

## Alternativas para el aprovechamiento de residuos orgánicos de la producción de mezcal

Jessica Martinez-Gomez, Rodolfo Amalio Vargas-Méndez \*, Gloria Lilia Osorio-Gordillo, Karina Delgado-Osorio, Juan Reyes-Reyes

Tecnológico Nacional de México / Centro Nacional de Investigación y Desarrollo Tecnológico, Interior Internado Palmira S/N, Palmira, 62490 Cuernavaca, Morelos, México

\* Autor de correspondencia: [rodolfo.vm@cenidet.tecnm.mx](mailto:rodolfo.vm@cenidet.tecnm.mx)

**Desarrollo Sustentable** (Gestión y aprovechamiento de residuos sólidos)

Recibido: 13 de junio de 2025

Aceptado: 26 de julio de 2025

Publicado: 30 de diciembre de 2025

DOI: <https://doi.org/10.56845/terys.v4i3.508>

**Resumen:** Este artículo analiza el proceso artesanal de mezcal en Oaxaca, identificando los principales flujos de residuos y evaluando alternativas de gestión y valorización bajo un enfoque de sostenibilidad ambiental. Mediante, entrevistas a productores, complementado con literatura, se diagnosticaron áreas críticas de mejora. Los resultados revelan una escasa conciencia sobre la cuantificación de residuos y el consumo de recursos, así como la falta de estrategias sistemáticas para el aprovechamiento de subproductos. Se identificaron alternativas como la producción de briquetas de bagazo, co - compostaje de vinazas y el uso de forraje animal, evaluando su viabilidad técnica y económica. El estudio concluye que la implementación de indicadores ambientales y la adopción de prácticas de valorización pueden reducir el impacto ambiental y contribuir a la sustentabilidad del sector.

**Palabras clave:** bagazo, pencas de agave, producción de mezcal, subproductos, vinaza

### Alternative for the utilization of organic waste from mezcal production

**Abstract:** This article analyzes the artisanal mezcal production process in Oaxaca, identifying the main waste streams and evaluating management and valorization alternatives under an environmental sustainability approach. Through interviews with producers, complemented by a literature review, critical areas for improvement were diagnosed. The results reveal a low awareness of waste quantification and resource consumption, as well as the lack of systematic strategies for the utilization of by-products. Alternatives such as the production of bagasse briquettes, co-composting of vinasse, and the use of animal fodder were identified, and their technical and economic feasibility was evaluated. The study concludes that the implementation of environmental indicators and the adoption of valorization practices can reduce environmental impact and contribute to the sustainability of the sector.

**Keywords:** agave stalks, bagasse, by-products, mezcal production, vinasse

### Introducción

El mezcal es una bebida alcohólica derivada de la destilación de las piñas de agave cocidas de diversas especies de agave (González *et al.*, 2018), durante los últimos años, su popularidad ha incrementado, dando como resultado una evidente demanda. La producción de mezcal a finales del año 2023 ascendió a 12 millones de litros aproximadamente, según datos reportados por el Consejo Mexicano Regulador de la Calidad del Mezcal (COMERCAM). La gestión y aprovechamiento de residuos sólidos constituyen uno de los principales desafíos para el desarrollo sustentable en la agroindustria mexicana, particularmente en el sector mezcalero, cuya expansión ha generado una presión creciente sobre los recursos naturales y el entorno (Liria *et al.*, 2022).

La producción artesanal de mezcal, predominante en Oaxaca, genera grandes volúmenes de residuos como bagazo, vinaza y pencas de agave, mismo que presentan una disposición adecuada. La literatura ha documentado los impactos negativos de estos residuos, incluyendo la contaminación de suelos y cuerpos de agua, así como la emisión de gases de efecto invernadero (Contreras-Hernández *et al.*, 2018; Mateo *et al.*, 2021). Sin embargo, recientes investigaciones han señalado el potencial de valorización de estos subproductos, destacando su uso en la producción de biocombustibles, materiales lignocelulósicos y forraje animal (Ana M. Avila-Galván *et al.*, 2024; Robles-Arias *et al.*, 2024). El presente artículo aporta un panorama general de proceso productivo artesanal de mezcal en Oaxaca, enfocado en los tres principales desechos (bagazo, vinaza y pencas de agave) de la producción artesanal de mezcal.

