

Producción de bioestimulantes de crecimiento de especies de uso forestal y comercial a partir del proceso de biotransformación de granos gastados de cerveza artesanal con *Lactobacillus rhamnosus*

Phoebe Sabrina Rodríguez-Ortega, Joaquín Estrada-García, Alejandro Alvarado-Lassman, Juan Manuel Méndez-Contreras *

Laboratorio Ambiental II, División de Estudios de Posgrado e Investigación, Tecnológico Nacional de México /Instituto Tecnológico de Orizaba, Orizaba, Veracruz, México

* Autor de correspondencia: juan.mc@orizaba.tecnm.mx; Tel.: (+52) 2721115889

Desarrollo Sustentable (Bioprocesos)

Recibido: 2 de abril de 2025

Aceptado: 3 de junio de 2025

Publicado: 27 de enero de 2026

DOI: <https://doi.org/10.56845/terys.v5i1.414>

Resumen: Este trabajo presenta el proceso fermentativo probiótico realizado con *Lactobacillus rhamnosus* al que fueron sometidos residuos lignocelulósicos, granos gastados de cerveza artesanal, generando un producto de valor agregado como lo son bioestimulantes para su posterior aplicación en especies comerciales y forestales. Se realizó la caracterización fisicoquímica y microbiológica de los granos gastados de cerveza artesanal (GGCA) obtenidos de la cervecera Altas Cervezas Brewing Co. perteneciente a la región de Orizaba, Veracruz. El análisis demostró que este residuo lignocelulósico tiene un alto contenido de carbohidratos con 14.89 g/L, 19.60 % de proteínas, 3.14 % de nitrógeno total, 3.04 % de sólidos totales, 2.97 % de sólidos volátiles y un pH de 5. La fermentación de los GGCA se realizó mediante un proceso anaerobio con *Lactobacillus rhamnosus* operado en modo batch durante 3 días con las condiciones iniciales de un pH de 7, en agitación constante y a una temperatura de 37 °C. El proceso de fermentación se realizó con un inóculo del *Lactobacillus rhamnosus* al 5 % presentando una degradación de carbohidratos por parte del *Lactobacillus rhamnosus* conforme el tiempo transcurría permitiendo un crecimiento celular de alrededor de 8 Log UFC/mL. El contenido inicial de carbohidratos de la dilución de los GGCA al inicio del proceso fermentativo fue de 16.28 g/L disminuyendo a 5.5 g/L al final de la fermentación, demostrando una notoria degradación por parte del *Lactobacillus rhamnosus* permitiendo la producción de ácido láctico. El contenido de ácido láctico fue determinado mediante la técnica descrita en la NOM-420-S-1982 obteniéndose un valor de 54 g/L al finalizar el proceso fermentativo. A partir de los resultados obtenidos se concluye que gracias a la composición de los GGCA y a la naturaleza heterofermentativa del *Lactobacillus rhamnosus* permiten la obtención de productos de interés como lo es el ácido láctico que brinda beneficios para la regulación de materia orgánica en los suelos y en los ciclos bioquímicos de las plantas.

Palabras clave: fermentación, residuos lignocelulósicos, bioestimulante, *L. rhamnosus*

Production of growth biostimulants for forest and commercial species through the biotransformation of spent grains from artisanal beer using *Lactobacillus rhamnosus*

