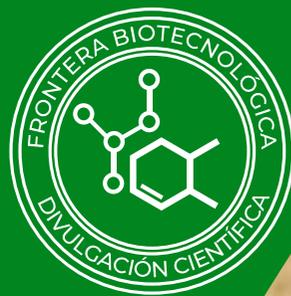


LA SEGUNDA VIDA DEL AGAVE: NUEVAS APLICACIONES PARA RESIDUOS AGROINDUSTRIALES DE LAS INDUSTRIAS DEL TEQUILA Y MEZCAL



Ana M. Avila-Galván¹, Juliana Morales-Castro^{1*}, Héctor A. Ruíz-Leza²; Orlando A. Manzanares-Meza¹, Blanca E. Morales-Contreras¹, María Inés Guerra-Rosas¹ y Walfred Rosas-Flores¹

¹ Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Durango, Departamento de Ingenierías Química y Bioquímica. Blvd. Felipe Pescador 1830 Ote., Nueva Vizcaya, 34080. Durango Dgo., México.

² Biorefinery Group. Facultad de Ciencias Químicas. Universidad Autónoma de Coahuila. Blvd. Venustiano Carranza, 25280, Saltillo, Coahuila, México.

Autor de correspondencia:
jmorales@itdurango.edu.mx



RESUMEN

Las plantas de agave han sido fundamentales en la cultura mexicana desde tiempos prehispánicos, utilizadas en la preparación de alimentos, bebidas populares y en la elaboración de textiles artesanales. Existen 210 especies conocidas de agave, 159 presentes en México y 129 endémicas, de las cuales, algunas son clave en la producción de bebidas típicas y populares como el tequila y el mezcal. La producción de tequila incrementó su producción en un 120% entre 2000 y 2023, mientras que el mezcal aumentó de 980,375 a 14,165,505 litros entre 2011 y 2022. Este incremento en la producción genera cantidades enormes de residuos, que han llegado a alcanzar cerca de 1.7 millones de toneladas anuales (SIAP, 2021) entre hojas, bagazos y vinazas, que, si no se tratan adecuadamente, pueden causar problemas ambientales. Estos residuos contienen compuestos útiles, azúcares, como celulosa, hemicelulosa y lignina, que pueden aprovecharse para producir biocombustibles, bioplásticos, y otros productos de valor agregado. El aprovechamiento de estos subproductos no solo ayuda a mitigar problemas ambientales, sino que también ofrece oportunidades para el desarrollo económico y social.

El presente trabajo es una revisión de las principales rutas de valorización que se siguen actualmente para el aprovechamiento de los diferentes residuos de agave generados por las industrias del tequila y del mezcal.

Palabras clave: Tequila, mezcal, hojas de agave, bagazo, vinazas y valorización de subproductos

ABSTRACT

Agave plants have been fundamental in Mexican culture since pre-Hispanic times, used in the preparation of foods and spirits and in the creation of artisanal textiles. There are 210 known species of agave, with 159 present in Mexico and 129 endemic, some of which are key in the production of popular traditional beverages such as tequila and mezcal. The tequila production increased 120% between 2000 and 2023, and mezcal production rising from 980,375 to 14,165,505 liters between 2011 and 2022. This increase in production generates enormous amounts of waste (leaves, bagasse, and vinasses), which, if not properly treated, can cause environmental problems. These wastes contain useful compounds, such as sugars, cellulose, hemicellulose, and lignin, that can be utilized to produce biofuels, bioplastics, and other value-added products. The utilization of these by-products not only help to mitigate environmental problems but also offers opportunities for economic and social development.

This work is a review of the main valorization routes currently being followed to utilize the different agave wastes generated by the tequila and mezcal industries.

Key words: Tequila, mezcal, Agave leaves, Bagasse, Vinasse, Valorization of By-products

Introducción

Las plantas de agave (comúnmente conocidas como “maguey”) eran ya utilizadas por la cultura Azteca en diversas actividades socioculturales, representando la base para la preparación de diferentes alimentos y bebidas (como el pulque o el mezcal), y en la elaboración de tejidos y textiles artesanales típicos [García-Mendoza, 2007; Perez-Zavala et al., 2020].