## Materiales y Métodos

La investigación considera un análisis de información cuantitativa y cualitativa sobre la producción de mezcal artesanal en Oaxaca. Se realizó un balance de materia y energía que se establece considerando el consumo y generación asociados a cada etapa del proceso, tomando como referencia la producción de 1 litro de mezcal, usando datos reportados en diversos estudios y los obtenidos del instrumento de recolección de información. Se identificaron y describieron las características de los principales residuos: bagazo, vinaza y pencas de agave, así como su disposición tradicional. Para la evaluación de alternativas de aprovechamiento, se revisaron propuestas documentadas en la literatura, como la fabricación de briquetas de bagazo, el compostaje de vinazas y el uso de pencas como forraje.

## Resultados y Discusión

Las variedades de agave que se encuentran en todo México se han utilizado desde hace varios años para la elaboración de diferentes bebidas alcohólicas. En la producción de mezcal se destaca el uso de una variedad de agave más amplia, además de ser, la principal materia prima (Iñiguez-Covarrubias *et al.*, 2001). El proceso general de producción de mezcal implica una secuencia de cinco etapas claves para obtener la bebida alcohólica, en secuencia como se ilustra en la Figura 1.



Figura 1. Etapas del proceso.

Durante este proceso se generan diversos residuos contaminantes, incluyendo pencas y otros desechos vegetales. La producción de mezcal está regulada por la Norma NOM-070-SCFI-2016, titulada “Bebidas alcohólicas-Mezcal Especificaciones”, la cual establece los lineamientos para categorizar los diferentes tipos de producción de esta bebida. Para los fines del presente artículo se considera la producción artesanal de mezcal, que se distingue por no estar industrializado y por emplear técnicas tradicionales que emplean procesos manuales y no mecanizados. Esto sugiere que el manejo de los residuos generados durante su elaboración sigue la misma línea tradicional.

La gestión de residuos en la producción de mezcal en Oaxaca representa un desafío ambiental y económico relevante, dada la magnitud de los subproductos generados y su disposición. A continuación, se analizan los resultados obtenidos sobre la generación, disposición y alternativas de aprovechamiento de estos residuos.

### ***Balance de materia y energía***

Datos de consumo e insumos principales:

Los desechos principales de la producción se componen de Bagazo, Vinaza y las Pencas de agave, en la Tabla 1, se muestra, la cantidad aproximada que se genera por cada litro de mezcal producido, además se presentan los datos aproximados de consumo de materia prima.

Tabla 1. Cantidad de residuos e insumos por litro de mezcal producido.

Residuo	Cantidad generada	Consumo
Pencas de agave	Del 30 – 50 % del peso total de agave	-
Bagazo	Entre 7 – 15 kg / L	-
Vinaza	Entre 10 – 15 kg / L	-
Agave	-	15 a 20 kg / L
Leña	-	7 a 8 kg / L
Agua	-	20 L

De acuerdo con la Tabla 1, estos volúmenes representativos adquieren una relevancia ambiental al considerar la escala de la industria mezcalera en Oaxaca, que supera los 12 millones de litros anuales a nivel nacional.

El balance energético considera el consumo de leña como fuente principal de energía térmica y la conversión de energía química en calor para la cocción y destilación.