Abstract: This work presents a probiotic fermentation process carried out with *Lactobacillus rhamnosus*, applied to lignocellulosic residues, specifically spent grains from artisanal beer, generating a value-added product such as biostimulants for subsequent application in commercial and forest species. Physicochemical and microbiological characterization of the artisanal beer spent grains (ABSG) obtained from Altas Cervezas Brewing Co., located in the Orizaba region, Veracruz, was performed. The analysis showed that this lignocellulosic residue has a high carbohydrate content of 14.89 g/L, 19.60% protein, 3.14% total nitrogen, 3.04% total solids, 2.97% volatile solids, and a pH of 5. Fermentation of the ABSG was conducted through an anaerobic batch process using *Lactobacillus rhamnosus* over a period of 3 days, under initial conditions of pH 7, constant agitation, and a temperature of 37 °C. The fermentation process was carried out with a 5% *Lactobacillus rhamnosus* inoculum, showing carbohydrate degradation by *Lactobacillus rhamnosus* over time and allowing cell growth of approximately 8 log CFU/mL. The initial carbohydrate content of the ABSG dilution at the beginning of the fermentation process was 16.28 g/L, decreasing to 5.5 g/L at the end of fermentation, demonstrating significant degradation by *Lactobacillus rhamnosus* and enabling lactic acid production. Lactic acid content was determined using the method described in NOM-420-S-1982, obtaining a value of 54 g/L at the end of the fermentation process. Based on the results obtained, it is concluded that the composition of ABSG and the heterofermentative nature of *Lactobacillus rhamnosus* enable the production of compounds of interest such as lactic acid, which provides benefits for the regulation of organic matter in soils and in plant biochemical cycles.

Keywords: fermentation, lignocellulosic residues, biostimulant, *L. rhamnosus*

Introducción

El aumento de la población ha incrementado la demanda en el sector agroindustrial, lo que ha llevado a acumular residuos lignocelulósicos que dañan el medio ambiente si no se gestionan adecuadamente. Estos residuos, que contienen lignina, hemicelulosa y celulosa, pueden ser utilizados por las empresas mediante métodos como compostaje y fermentación, generando productos valiosos como bioestimulantes, biofertilizantes, bioenergía y compostaje (Assandri *et al.*, 2020). La economía circular se propone como una alternativa al sistema lineal actual, ofreciendo oportunidades comerciales y beneficios ambientales al convertir residuos en recursos útiles (León, 2022). Según el Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP), en 2023, México lideró la producción de cerveza en el sector agroindustrial, generando un superávit de 343 MDD (SIAP, 2023). Este sector es importante para la economía y el empleo, ya que México ocupa el cuarto lugar mundial en producción de cerveza, con alrededor de 125 millones de hectolitros producidos en 2019 (Vázquez-Alfaro *et al.*, 2022). Sin embargo, la producción de cerveza también genera grandes cantidades de residuos, como aguas residuales y granos gastados, que tienen un impacto negativo en el medio ambiente (Santacruz-Salas *et al.*, 2023).

Actualmente, los granos de cerveza se utilizan principalmente como alimento para ganado (Leiva, 2021). Este trabajo de investigación busca transformar los granos gastados de cerveza artesanal (GGCA) en un bioestimulante usando *Lactobacillus rhamnosus*, microorganismo seleccionado por su notoria eficiencia en la producción de bioestimulantes de crecimiento vegetal en comparación de otras especies de bacterias anaerobias, con la finalidad de aplicarse en especies forestales y comerciales, beneficiando el medio ambiente y a PYMES locales del sector cervecero. Investigaciones previas han demostrado el uso de la biotransformación de múltiples residuos para la producción de bioestimulantes y biofertilizantes para mejorar el crecimiento de diversas plantas. Caballero *et al.* (2019) crearon un bioproceso que transforma el suero lácteo en productos valiosos mediante fermentación con *L. rhamnosus*. Estos productos ayudan a las plantas y combaten patógenos del suelo. Bianco *et al.* (2024) estudiaron sustratos de GGC como alternativa a los biofertilizantes minerales para el trasplante de lechuga, comparando diferentes mezclas que mostraron ser efectivas para el crecimiento de hortalizas. Granget *et al.* (2024) produjeron ácido L-láctico a través de la hidrólisis enzimática de GGC, tomando en cuenta varios parámetros para optimizar la producción.

