

EXTRACCIÓN SECUENCIAL DE FRACCIONES RICAS EN POLISACÁRIDOS Y PROTEÍNAS A PARTIR DE BAGAZO DE CEBADA

Aguilar Arteaga, Karina

Universidad Politécnica de Francisco I. Madero
Hidalgo, México
kaaguilar@upfim.edu.mx
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6289-4682>

Castañeda-Ovando, Araceli

Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo
Mineral de la Reforma, México
ovandoa@uaeh.edu.mx
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0759-3198>

Tapia-Ignacio, Cecilio

Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo
Mineral de la Reforma, México
cecilio_tapia@uaeh.edu.mx
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8660-4993>

Castañeda-Ovando, Pedro Evodio

Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo
Mineral de la Reforma, México
profe_288@uaeh.edu.mx
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9896-3053>

Hernández Hernández, Aldahir Alberto

Universidad Politécnica de Francisco I. Madero
Hidalgo, México
aahernandez@upfim.edu.mx
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4584-3373>

Jaguey-Hernández, Yari

Universidad Politécnica de Francisco I. Madero
Hidalgo, México
yjaguey@upfim.edu.mx
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3381-0208>

RESUMEN

El bagazo de cebada (BSG) es el principal subproducto de la industria cervecera, esta biomasa se compone principalmente de celulosa, hemicelulosa y lignina, sin embargo, generalmente es infravalorado y subutilizado. Para promover su aprovechamiento se propone la obtención de fracciones ricas en almidón (BSG-A), hemicelulosa (BSG-AX), proteína (BSG-P), lignina (BSG-L) y celulosa (BSG-C) a partir de BSG mediante tratamiento alcalino. Una muestra de bagazo de cebada seco se sometió a un tratamiento térmico seguido de hidrólisis alcalina con hidróxido de sodio, luego se acidificó en diferentes etapas con diferentes ácidos para ser congeladas y liofilizadas. Las diferentes fracciones obtenidas se caracterizaron mediante análisis proximal y

FT-IR. Se recuperó el 29.8% de BSG-A, el 17.6% de BSG-AX, 29.7 de BSG-P, 3.6% de BSG-L y 19.3% de BSG-C. Los FT-IR presentan los grupos de los principales componentes mayoritarios, observando grupos propios del almidón y otros azúcares en la BSG-A; grupos característicos de los arabinosilanos ferulados en BSG-AX; los grupos amino en la BSG-P; anillos aromáticos en la fracción BSG-L y gran cantidad de C-H en la fracción BSG-C. Cada fracción posee propiedades diferentes y únicas que permite su aprovechamiento en otras industrias sobre todo la farmacéutica y la cosmética.

Palabras clave: bagazo de cebada, aprovechamiento, fraccionamiento, valorización, subproductos.

ABSTRACT

Brewer's spent grain (BSG) is the main byproduct of the brewing industry, this biomass is mainly composed of cellulose, hemicellulose, and lignin, however, it is generally undervalued and underutilized. To promote its use, it is proposed to obtain fractions rich in starch (BSG-A), hemicellulose (BSG-AX), protein (BSG-P), lignin (BSG-L), and cellulose (BSG-C) from BSG. by alkaline treatment. A sample of dried barley bagasse was subjected to heat treatment followed by alkaline hydrolysis with sodium hydroxide, then was acidified in different stages with different acids to be frozen and freeze-dried. The different fractions obtained were characterized by proximal analysis and FT-IR. The fractions obtained were characterized by proximal analysis and FT-IR. 29.8% of BSG-A, 17.6% of BSG-AX, 29.7% of BSG-P, 3.6% of BSG-L and 19.3% of BSG-C were recovered. The FT-IR presents the groups of the main major components, in BSG-A observed groups typical of starch and other sugars; groups characteristic of ferulated arabinosylans in BSG-AX; the amino groups in BSG-P; aromatic rings in BSG-L and a large amount of C-H in the BSG-C fraction. Each fraction has unique properties, which allows its use mainly in the pharmaceutical and cosmetic industries.

Keywords: Brewer's spent grain, use, fractionation, valorization, by-products.

