

Parte II

Innovación hacia la alimentación sostenible

Innovación alimentaria a partir de residuos de la producción de mezcal en Oaxaca

María del Carmen Avendaño-Rito¹

Laura Victoria Aquino-González²

Adrián Martínez Vargas³

<https://doi.org/10.61728/AE20254452>



¹ Instituto Tecnológico de Valle de Etla, Departamento de Ciencias Administrativas Abasolo S/N Paraje Cañada Grande, Barrio del Agua Buena, Santiago Suchilquitongo, C.P. 68230, Oaxaca. E-mail: maria.ar@itvalletla.edu.mx, Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-6839-0963>

² Instituto Politécnico Nacional. CIIDIR Unidad Oaxaca, Hornos #1003 Col. Noche Buena Santa Cruz Xoxocotlán, C.P.71230, Oaxaca, México. E-mail: laquino@ipn.mx, Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-8438-9791>

³ Instituto Tecnológico de Valle de Etla, Departamento de Ciencias Administrativas. Abasolo S/N Paraje Cañada Grande, Barrio del Agua Buena, Santiago Suchilquitongo, C.P. 68230, Oaxaca. E-mail: adrian.martinez@itvalletla.edu.mx Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-0896-5195>

Resumen

La industria mezcalera en Oaxaca genera grandes volúmenes de bagazo de *Agave angustifolia* Haw., el cual es un residuo agroindustrial con potencial de valorización en el sector alimentario. El objetivo de este estudio es evaluar la viabilidad como ingrediente funcional en la elaboración de pan tipo chapata. Se empleó un diseño descriptivo-experimental para extraer y caracterizar la harina aislada del bagazo, así como el análisis nutrimental y las propiedades tecnofuncionales en formulaciones panificables. La harina de bagazo presenta alta capacidad de absorción de agua (25 %) en comparación con otras harinas, es una fuente potencial de fibra cruda (celulosa 14.2 %, lignina 11.3 %) y azúcares reductores de fácil absorción (7 %). Las formulaciones con 10% de sustitución de harina de bagazo en harina de trigo muestran una miga con consistencia y un producto con aceptación sensorial; un porcentaje superior de sustitución afecta la textura. Por lo tanto, el residuo tiene la capacidad de incorporarse como ingrediente funcional, además de contribuir con la economía circular y fortalecer sistemas agroalimentarios sostenibles.

El aprovechamiento de residuos agroindustriales representa una estrategia innovadora y sostenible para fortalecer la seguridad alimentaria a nivel global. Estos subproductos, que tradicionalmente se consideran desechos, contienen nutrientes valiosos como fibras dietéticas, compuestos fenólicos, proteínas y minerales, que pueden ser recuperados y reutilizados en la formulación de nuevos alimentos funcionales (Salazar-López et al., 2023). Al transformar residuos agroindustriales en ingredientes con valor nutrimental, se contribuye a diversificar la oferta alimentaria, mejorar el perfil nutricional de productos existentes y reducir la dependencia de recursos convencionales, lo cual es fundamental en un contexto de creciente demanda alimentaria y presión sobre los sistemas productivos (Okiyama et al., 2017; Freitas et al., 2021; FAO, 2022; Salazar-López et al., 2023).

La incorporación de subproductos agroindustriales en la formulación de alimentos permite diversificar las fuentes de nutrientes esenciales, como fibra dietética, proteínas y compuestos bioactivos, los cuales contribuyen a mejorar la calidad nutricional de la dieta de poblaciones vulnerables (Gondim et al., 2005). Esta estrategia ha demostrado ser eficaz en el desarrollo de productos funcionales, como panes, galletas, yogures y suplementos alimenticios, que no solo cubren requerimientos nutricionales, sino que también responden a tendencias del mercado orientadas hacia el consumo responsable y la salud preventiva (Salazar-López et al., 2023; Fernandes et al., 2019).