Materiales y Métodos

Muestreo y pretratamiento de los granos gastados de cerveza artesanal

Los GGCA se obtuvieron de la cervecera artesanal “Altas Cervezas Brewing Co.” ubicada en la zona centro del municipio de Orizaba, en el estado de Veracruz. El muestreo de los GGCA se realizó mensualmente recolectando alrededor de 2 kg ya que al ser una planta artesanal opera con bajos lotes de producción. Debido a su alto contenido de humedad, entre el 80 y 90 % (Santacruz-Salas *et al.*, 2023), los GGCA se sometieron a un pretratamiento para facilitar el proceso de fermentación. El pretratamiento consistió en un secado por 24 horas a $105 \pm 2^\circ \text{C}$ para posteriormente ser molido para la reducción de tamaño, tamizarlo con una malla del No.50 y finalmente almacenarlo en bolsas herméticas para su uso. Para realizar la caracterización fisicoquímica y microbiológica de los GGCA se preparó una dilución de 40 g/L con el residuo pretratado.

Caracterización fisicoquímica y microbiológica de los granos gastados de cerveza artesanal

Las caracterizaciones fisicoquímicas y microbiológicas iniciales de los granos gastados de cerveza artesanal (GGCA) establecen valores iniciales de referencia que permiten conocer el comportamiento del *Lactobacillus rhamnosus* durante el proceso de fermentación. Los análisis fisicoquímicos como pH se determinaron mediante el método potenciométrico, sólidos totales (ST) y sólidos totales volátiles (STV) mediante el método 2540 G, Standard Methods, nitrógeno total con el método 4500-NTC C, SM, carbohidratos con Antrona-sulfúrico y proteínas con el método Kjeldahl. Para las determinaciones microbiológicas de hongos, levaduras y bacterias ácido lácticas y aerobias se utilizó el método de conteo de colonias mediante el uso de petrifilm.

Condiciones operativas

El reactor empleado en la fermentación microbiana de los GGCA consistió en un reactor batch que se compone de un cilindro de vidrio de marca Nanshin con un volumen de operación de 1 L, placa de agitación y bomba de recirculación de agua de calentamiento de capacidad de 1.2 L/min (Figura 1). El proceso de biotransformación se operó durante 72 h a 37°C y agitación constante de 120 rpm. Se operó al 5% v/v de inóculo el cual consistió en una mezcla de 45 mL de GGCA y 5 mL de *L. rhamnosus* (matraz semilla). Este matraz semilla se añadió al reactor que contenía 950 mL de GGCA diluidos, como se describió anteriormente.



Figura 1. Esquema del reactor fermentativo

Resultados y Discusión

En la Tabla 1 se muestran los resultados de la caracterización fisicoquímica de los GGCA pretratados y se compararon con los resultados presentados por Estrada-García (2024) al mismo residuo. Todas las determinaciones experimentales se realizaron por triplicado.

Tabla 1. Caracterización fisicoquímica de los GGCA diluidos.

Parámetros	GGCA	Estrada-García., 2024
Sólidos Totales (%)	3.04 ± 1.66	4.06 ± 0.07
Sólidos Totales Volátiles (%)	2.97 ± 0.04	3.91 ± 0.01
Carbohidratos (g L ⁻¹)	14.89 ± 0.34	14.76 ± 1.24
Proteínas (%)	19.60 ± 1.44	11.29 ± 0.23
Nitrógeno total (%)	3.14 ± 0.23	1.80 ± 0.05
pH	5 ± 0.02	4.9 ± 0.01

El contenido de proteínas presentado por Estrada-García (2024) con un valor de 11.29 % es menor al 19.60 % obtenido en la experimentación. Esta variación puede deberse a factores como el pretratamiento y tratamientos fisicoquímicos a los que son sometidos los GGCA lo que afectan la calidad del contenido proteico como menciona Naibaho *et al.* (2022). Factores externos del proceso de producción de cerveza también afectan las propiedades de los GGCA, tal es el caso de la variación genética de los cultivos de cebada utilizados (Naibaho y Korzenjowska, 2021).