#### Consumo energético y emisiones:

El consumo energético y las emisiones asociadas se estimaron considerando un consumo de leña de entre 7 y 8 kg por litro, con un poder calorífico de 14.49 MJ/L, lo que representa una energía aportada en el rango de 101.43 a 115.92 MJ/L. Esta energía cubre una demanda térmica total estimada de 10 a 15 MJ, bajo una eficiencia de combustión aproximada de 75 % para la leña y de 92 % para las briquetas. En cuanto a las emisiones, la combustión de leña presenta un factor de emisión de 1.84 kg CO<sub>2</sub>e/kg de leña, mientras que la combustión de briquetas registra un factor de emisión de 1.51 kg CO<sub>2</sub>e/kg de briketa.

Tabla 2. Cálculo de emisiones de CO<sub>2</sub>

Fuentes de emisión	Factor de emisión (kgCO <sub>2</sub> e/kg)	Combustible (kg/L)	Producción Anual 2023 (L)	Emisión anual (tCO <sub>2</sub> e)
Leña	1.84	7	11,078,112	142,686.08
Briquetas de bagazo	1.51	0.109	11,078,112	1,823.35

La Tabla 2, presenta el cálculo las emisiones teóricas generadas de CO<sub>2</sub> con base en la cifra de producción de mezcal artesanal registrada por el Consejo Mexicano Regulador de la Calidad de Mezcal (COMERCAM) en Oaxaca 2023. Se percibe una reducción de emisiones hasta en un 98 %.

#### Características de los residuos:

A continuación, se describen las características propias de cada uno de los tres residuos obtenidos de la producción de mezcal.

**Pencas de agave:** El proceso de jima, es esencial para la producción de mezcal, implica la eliminación de las pencas de agave para obtener la parte con mayor concentración de azúcares, asegurando así una mejor calidad del producto final. Estas pencas, representan entre el 30% y el 50% del peso total de la planta. La base de las hojas o pencas de agave almacenan polisacáridos de fructosa (Inulina de agave) como principal carbohidrato (Robles-Arias *et al.*, 2024), además poseen una riqueza en celulosa, hemicelulosa y lignina, se clasifican como “residuos lignocelulósicos” y son considerados valiosos para la producción de biocombustibles y otros derivados, como celulosa y materiales nano celulósicos (Ana M. Avila-Galván *et al.*, 2024; Contreras-Hernández *et al.*, 2018; Pérez-Zavala *et al.*, 2020)

A pesar de estas características atribuibles a las pencas de agave, en la cadena productiva agave- mezcal, suelen abandonar este residuo en el campo optando por un ciclo natural de descomposición para que estas se reintegren en el suelo, sin embargo, resulta ser un proceso lento con potencial peligro ambiental que podría ser reservorio de microorganismos patógenos y parásitos (Montañez-Soto *et al.*, 2011; Pérez-Zavala *et al.*, 2020).

**Bagazo:** El bagazo es el material residual que resulta de la extracción de los azúcares fermentables durante la producción de mezcal artesanal, compuesto por las fibras restantes de las piñas de agave, generan lixiviados, los cuales por tener un pH aproximadamente de 4.6, provocando trastornos en los suelos, impidiendo que los nutrientes se fijen en este ocasionando erosión (Mateo *et al.*, 2021).

**Vinaza:** Las vinazas mezcaleras son un problema ambiental que se ha acentuado significativamente en los años recientes (López-Covarrubias & Aguilar-Juarez, 2023), califican como efluentes agresivos con alta carga orgánica y sales, al descargarse en cuerpos de agua o suelos puede tener un impacto negativo en el ecosistema (González *et al.*, 2012),

debido a que es un subproducto con un pH ácido, suelen ser desechadas sin ningún tipo de tratamiento, afectando su fertilidad y contribuyendo a la degradación ambiental, dañando mantos freáticos, ríos y arroyos (Mateo *et al.*, 2021); así como, mortalidad de flora endémica y fauna silvestre, déficits de oxígeno disuelto, eutrofización en cuerpos de agua y fitotoxicidad para plantas y cultivos (J. M. V. Cortés *et al.*, 2022; González *et al.*, 2018).