1. INTRODUCCIÓN

La valorización de subproductos de la industria agroalimentaria ha sido la estrategia para aprovechar los compuestos de valor agregado presentes en esta materia, antes considerada como desecho. Las principales fuentes de subproductos son las vegetales, lácteas, cárnicas, procesadoras de pescados, vinícolas y cerveceras (Caponio et al., 2022). La industria cervecera genera tres principales subproductos en diferentes proporciones, el bagazo de cebada (BSG, por sus siglas en inglés Brewer's spent grain) constituye hasta el 85%, seguido del lúpulo gastado y la levadura excedente (Baiano, 2020). Lynch y colaboradores (2016) estimaron la producción promedio anual en aproximadamente 39 millones de toneladas de BSG, el cual se encuentra disponible a bajo costo (US \$14/tonelada) o sin costo (Mussatto et al., 2009). La disposición final de estos residuos es un tema de importancia, mientras que las grandes cerveceras lo entregan a empresas que se dedican a la cría de animales, las de menor tamaño (artesanales) los eliminan en aguas residuales o en vertederos (Baiano, 2020) ocasionando así un problema de contaminación.

El BSG es rico en celulosa y otros polisacáridos, proteínas, aminoácidos, vitaminas, compuestos fenólicos y agua (Baiano, 2020) por lo que es una materia prima atractiva por su valiosa composición. Generalmente, se ha empleado como alimento para ganado, y recientemente se ha evaluado su adición en alimentos funcionales, como fuente de biocombustible, sustrato de fermentación o como medio de cultivo (Mussatto et al., 2009), principalmente.

La separación de los componentes del BSG se ha realizado con el objetivo de aprovecharlos de manera individual. La fibra es el principal compuesto de interés, representa más del 50% de su composición y que consiste en hemicelulosa (40% compuesta principalmente por arabinosilanos)

y celulosa; seguido del 20 al 30% de proteína y 4% de lignina (Lynch et al., 2016, Jay et al., 2008). Cada uno de estos componentes presenta propiedades específicas que pueden ser aprovechadas en industrias como la farmacéutica y la cosmética. Por lo que el objetivo del presente trabajo es obtener fracciones ricas en almidón, hemicelulosa, proteína, celulosa y lignina de bagazo de cebada de la industria cervecera.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

50 g de BSG húmedo se secó en un deshidratador ambiental a 60°C durante 5 h. Luego, el BSG seco se molió y se sometió a un tratamiento térmico con agua (250 mL), a 100°C y en agitación constante por 30 min. La mezcla se centrifugó a 600 rpm durante 10 min, la parte líquida se separó por decantación, se congeló y liofilizó, esta fracción se etiquetó como BSG-A.

El sedimento se recuperó y se sometió a tratamiento alcalino con NaOH 0.1 M (250 mL), la mezcla se mantuvo en agitación a 100 rpm en oscuridad durante 24 h a 25°C, pasado el tiempo se centrifugó bajo las mismas condiciones, el sólido se reservó para extraer una fracción rica en lignina y celulosa. El líquido se decantó y se acidificó a pH 4 con HCl 3 M, esta mezcla resultante se centrifugó y se separó el líquido para precipitar los arabinoxilanos con etanol (2:1), el precipitado se recuperó centrifugando y descartando el etanol, se congeló y liofilizó, esta fracción se etiquetó como BSG-AX.

El sólido se lavó con agua desionizada 5 veces y se congeló y liofilizó, esta fracción rica en proteínas se etiquetó como BSG-P. El sólido reservado previamente se mezcló con 100 mL de NaOH 0.5M y se sometió a tratamiento térmico a 90°C por 30 min sin agitación. Posteriormente, la mezcla se separó por centrifugación, el sólido se reservó para la extracción de celulosa y el líquido se acidificó con ácido sulfúrico 80% a pH 4. El precipitado se recuperó por centrifugación y se lavó 10 veces con agua desionizada para ser congelado y liofilizado, esta fracción se etiquetó como BSG-L.

Para la extracción de celulosa el sólido se colocó en un matraz balón de fondo plano y se agregó una mezcla de etanol con ácido nítrico (3.5:1) y se mantuvo en reflujo durante 1 h con agitación constante (300 rpm), este procedimiento se realizó dos veces, posteriormente el sólido obtenido se lavó 10 veces con agua desionizada y se congeló y liofilizó, esta fracción se etiquetó como BSG-C.