Los resultados de las pruebas microbiológicas de la dilución de los GGCA se muestran la Tabla 2 contando con 3.93 log¹⁰ UFC/g de bacterias aerobias debido a la hidratación de los granos gastados posterior al pretratamiento. Este resultado se comparó con otros autores, el resultado obtenido está por debajo del rango reportado por (Wang *et al.*, 2020) (Dai *et al.*, 2022). Las determinaciones de bacterias ácido lácticas, hongos y levaduras no se reportaron debido a la ausencia de estos durante la caracterización microbiológica.

Tabla 2. Caracterización microbiológica de los GGCA diluidos

Parámetros	GGCA	1	2
Bacterias aerobias	3.93	6.61	4.62

(1) = Wang *et al.*, 2020, (2) = Dai *et al.*, 2022

Al fermento obtenido tras la cinética con el 5 % de inóculo se le evaluó la variación de pH, degradación de carbohidratos, conteo celular y ácido láctico, las determinaciones antes mencionado se realizaron por triplicado. El pH final del fermento fue de 3.51 debido a la producción de ácido láctico por acción del *L. rhamnosus* ya que al ser una bacteria ácido láctica (BAL) heterofermentativa produce una amplia gama de metabolitos tras su fermentación, siendo el ácido

láctico el compuesto orgánico con mayor producción con un 98 % (Narayanan *et al.*, 2007). En la Figura 2 se muestra el comportamiento del crecimiento de las células y la degradación de carbohidratos conforme al paso de los días. Se observa que durante las primeras horas de iniciado el proceso fermentativo el crecimiento celular va aumentando por acción de la presencia de carbohidratos en el medio, alrededor de las 20 horas se observa una disminución en los carbohidratos generando que el crecimiento de las células permanezca constante con un valor aproximado a 8 Log UFC/mL hasta las 60 horas donde el consumo de carbohidratos fue mucho más rápido consumiéndose por completo. Esto demuestra que el inóculo de 5 % permitió un metabolismo bacteriano rápido y una biotransformación eficiente de los GGCA.

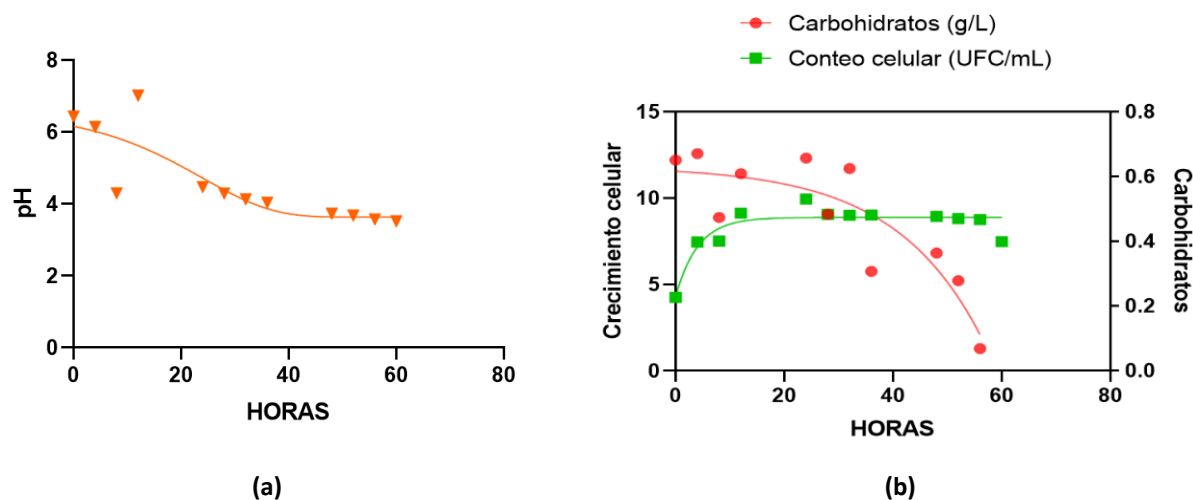


Figura 2. (a) Comportamiento del pH en el proceso de fermentación con *L. rhamnosus*. (b) Cinética de crecimiento y degradación de carbohidratos de *L. rhamnosus*

Para la determinación de ácido láctico se utilizó la técnica descrita en la NOM-420-S-1982 "Productos alimenticios para uso humano-Determinación de acidez en leche fluida". La técnica descrita en la norma se basa en la titulación alcalimétrica con hidróxido de sodio (NaOH) 0.1 N, utilizando fenolftaleína como indicador.