Esta práctica, genera valor agregado a partir de materiales que de otro modo representarían un problema de contaminación y gestión, transformándolos en recursos para la producción de alimentos nutritivos, seguros y accesibles. Por lo tanto, el uso estratégico de residuos agroindustriales no solo contribuye a la seguridad alimentaria mediante la ampliación y mejora de la disponibilidad nutricional, sino que también impulsa prácticas sostenibles alineadas con los Objetivos de Desarrollo Sostenible, particularmente aquellos vinculados al hambre cero y la producción responsable (Zainudin et al., 2022; Doyeni et al., 2023; Freitas et al., 2021).

El aprovechamiento de residuos agroindustriales como el bagazo de maguey (*Agave angustifolia* Haw.) se ha posicionado como una estrategia clave para abordar los desafíos globales de seguridad alimentaria, sostenibilidad ambiental y desarrollo económico (FAO et al., 2022). En México, la industria mezcalera genera más de 59 mil toneladas anuales de bagazo solo en Oaxaca (COMERCAM, 2024), un subproducto que, al carecer de regulación para su disposición, representa un problema de contaminación por su alta carga orgánica y acidez (Avendaño et al., 2024); por ejemplo, Espinoza Meza et al. (2017) señalan que la producción de mezcal en Matatlán, Oaxaca, epicentro de la industria mezcalera en México, genera grandes volúmenes de bagazo como subproducto, el cual carece de un manejo sostenible y sin regulación ambiental que obligue a la disposición del residuo.

De acuerdo con Flores et al., (2020) el impacto más evidente que dejan los residuos del proceso de elaboración del mezcal es la contaminación ambiental, el bagazo proveniente de la molienda es depositado sin tra-

tamiento directamente en el campo, agregando a este la producción de vinazas (Imagen 1) las cuales al no ser tratadas se convierten en lixivios que pueden provocar contaminación al manto acuífero además de gases efecto invernadero (Zainudin et al., 2022). Por lo que es necesario encontrar una adecuada disposición del residuo del bagazo de maguey para evitar mayores impactos al ecosistema.

Imagen 1. *Vinazas de los residuos sólidos del bagazo de Agave*



Fuente: Colectivo Bagatech

De acuerdo a Avendaño et al. (2023), a este tipo de residuos se les denomina “residuos de procesos, como son melazas, cáscaras, vástago, semilla, hojas, pulpa, bagazos, rastrojos y raíces que quedan después de la transformación del producto final, los cuales se han transformado para darles diferentes usos” (p. 3). Por ejemplo, la industria de la cerveza genera toneladas de residuos y cuenta con aporte nutricional. En este sentido, Demilta y Tagliaferro Costa (2024) encontraron que el bagazo de cerveza puede transformarse en barras de cereal con alta aceptación sensorial. Esto se corrobora con el proyecto ImpacTaste, lanzado por la corporación cervecera Hijos de Rivera y la empresa de alimentos Blendhub, para reutilizar el bagazo de cebada en la innovación alimentaria. Resultado: seis propuestas que van desde snacks, pan hasta bebidas energéticas (Techpress, 2024), por lo que surge la siguiente pregunta de investigación: ¿Cómo se puede valorizar el bagazo de maguey en la industria alimentaria?

Evidencias recientes demuestran que residuos agroindustriales como cáscaras y bagazos pueden transformarse en aditivos funcionales (Ha-

didi et al., 2020; Chua et al., 2020; Lasunon y Sengkhamparn, 2022). Estudios como el de Ivanov et al. (2025) confirman este potencial, al demostrar que harinas derivadas de semillas de uva contienen altos niveles de polifenoles (60-85 mg GAE/g) con propiedades antioxidantes, estableciendo un precedente para la valorización de subproductos. En este contexto, el bagazo de maguey (*Agave angustifolia* Haw.) emerge como un recurso promisorio, destacando por su contenido de fibra cruda (25 %) y saponinas (2 %) con capacidad emulsionante (Avendaño et al., 2024). Sin embargo, pese a estas características, su aplicación sistemática como ingrediente alimentario sigue siendo limitada. Ante esta brecha, la presente investigación busca evaluar el desarrollo de un subproducto de bagazo de maguey, centrándose en su capacidad tecnofuncional (específicamente absorción de agua) y su viabilidad en matrices de panificación.