Hasta el momento, se conocen cerca de 210 especies de agaves en el mundo, de las cuales 159 están presentes en México, mientras que 129 son endémicas de la región [Álvarez-Chávez et al., 2021], dentro de ellas, destacan cuatro principales variedades: *Agave tequilana*, *Agave salmiana*, *Agave angustifolia*, y *Agave durangensis*, ampliamente utilizadas para la preparación de bebidas populares como el mezcal, tequila, pulque, sotol, o bacanora [Álvarez-Chávez et al., 2021; Perez-Zavala et al., 2020]. En este contexto, el consumo de bebidas típicas a base de agave ha presentado un gran crecimiento en años recientes. De acuerdo con datos reportados por el Consejo Regulador del Tequila, la producción de esta bebida presentó un crecimiento exponencial del 2000 al 2023 con un aumento del 120%, produciendo cerca de 651 millones de litros para el año 2022 [CRT, 2023]; similar a lo ocurrido con la producción de mezcal, que presentó un aumento en su producción de 980,375 a 14,165,505 litros producidos por año en el periodo de 2011 a 2022 [COMERCAM, 2023].

Por lo anterior, es de esperarse que en conjunto con el incremento en la producción de bebidas a base de agave, se generen simultáneamente grandes volúmenes de residuos diversos generados en el proceso de producción de estas bebidas. Al final del procesamiento de la producción del mezcal o tequila, quedan residuos agrupados y denominados como pencas, bagazos, y vinazas [Paniagua-Pérez et al., 2022], cuya excesiva producción y acumulación (en caso de no recibir un tratamiento adecuado) podría generar un serio problema medioambiental [Hoz-Zavala & Nava-Diguero, 2017].

¿Cómo resolver o prevenir estas problemáticas? pues bien, a pesar de ser considerados como “residuos,” estos subproductos de agave presentan una composición química rica en diferentes compuestos de interés como [azúcares, celulosa, hemicelulosa, lignina, ceras, saponinas y terpenos, entre otros, son ejemplos de ello] que los convierte en material de interés para la generación de otros productos de valor agregado [Álvarez-Chávez et al., 2021; Palomo-Briones et al., 2017].

2

Residuos de agave como fuente potencial de nuevos productos

Como se ha comentado, los residuos más comúnmente generados en la producción de tequila y mezcal son las hojas (pencas), bagazos y vinazas, generados en las diferentes etapas del proceso (Figura 1), aunque otros residuos adicionales también son generados mediante el mismo (espinas, raíces, y cutícula). Todos los residuos mezcaleros y tequileros antes mencionados han demostrado poseer un significativo potencial de valorización mediante su aprovechamiento en la generación de productos de alto valor agregado (Estrada-Maya & Weber, 2022; Márquez-Rangel et al., 2023; Zelaya-Benavidez et al., 2022a).



Figura 1. Proceso de producción de tequila/ mezcal y principales residuos generados en cada etapa.

Pencas de agave: residuo multifuncional

Durante el proceso de obtención de piñas de agave (mejor conocido como “jima”) para la producción de tequila y mezcal, las pencas de agave son retiradas de estas con la finalidad de obtener la parte de la planta de agave con mayor concentración de azúcares, la piña, lo que garantiza una mejor calidad del producto final. Estas pencas representan típicamente entre el 30 y el 50% del peso de la planta completa, y, generalmente, son desechadas al ser consideradas como residuos [Perez-Zavala et al., 2020]. Estos residuos presentan alto contenido de celulosa, hemicelulosa y lignina, por lo que son usualmente conocidos como “residuos lignocelulósicos” y son considerados como fuentes importantes para la generación de biocombustibles y otros derivados [celulosa y materiales nanocelulósicos] [Contreras-Hernandez et al., 2018; Krishnadev, 2020].

Además de su composición química básica, cuyo alto contenido de lignocelulosa permite la formación de fibras de alta resistencia [normalmente utilizadas para la elaboración de tejidos y textiles tradicionales], las pencas de agave representan una gran área de oportunidad para la obtención de compuestos nutraceuticos de gran interés, incluyendo flavonoides, compuestos fenólicos, antioxidantes, agavinas, prebióticos, fructanos y terpenos cuya actividad funcional y efecto benéfico en la salud humana constituye una tarea de interés [Bermudez-Bazan et al., 2024; Garcia-Villalba et al., 2023; Jiménez-Ortega et al., 2024; Luna-Solís et al., 2024]; por otro lado, su implementación como posible medio para el crecimiento microbiano y producción de azúcares es un área que se encuentra en exploración [Flores-Méndez et al., 2023].