La Ecuación 1 obtenida de la norma previamente mencionada demuestra el cálculo realizado para determinar la cantidad de ácido láctico obtenido, se contó con 6.75 g/L de ácido láctico en el producto final de la fermentación demostrando el adecuado funcionamiento del *L. rhamnosus* tras la degradación de carbohidratos para la obtención de ácido láctico. Donde V representa el volumen de solución de hidróxido de sodio 0.1 N gastados en la titulación de la muestra en cm³ (15 mL gastados en la determinación de la dilución final), N equivale a 0.1 que es el valor de la normalidad de la solución de hidróxido de sodio, M es el volumen de la muestra en cm³ (20 mL de la muestra total, 1 mL del fermento obtenido disuelto en 19 mL de agua destilada) y el 90 es un equivalente de ácido láctico ya que por 1 cm³ de NaOH equivale a 0.0090 g de ácido láctico.

$$\text{Ácido láctico} = \frac{V * N * 90}{M} \quad (1)$$

En la Tabla 3 se muestran los contenidos de ácido láctico en la dilución de los GGCA antes y después de la fermentación probiótica demostrando que por acción del *Lactobacillus rhamnosus* hubo un aumento en la producción de ácido láctico del residuo de los GGCA.

Tabla 3. Contenido de ácido láctico antes y después del proceso fermentativo

Dilución de GGCA	Generación de ácido láctico (g/L)
Inicial (antes de la fermentación)	-
Final (posterior a la fermentación)	54 ± 0.5

En base a lo mencionado por Lech (2021) la producción de ácido láctico por la especie de *Lactobacillus rhamnosus* se ve altamente influenciado por la eficiencia celular, ya que al hidrolizar los GGCA, método eficiente para la degradación de lignocelulosa, se generan subproductos que pueden afectar a los microorganismos en el proceso fermentativo como lo son el ácido furfural, acético, fórmico y gálico. Se ha demostrado que el ácido fórmico es perjudicial ya que alrededor de 0.2 g/L de este ácido provoca el envenenamiento de las células disminuyendo su capacidad de producir ácido láctico (Lech, 2021).

Tras el proceso fermentativo se realizó la caracterización fisicoquímica al fermento con *L. rhamnosus* al 5 %, en la Tabla 4 se presentan los resultados obtenidos.

Tabla 4. Resultados fisicoquímicos y conteo celular del fermento con *L. rhamnosus*

Parámetros	Fermento (inóculo 5 %)
Sólidos Totales (%)	2.11 ± 0.65
Sólidos Totales Volátiles (%)	1.80 ± 0.11
Nitrógeno total (%)	0.12 ± 0.10
Proteínas (%)	0.75 ± 0.23
pH	3.51 ± 0.15
Conteo celular (Log UFC/ mL)	8

El porcentaje de nitrógeno total es menor al porcentaje de nitrógeno presente en el caldo MRS (0.28 %) que, como menciona Duarte-Manchego *et al.*, (2019), es ampliamente utilizado como referente para conocer el comportamiento de crecimiento de bacterias de los *Lactobacillus* gracias a su rico contenido en compuestos nitrogenados. En base a la literatura, se han reportado alrededor del 0.3 % de nitrógeno total en el medio tras realizar el proceso fermentativo con *Lactobacillus*, sin embargo, debido al bajo contenido reportado de 0.12 % se requiere realizar el proceso fermentativo con porcentajes de inóculo de *L. rhamnosus* mayores al 5 % para determinar si la producción de nitrógeno incrementa o disminuye.

En la Tabla 5 se realiza una comparación entre un bioestimulante comercial y bioestimulante probiótico fermentado con *Lactobacillus rhamnosus* a partir de residuos de Caballero *et al.* (2019).