Alternativas de aprovechamiento de bajo costo:

En suma, la acumulación de pencas, bagazo y la aplicación de vinazas mediante riego en el suelo provocan modificaciones en las propiedades físicas, químicas y bioquímicas de este. El cambio inicial se manifiesta con la deposición de materia orgánica en la capa superficial y el endurecimiento del suelo. Diversos estudios han reportado efectos como la compactación y la reducción de permeabilidad, por tanto, los efectos derivados de la aplicación de estos residuos al suelo varían en función de factores como la cantidad aplicada, el tipo de suelo, entre otras (Moran-Salazar *et al.*, 2016; Zelaya-Benavidez *et al.*, 2021). Por otra parte, la falta de aprovechamiento de estos residuos representa una pérdida de recursos potenciales valiosos para la económica local.

Desde una perspectiva económica, el manejo inadecuado de residuos implica costos ocultos para los productores (limpieza, remediación, posibles sanciones ambientales) y la comunidad (afectación a la salud, pérdida de productividad agrícola). Por tanto, la valorización de estos residuos como subproductos puede traducirse en ahorros e ingresos adicionales.

Para ello se proponen tres alternativas para producir un producto de valor a partir de los desechos de la producción artesanal de mezcal, considerando accesibilidad económica.

**Briquetas a base de bagazo:** La fabricación de briquetas a partir de bagazo surge como una alternativa con beneficios ambientales y económicos. Debido a la accesibilidad que proporciona para sustituir parcialmente la leña utilizada en la producción, reduciendo la presión sobre los recursos forestales y las emisiones de Dióxido de carbono CO<sub>2</sub>. Una inversión en equipos para la producción de briquetas podría ser recuperable a mediano plazo, especialmente si se implementa a escala continua. Aproximadamente se utilizan 7 kg de leña para la producción de 1 litro de Mezcal, aproximadamente \$ 14.28 pesos por kg es decir una inversión de casi cien pesos por un litro, por otra parte, el bagazo es materia prima disponible con un costo adicional de \$ 1.20 por concepto de aglutinante (papel o cartón). Las briquetas elaboradas a base de bagazo presentan un alto poder calorífico y una baja emisión de contaminantes, lo que las convierte en una opción para cubrir las necesidades energéticas de la destilación del mezcal, reduciendo aproximadamente hasta un 98 % las emisiones de CO<sub>2</sub> (Contreras *et al.*, 2023).

**Co-compostaje con residuos orgánicos:** El co-compostaje de vinazas con residuos orgánicos sólidos, preferentemente agrícolas y agroindustriales, emergen como una estrategia de bajo costo para la remediación y mejora edáfica, aportando propiedades fertilizantes cruciales para suelos en zonas áridas. Resulta especialmente pertinente en contextos rurales donde la implementación de tecnologías más sofisticadas se ve limitada por su alto costo y la necesidad de personal especializado (A. R. Cortés & Hernández, 2017). El proceso técnico implica la mezcla equilibrada de las vinazas con materia orgánica en este caso bagazo que actuara como soporte fibroso, y su gestión en pilas aireadas que aseguran una ventilación y humedad óptimos para fomentar la actividad microbiana. Por tanto, el control adecuado de estos residuos puede convertirlos en un producto que aporta nutrientes de manera correcta al suelo, además dependiendo del nivel de producción pudiese representar un ingreso extra la venta y comercialización de este subproducto (Zelaya-Benavidez *et al.*, 2021).