Asimismo, su utilización como materia prima para la generación de sustitutos de plástico ha sido positivamente evaluada, permitiendo la formulación de bioplásticos de elevada resistencia térmica y gran potencial de biodegradabilidad, representando una alternativa a la utilización de plásticos convencionales [Langhorst et al., 2019]; biopolímeros compuestos [Huerta-Cardoso et al., 2022; Sifuentes-Nieves et al., 2021]; en la producción de polyhidroxibutirato, (PHB), biopolímero bacteriano, las fibras, pencas, bagazo y vinasas, han sido evaluadas [Martínez-Herrera et al., 2021a, Martínez-Herrera et al., 2021b]. Adicionalmente, se consideran un excelente sustrato para la producción de enzimas, [Jiménez-Ortega et al., 2024],

así como fuente de hongos para la producción de enzimas [Contreras-Hernández, et al., 2018] con amplio potencial de aplicación en las industrias alimentaria, farmacéutica y agrícola.

Finalmente, con el incremento constante en el requerimiento de fibras sintéticas relacionado con el aumento poblacional, se ha dado lugar a la generación de sustitutos naturales

de éstas. Las pencas de agave han demostrado un amplio potencial para la producción de fibra, presentando características similares a los sintéticos y diversos beneficios adicionales, tales como un alto nivel de biodegradación, dado su origen completamente natural [Cheikh et al., 1999; Thamarai-Selvi et al., 2023]. Estas características han sido aprovechadas en la fabricación de productos ecológicos que ya están siendo comercializados para diversas marcas, que incluye, productos desechables, como cucharas, vasos para café, platos, popotes, además de, servilletas, hieleras, termos, estropajos, paños de agave, entre una gran variedad de productos [Hernández-Hernández y Soriano-Corral, 2020].

Bagazo de agave: origen de productos de valor agregado

Diferentes autores han estimado que para la producción de un litro de tequila/mezcal se requieren entre 6 y 8 kg de piñas de agave, generando entre 1 y 2 Kg de bagazo [Cámara Nacional de la Industria Tequilera, 2020]. El bagazo es el material residual generado después de que las piñas de agave han sido trituradas, cocidas, molidas y sus azúcares han sido extraídos para la generación del producto, y representa cerca del 40% del peso total del agave procesado [Estrada-Maya & Weber, 2022]. De manera similar a las pencas de agave, el bagazo tequilero y mezcalero está principalmente compuesto por celulosa (59.3%), hemicelulosa (15.4%) y lignina (17.2%), lo que permite su aplicación en el ámbito biotecnológico [Chairez-Aquino et al., 2015], además de presentar otros compuestos bioactivos, incluyendo saponinas, azúcares, fructanos, y diversos compuestos fenólicos de interés [Santos-Zea et al., 2019].

Derivado de la diversidad de compuestos presentes, el bagazo ha sido evaluado en la producción de biocombustibles y representa la principal área de exploración, debido a su elevado contenido de celulosa y hemicelulosa, que dan lugar al desarrollo de procesos bajo el concepto de la biorrefinería, con enfoque en la generación de biocombustibles y derivados [Palomo-Briones et al., 2017; Singh et al.,

2021]; así como su implementación como potencial medio de cultivo para la generación de metabolitos secundarios de interés a partir del procesamiento microbiano [Escobedo-García et al., 2023; Flores-Méndez et al., 2023].

Adicionalmente, la incorporación del bagazo de agave como componente principal en la producción de alimento para consumo animal y forrajes ha sido evaluada por diversos autores [Delgadillo-Ruiz et al., 2015]. La adición del bagazo en la preparación de dietas animales ha demostrado diversos efectos positivos en la calidad del producto cárnico final, demostrando mejoras en la composición nutricional, en comparación con alimentos animales del tipo comercial [Guerra-Medina et al., 2015]. Estos beneficios incluyen una mayor concentración de fibras, proteína y carbohidratos que contribuyen a una mayor capacidad de digestibilidad para el animal [Gutiérrez et al., 2019].