Tabla 5. Comparación entre bioestimulante comercial y el fermento probiótico con *L. rhamnosus*

	Bioestimulante comercial (AGROSTEMIN-GL)	Bioestimulante probiótico (Caballero <i>et al.</i> 2019)
Sales minerales (%)	0.17	0.024
Potasio (%)	3.6-4	0.128
Calcio (%)	0.03-0.05	0.030
Sodio (%)	-	0.028
Fósforo (%)	0.25-0.75	0.034
Nitrógeno (%)	0.25-0.5	0.916

Debido al alto contenido de potasio, calcio y fósforo con el que contó el fermento de Caballero *et al.* (2019), demostró tener una eficiente aplicación en la nutrición de plantas gracias a su fracción inorgánica, sin embargo, su alto contenido de sales como el cloruro de calcio (NaCl) puede tener afectaciones negativas en la estructura fisicoquímica del suelo al que el bioestimulante sea aplicado.

Es por ello que, para fines de este trabajo el fermento obtenido representa una vía alterna a los bioestimulantes químicos gracias a su contenido de nitrógeno, macronutriente primario benéfico para las plantas para su desarrollo morfológico (raíces, tallos y hojas) y en procesos químicos como la fotosíntesis y la síntesis de clorofila, para ser aplicado en especies comerciales como la cebada y especies forestales como encinos.

Conclusiones

Gracias a la composición de los GGCA, han demostrado ser un residuo con gran potencial de explotación en diversas áreas principalmente como sustrato para procesos fermentativos con bacterias ácido lácticas. Debido a su alto contenido en carbohidratos, lo convierte en una alternativa de sustrato económicamente atractivo el cual al trabajar junto con el *L. rhamnosus*, bacteria ácido láctica heterofermentativa, ha demostrado una producción eficiente de ácido láctico beneficiando al bioestimulante probiótico para su posterior aplicación en especies comerciales y forestales.

Los bioestimulantes a base de fermentación probiótica con bacterias ácido lácticas brindan múltiples beneficios a la salud del suelo y la fertilidad de las plantas, esto se debe a la presencia de macro y micro nutrientes que benefician a un desarrollo eficiente de las plantas. De igual forma, fortalecen el microbiota del suelo disminuyendo el uso de bioestimulantes químicos al igual que ser una alternativa sostenible agrícola favoreciendo la productividad de cultivos y reforestación de una forma respetuosa con el medio ambiente.

Agradecimientos y financiamiento: Se agradece el apoyo económico otorgado por CONACYT a través de la beca con CVU 1340561 y al Instituto Nacional de la Economía Social mediante el Proyecto NODEES Altas Montañas N3024000002.