Este estudio busca contribuir al campo de la innovación alimentaria mediante la revalorización de un residuo abundante y poco aprovechado como el bagazo de *Agave angustifolia* Haw., evaluando su desempeño como ingrediente funcional en productos panificados. El principal aporte de esta investigación radica en demostrar su viabilidad tecnológica en formulaciones reales, aportando evidencia sobre sus propiedades funcionales y su potencial de integración en cadenas productivas sostenibles.

Antecedentes

El manejo y disposición de residuos agroindustriales se ha convertido en un tema central dentro de las agendas de sostenibilidad alimentaria, ambiental y económica. En el contexto actual de cambio climático, aumento de la población y presión sobre los recursos naturales, las estrategias orientadas al aprovechamiento de subproductos agroindustriales cobran relevancia por su potencial para transformar pasivos ambientales en activos productivos (FAO, 2022). Según Freitas et al. (2021), el uso de residuos como materias primas para el desarrollo de nuevos productos representa una vía eficaz para promover una industria alimentaria más sostenible y resiliente. Este enfoque contribuye a la economía circular, al mismo tiempo que impulsa la innovación tecnológica en la formulación de alimentos funcionales.

En las últimas décadas, la valorización de residuos agroindustriales ha cobrado relevancia como una estrategia sustentable para enfrentar desafíos en seguridad alimentaria, sostenibilidad ambiental y economía circular. Diversos estudios han demostrado que estos subproductos, tradicionalmente considerados desechos, contienen compuestos bioactivos con alto valor nutrimental y propiedades tecnofuncionales, lo que los convierte en ingredientes viables para el desarrollo de alimentos funcionales (Tabla 1).

Tal es el caso del okara, residuo de la soya, que ha sido aprovechado en la elaboración de snacks extrudidos debido a su contenido proteico (30 %) y perfil de aminoácidos esenciales (Asghar et al., 2023), o del bagazo cervecero, cuyas fibras y proteínas han sido incorporadas en barras de cereal con niveles de aceptación sensorial superiores a 7.5 en una escala de 9 puntos (Demilta y Tagliaferro, 2024). La innovación en el tratamiento de residuos agroindustriales sigue tendencias globales hacia procesos más sostenibles. Ejemplo de ello es el estudio de Aswathi y Murthy (2024), quienes demostraron que métodos innovadores pueden extraer compuestos bioactivos y mejorar propiedades tecnofuncionales de la cascarilla de café.

Asimismo, el aprovechamiento de residuos como la cáscara de cítricos, rica en polifenoles, pectinas y aceites esenciales, ha mostrado eficacia como conservador natural por su acción antioxidante y antimicrobiana (Wedamulla et al., 2022), mientras que subproductos de frutas como la cáscara de mango y cítricos han permitido la recuperación de hasta un 90 % de compuestos fenólicos con alta capacidad antioxidante (Salazar-López et al., 2023). La transformación de estos residuos en harinas o aditivos alimentarios ha mostrado resultados prometedores en términos de funcionalidad. Por ejemplo, la harina de bagazo de maguey (*Agave Angustifolia* Haw) no solo presenta una alta proporción de fibra (14 % celulosa, 11 % lignina), sino que mejora la absorción de agua (25 %) y la elasticidad de las masas panificables (Avendaño et al., 2024). Estos antecedentes confirman el potencial de los residuos agroindustriales para innovar en la formulación de productos alimenticios más nutritivos, accesibles y ambientalmente responsables.