Por otro lado, la valorización del bagazo tequilero y mezcalero con enfoque en la elaboración de materiales para construcción y similares es un área en pleno desarrollo que da lugar a la explotación de estos residuos para la generación de materia prima básica para el desarrollo de sociedad actual, inclu-



yendo la elaboración de aglomerados y tableros de fibra de densidad media [MDF por sus siglas en inglés], triplay, y bloques de tierra comprimida [Escudero-Enríquez et al., 2023; Moreno-Anguiano et al., 2022; Vera-Romero et al., 2023].

De manera semejante, la elaboración de alimentos enriquecidos con bagazo de agave ha captado la atención de la comunidad científica, dado que representa una alternativa al aprovechamiento de tales residuos mediante la generación de alimentos de propiedades funcionales y sensoriales atractivas

y composición química altamente nutritiva [Alarcón-Martínez et al., 2023]. Hasta ahora, el desarrollo de estos productos se encuentra aún en etapas exploratorias, y el enfoque principal ha sido dirigido a la fabricación de productos de panificación, que aprovechan la estructura natural del bagazo mezcalero/tequilero [Carlos-Delgado, 2022], aunque los resultados generados hasta ahora, sugieren un gran potencial para su exitosa implementación en el contexto comercial.

Vinazas, ¿problemática medioambiental o materia prima?

Las vinazas son las aguas residuales generadas a partir de la destilación del tequila y el mezcal, se ha estimado una generación promedio de estos residuos de entre 8 a 15 L por cada litro de bebida producido [Gómez-Guerrero et al., 2018]. Estos residuos son típicamente liberados de manera indiscriminada al medio ambiente [sin previo tratamiento], lo cual representa una seria problemática medioambiental al tratarse de líquidos altamente recalcitrantes, de pH extremadamente ácido y alta carga orgánica, afectando directamente a la fauna y flora circundante [Zelaya-Benavidez et al., 2022a]. A pesar de esto, las vinazas mezcaleras y tequileras son sustancias ricas en compuestos tales como sales, compuestos aromáticos y fenólicos, diversos tipos de alcoholes y ácidos orgánicos, calcio, fósforo, nitrógeno, azufre, azúcares residuales, y materia orgánica diversa [Rodríguez-Félix et al., 2018].

El aprovechamiento de estos residuos agroindustriales, limitado actualmente a la escala de laboratorio y planta piloto, está enfocado principalmente en su utilización como materia prima para la generación de bioproductos y derivados, incluyendo la producción de metano y biocombustibles de segunda generación [Gómez-Guerrero et al., 2018; Zelaya-Benavidez et al., 2022b], y como constituyente principal en la elaboración de biofertilizantes de elevado potencial de nutrición en cultivos de interés tales como la lechuga, tomate y pepino, además de otras hortalizas [Zelaya-Benavidez et al., 2022a].

3

Conclusiones

Los residuos agroindustriales provenientes de las industrias mezcaleras y tequileras representan un gran potencial como fuentes de productos de valor agregado, cuya explotación, además de representar una alternativa a la temática ambiental, permitirá el desarrollo de tecnologías, procesos y productos de alto impacto en la sociedad tal como se ha presentado en este artículo de revisión. Actualmente, ya existen, a nivel comercial, diversos productos en el mercado generados a partir de la valorización integral de residuos de agave, tal como han sido aquí mencionados, y otros más, como sustitutos plásticos (homólogos a desechables de polipropileno y

poliestireno), forrajes, fertilizantes y fibras textiles, han sido producidos y comercializados con éxito mediante el aprovechamiento de tales residuos. Si bien, los estudios presentados sobre el aprovechamiento de estos residuos son importantes, hay un gran campo de oportunidad para seguir explorando, especialmente, en cuanto a las aplicaciones en numerosos sectores que permitan amplificar las rutas de valorización, lo que indudablemente traerá consigo, nuevas oportunidades para la creación de empresas, para el desarrollo económico y social y contribuir a disminuir el impacto medioambiental negativo derivado de su no utilización.

4

Agradecimientos

Al Tecnológico Nacional de México y al Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías (CONAHCyT) por la beca No. 946418.



