido de carbono, por la acción de las levaduras en los estanques fermentadores. La gran variedad de cervezas se debe a las diferentes condiciones de temperatura, tipo de grano, tipo de levadura, etc., establecidas durante las etapas de producción (Aroh, 2019).

Los procesos productivos de elaboración de cerveza se pueden dividir en; a) Bloque Caliente (Molienda y Sala Elaboración de Mostos), b) Bloque Frío (Fermentación, Clarificación, Filtración y Carbonatación) y c) Bloque de Envasado (botellas, latas, barriles, entre otros formatos y materiales) (Julián-Ricardo *et al.*, 2018).

En la Figura 1 se muestran las principales etapas que conforman los bloques dentro del proceso de elaboración de la cerveza, que están distribuidas en:

- 1) **Molienda:** La malta, el primer componente de la cerveza, es triturada de forma mecánica en el molino. Con este pretratamiento se abre la estructura del grano de malta, para que las enzimas actúen eficientemente en la maceración.
- 2) **Maceración:** La malta pretratada llega al estanque de maceración y se mezcla con agua (segundo componente de la cerveza). Las enzimas de la malta degradan el almidón, para obtener la mayor concentración de azúcares solubles. Este proceso depende de las actividades enzimáticas, el pH, temperatura y tiempo (Aroh, 2019).
- 3) **Filtración (Lautering):** La mezcla de la maceración es bombeada al equipo Lauter o estanque de filtración, donde se separan los extractos solubles del mosto de los componentes insolubles. De esta forma, se genera el primer residuo industrial en la elaboración de la cerveza, el **BAGAZO** (RI01, Figura 1; residuo formado por cascarilla de malta, agua, parte de los azúcares solubles y materiales no solubles).
- 4) **Cocción:** La mezcla de los extractos solubles filtrados en el Lauter es transferida a un estanque de cocción, donde se adiciona el lúpulo (tercer componente de la cerveza). En esta etapa acontecen los procesos en que actúan los componentes del lúpulo, se precipitan las proteínas, se evapora el agua, se esteriliza el mosto, entre otros (Morales, 2018).
- 5) **Whirlpool:** Etapa de centrifugación para retirar todos los componentes pesados del mosto lupulado. Se genera el segundo residuo industrial, el **TRUB** (RI02, Figura 1; precipitado compuesto por lúpulo y otras sustancias pesadas).
- 6) **Enfriamiento:** Debido a la alta temperatura que se encuentra el mosto, es necesario disminuir la temperatura para que puedan actuar las levaduras fermentativas. Se utiliza un intercambiador de placas, donde el mosto pasa por el equipo contra corriente al flujo de agua fría y es enfriado.
- 7) **Aireación:** Este proceso asegura un nivel óptimo de oxígeno para una correcta propagación de la levadura en los estanques fermentadores.
- 8) **Fermentación:** En un estanque fermentador cilindro cónico, se recepciona el mosto acondicionado (frío y aireado) y se agrega la cepa de levadura (cuarto componente de la cerveza). Dependiendo de la variedad específica de la fermentación (lager, ale, entre otras) es el tipo de levadura que se utiliza. Los azúcares del mosto son fermentados por la levadura, a etanol y dióxido de carbono. En este mismo estanque después de la fermentación, se lleva a cabo el reposo y la maduración de la cerveza. Durante este tiempo de almacenamiento, se realizan purgas o cosechas de **LEVADURA** (RI03, Figura 1; tercer residuo industrial de la cerveza), para retirar los excesos de levadura y facilitar los posteriores procesos de clarificación y filtrado. El exceso de dióxido de carbono generado en la fermentación es recuperado en una Planta de Recuperación

y en caso de no existir, se evacúa por presión al ambiente.

9) **Clarificación y (10) Filtración:** Dependiendo de la concentración de levaduras y otros sólidos en suspensión (que debe cumplir con la ficha técnica del producto terminado), se generan los siguientes casos; a) Para cervezas no filtradas se realiza sólo el proceso de clarificación mediante la acción de una centrífuga y b) Para las cervezas filtradas, se agrega, el proceso de filtración a la etapa de clarificación. Se puede utilizar el filtro de velas, que utilizan materiales filtrantes (tierras diatomeas con diferente granulometría) y aditivos que apoyan la eficiencia del proceso. Finalmente, la cerveza queda estabilizada biológica y coloidalmente. En la centrífuga se genera el cuarto residuo industrial (RI04, Figura 1), cuyos componentes son iguales a los de la purga de levadura. Después que se satura el filtro se genera el quinto residuo industrial (RI05, Figura 1), formado por restos de cerveza, tierras diatomeas, aditivos y otros materiales (Morales, 2018).

10) **Carbonatación:** Cuando la cerveza tiene un porcentaje de dióxido de carbono menor al estándar que se ha definido como producto terminado, se inyecta CO₂ en un equipo auxiliar denominado Carboblender y luego es transferida a un estanque de almacenamiento para ser envasada.

11) **Envasado:** En la actualidad, las principales líneas de envasado de cervezas responden a los formatos de botellas de vidrio, latas de aluminio, barriles metálicos retornables de acero inoxidable y barriles no retornables de plástico. Por su parte, los múltiples formatos y las multi especialidades de cervezas que se deben envasar en cada línea responden a las diversas preferencias de consumidores, aumentando la cantidad de cambios y números de limpiezas en las líneas de envasado. Este escenario genera mayores residuos industriales sólidos (pérdida de envases, pérdida de embalajes, entre otros) y residuos industriales líquidos (mezcla de agua y cerveza, aguas químicas de limpieza, entre otros).