Tabla 1. Formas de valorización del residuo de cascara, semillas y bagazos de acuerdo a la literatura

Residuo	Producto alimentario	Aplicación/ Propiedad	Hallazgos clave	Referencia
Bagazo de maguey (Agave angustifolia)	Harina para panificación	Fibra (14 % celulosa, 11 % lignina)	Mejora absorción de agua (25 %) y elasticidad en masas.	Avendaño et al. (2024);
Pulpa de manzana	Yogur fortificado	Fibra y antioxidantes	+30% fibra, mejora perfil prebiótico (in vitro).	Fernandes et al. (2019)
Cáscaras de frutas (cítricos, mango)	Mermeladas, jugos	Pectina y polifenoles	Recuperación >50 % de fenoles con actividad antioxidante (DPPH: 80-90%).	Salazar-López et al. (2023)
Semillas de uva	Harina de semilla de uva	Antioxidantes (proantocianidinas)	Alto contenido de polifenoles (60-85 mg GAE/g en extractos), especialmente proantocianidinas (80% del total).	Ivanov et al. (2025)
Bagazo de cerveza	Barras de cereal	Fibra y proteína	Aceptación sensorial >7.5/9.	Demilta & Tagliaferro (2024)
Okara (soja)	Snacks extrudidos	Proteína (30 %)	Proteína (25-30 %): Rica en aminoácidos esenciales (lisina, leucina)	Asghar et al. (2023)

Residuo	Producto alimentario	Aplicación/ Propiedad	Hallazgos clave	Referencia
Cascarilla de cacao	Chocolate	Polifenoles	Reduce oxidación en 20 %.	Okiyama et al. (2017)
Subproductos del café pulpa de café, cáscara, piel plateada y café gastado	Harina para repostería	Altos contenidos fenólicos, propiedades tecnofuncionales, como la capacidad de retención de agua.	Mejorar la textura, viscosidad o estabilidad en productos como pan, galletas.	Aswati y Murthy (2024)
Cascaras de cítricos	Agentes espesantes	Fuente abundante de compuestos valiosos: polifenoles, pectinas, proteínas, pigmentos, fibra dietética y aceites esenciales	Conservadores funcionales debido a la acción antioxidante y antimicrobiana	Wedamulla et al. (2022)

Fuente: Elaboración propia con base en los hallazgos de los autores.

La Industria del mezcal en Oaxaca y su impacto socioeconómico y ambiental

Contexto histórico y tradición del mezcal

El cultivo de agave para la producción de mezcal, regulado por el Consejo Regulador del Mezcal (COMERCAM), se extiende en nueve estados mexicanos con Denominación de Origen (DO): Oaxaca, Guerrero, Durango, San Luis Potosí, Zacatecas, Guanajuato, Michoacán, Tamaulipas y

Puebla. Esta actividad genera aproximadamente 17 000 empleos directos y 70 000 indirectos, consolidándose como un pilar socioeconómico en regiones rurales (Palma et al., 2016). Entre estos estados, Oaxaca destaca como el principal productor, aportando más del 90 % del volumen nacional (COMERCAM, 2024).

México alberga una riqueza biocultural única en agaves, con 159 especies registradas por la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO). De estas, 125 especies son aptas para la producción de mezcal (COMERCAM, 2022). El maguey espadín (*Agave angustifolia* Haw) domina la industria, representando el 88.11 % de la materia prima utilizada en 2021, debido a su alta productividad y adaptabilidad en cultivos controlados. Otras variedades, como el tobalá (*Agave potatorum*) o el arroqueño (*Agave americana*), aunque menos abundantes, son valoradas por sus perfiles sensoriales distintivos en mezcales artesanales.