REFERENCIAS

- Alarcón-Martínez, G. A., Buitrago-Arias, C., Martínez-Valverde, R., & Camacho-Díaz, B. H. (2023). Producto de panificación funcionalizado con fibras de bagazo impregnadas con cúrcuma. 3er Congreso Nacional y 1er Congreso Internacional Oaxaca, México.
- Álvarez-Chávez, J., Villamiel, M., Santos-Zea, L., & Ramírez-Jiménez, A. K. (2021). Agave By-Products: An Overview of Their Nutraceutical Value, Current Applications, and Processing Methods. *Polysaccharides*, 2(3), 720-743. <https://doi.org/10.3390/polysaccharides2030044>
- Bermudez-Bazan, M., Estarron-Espinosa, M., Castillo-Herrera, G. A., Escobedo-Reyes, A., Urias-Silvas, J. E., Lugo-Cervantes, E., & Gschaedler-Mathis, A. (2024). *Agave angustifolia* Haw. Leaves as a Potential Source of Bioactive Compounds: Extraction Optimization and Extract Characterization. *Molecules*, 29(5). <https://doi.org/10.3390/molecules29051137>
- Cámara Nacional de la Industria Tequilera. (2020).** Carlos-Delgado, A. A. (2022). Desarrollo y evaluación de un pan funcional tipo muffin a base de residuos de *Agave salmiana* adicionado con probióticos [Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro].
- Chairez-Aquino, J., Enríquez-del-Valle, J. R., Ruiz-Luna, J., Campos-Ángeles, G. V., & Martínez-García, R. (2015). Waste Pulp from *Agave spp* and Corn Leaves used to Growth the Mushroom *Pleurotus ostreatus*. *Revista Mexicana de Agroecosistemas*, 2(1), 23-28.
- Cheikh, R. B., Brahim, S. B., Baklouti, M., & Sassi, B. H. (1999). The agave fibers in composite materials. *Ecole Nationale d'Ingenieurs de Tunis: Le Belvédère, Tunis [TUNISIA]*.
- COMERCAM. (2023). Informe Estadístico 2023.** Contreras-Hernandez, M. G., Ochoa-Martínez, L. A., Rutiaga-Quinones, J. G., Rocha-Guzman, N. E., Lara-Ceniceros, T. E., Contreras-Esquivel, J. C., Prado Barragan, L. A., & Rutiaga-Quinones, O. M. (2018). Effect of ultrasound pre-treatment on the physicochemical composition of *Agave durangensis* leaves and potential enzyme production. *Bioresources Technology*, 249, 439-446. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2017.10.009>
- CRT. (2023). Informe Estadístico 2023.** Delgadillo Ruiz, L., Bañuelos Valenzuela, R., Esparza Ibarra, E. L., Gutiérrez Bañuelos, H., Cabral Arellano, F. J., & Muro Reyes, A. (2015). Nutrient profile evaluation of agave bagasse as alternative feedstuffs for ruminants. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 6(SPE11), 2099-2103.
- Escobedo-García, S., Flores-Gallegos, A. C., Salas-Tovar, J. A., González-Herrera, S. M., Palomo-Ligas, L., Campos-Muzquiz, L. G., & Rodríguez-Herrera, R. (2023). Agave bagasse cookies as a carbon source for lactic acid bacteria. *Environmental Quality Management*. <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/tqem.22051>
- Escudero-Enriquez, E., Montaña, O. D. L., Guido, S. I. M., & Gutiérrez-Antonio, C. (2023). BAGAZO DE AGAVE, LA OTRA CARA (VALIOSA) DE LA PRODUCCIÓN DE TEQUILA. *Naturaleza y Tecnología*, 10.
- Estrada-Maya, A., & Weber, B. (2022). Biogás y bioetanol a partir de bagazo de agave sometido a explosión de vapor e hidrólisis enzimática. *Ingeniería Investigación y Tecnología*, 23(2), 1-10. <https://doi.org/10.22201/fi.25940732e.2022.23.2.009>
- Flores-Méndez, D. A., Pelayo-Ortiz, C., Martínez Gómez, Á. d. J., Toriz, G., Guatemala-Morales, G. M., & Corona-González, R. I. (2023). Evaluation of *Agave tequilana* by-products for microbial production of hyaluronic acid. *Bioresource Technology Reports*, 21. <https://doi.org/10.1016/j.biteb.2023.101366>
- García-Mendoza, A. J. (2007). Los Agaves de México. *Ciencias* (87), 14-23.
- García-Villalba, W. G., Rodríguez-Herrera, R., Ochoa-Martínez, L. A., Rutiaga-Quinones, O. M., Lopez, M. G., Gallegos-Infante, J. A., Bermudez-Quinones, G., & Gonzalez-Herrera, S. M. (2023). Comparative study of four extraction methods of fructans (agavins) from *Agave durangensis*: Heat treatment, ultrasound, microwave and simultaneous ultrasound-microwave. *Food Chemistry*, 415, 135767. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2023.135767>