**Forraje para animales:** Las pencas, tradicionalmente son abandonadas en el campo de cultivo, esperando su ciclo natural de descomposición para fertilizar la tierra, sin embargo, como se menciona anteriormente resulta ser un proceso lento. Por lo que la transformación de este residuo en alimento para animales resulta es una estrategia que aporta valor económico y fomenta la economía circular (Ana M. Avila-Galván *et al.*, 2024). La elaboración de forraje a partir de pencas de agave comprende su corte en fragmentos pequeños, seguido de un proceso de fermentación anaerobia (ensilaje) durante 30 días en contenedores herméticos. Este método disminuye el pH, mejora la palatabilidad y digestibilidad del alimento, preservando la mayoría de los nutrientes esenciales para el ganado (Estrada Maya & Weber, 2022). La eficiencia en la reducción de contaminantes ambientales depende directamente del aprovechamiento y transformación del residuo, contribuyendo de esta forma a la disminución de acumulación de residuos en zonas rurales.

## Discusión

Los resultados muestran que, aunque existen alternativas para el aprovechamiento de los residuos del mezcal, su adopción es aún limitada por barreras técnicas, económicas y de conocimiento entre los productores. La literatura coincide en que la integración de estrategias de valorización puede reducir significativamente el impacto ambiental y generar benéficos económicos (Ana M. Avila-Galván *et al.*, 2024; Pérez-Zavala *et al.*, 2020).

Futuras líneas de investigación deben enfocarse en la optimización de procesos de valorización, el análisis de mercados para productos derivados de residuos y la evaluación integral de impacto ambiental y económico. El desarrollo de indicadores específicos permitirá monitorear el avance y orientar la toma de decisiones hacia una producción de mezcal sostenible. Cada uno de los desechos presentados cuentan con diversas alternativas algunas más exploradas que otras y variaciones en cuanto a costos de inversión, el presente artículo se enfoca en identificar las que resulten económicamente viables para pequeños productores. Y se prevén los siguientes resultados favorables en cada alternativa propuesta.

Durante la jima para la obtención de la piña de agave se desaprovechan las pencas que son las hojas que recubren a la piña, estas normalmente son abandonadas en el campo de cultivo, generando posible contaminación ambiental. La propuesta de utilizarse para abono no es del todo negativa, simplemente es que necesita las condiciones correctas y controladas para poder obtener la mejor eficiencia posible y/o en este caso, utilizarse para una nueva función, como generar alimento para animales, esta práctica no solo disminuye la cantidad de residuo generado, si no también representa un ingreso adicional para el productor y/o reducción de costos para quienes crían ganado (Ana M. Avila-Galván *et al.*, 2024). El porcentaje de reducción de este contaminante estaría en dependencia directa del porcentaje de aprovechamiento y transformación. Para potenciarlo, es clave ofrecer capacitación y acceso a tecnologías adecuadas.

Por otra parte, se generan alrededor de 15 kg de Bagazo por cada litro de mezcal producido, tomando en consideración la producción anual, se estaría presentando más de cien millones de este desecho. De 15 kg de bagazo se pueden obtener alrededor de 67 briquetas de bagazo con una composición de 60 % bagazo y 40 % aglutinante. De acuerdo con diversas investigaciones las briquetas con esta composición tienen un eficiencia de combustión promedio de 92 % mientras que la combustión de leña se sitúa en un 75 %, por lo que, en primer lugar, se aprovecharía el desecho para convertirlo en un subproducto que ayudara para eliminar o disminuir el uso de leña, en segundo lugar, se reduce la contaminación ambiental al aprovecharlo como subproducto, y por último disminuye en gran medida las emisiones generadas de CO<sub>2</sub> hasta en un 98 %.