Todas las fracciones obtenidas se pulverizaron en mortero de ágata para obtener un polvo y posteriormente se caracterizaron obteniendo su composición proximal mediante metodologías oficiales de la AOAC (2009) y se realizó análisis mediante espectroscopía FT-IR, para lo cual, se preparó una pastilla por cada fracción obtenida en una relación 1:100 con KBr y se obtuvo el espectro en una ventana de 500-4000 cm⁻¹.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Con la metodología empleada se lograron los siguientes porcentajes de recuperación de las diferentes fracciones: 29.85 ± 0.49 % (BSG-A), 17.62 ± 2.94 % (BSG-AX), 29.66 ± 0.10 % (BSG-P), 3.62 ± 0.10 % (BSG-L) y 19.29 ± 0.10 % (BSG-C). El % de recuperación de las fracciones extraídas se calculó mediante la Ecuación 1, la cantidad de BSG seco inicial.

$$\% \text{ Recuperación} = \frac{\text{masa de la fracción}}{\text{masa inicial de BSG}} \times 100 \quad (1)$$

El perfil proximal de cada fracción se muestra en la Tabla 1.

Tabla 1 Composición proximal de las fracciones obtenidas del BSG.

Componente ^a	Muestra					
	BSG	BSG-A	BSG-AX	BSG-P	BSG-L	BSG-C
Proteína cruda	20.04±1.77	1.70±0.11	1.43±0.08	45.36±0.73	0.82±0.20	0.62±0.11
Grasa cruda	14.01±2.62	3.30±0.09	22.24±0.21	13.33±0.42	1.71±0.24	3.10±0.05
Fibra cruda	61.59±2	3.67±0.39	9.72±0.52	7.13±0.26	7.84±0.89	96.88±2.42
Cenizas	2.66±0.07	0.51±0.08	1.66±0.23	1.40±0.05	91.35±0.09	1.78±0.06
ELN ^b	4.16±0.13	86.31±0.81	58.26±1.09	28.64±1.53	0	0

^aResultados expresados en g 100g⁻¹ de muestra en base seca. Los resultados son expresados como media ± desviación estándar. ^bELN: Extracto libre de nitrógeno (obtenido por diferencia). Fuente: elaboración propia 2023.

Parchami y colaboradores (2021), refieren que el principal constituyente del BSG son los polisacáridos (64.77 ± 3.22%) incluido el almidón con 20.88 ± 0.1%, la celulosa 17.52 ± 1.43%, y la hemicelulosa 25.31 ± 2.89%, mientras que Lynch et al., (2016) han reportado valores de lignina del 12 a 28%. El BSG es rico en fibra (incluida celulosa, hemicelulosa y lignina), el BSG analizado contiene 61.59% de fibra cruda, similar a lo reportado previamente por Parchami y colaboradores (2021) quienes lo reportan en 59.57 ± 3.51%. Resalta el principal componente de cada fracción, siendo el ELN el mayoritario en la fracción BSG-A, al igual que en BSG-AX por la importante presencia de arabinoxilanos, en el caso de BSG-P el mayor porcentaje se encuentra en la proteína cruda, mientras que, en el BSG-C el componente mayoritario es la fibra.

Los espectros FT-IR de las fracciones obtenidas BSG-A, BSGAX, BSG-P, BSG-L y BSG-C (Figura 1) se midieron para corroborar la presencia de los grupos funcionales característicos de cada fracción. Las bandas de absorción se asignaron mediante la comparación de valores reportados previamente. En la fracción BSG-A (Figura 1A) se identificaron las bandas entre 3500 y 3700 cm⁻¹ corresponde a las vibraciones O-H, la banda alrededor de 2930 cm⁻¹ se relacionan con las vibraciones C-H y a 1675 cm⁻¹ el agua ligada, mientras que las bandas características del almidón se observan en la región de 800-1500 cm⁻¹ (Mehfooz et al., 2019).