Los principales residuos industriales (RI) generados en el proceso de fabricación de cerveza son mostrados en la Figura 1 (RI01, 02, 03, 04 y 05). La composición química de los desechos de la cervecería puede variar ligeramente según el tipo y la calidad de los ingredientes utilizados y las condiciones que prevalecen durante cada paso del proceso de elaboración de la cerveza; sin embargo, siempre tienen un alto valor nutricional. Estos residuos están formados por polisacáridos como celulosa 12-25 % y hemicelulosa 20-25%, proteínas 19-30%, lignina 12-28%, lípidos 10%, cenizas 2-5% entre otros (Ortiz *et al.*, 2019). Los residuos tienen un alto

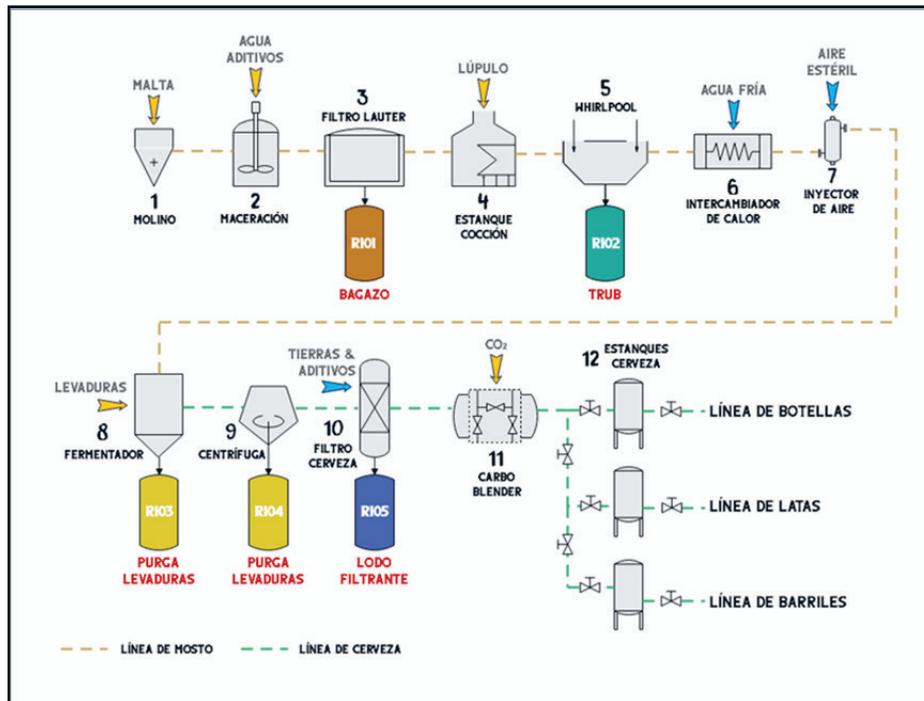


Figura 1: Diagrama de flujo del proceso de elaboración de la cerveza.

Figure 1: Flowchart of the brewing process.

contenido de humedad, un quinto del agua utilizada en el proceso de elaboración de la cerveza se pierde en forma de residuos (Rachwal *et al.*, 2020). Debido a que el bagazo de la cerveza (RI01, Figura 1), es el principal residuo de la industria cervecera nos enfocaremos en los bioprocesos para su valorización y reutilización.

Bagazo de la cerveza

El bagazo de la cerveza, o también conocido como el grano gastado de cerveza (BSG), es el subproducto que se obtiene tras la filtración del mosto cervecero (Cerisuelo y Bacha, 2021). En la Figura 1 se genera después de la maceración y filtración.

Representa aproximadamente el 85% de todos los residuos producidos por la industria cervecera y es el principal desecho generado durante la producción de cerveza (Rachwal *et al.*, 2020). El bagazo formado después de la etapa de filtración se elimina antes del paso de ebullición en el proceso de elaboración de la cerveza. Este residuo sólido de la producción de mosto está compuesto principalmente por cáscaras de grano de cebada (Rachwal *et al.*, 2020). Durante el proceso de maceración, las enzimas producidas en el malteado transforman el almidón en azúcares fermentables y las proteínas en péptidos y aminoácidos, que constituyen

las fuentes nitrogenadas para la fermentación posterior (Cerisuelo y Bacha, 2021).

Economía circular y el bagazo de cerveza

La reutilización de residuos es una alternativa que beneficia a las industrias, agregando valor al residuo y aun reduciendo los costos necesarios con el tratamiento antes de su eliminación (Custodio *et al.*, 2021). En general, los procesos de elaboración de cerveza consumen mucha energía e implican el uso de grandes volúmenes de agua y una gran producción de residuos sólidos (< 50 kg m⁻³), que, en el contexto de una economía lineal, acabarán finalmente en los vertederos (Ortiz *et al.*, 2019). El enfoque de economía circular abre una nueva puerta donde los residuos son recursos, útiles para otros procesos, dentro o fuera de la industria que los produce. Los enfoques que siguen los principios de la economía circular podrían proyectar un ahorro de costes de hasta el 20% para diversos sectores industriales como la alimentación, las bebidas, los textiles y los envases. En este contexto, la industria cervecera está siguiendo distintos planteamientos para aumentar la eficiencia energética y reducir los residuos (aguas residuales, residuos sólidos) y las emisiones de CO₂ (Ortiz *et al.*, 2019).