La producción de mezcal en Oaxaca es una actividad ancestral que forma parte de la identidad cultural y económica de la región. El agave (*Agave* spp.), especialmente variedades como *Agave angustifolia* Haw (espadín) y *Agave potatorum* (tobalá), es la materia prima fundamental para su elaboración (Espinosa Meza et al., 2017). Este proceso, que combina conocimientos tradicionales con técnicas artesanales, ha permitido la preservación de prácticas únicas transmitidas por generaciones, consolidando a Oaxaca como el principal productor de mezcal en México.

Importancia económica y social de la industria mezcalera

La industria mezcalera es un motor económico clave para Oaxaca. Según datos de la COMERCAM (2024), en 2022 se produjeron 14.1 millones de litros de mezcal a nivel nacional, de los cuales Oaxaca contribuyó con el 91.31 %, beneficiando directamente a 22 municipios productores y generando empleos en zonas rurales; esta actividad no solo sustenta a familias enteras, sino que también fomenta el desarrollo comunitario a través de la comercialización local y global de un producto con denominación de origen (DO). La industria del mezcal en Oaxaca no solo es un

pilar cultural, sino también económico, contribuyendo significativamente al empleo y desarrollo regional. Moctezuma et al. (2023) destacan que “esta actividad representa el 91 % de la producción nacional de mezcal, generando empleos directos e indirectos en zonas rurales, lo que refuerza su relevancia como motor socioeconómico en el estado” (p. 538).

Generación de residuos y su impacto ambiental

El proceso de elaboración del mezcal genera grandes volúmenes de bagazo (fibra residual del agave después de la fermentación y destilación). Se estima que por cada litro de mezcal producido, se generan 5.63 kg de bagazo húmedo (COMERCAM, 2024), lo que representa más de 59 000 toneladas anuales solo en Oaxaca (Tabla 2).

Tabla 2. Generación de Bagazo por Litro de Mezcal

Etapa	Residuo generado	Cantidad (kg por litro de mezcal)
Molienda	Bagazo húmedo	5.63 (base húmeda)
Fermentación	Bagazo fermentado	2.10 (base seca)
Destilación	Bagazo agotado	1.80 (sin nutrientes)

Fuente: Elaboración propia adaptado de COMERCAM (2024) y Avendaño et al. (2024).

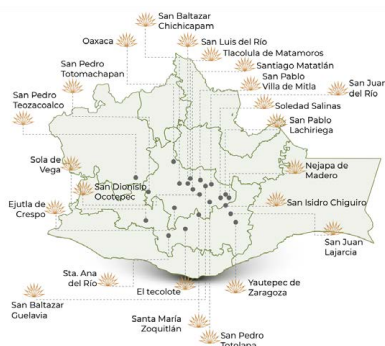
Este residuo no se encuentra en la norma por lo que no hay obligación de disponerlo en un lugar especial y, al no contar con un manejo adecuado, provoca:

1. Contaminación por lixiviados: Acidez y compuestos orgánicos que degradan suelos y fuentes de agua (Flores et al., 2020)
2. Emisiones de metano (CH₄): Por descomposición anaeróbica en vertederos (Zainudin et al., 2022).
3. Pérdida de recursos potenciales: El bagazo contiene fibra dietética (25 %), saponinas (2 %) y compuestos bioactivos aprovechables (Avendaño et al., 2024).

Proceso de elaboración del mezcal y comunidades mezcateras de Oaxaca

El mezcal artesanal se elabora mediante un proceso tradicional que involucra varias etapas manuales y rústicas, profundamente arraigadas en la cultura productiva de las comunidades mezcateras de Oaxaca (figura 2). Donde la mayor producción de esta se centra en Santiago Matatlán, llamada “capital mundial del mezcal”, ya que produce aproximadamente el 60% de todo el mezcal comercializado en Oaxaca (Rito-Salinas, 2022).

Figura 2. Comunidades mezcateras de Oaxaca



Fuente: Palma et al., (2016) *Nota:* la figura muestra las principales zonas productoras de mezcal en Oaxaca.