- Gómez-Guerrero, A. V., Valdez-Vazquez, I., Caballero-Caballero, M., Chiñas-Castillo, F., Alavéz-Ramírez, M., & Montes-Bernabé, J. L. (2018). Co-Digestion of *Agave angustifolia* Haw bagasse and vinasses for biogas production from mezcal industry. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, 18(3), 1073-1083. <https://doi.org/10.24275/uam/izt/dcbi/revmexingquim/2019v18n3/Gomez>
- Guerra-Medina, C. E., Montañez-Valdez, O. D., Ley-de-Coss, A., Reyes-Gutiérrez, J. A., Gómez-Peña, J. E., Martínez-Tinajero, J. J., & Pinto-Ruiz, R. (2015). Alternative sources of fiber in complete diets for sheep in intensive fattening. *Quehacer científico en Chiapas*, 10(1).
- Gutiérrez, L., Aguirre, L., Ortiz, B., Lima, R., Rodríguez, Z., González, A., & Elías, A. (2019). Nutritional assessment of bagasse of *Agave fourcroydes* (henequen) for use in animal feed. *Bosques Latitud Cero*, 10(1), 29-38.
- Hernández-Hernández, E., Soriano-Corral, F. (2020). Fibra de Agave y Plásticos. Una pareja versátil y prometedora para diversas aplicaciones. Nota del 25 Agosto del 2020. <https://ciqa.mx/FibraAgavePla.aspx>
- Hoz-Zavala, M. E., & Nava-Diguero, P. (2017). Los residuos de agave como factor de corrosión del suelo donde se vierten. *Revista de Desarrollo Tecnológico* 1(2), 11-24.
- Huerta-Cardoso, O., Durazo-Cardenas, I., Longhurst, P., & Encinas-Oropesa, A. (2022). "Film-stacking method as an alternative *Agave tequilana* fibre/PLA composite fabrication". *Materials Today Communications*, 31. <https://doi.org/10.1016/j.mtcomm.2022.103853>
- Jiménez-Ortega, L. A., Valdez-Baro, O., Bernal-Millán, M. J., Rivera-Salas, M. M., & Heredia-Basilio, J. (2024). Agave Byproducts: As Sources of Phytochemicals with Functional Activities and Their Management for Industrial Applications. *Food Byproducts Management and Their Utilization* (385-416).
- Krishnadev, P., Subramanian, K., Janaki-Janavi, G., Ganapathy, S., Lakshmanan, A. (2020). Synthesis and Characterization of Nano-fibrillated Cellulose Derived from Green *Agave Americana* L. Fiber. *BioResources*, 15(2), 2442-2458.
- Langhorst, A., Paxton, W., Bollin, S., Frantz, D., Burkholder, J., Kiziltas, A., & Mielewski, D. (2019). Heat-treated blue agave fiber composites. *Composites Part B: Engineering* 165, 712-724.
- Luna-Solis, H. A., Ochoa-Martínez, L. A., González-Herrera, S. M., Rutiaga-Quinones, O. M., & Wong-Paz, J. E. (2024). Extraction of agavins from *Agave durangensis* leaves: Structural, thermal and techno-functional characterization. *Food Bioscience*, 57. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.fbio.2023.103563>
- Márquez-Rangel, I., Cruz, M., Ruiz, H. A., Rodríguez-Jasso, R. M., Loredó, A., & Belmares, R. (2023). Agave waste as a source of prebiotic polymers: Technological applications in food and their beneficial health effect. *Food Bioscience*, 56. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2023.103102>
- Martínez-Herrera, R.R., Alemán-Huerta, M.E., Flores-Rodríguez, P., Almaguer-Cantú, V., Valencia-Vázquez, R., Rosas-Flores, W., Medrano-Roldán, H., Ochoa-Martínez, L.A., & Rutiaga-Quinones, O.M. (2021a). Utilization of *Agave durangensis* leaves by *Bacillus cereus* 4N for polyhydroxybutyrate (PHB) biosynthesis. *International Journal of Biological Macromolecules*. 175. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2021.01.167>
- Martínez-Herrera, R.E., Rutiaga-Quinones, O. & Alemán-Huerta, M.E. (2021b). Integration of *Agave* plants into the polyhydroxybutyrate (PHB) production: A gift of the Aztecs to the current bioword. *Industrial Crops & Products*. 174. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2021.114188>
- Moreno-Anguiano, O., Cloutier, A., Rutiaga-Quinones, J. G., Wehenkel, C., Rosales-Serna, R., Rebolledo, P., Hernández-Pacheco, C. E., & Carrillo-Parra, A. (2022). Use of *Agave durangensis* Bagasse Fibers in the Production of Wood-Based Medium Density Fiberboard (MDF). *Forests*, 13(2). <https://doi.org/10.3390/f13020271>
- Palomo-Briones, R., López-Gutiérrez, I., Islas-Lugo, F., Galindo-Hernández, K. L., Munguía-Aguilar, D., Rincón-Pérez, J. A., Cortés-Carmona, M. Á., Alatríste-Mondragón, F., & Razo-Flores, E. (2017). Agave bagasse biorefinery: processing and perspectives. *Clean Technologies and Environmental Policy*, 20(7), 1423-1441. <https://doi.org/10.1007/s10098-017-1421-2>