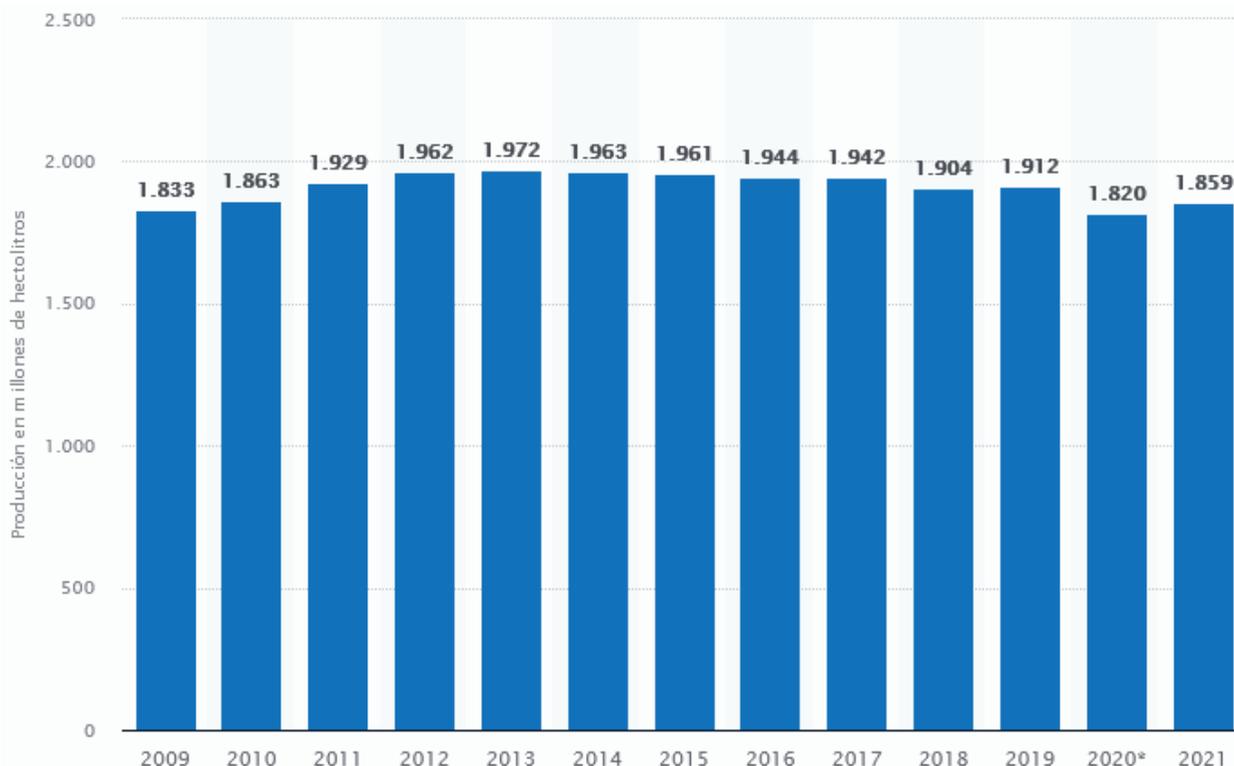


Figura 2: Producción de cerveza a nivel mundial entre 2009 y 2021, en millones de hectolitros (Orús, 2022).

Figure 2: Beer production worldwide between 2009 and 2021, in millions of hectolitres (Orús, 2022).

Impacto del bagazo como desecho

La producción mundial de cerveza año a año es variable; Orús (2022) señala que, en el año 2021, el volumen de cerveza producida a nivel mundial se situó en torno a los 1.860 millones de hectolitros. Esta cantidad supuso un crecimiento de aproximadamente 40 millones de hectolitros con respecto a la producción de este tipo de bebida alcohólica registrada durante el año anterior, como se observa en la siguiente Figura 2.

En la literatura no existe valores de la cantidad de bagazo que se produce al año a nivel mundial; sin embargo, la producción de 1 hL de cerveza conduce a la generación simultánea de 20 kg de Bagazo de cerveza (BSG) (Pereira *et al.*, 2023), por lo que, a nivel global, la cantidad de bagazo producido es de aproximadamente 372 millones de toneladas.

Composición del bagazo

El bagazo es una biomasa lignocelulósica heterogénea (Rachwal *et al.*, 2020), que está compuesta en base seca de un 15 - 26% de proteínas y un 70% de fibras, que incluyen celulosa (entre 15,5 y 25%), hemicelulosas (28 a 35%) y lignina (aproximadamente el 28%). También puede contener lípidos (entre 3,9 y 18%, de los cuales el 67% son triglicéridos), cenizas (2,5 a 4,5%), vitaminas y aminoácidos (Lynch *et al.*, 2016) (Figura 3). Este subproducto también es rico en oligosacáridos y compuestos fenólicos (Rachwal *et al.*, 2020). Entre los ácidos fenólicos, el BSG tiene el contenido más alto de ácido ferúlico (1.860-1.948 mg g⁻¹) y ácido p-cumárico (565-794 mg g⁻¹), así como ácido sinápico, ácido caféico y ácido siríngico (Rachwal *et al.*, 2020).

Entre los componentes minerales se cuentan el calcio, fósforo y selenio. También contiene biotina, colina,

ácido fólico, niacina, ácido pantoténico, riboflavina, tiamina y vitamina B6. Entre los aminoácidos están presentes la leucina, valina, alanina, serina, glicina, tirosina, lisina, prolina, treonina, arginina, cistina, histidina, isoleucina, metionina, fenilalanina, triptófano, ácido glutámico y ácido aspártico (Lynch *et al.*, 2016).

En promedio, el bagazo tiene un contenido de humedad de 70 a 80 %, lo que dificulta su transporte y aumenta el costo total (Bruneli *et al.*, 2021). El alto contenido de agua inicial y la presencia de niveles considerables de polisacáridos, azúcares fermentables residuales y proteínas hacen que el bagazo fresco sea susceptible a la contaminación microbiana, principalmente por hongos filamentosos como *aspergillus* y *penicillium*. Este deterioro microbiológico puede comprometer la posibilidad de utilizarlo como materia prima industrial de grado alimentario para un procesamiento posterior de valor agregado (Lynch *et al.*, 2016).

Propiedades nutricionales del bagazo

El 28-35% de polisacáridos no celulósicos, que corresponde a la hemicelulosa, están compuestos principalmente por arabinoxilanos. Este polisacárido de 1.500 a 5.000 unidades, tiene una cadena principal de xilosa unida por enlaces β-(1-4) y ramificaciones de arabinosa. Destacan dentro de la fibra dietética por su efecto funcional, generando impactos beneficiosos para la salud: como prebiótico, prevención del cáncer de colon, capacidad antioxidante, función inmunitaria, efecto sobre metabolismo lipídico y metabolismo de la glucosa (Torrente, 2019).