Ahora bien, las propuestas se encuentran alineadas unas con otras, para lograr una cadena donde se provechen completamente los desechos, transformándolos en uno u otro subproducto, por lo que, la alternativa del compostaje de vinaza con materia orgánica que puede ser el mismo bagazo bajo condiciones controladas, es posible minimizar o eliminar las características contaminantes de estos y volverlos fertilizante orgánico con alta efectividad. Se obtienen aproximadamente 15 litros de vinaza por litro de mezcal producido, y como se menciona anteriormente este líquido recalcitrante genera complicaciones en el suelo si es vertido sin tratamiento previo, sin embargo, con las dosis adecuadas y la correcta aireación está en conjunto de bagazo podría convertirse en un subproducto útil para el productor, al ser un subproducto comercializable, este representaría ingresos tras su venta. De igual forma el agua residual restante puede pasar por un proceso de filtración común y reutilizarse en cuestiones básicas del proceso o bien llevando a cabo una inversión mayor se puede implementar un sistema de filtración mediante osmosis inversa, ampliamente aplicado en purificar la sal de mar, actualmente existen diversos sistemas adaptados para procesar ciertos litros, esto sería funcional para utilizar el agua limpia para alguna de las fases del proceso principalmente en la fermentación.

Por tanto, las alternativas propuestas, no solo serán beneficiosas reducir la contaminación generada por los desechos del proceso artesanal de mezcal, al tener un enfoque hacia el pequeño productor, también estarían abriendo la posibilidad de adquisición económica mediante la comercialización de los subproductos. De igual forma, se precisa necesario hacer del conocimiento de los productores todo lo que conlleva su proceso en cuestión ambiental para generar conciencia.

## Conclusiones

La gestión integral y valorización de los residuos generados en la producción artesanal de mezcal presentan una oportunidad clave para reducir el impacto ambiental y fortalecer la sostenibilidad del sector. La adopción de alternativas viables como la fabricación de briquetas de bagazo, el co – compostaje de vinazas y la producción de forraje a partir de pencas de agave, mismas que ofrecen características favorables para mejorar la fertilidad del suelo, la diversificación de ingresos y reducción de costos de los productores, por lo que la adopción de estas estrategias en conjunto con la implementación de indicadores, permitirá optimizar el uso de recursos y promover una economía circular en las comunidades mezcaleras. Para ello se requiere fortalecer la capacitación técnica de los productores, acceso a tecnologías apropiadas y políticas públicas que fortalezcan la idea de una economía circular. La transición hacia un modelo sostenible de la producción artesanal de mezcal no solo minimizaría impactos ambientales, sino también podría fortalecer la resiliencia económica de las comunidades productoras.

**Agradecimientos y financiamiento:** A la Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación (SECIHTI), por su contribución económica recibida y su compromiso con la investigación.