Proceso de elaboración del mezcal

La jima o corte de las piñas de maguey se realiza manualmente con herramientas como la “coa”, seguida de una cocción lenta en hornos de pozo con piedras volcánicas, que puede extenderse por varios días. Posteriormente, las piñas cocidas se muelen utilizando tahonas, mazos o trapiches para extraer los azúcares fermentables. Esta pulpa húmeda se traslada a tinajas o recipientes de madera y barro, donde inicia la fermentación natural, frecuentemente con inclusión del bagazo. Finalmente, el líquido fermentado se destila en alambiques de cobre o barro mediante

fuego directo, realizando comúnmente una doble destilación para alcanzar la calidad deseada. Cada una de estas etapas genera residuos orgánicos con características particulares que, lejos de ser desechos inertes, ofrecen posibilidades de aprovechamiento alternativo. En la tabla 3 se describe cada fase del proceso, los residuos asociados y su potencial de valorización conforme a estudios recientes.

Tabla 3. Proceso de Elaboración de mezcal artesanal y uso de los residuos

Etapa	Método Tradicional	Residuos Generados	Cantidad Aprox.	Aprovechamiento	Autores
1. Selección y Corte (Jima)	Manual con “coa” (herramienta de metal).	Pencas (hojas)	30-50 kg por piña	Artesanías, compost, biocombustibles.	Palma et al. (2016)
2. Cocción	Horno de pozo (3-5 días, piedras volcánicas).	Hojas carbonizadas, cenizas.	5-10 kg por hornada	Abono mineral, filtros naturales.	García-Méndez et al., (2023)
3. Molienda	Tahona (rueda de piedra), mazo, trapiche.	Bagazo húmedo (fibra + jugo).	5.63 kg por litro de mezcal	Harina alimentaria extracción de saponinas.	Avendaño et al. (2023)
4. Fermentación	Tinas de madera/barro (3-10 días).	Bagazo fermentado, lixiviados.	2.1 kg (base seca)	Suplemento forrajero	Ferrari et al., 2017
5. Destilación	Alambique de cobre o barro (doble destilación).	Bagazo agotado, vinazas.	1.8 kg	Compost, biogás. Biocompuestos Alimento para rumiantes. Aditivo alimenticio para panificación	Salaazar-López et al. (2023) García-Méndez et al., (2023) Avendaño-Rito et al., (2023)

Fuente: Elaboración propia con base en los autores.

Como se observa en la tabla 3, cada etapa del proceso artesanal de elaboración del mezcal genera residuos con características fisicoquímicas particulares y un alto potencial de aprovechamiento. El bagazo de maguey,

en sus distintas formas (húmedo, fermentado o agotado), destaca por su abundancia y contenido funcional, lo cual ha motivado su estudio como insumo alternativo en la industria alimentaria.

Metodología

Diseño de investigación

El diseño de esta investigación es de tipo experimental, desarrollado en etapas complementarias como lo realizaron Quintero et al., (2021) que va desde la recolección de residuo de agave hasta la elaboración del producto.

Obtención de harina de bagazo de maguey

La harina de bagazo de maguey se obtiene a partir de los residuos de pulpa adheridos a las fibras. El proceso de obtención de harina se describe en la tabla 4 y figura 3, los procesos unitarios aplicados para la obtención de la harina inician con el secado, la molienda y el tamizado de acuerdo con lo realizaron en su investigación Avendaño et al., (2024).

Recolección: para la obtención de harina se recolectaron 10 kilogramos de bagazo de agave residual el cuál fue donado para esta investigación por el Palenque de Mezcal Mal de Amor ubicado en Santiago Matatlán. La humedad proximal del bagazo residual se encuentra en un rango de 75 a 80 %.