El análisis físico-químico del bagazo de cebada malteada presentó un alto contenido de fibra, proteínas y minerales, principalmente fósforo, además de una cantidad significativa de potasio, hierro y calcio y bajo

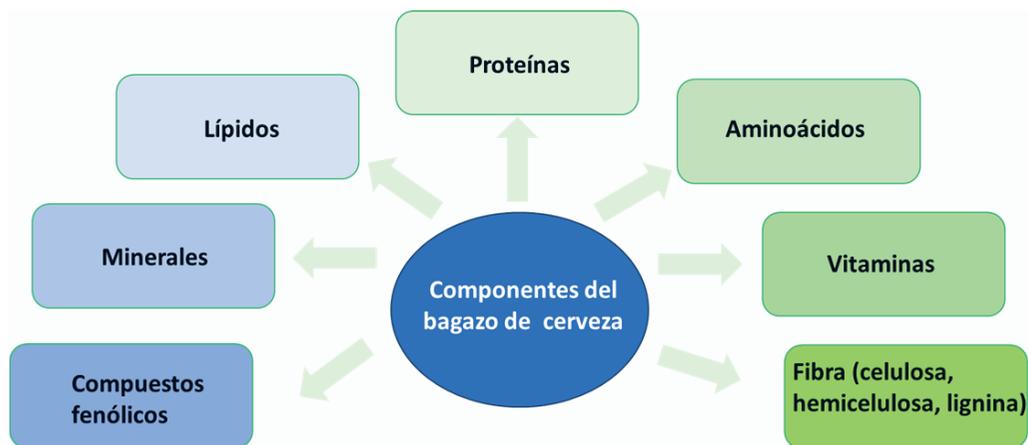


Figura 3: Componentes del bagazo de cerveza (adaptado de Mitri *et al.*, 2022).

Figure 3: Components of beer bagasse (adapted from Mitri *et al.*, 2022).

contenido de sodio. Se han realizado diferentes investigaciones sobre los beneficios nutricionales complementarios a los de la fibra (Custódio *et al.*, 2021).

En España se realizó una optimización del proceso de extracción de polifenoles totales, lo que podría convertir a este residuo en aprovechable también como suplemento de antioxidantes naturales que disminuirían los radicales libres. El residuo de cebada malteada mostró potencial nutricional para ser utilizado como ingrediente en la formulación de alimentos, siendo una forma sostenible de la industria alimentaria de aprovechar este residuo (Custodio *et al.*, 2021).

El bagazo de cerveza es un subproducto con múltiples aplicaciones, entre las que se resumen en la Figura 4.

Elaboración de harinas y alimentos a partir de bagazo cervecero

La industria de la panadería es de gran importancia económica, alcanzó una facturación de R\$ 91,94 mil millones (US\$ 19,23 mil millones) en 2020 (De Oliveira *et al.*, 2022). Debido a su composición, el uso del bagazo de malta en la alimentación humana es una alternativa para enriquecer nuevos productos. La harina de bagazo de malta se ha utilizado para sustituir parcialmente la harina de trigo, lo que conlleva un efecto tanto nutricional como económico (De Oliveira *et al.*, 2022).

Para la elaboración de la harina basada en el bagazo de cerveza se utiliza el mismo método de molienda de otros cereales, pero se puede realizar un proceso de refinamiento más profundo para mejorar la calidad de esta (Martínez, 2020). En el proceso para obtener harina de bagazo de cerveza, se debe reducir la hume-

dad hasta un 60-65% y optimizar el tiempo de secado en el horno deshidratador, para mejorar la calidad del producto final (Pérez, 2020). La harina de bagazo de cerveza es un producto que se puede implementar en la gastronomía mundial, ya existen compañías que elaboran comercialmente esta harina (Pérez, 2022).

A partir de esta harina se han elaborado churros (Oliveira *et al.*, 2022) y se han analizado sus propiedades nutricionales y evaluación sensorial para ver el grado de aceptabilidad de los consumidores. Se observó que la elaboración de masa de churros con sustitución parcial de harina de trigo por harina de bagazo de malta tiene bajo contenido lipídico y alto contenido proteico. La aceptabilidad, las formulaciones que contenían bagazo de cerveza fue entre 71,47 % y 74,45 % (Oliveira *et al.*, 2022). El bagazo de cerveza también ha sido utilizado para elaborar panes, galletas, muffins, tortas y snacks, entre otros (Lynch *et al.*, 2016; Musatto, 2014).

El bagazo de cerveza se ha utilizado como un ingrediente funcional rico en fibra y en reemplazo de la proteína de soja para elaboración de hamburguesas con y sin sal agregada (Higuimaran *et al.*, 2019). Se evaluó con un panel sensorialmente las hamburguesas utilizando una escala hedónica, para conocer el impacto que produce el reemplazo de la proteína de soya en los consumidores. Se formularon 8 variedades de hamburguesas considerando como variables los contenidos de fibra, sodio y proteína de soya. Los resultados se analizaron por "partial least square" siendo la variable "sal" la que tuvo el mayor impacto, seguido por la variable proteína y en menor medida la variable fibra. El bagazo no produjo cambios significativos en la aceptabilidad frente a

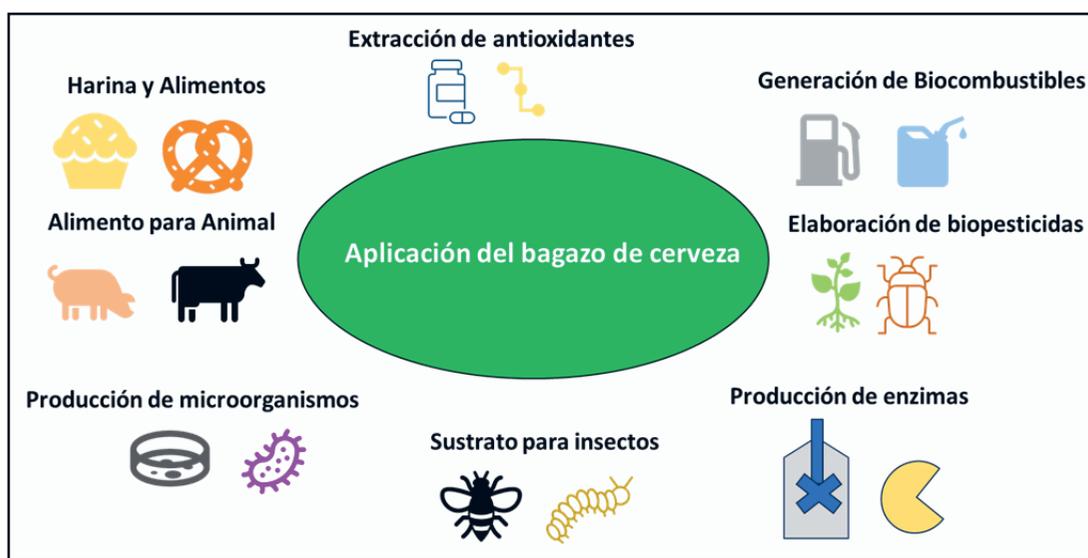


Figura 4: Las principales aplicaciones para la valorización del bagazo producido por la industria cervecera.