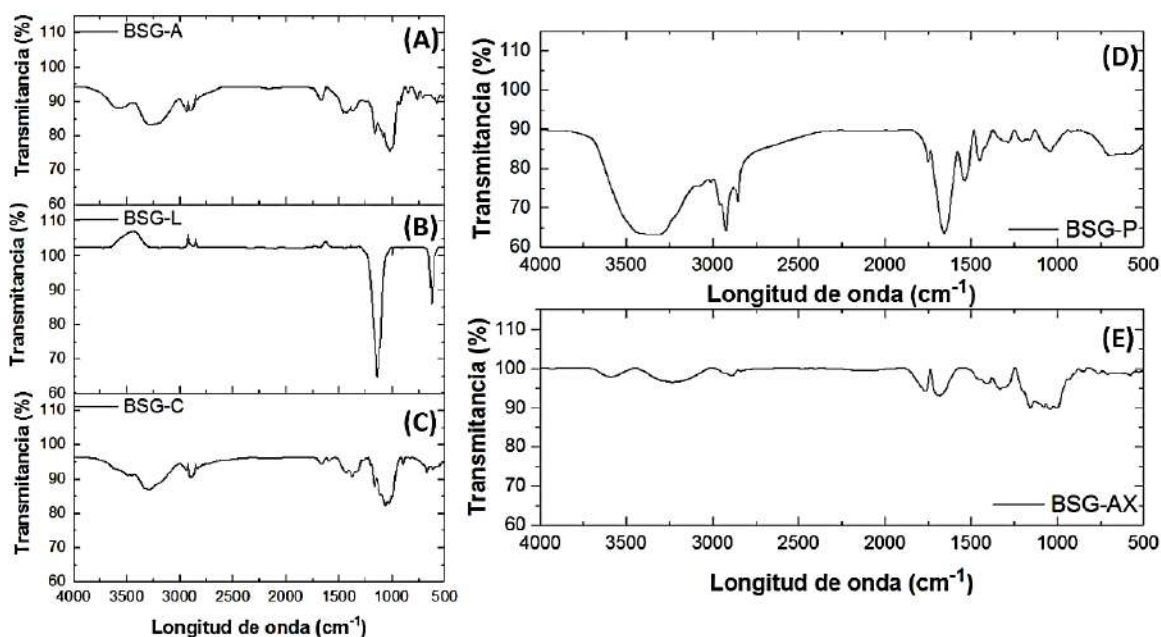


Figura 1. FT-IR de las fracciones obtenidas. (A) Fracción rica en almidón, (B), Fracción rica en lignina, (C) Fracción rica en celulosa, (D) Fracción rica en proteína, (E) Fracción rica en arabinoxilanos. Fuente: elaboración propia 2023.

Por su parte en la BSG-AX (Figura 1B) la banda ancha característica a 3232 cm^{-1} se atribuye al estiramiento del grupo -OH en el polisacárido y es asociado con hemicelulosas (Werner et al., 2014). La banda de absorción en la región de $1500\text{-}1700\text{ cm}^{-1}$ corresponde a las vibraciones de los grupos funcionales presentes en el ácido ferúlico y la proteína (Zhang et al., 2019). Las bandas entre $1000\text{-}700\text{ cm}^{-1}$ corresponden a enlaces $\beta\text{-}(1\rightarrow4)$ presentes en el arabinoxilano (Kaur et al., 2021). La presencia de estas bandas demuestra la recuperación de una fracción con arabinoxilanos ferulados además de proteína.

En la fracción BSG-P (Figura 1C) se observan bandas a 2927 y 2840 cm^{-1} que se relacionan con lípidos. Mientras que las bandas de absorción entre 1679 y 1530 cm^{-1} son asignadas al estiramiento simétrico de amida II y amida I respectivamente, y están relacionadas con el contenido de proteínas (Ahmad et al., 2020, Zhang et al., 2019). En la BSG-C (Figura 1 D) se ubican las bandas relacionadas con la vibración de los enlaces O-H entre 3600 y 3200 cm^{-1} , a 898 cm^{-1} se observa la vibración del grupo C-H y el pico a 894 cm^{-1} se relaciona con la vibración oscilante de C-H propio de la celulosa (Liang et al., 2023).

Finalmente, en la fracción BGS-L (Figura 1E) se observan bandas características de OH presente en los alcoholes entre 3664 y 3326 cm^{-1} , las bandas a 2915 cm^{-1} y 2851 cm^{-1} se asocian estiramiento de C-H de los grupos metoxilo del anillo aromático y a los grupos metil y metileno de las cadenas laterales de los anillos, a 1142 cm^{-1} se observa una de las bandas en las que se muestra la deformación del anillo de siringilo y a 631 cm^{-1} la presencia de anillos aromáticos (Gbenebor et al., 2023), cabe señalar que no se observaron señales en la zona de 1700 cm^{-1} que es característica de un proceso de oxidación.