Paniagua Pérez, G., Sarabia Sereno, Y. L., & Belmonte Izquierdo, Y. [2022]. Una segunda vida para los residuos de la industria mezcalera. *Inventio*, 17[43]. <https://doi.org/10.30973/inventio/2021.17.43/8>

Perez-Zavala, M. L., Hernandez-Arzaba, J. C., Bideshi, D. K., & Barboza-Corona, J. E. [2020]. Agave: a natural renewable resource with multiple applications. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 100[15], 5324-5333. <https://doi.org/10.1002/jsfa.10586>

Rodríguez-Félix, E., Contreras-Ramos, S., Davila-Vazquez, G., Rodríguez-Campos, J., & Marín-Marmolejo, E. [2018]. Identification and Quantification of Volatile Compounds Found in Vinasses from Two Different Processes of Tequila Production. *Energies*, 11[3]. <https://doi.org/10.3390/en11030490>

Santos-Zea, L., Gutiérrez-Urbe, J. A., & Benedito, J. [2019]. Effect of ultrasound intensification on the supercritical fluid extraction of phytochemicals from Agave *salmiana* bagasse. *The Journal of Supercritical Fluids*, 144, 98-107. <https://doi.org/10.1016/j.supflu.2018.10.013>

Sifuentes-Nieves, I., Yanez Macias, R., Neira Velazquez, G., Velazquez, G., García Hernandez, Z., Gonzalez Morones, P., & Hernandez-Hernandez, E. [2021]. Biobased sustainable materials made from starch and plasma/ultrasound modified Agave fibers: Structural and water barrier performance. *International Journal of Biological Macromolecules*, 193(Pt B), 2374-2381. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2021.11.071>

Singh, A., Rodríguez-Jasso, R. M., Saxena, R., Cerda, R. B., Singhania, R. R., & Ruiz, H. A. [2021]. Subcritical water pretreatment for agave bagasse fractionation from tequila production and enzymatic susceptibility. *Bioresource Technology*, 338, 125536.

Thamarai-Selvi, S., Sunitha, R., Ammayappan, L., & Prakash, C. [2023]. Impact of Chemical Treatment on Surface Modification of Agave Americana Fibers for Composite Application- A Futuristic Approach. *Journal of Natural Fibers*, 20(1), 2142726.

Vera-Romero, I., Hernández-Trujillo, S. L., Farfán-Heredia, B., Briones-Flores, R., & López-Sosa, L. B. [2023]. Elemento Constructivo utilizando bagazo de Maguey: Bases para la Sustentabilidad de la Cadena de Valor. 3er Congreso Nacional y 1er Congreso Internacional Oaxaca, México.

Zelaya-Benavidez, E. A., Martínez-Gutiérrez, G. A., Escamirosa-Tinoco, C., & Morales, I. [2022]. Vinazas de mezcal y su efecto biofertilizante en el rendimiento de hortalizas. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 8[3]. <https://doi.org/10.19136/era.a8n3.3159>

Zelaya-Benavidez, E. A., Martínez-Gutiérrez, G. A., Robles, C., & Morales, I. [2022]. Use of mezcal vinasses to produce methane by co-digestion with bovine manure. *Biotecnica*, 24[2], 53-58.