Figure 4: The main applications for the recovery of bagasse produced by the brewing industry.

la muestra control, y su efecto fue positivo frente al no agregado de sal, lo cual representa una ventaja como estrategia frente a la posibilidad de reducción de sal en las formulaciones (Higuimaran *et al.*, 2019).

Extracción de Antioxidantes del bagazo de cerveza

Los antioxidantes son sustancias con capacidad para inhibir las reacciones de oxidación, a través de diversos mecanismos. La preocupación por el abuso de los antioxidantes sintéticos ha derivado hacia un nuevo interés por los antioxidantes naturales, los cuales se perciben como una alternativa viable y más saludable. El grano de cebada contiene diferentes tipos de sustancias antioxidantes en su estado natural, como ácidos hidroxiciánicos, flavonoles, proantocianidinas y flavan-3-oles (Aron y Shellhammer, 2010). La distribución de estos compuestos no es uniforme. Se encuentran en distintas concentraciones en los distintos tejidos del grano. Durante el proceso de elaboración de cerveza, el residuo que se genera presenta una alta concentración de compuestos fenólicos con actividad antioxidante. El contenido fenólico total del bagazo de malta, su extracción y su capacidad antioxidante ha sido estudiado. En el método desarrollado por Moreira *et al.* (2013), se realizó una extracción con NaOH y microonda. La extracción de polifenoles de Kitryte *et al.*, (2015) se llevó a cabo mediante la técnica QUENCHER (Serpen *et al.*, 2007) para poder acceder a los polifenoles. Las extracciones llevadas a cabo por Meneses *et al.* (2013) utilizan seis disolventes distintos a diferentes concentraciones. Dentro de los polifenoles extraídos, el ácido ferúlico debido a su parecido estructural se ha convertido en el mejor sustrato precursor para la producción de vainillina a través de la conversión microbiana de bacterianas, como *Pseudomonas*, *Streptomyces* y algunos hongos filamentosos como *Aspergillus niger* y *Phanerochaete chrysosporium* (Sharma *et al.*, 2020; Gallage y Møller, 2015). El ácido ferúlico se utiliza como ingrediente cosmético generando diversos beneficios para el cuidado de la piel, tales como poseer actividad anti-envejecimiento, anti-arrugas, anti-pigmentación (o de blanqueamiento de la piel), antiinflamatorio, antimicrobiano, foto protector, anticolegenasa (Zduńska *et al.*, 2018).

Sustrato para microorganismos y generación de compuestos.

Se ha utilizado el bagazo de cerveza como sustrato para el crecimiento de microorganismos, los que generan compuestos deseados en la industria alimentaria y farmacéutica (Morán *et al.*, 2021). Por ejemplo, en fermentadores en estado sólido utilizando bagazo de cerveza se han crecido hongos filamentosos que producen diferentes enzimas. Al hacer crecer *Aspergillus niger* en una mezcla de bagazo de caña de azúcar y bagazo de

cerveza se generaron celulasas y xilanasas. Estas enzimas son de gran importancia y muy utilizadas en las industrias para la producción de alimentos, industria textil, industria papelera, agrícola, entre otras (Izarra *et al.*, 2010). Las enzimas son alternativas biológicas muy utilizadas en la industria y contribuyen al cuidado del medioambiente haciendo los procesos más limpios, sin químicos y tiene la posibilidad de ser inmovilizadas y reutilizadas para abaratar costos (Raval *et al.*, 2022).

Existe una búsqueda continua de nuevos sustratos de cultivos de hongos comestibles, que maximicen su rendimiento de producción y calidad. Se ha evaluado las condiciones de crecimiento del hongo *Ostra* utilizando bagazo de cerveza, una fuente de material lignocelulósicos (Wan Mahari *et al.*, 2020). Una adecuada relación de Carbono: Nitrógeno son necesarias, se observó que en esta relación el carbono debe ser menor que el nitrógeno en la fase de crecimiento del micelio, lo que conduce a un incremento del rendimiento y mejor calidad de la producción del cultivo (Rizki y Tamai, 2011; Sözbir *et al.*, 2015).

Uso como sustrato para el crecimiento de insectos.

Dado las propiedades nutricionales del bagazo, es posible la utilización de este residuo como forma de alimentar insectos, los cuales generan compuestos o ingredientes de interés para la elaboración de otros productos. Un ejemplo es la cría de mosca soldado negro para la elaboración de piensos. La exuvia de pupa es el exoesqueleto externo de este insecto tras la muda, los cuales tienen propiedades bioactivas como actividad prebiótica. Rubio *et al.* (2020), investigaron el efecto de la concentración de minerales (Ca, Cr, Cu, Fe, K, Mg, Mn, Na, Ni y Zn) en la bioacumulación en la mosca soldado negro, utilizando como sustrato bagazo de cerveza y pienso para gallinas humedecidos con agua. Se estudió la concentración de estos minerales durante todo el ciclo de vida de la mosca negra (larva, pupa y adulto). Los resultados obtenidos demostraron que el comportamiento fue generalmente similar para todos los elementos estudiados; una acumulación en exuvias y puparias seguida de su posterior eliminación. Además, los autores no encontraron diferencias significativas en los resultados en función de los medios de alimentación. Esto puede atribuirse a que las dietas elegidas fueron igualmente favorables para el crecimiento de este insecto. Los resultados también sugirieron que las exuvias y las pupas podrían usarse como suplementos o como compuestos bioactivos (Chia *et al.*, 2018).