4. CONCLUSIONES

El aprovechamiento sostenible de recursos mediante la valorización de subproductos de la industria agroindustrial es una estrategia para introducir esta materia a la economía.

La extracción en serie de fracciones a partir de bagazo de cebada permite obtener fracciones en polvo ricas en almidón, hemicelulosa, proteína, lignina y celulosa respectivamente, que pueden ser empleadas según sus propiedades en otras industrias.

REFERENCIAS

- Ahmad, N., Tayyeb, D., Ali, I., K Alruwaili, N., Ahmad, W., Khan, A. H., & Iqbal, M. S. (2020). Development and Characterization of Hemicellulose-Based Films for Antibacterial Wound-Dressing Application. *Polymers*, *12*(3), 548. <https://doi.org/10.3390/polym12030548>
- Baiano, A. (2020). Craft beer: An overview. *Comprehensive reviews in food science and food safety*, *20*(2), 1829-1856. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12693>
- Caponio, F., Piga, A., & Poiana, M. (2022). Valorization of food processing by-products. *Foods*, *11*(20), 3246. <https://doi.org/10.3390/foods11203246>
- Gbenebor, O. P., Olanrewaju, O. A., Usman, M.A., Adeosun, S.O. (2023) Lignin from Brewers' Spent Grain: Structural and Thermal Evaluations. *Polymers*, *15*(10), 2346. <https://doi.org/10.3390/polym15102346>
- Jay, A. J., Parker, M. L., Faulks, R., Husband, F., Wilde, P., Smith, A. C., Faulds, C. B., & Waldron, K. W. (2008). A systematic micro-dissection of brewers' spent grain. *Journal of Cereal Science*, *47*(2), 357–364. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2007.05.006>
- Kaur, A., Singh, B., Yadav, M. P., Bhinder, S., & Singh, N. (2021). Isolation of arabinoxylan and cellulose-rich arabinoxylan from wheat bran of different varieties and their functionalities. *Food Hydrocolloid*. *112*, 106287. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2020.106287>
- Liang, J., Lin, H., Li, C., Zhang, L., Zhang, S., Wang, S., ... & Hu, X. (2023). Interaction of derivatives of cellulose and lignin in co-HTC, co-pyrolysis and co-activation. *Fuel*, *351*,

129033. <https://doi.org/10.3390/ma12193101>
- Lynch, K. M., Steffen, E. J., & Arendt, E. K. (2016). Brewers' spent grain: a review with an emphasis on food and health, *Journal of the Institute of Brewing*, 122 (4), 553-568. <https://doi.org/10.1002/jib.363>
- Mehfooz, T., Ali, T. M., & Hasnain, A. (2019). Effect of cross-linking on characteristics of succinylated and oxidized barley starch. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 13, 1058-1069. <https://doi.org/10.1007/s11694-018-00021-3>
- Mussatto, S. I. (2009). Biotechnological Potential of Brewing Industry By-Products. In P. S. Nee'NIGAM & A. PANDEY (Eds.), *Biotechnology for Agro-Industrial Residues Utilisation* (pp. 313–326). Springer, Dordrecht. https://doi.org/10.1007/978-1-4020-9942-7_16
- Parchami, M., Ferreira, J. A., & Taherzadeh, M. J. (2021). Starch and protein recovery from brewer's spent grain using hydrothermal pretreatment and their conversion to edible filamentous fungi—A brewery biorefinery concept. *Bioresource Technology*, 337, 125409. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2021.125409>
- Werner, K., Pommer, L., & Broström, M. (2014). Thermal decomposition of hemicelluloses. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 110, 130-137. <https://doi.org/10.1016/j.jaap.2014.08.013>
- Zhang, X., Chen, T., Lim, J., Gu, F., Fang, F., Cheng, L., Campanella, O. H., & Hamaker, B. R. (2019). Acid gelation of soluble laccase-crosslinked corn bran arabinoxylan and possible gel formation mechanism. *Food Hydrocolloids*, 92, 1-9. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2019.01.032>

1

¹ Los autores del trabajo autorizan a la Universidad Internacional de Ciencia y Tecnología (UNICyT) a publicar este resumen en extenso en las Actas del Congreso IDI-UNICyT 2023 en Acceso Abierto (Open Access) en formato digital (PDF) e integrarlos en diversas plataformas online bajo la licencia CC: Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International (CC BY-NC-SA 4.0) <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>.