## Bibliografía

- Aguilar-Juarez, O., & López-Covarrubias, M. (2023). Tratamiento de vinazas tequileras a partir de biochar derivado de bagazo de agave. *Tendencias en Energías Renovables y Sustentabilidad*, 2(1), 327–333. <https://doi.org/10.56845/terys.v2i1.374>
- Ana M. Avila-Galván, Morales-Castro, J., Ruíz-Leza, H. A., Manzanares-Meza, O. A., Morales-Contreras, B. E., Guerra-Rosas, M. I., & Rosas Flores, W. (2024). La segunda vida del agave: Nuevas aplicaciones para residuos agroindustriales de las industrias del tequila y mezcal. *Frontera Biotecnológica*, 29, 34–43. <https://www.revistafronterabiotecnologica.cibatlaxcala.ipn.mx/volumen/vol29/pdf/vol-29L-4.pdf>
- Contreras, E. H., Cruz, J., & Benavides, L. M. (2023, septiembre). Valorización energética de briquetas de agave mezcalero. *CIIDIR Unidad Oaxaca*, 7(Especial), 07–16. <https://www.ciidiroaxaca.ipn.mx/assets/files/ciidiroaxaca/sites/cccto/docs/publicaciones/cccto-vol7-num-especial-agave-2023.pdf>
- Contreras-Hernández, M. G., Ochoa-Martínez, L. A., Rutiaga-Quiñones, J. G., Rocha-Guzmán, N. E., Lara-Ceniceros, T. E., Contreras-Esquivel, J. C., Prado Barragán, L. A., & Rutiaga-Quiñones, O. M. (2018). Effect of ultrasound pre-treatment on the physicochemical composition of *Agave durangensis* leaves and potential enzyme production. *Bioresource Technology*, 249, 439–446. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2017.10.009>
- Cortés, A. R., & Hernández, C. de la C. (2017, diciembre). El mezcal, su producción y tratamiento de residuos. *Alianza y Tendencias*, 2(8), 10–14. <https://zenodo.org/records/5083893>
- Cortés, J. M. V., Zuñiga, M. A. G., & Ordoñez, L. A. U. (2022). Proceso de biofiltración anaerobia con cama orgánica e inorgánica tratando vinazas de mezcal: Fase de formación de biopelícula. *Tendencias en Energías Renovables y Sustentabilidad*, 1(1), 23–24. <https://doi.org/10.56845/terys.v1i1.129>
- 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/ii.25940732e.2022.23.2.009>
- González, V. R., Mayer, J. G., Seijas, N. R., & Varaldo, H. M. P. (2012). Treatment of mezcal vinasses: A review. *Journal of Biotechnology*, 157(4), 524–546. <https://doi.org/10.1016/j.jbiotec.2011.09.006>
- González, V. R., Varaldo, H. M. P., Mayer, J. G., & Ordaz, N. R. (2018). Combined treatment of mezcal vinasses by ozonation and activated sludge. *Water Environment Research*, 90(11), 1985–1996. <https://doi.org/10.2175/106143017X15054988926433>
- Iñiguez-Covarrubias, G., Díaz-Teres, R., Sanjuan-Dueñas, R., Anzaldo-Hernández, J., & Rowell, R. M. (2001). Utilization of by-products from the tequila industry. Part 2: Potential value of *Agave tequilana* Weber azul leaves. *Bioresource Technology*, 77(2), 101–108. [https://doi.org/10.1016/S0960-8524\(00\)00167-X](https://doi.org/10.1016/S0960-8524(00)00167-X)
- Liria, M. G., Davidson-Hunt, I. J., & Robson, J. P. (2022). Artisanal products and land-use land-cover change in Indigenous communities: The case of mezcal production in Oaxaca, Mexico. *Land*, 11(3), 387. <https://doi.org/10.3390/land11030387>
- Mateo, P. S., Sánchez, R. M. V., Velázquez, J. G., & Flores, A. R. (2021). Adobes sustentables a partir de los desechos de la producción de mezcal. *Revista Global de Negocios*, 9(1), 45–59. [https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract\\_id=3942093](https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=3942093)
- Montañez-Soto, J., Venegas-González, J., Vivar-Vera, M., & Ramos-Ramírez, E. (2011). Extracción, caracterización y cuantificación de los fructanos contenidos en la cabeza y en las hojas del *Agave tequilana* Weber Azul. [Revista sin datos de volumen ni editorial], 23(3).
- Moran-Salazar, R. G., Sanchez-Lizarraga, A. L., Rodriguez-Campos, J., Davila-Vazquez, G., Marino-Marmolejo, E. N., Dendooven, L., & Contreras-Ramos, S. M. (2016). Utilization of vinasses as soil amendment: Consequences and perspectives. *SpringerPlus*, 5(1), 1007. <https://doi.org/10.1186/s40064-016-2410-3>
- Pérez-Zavala, M. D. L., Hernández-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>
- Robles-Arias, M., Guzmán-Rodríguez, F., & Cruz-Guerrero, A. (2024). Evaluation of the suitability of *Agave salmiana* leaves for fructooligosaccharides recovery. *ACS Food Science & Technology*, 4(7), 1626–1631. <https://doi.org/10.1021/acfoodsctech.3c00668>
- Zelaya-Benavidez, E. A., Martínez-Gutiérrez, G. A., Escamirosa-Tinoco, C., & Morales, I. (2021). Vinazas de mezcal y su efecto biofertilizante en el rendimiento de hortalizas. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 8(3), 12. <https://doi.org/10.19136/era.a8n3.3159>