Uso para alimentación acuícola

La harina de pescado y las comidas a base de plantas son, en la actualidad, las fuentes de proteínas más comúnmente aplicadas en las formulaciones comer-

ciales de alimentos para peces (Karlsen y Skov, 2022). Un contenido proteico relativamente alto, un precio de mercado bajo y una disponibilidad anual estable, el bagazo de cerveza representa una fuente potencial de proteínas para los alimentos acuícolas, porque tiene un alto contenido de aminoácidos esenciales, en comparación con otros subproductos agroindustriales. Sin embargo, en su forma no tratada, el bagazo de cerveza contiene altos niveles de factores anti nutricionales (ANF), como la lignina y la fibra, que se sabe que reducen el rendimiento digestivo en los peces. Antes de que este bagazo pueda utilizarse como fuente de proteínas, debe someterse a un proceso de refinamiento para eliminar el material lignocelulósico, eliminar los ANF del componente proteico. La conversión tiene como objetivo transformar los ANF en sustancias digeribles mediante la aplicación de una combinación de tratamientos químicos, biológicos y enzimáticos (Karlsen, 2022).

Utilización para alimentación de ganado

El bagazo de cerveza tiene algunas características que lo hacen interesante para el uso como alimento animal, como son la composición, el bajo costo y la disponibilidad (Castillo *et al.*, 2021). En vacas alimentadas exclusivamente con bagazo húmedo, no se observaron disturbios digestivos. Dado el alto contenido de proteínas de este alimento, se ha investigado en su incorporación en dietas, para evaluar el efecto que tiene las altas concentraciones de proteínas, en las concentraciones de amonio en el rumen y en el torrente sanguíneo. Este proceso puede aumentar el requerimiento de energía, ya que ésta es necesaria para la detoxificación del amonio a nivel hepático (Echenique y Oscariz, 2021). En la Estación experimental de Concepción del Uruguay, se concluyó que la suplementación con 60 % del bagazo húmedo eleva los contenidos de amonio en el rumen como para satisfacer los requerimientos de los microorganismos ruminales, por lo tanto, la inclusión del subproducto en estos niveles no provocaría desbalances que puedan significar problemas para la vaca lechera (Echenique y Oscariz, 2021). Al reemplazó el maíz y el sorgo por el bagazo se observó que el bagazo húmedo de cervecera puede ser una opción para la suplementación de ovinos en pastoreo, ya que a través de su utilización se obtuvieron GDP (promedio de la ganancia diaria) similares a las de otros suplementos energéticos comúnmente utilizados por los productores, como es el caso del maíz y el sorgo (Pérez, 2020).

Utilización como biopesticida y biocontrolador

Se ha utilizado bagazo de cerveza para generar un biopesticida y se analizó su efecto en biodesinfección. Se añadieron al suelo bagazo de cerveza y torta de col-

za desgrasada junto con estiércol fresco de vaca (1,5, 0,5 y 20 kg m⁻², respectivamente) para evaluar su capacidad de reducir la incidencia de enfermedades causadas por el nematodo *Meloidogyne incognita* en cultivos de lechuga. El alto contenido de nitrógeno de este biopesticida promueve la actividad de microorganismos beneficiosos en el suelo, lo que ayuda a descomponer la materia orgánica, como el estiércol, y eliminar los nematodos y otros parásitos que dañan los cultivos. En las parcelas que utilizaron este biopesticida aumentaron los rendimientos en aproximadamente un 15% en comparación con las parcelas de control después de un año (Gandariasbeitia *et al.*, 2021).

Uso en producción de biogás

Por sus características orgánicas y con el fin de reducir los impactos ambientales causados por su disposición o tratamiento inadecuado, el bagazo puede ser tratado de manera efectiva en sistemas anaerobios. Uno de los productos de la digestión anaeróbica es el biogás; este gas contiene metano (CH₄) y dióxido de carbono (CO₂), además de otros gases en concentraciones más bajas; estos incluyen oxígeno, sulfuro de hidrógeno e hidrógeno. Cuando se purifica el biogás, se transforma en biometano, que es rico en metano con alto poder calorífico. Los procesos de purificación de biogás conducen a la recuperación simultánea de otros gases, como el CO₂ que se utiliza en la industria cervecera (Pereira, 2023). El material lignocelulósico del bagazo de cerveza puede emplearse como sustrato para la producción de biogás y, en consecuencia, para la generación de energía (Pereira, 2023; Mussatto *et al.*, 2006). De esta forma ayudaría a reducir el consumo de combustibles fósiles, los costos de energía y las emisiones de gases de efecto invernadero en la industria cervecera, además de contribuir de manera efectiva a la disposición adecuada de los residuos orgánicos (Ullah *et al.*, 2017). Para obtener mayor eficiencia productiva en el proceso de generación de biogás, se ha utilizado pretratamientos térmicos que permiten mayor accesibilidad de las enzimas a la celulosa y hemicelulosa, en el proceso de digestión anaeróbica (Bruneli, *et al.*, 2021). El pretratamiento térmico mostró ser una alternativa interesante para el fraccionamiento del bagazo de cerveza en una biorrefinería.

CONCLUSIONES

El bagazo producido por la industria cervecera tiene un gran potencial como subproducto en diversas áreas. Se evidenció que existen muchas propiedades bioactivas, y nutrientes valiosos dada la composición de este residuo, lo cual se puede reenfoque para ser visto como una materia prima prometedora para múltiples aplicaciones. El bagazo tiene características que

la hacen un residuo muy versátil, pudiéndose aplicar en áreas de la biotecnología (como sustrato para insectos), alimentación (en áreas como la acuícola), generación de productos con valor agregado (harinas), como ingrediente funcional para otros alimentos (como en la hamburguesa, reemplazo de la proteína de soya por bagazo), obtención de fuente de energía (biogás por digestión anaeróbica), obtención de compuestos químicos deseados para otros fines (enzimas como celulasas y xilanasas), entre otros posibles usos.

Actualmente aún enfrenta muchos desafíos la revalorización del bagazo, principalmente por factores como una vida útil limitada, por su alto contenido de azúcares y humedad, siendo muy susceptible a contaminación bacteriana, el manejo y logística de este residuo, ya que se produce en grandes cantidades por producción de cerveza, además de la inseguridad respecto a la viabilidad comercial, y la aceptación del consumidor. Se requiere un mayor desarrollo de tecnología y procesamiento de este residuo, para que genere rentabilidad y exista una eficiencia en el área donde se quiera utilizar. Sin embargo, estos desafíos requieren de cooperación entre la industria y la ciencia, para maximizar la valorización del bagazo de forma sostenible a largo plazo y a gran escala.