Secado, separación y molienda de la pulpa residual: El bagazo fresco se depositó en un secador solar marca Hechizo a una temperatura controlada de 35-40°C durante 4 días, reduciendo su humedad del 75-80% a niveles óptimos para su procesamiento. Posteriormente, mediante fricción mecánica, se separó la pulpa residual, la cual fue triturada en un molino pulverizador con malla de 100 mesh (150 µm) para homogenizar el tamaño de partícula. Este protocolo, alineado con lo reportado por Aswathi y Murthy (2024) para el procesamiento de pulpa de café, requirió ajustes precisos en temperatura y tiempo de exposición para preservar

compuestos funcionales clave (fibra dietética, azúcares reductores y antioxidantes), garantizando su viabilidad como ingrediente en matrices alimentarias como la panificación.

Tamizado: la pulpa residual molida se colocó en un tamiz de 100 mesh para obtener un polvo fino de tamaño de partícula de 150 micras.

Tabla 4. Proceso para la obtención de los residuos finos de agave

Etapa	Protocolo aplicado	Parámetros controlados
Recolección	Bagazo fresco post-molienda de <i>Agave angustifolia</i> Haw.	Humedad inicial estimada entre 75-80%
Secado	Deshidratación en secador solar durante 4 días a 35–40 °C	Medición diaria de pérdida de peso (AOAC 934.06)
Molienda y tamizado	Molino pulverizador con malla tipo mesh 100 (150 μ m)	Control del tamaño de partícula (rango: 149–420 μ m)

Fuente: Elaboración propia.

Figura 3. Proceso para la obtención de residuos finos de agave



Fuente: Elaboración propia. Nota: en esta figura se observan las etapas desde que se recolecta el bagazo para obtener el polvo fino de agave.

Las propiedades tecnofuncionales de la harina de agave se evaluaron a partir de la capacidad de absorción de agua y la gelificación que se obtiene al momento de la panificación lo cual se puede evaluar con el tamaño de miga del pan (tabla 5). La capacidad de absorción de agua de la harina es del 25 %, lo cual es favorable para la hidratación y homogeneidad de las masas. La adición de harina de agave a la harina de trigo facilita su

manejo ya que reduce el esfuerzo durante el amasado y se puede obtener una masa con buena fermentación e hidratación, variables que favorecen en la obtención de pan con una miga de mayor tamaño cualidades de un pan de buena calidad tecnológica y sensorial.

Tabla 5. *Evaluación de propiedades tecnofuncionales*

Propiedad	Método	Referencia
Absorción de agua	Método de capacidad de absorción de agua subjetiva (CAAS): 10 g de harina + agua hasta saturación (mL/10 g).	Flores et al. (2020).
Gelificación	Punto de gelificación en agua destilada (6% w/v, calentamiento a 90°C).	Salazar-López et al. (2023).

Fuente: Elaboración propia con base en los autores

Análisis de resultados

Innovación en panificación funcional a partir de residuos de agave

El desarrollo de pan tipo chapata a partir de residuos de Agave angustifolia Haw representa una propuesta de innovación alimentaria basada en el aprovechamiento de subproductos agroindustriales con potencial funcional y nutracéutico. La harina compuesta utilizada en este estudio fue formulada mediante la incorporación de residuos finos de bagazo, previamente secados y tamizados, que mostraron una composición nutricional destacable, con 3 % de fibra cruda y 7 % de azúcares reductores (Imagen 4). Estas propiedades facilitan la hidratación y fermentación de masas, horneado e incrementan la calidad nutricional, sensorial y tecnológica de los productos panificables.

Imagen 4. Harina de trigo y residuos finos de bagazo

Fuente: Elaboración propia

En pruebas preliminares, los residuos de agave mostraron una alta capacidad de absorción de agua (25 %), lo que obligó a realizar ajustes hídricos en la formulación para mantener la plasticidad de la masa. Se diseñaron tres variantes experimentales con incrementos progresivos de sustitución de harina de trigo por harina de bagazo: 10 %, 20 % y 30 %. Este diseño permitió observar el comportamiento funcional del residuo en diferentes concentraciones, destacando el equilibrio entre beneficios nutricionales y propiedades reológicas.