Bibliografía

- Assandri, D., Pampuro, N., Zara, G., Cavallo, E., y Budroni, M. (2020). Suitability of composting process for the disposal and valorization of brewer's spent grain. *Agriculture*, 11(1), 2. <https://doi.org/10.3390/agriculture11010002>
- Bianco, A., Melito, S., Garau, M., Giannini, V., Zara, G., Assandri, D., Giacomazza, D., Vargiu, A. V., y Budroni, M. (2024). The potential use of brewers' spent grain-based substrates as horticultural bio-fertilizers. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 8, 1404914. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2024.1404914>
- Caballero, P., Rodríguez-Morgado, B., Macías, S., Tejada, M., y Parrado, J. (2020). Obtaining plant and soil biostimulants by waste whey fermentation. *Waste and Biomass Valorization*, 11, 3281–3292. <https://doi.org/10.1007/s12649-019-00660-7>
- Dai, T., Wang, J., Dong, D., Yin, X., Zong, C., y Jia, Y. (2022). Effects of brewers' spent grains on fermentation quality, chemical composition and in vitro digestibility of mixed silage prepared with corn stalk, dried apple pomace and sweet potato vine. *Italian Journal of Animal Science*, 21(1), 198–207. <https://doi.org/10.1080/1828051X.2021.2022994>
- Duarte-Manchego, P. A., González-Téllez, J. C., y Muvdi-Nova, C. J. (2019). Evaluación de las proteínas hidrolizadas del lactosuero como fuente de nitrógeno en la fermentación láctica de la lactosa. *Revista Ion*, 32(2), 15–27. <http://dx.doi.org/10.18273/revion.v32n2-2019002>
- Estrada-García, J., Díaz-González, I., Hernández-Aguilar, E., y Méndez-Contreras, J. M. (2024). Anaerobic biotransformation process of lignocellulosic waste with *Lactobacillus casei* and *Bacillus subtilis* and its effect on physicochemical parameters: Case study of craft brewers' spent grains. *Biomass Conversion and Biorefinery*, 1–15. <https://doi.org/10.1007/s13399-024-05351-5>
- Granget, C., Manikandan, N. A., Amulya, K., Dabros, M., Fahy, S., Kelleher, S. M., Niemelä, V., Zhang, Z., Murphy, C., y Freeland, B. (2024). Brewer's spent grain as a self-sufficient feedstock for homofermentative production of optically pure L-lactic acid using *Lactobacillus rhamnosus*. *Environmental Technology & Innovation*, 34, 103582. <https://doi.org/10.1016/j.eti.2024.103582>
- Lech, M. (2021). *The influence of by-products from brewery spent grain hydrolysis on lactic acid fermentation efficiency*. <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-680313/v1>
- Leiva, C. I., Moreno, N. N., Vitantonio, L., López, D. N., Galante, M., Forastieri, P. S., Pedrido, M. L., Spelzini, D., Giordano, E. D. V., y Boeris, V. (2021). Evaluación de la incorporación de bagazo cervecero en salchichas veganas. <https://repositorio.uca.edu.ar/handle/123456789/12276>
- León, R. I. G. (2022). Aplicación de modelos de economía circular en México y Colombia: Estudio de caso. *Interconectando Saberes*, (14), 203–218. <https://doi.org/10.25009/is.v0i14.2762>
- Naibaho, J., Butula, N., Jonuzi, E., Korzeniowska, M., Laaksonen, O., Föste, M., Rieder, V., Lahtinen, S., y Yang, B. (2022). Potential of brewers' spent grain in yogurt fermentation and evaluation of its impact on rheological behaviour, consistency, microstructural properties and acidity profile during refrigerated storage. *Food Hydrocolloids*, 125, 107412. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2021.107412>
- Naibaho, J., y Korzeniowska, M. (2021). Brewers' spent grain in food systems: Processing and final products quality as a function of fiber modification treatment. *Journal of Food Science*, 86(5), 1532–1551. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.15714>
- Narayanan, N., Roychoudhury, P. K., y Srivastava, A. (2004). Isolation of adh mutant of *Lactobacillus rhamnosus* for production of L(+)-lactic acid. *Electronic Journal of Biotechnology*, 7(1), 72–84.
- Santacruz-Salas, A. P., Antunes-Pereira, M. L., Gómez-Herrera, S. A., Vélez-Lozano, J. A., y Mancini, S. D. (2023). Sostenibilidad en la industria cervecera: una revisión crítica de los residuos generados y su gestión. *Bioteología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 21(2), 178–194. <https://doi.org/10.18684/rbsaa.v21.n2.2023.2167>
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. (2023). *Análisis de la balanza comercial agroalimentaria de México*. En Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/809009/Balanza_Comercial_Agropecuaria_y_Agroindustrial_enero_2023.pdf
- Vázquez-Alfaro, M., Aguilar-Ávila, J., y Palacios-Rangel, M. I. (2022). Cadena de valor de la industria cervecera en México. *Nova Scientia*, 13(27).
- Wang, S., Zhao, J., Yu, C., Li, J., Tao, X., y Chen, S. (2020). Nutritional evaluation of wet brewers' grains as substitute for common vetch in ensiled total mixed ration. *Italian Journal of Animal Science*, 19(1), 1015–1025. <https://doi.org/10.1080/1828051X.2020.1810141>