AGRADECIMIENTOS

Este artículo fue cofinanciado por la Cervecería Kunstmann S.A. Los autores quieren agradecer a: Dr. Jaime Eyzaguirre (Universidad Andrés Bello) por sus comentarios y revisión del manuscrito; Neudo Buelvas (InFood Protein and Biotechnology SpA) por su cooperación en la búsqueda bibliográfica; Armin Kunstmann y Alejandro Kunstmann, por el apoyo en la ejecución del artículo.

REFERENCIAS

- Aroh, K. 2019. Review: Beer Production. SSRN Electronic Journal, 2-4 <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.3458983>
- Aron, P. M. and Thomas H. Shellhammer. 2010. A Discussion of Polyphenols in Beer Physical and Flavour Stability. Journal of The Institute of Brewing 116, 369-380. <https://doi.org/10.1002/j.2050-0416.2010.tb00788.x>
- Bruneli, A., Arantes, Y., Soares, N., Da Silva, E., Herrera, O., Gomes, A., Vinícius, L., Lobo, B. 2021. Production of biogas and fermentable sugars from spent brewery grains: Evaluation of one- and two-stage thermal pretreatment in an integrated biorefinery, Journal of Environmental Chemical Engineering 9, 105960 <https://doi.org/10.1016/j.jece.2021.105960>
- Castillo, D., Villar, M., Cancino, A., Caballero, V., Odeón, M., Ferrari, J., Villagra, E. 2021. ¿Podemos engordar corderos con bagazo de cerveza?: Un subproducto con alto contenido proteico y disponible a la vuelta de la esquina; Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria; Presencia; 76; 12-2021; 44-46. <https://doi.org/11336/183946>
- Cerisuelo, A., Bacha, F. 2021. Materias primas: Bagazo de cerveza. *Nutrinews* 6-13. <https://doi.org/20.500.11939/8240>
- Chia, S.Y., Tanga, C.M., Osuga, I.M., Mohamed, S.A., Khamis, F.M., Salifu, D., Sevgan, S., Fiaboe, K.M., Niassy, S., van Loon, J.A., Dicke, M., Ekesi, S., 2018. Effects of waste stream combinations from brewing industry on performance of Black Soldier Fly, *Hermetia illucens* (Diptera: Stratiomyidae). PeerJ 6:e5885 <https://doi.org/10.7717/peerj.5885>
- Custódio, J., Bido, G., Ferrari, A., Felipe, D. 2021. Nutritional Composition of Malted Barley Residue from Brewery. Journal of Management and Sustainability. 11. 27. <https://doi.org/10.5539/jms.v11n1p27>
- De Oliveira, M., Chaves, L., Neves R., Cândido, W., De Luna, K., Pereira, C. 2022. Preparation and characterization of churro dough with malt bagasse flour, International Journal of Gastronomy and Food Science, 27, 100427 <https://doi.org/10.1016/j.ijgfs.2021.100427>
- Echenique, M., Ozcariz, M. 2021. Utilización de bagazo de la industria artesanal de cerveza en la alimentación de cabras en lactancia. Tesis de grado. Repositorio institucional de la UNLP. <https://doi.org/10915/130000>
- Gallage, N.J., Møller, B.L. 2015. Review Article Vanillin-Bioconversion and Bioengineering of the Most Popular Plant Flavor and Its De Novo Biosynthesis in the Vanilla Orchid. Journal home page for Molecular Plant 8, 40-57. <https://doi.org/10.1016/j.molp.2014.11.008>
- Gandariasbeitia, M., López-Pérez, J.A., Juaristi, B., Abaunza, L., Larregla, S. 2021. Biodisinfestation With Agricultural By-Products Developed Long-Term Suppressive Soils Against Meloidogyne incognita in Lettuce Crop. Front. Sustain. Food Syst. 5:663248. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2021.663248>
- Higuimaran, L., Ibañez, L., Sienna, J., Leonardo, S., Arcia, P., Cozzano, S., Curutchet, A. 2019. Aprovechamiento del bagazo de cervecería como ingrediente funcional en la elaboración de hamburguesas de carne vacuna. Montevideo, Uruguay. https://catalogo.latu.org.uy/opac_css/index.php?lvl=notice_display&id=31973
- Izarra, M., Santayana, M., Villena, G., Gutierrez-Correa, M. 2010. Influencia de la concentración de inóculo en la producción de celulasa y xilanasas por *Aspergillus niger*. Rev. colomb. biotecnol 12, 2, 139-150. <https://doaj.org/toc/1909-8758>
- Julián-Ricardo, M.C, Baltá-Gacía, J.G., Pérez-Sánchez, E.J., Pérez-Sánchez, A. 2018. Simulación del proceso de producción de cerveza a escala piloto. Afinidad. 75. 39-44. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6565268>
- Karlsen, F., Skov, P. 2022. Potentials and limitations of utilizing brewer's spent grain as a protein source in aquaculture feeds, Journal of Cleaner Production 357, 131986 <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.131986>
- Kavalopoulos, M., Stoumpou, V., Christofi, A., Mai, S., Barampouti, E.M., Moustakas, K., Malamis, D., Loizidou. M. 2021. Sustainable valorisation pathways mitigating environmental pollution from brewers' spent grains. Environ. Pollut., 270, 116069, <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.116069>
- Kitryte, V., Šaduikis, A. y Venskutonis, P.R. 2015. Assessment of antioxidant capacity of brewer's spent grain and its supercritical carbon dioxide extract as sources of

- valuable dietary ingredients. *Journal of Food Engineering*. 167, 18-24. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2014.12.005>.
- Lynch, Kieran M., Steffen, Eric J., Arendt, Elke, K. 2016. Brewers' spent grain: a review with an emphasis on food and health. Review article. *J. Inst. Brew* 122, 553-56. <https://doi.org/10.1002/jib.363>
- Martínez, J. 2020. Tesis titulada: Producción de Harina de Bagazo a partir de un residuo de la industria cervecera. <https://doi.org/11086/17114>
- Meneses, N.G.T., Martins, S., Teixeira, J.A. y Mussatto, S.I. 2013. Influence of extraction solvents on the recovery of antioxidant phenolic compounds from brewer's spent grains. *Separation and Purification Technology*. 108, 152-158. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2013.02.015>.
- Mitri, S., Salameh, S.-J., Khelfa, A., Leonard, E., Maroun, R.G., Louka, N., Koubaa, M. 2022. Valorization of Brewers' Spent Grains: Pretreatments and Fermentation, a Review. *Fermentation* 8, 50. <https://doi.org/10.3390/fermentation8020050>
- Morales-Toyo, M. 2018. Reacciones químicas en la cerveza. *Revista de química* 32, 4-11. <https://revistas.pucp.edu.pe/index.php/quimica/article/view/20105>
- Morán, M.G., Costa, I., Calderón, M., Domínguez, J.M., Aguilar M.G. 2021. Production of cellulases and xylanases in solid-state fermentation by different strains of *Aspergillus niger* using sugarcane bagasse and brewery spent grain, *Biochemical Engineering Journal* 172, 108060 <https://doi.org/10.1016/j.bej.2021.108060>
- Moreira, M.M., Morais, S., Carvalho, D.O., Barros, A.A., Delermatos, C. y Guido, L.F. 2013. Brewer's spent grain from different types of malt: Evaluation of the antioxidant activity and identification of the major phenolic compounds. *Food Research International*, 54, 1, 382-388. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2013.07.023>.
- Mussatto, S.I. 2014. Brewer's spent grain: a valuable feedstock for industrial applications. *J. Sci. Food Agric.* 94, 1264-127. <https://doi.org/10.1002/jsfa.6486>
- Ortiz, I., Torreiro, Y., Molina, G., Maroño, M., Sánchez, J.M. 2019. A Feasible Application of Circular Economy: Spent Grain Energy Recovery in the Beer Industry. *Waste and Biomass Valorization* 10, 3809-3819. <https://doi.org/10.1007/s12649-019-00677-y>
- Orús, A. 2022. Statista. Producción de cerveza a nivel mundial 1998-2021. Recuperado de <https://es.statista.com/estadisticas/600571/produccion-de-cerveza-a-nivel-mundial-1998/>
- Pereira, L., Martínez, D., Furtado, A., Carvalho, J. 2023. Biomethane generation and CO₂ recovery through biogas production using brewers' spent Grains, *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, Volume 48, 102579, ISSN 1878-8181, <https://doi.org/10.1016/j.bcab.2022.102579>
- Pérez, R. 2020. La industria harinera en el Ecuador y el posible uso de la harina a base del bagazo de cerveza como producto sustituto. *Revista científica CONECTIVIDAD*. Instituto tecnológico Universitario Rumiñahui. <https://doi.org/10.37431/conectividad.v2i1.15>
- Rachwał K., Waśko, A., Gustaw K., Polak-Berecka, M. 2020. Utilization of brewery wastes in food industry. *PeerJ* 8: e9427 <https://doi.org/10.7717/peerj.9427>
- Ravanal, M.C., Ulloa, P.E., Chávez, R. 2022. El rol y las aplicaciones de las enzimas fúngicas que degradan los desechos agrícolas. *Agro Sur* 50, 1-9. <https://doi.org/10.4206/agrosur.2022.v50n1-01>
- Rizki, M., Tamai, Y. 2011. Effects of different nitrogen rich substrates and their combination to the yield performance of oyster mushroom (*Pleurotus ostreatus*). *World Journal of Microbiology and Biotechnology*. 27, 1695 - 1702. <https://doi.org/10.1007/s11274-010-0624-z>
- Rubio, P. 2020. Tesis titulada Determinación del contenido elemental de "*Hermetia illucens*" y otros dípteros descomponedores, como fuentes de proteínas en alimentación animal. 11, 20 <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.28767.12968>
- Serpen, A., Capuano, E., Fogliano, V. y Gökmen, V. 2007. A new procedure to measure the antioxidant activity of insoluble food components. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 55, 7676-7681. <https://doi.org/10.1021/jf071291z>.
- Sharma, A., Sharma, A., Singh, J., Sharma, P., Tomar, G.S., Singh, S., Nain, L. 2020. A biorefinery approach for the production of ferulic acid from agroresidues through ferulic acid esterase of lactic acid bacteria. *3 Biotech* 10, 367. <https://doi.org/10.1007/s13205-020-02360-9>.
- Sözbir, G.D., Bektas, I., Zulkadir, A. 2015. Lignocellulosic wastes used for the cultivation of *Pleurotus ostreatus* mushrooms: effects on productivity. *BioResources* 10, 4686-4693. <https://doi.org/10.15376/biores.10.3.4686-4693>
- Torrente, S. 2019. Tesis de grado titulada: Aprovechamiento de los subproductos generados en la industria cervecera. Universidad Complutense de Madrid, España. pp 9-14.
- Ullah Khan, I., Hafiz Dzarfan Othman, M., Hashim, H., Matsuurra, T., Ismail, A.F., Rezaei-DashtArzhandi, M., Wan Azelee, I., 2017 Biogas as a Renewable Energy Fuel—A Review of Biogas Upgrading, Utilisation and Storage. *Energy Conversion and Management*, 150, 277-294. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2017.08.035>
- Wan Mahari, W.A., Peng, W., Nam, W.L., Yang, H., Lee, X.Y., Lee, Y.K., Liew, R.K., Ma, N.L., Mohammad, A., Sonne, C., Van Le, Q., Show, P.L., Chen, W-H., Lam, S.S., 2020. A review on valorization of oyster mushroom and waste generated in the mushroom cultivation Industry. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2020.123156>
- Zduńska, K., Dana, A., Kolodziejczak, A., Rotsztein, H. 2018. Antioxidant Properties of Ferulic Acid and Its Possible Application. *Skin Pharmacol Physiol*. 31, 332-336. <https://doi.org/10.1159/000491755>