Durante el amasado, se evidenció que las masas enriquecidas con agave requirieron un 10 % adicional de agua respecto a la receta estándar, resultado coherente con la capacidad de hidratación del residuo. Sin embargo, este aumento también generó una masa con menor elasticidad, atribuida a la interferencia de las fibras en la formación de la red de gluten. Este fenómeno se manifestó con mayor intensidad en las formulaciones con 20 % y 30 % de agave, donde se observaron dificultades en el desarrollo estructural y mayor fragilidad.

En la fase de fermentación, se implementaron ajustes en los tiempos de leudado. La primera fermentación mostró diferencias sustanciales entre masas: la formulación con menor porcentaje de agave (10 %) presentó un leudado más eficiente (25 min), mientras que las de mayor concentración (20 % y 30 %) requirieron hasta 35 minutos para alcanzar un volumen aceptable. Se observaron cambios visuales y sensoriales en

las masas enriquecidas, como un color más oscuro, atribuible tanto a la caramelización de los azúcares presentes como a los pigmentos naturales del bagazo.

En la segunda fermentación, se acentuaron los desafíos tecnológicos. Las masas con mayores porcentajes de agave presentaron dificultades para duplicar su volumen y mostraron grietas superficiales, indicativas de una estructura menos cohesiva. Este comportamiento evidenció la necesidad de reformular o enriquecer el sistema con otros ingredientes funcionales (como mejoradores o enzimas panificables) para preservar la calidad estructural sin sacrificar los beneficios nutrimentales (Imagen 5).

Imagen 5. *Elaboración de la chapata*



Fuente: Elaboración propia

Finalmente, el horneado a 214 °C por 15 minutos en horno de convección permitió obtener panes con integridad física aceptable, aunque con diferencias claras en volumen, textura y color según el nivel de inclusión del bagazo (Imagen 6).

Imagen 6. Chapata horneada

Fuente: Elaboración propia.

Hallazgos

La incorporación de harina de bagazo de *Agave angustifolia* Haw en la elaboración de pan tipo chapata demostró ser una estrategia viable de innovación alimentaria, orientada a la valorización de residuos agroindustriales con potencial funcional, en línea con lo reportado por Avendaño et al. (2024) para este mismo subproducto. A través de formulaciones con distintos niveles de sustitución (10 %, 20 % y 30 %), se evaluó el comportamiento de las masas durante el proceso panadero, identificando efectos directos sobre su estructura y manejabilidad, consistentes con los desafíos técnicos descritos por Salazar-López et al. (2023) en matrices enriquecidas con fibras.

En las formulaciones con 10 % de harina de agave, el pan mantuvo una estructura estable y aceptable para consumo, mientras que los porcentajes superiores (20-30 %) comprometieron la elasticidad, el volumen y la cohesión de la miga. Estos efectos se atribuyen al alto contenido de fibra cruda del bagazo (25 %, Avendaño et al., 2024), que interfiere con la red de gluten, tal como observaron Fernandes et al. (2019) en panes con subproductos de manzana.

La alta capacidad de absorción de agua (25 %) obligó a incrementar la hidratación en un 10 % respecto a la receta estándar. Sin embargo, este ajuste derivó en productos más densos, fenómeno análogo al reportado por Demilta y Tagliaferro (2024) en barras de cereal con bagazo de cerveza. La coloración oscura de las masas enriquecidas se vinculó con la presencia de azúcares reductores (7 %) y pigmentos naturales del bagazo, que favorecen la caramelización durante el horneado, un efecto también descrito por Okiyama et al. (2017) en harinas de cascarilla de cacao.

Estos hallazgos respaldan el uso controlado ($\leq 10\%$) de harina de bagazo como ingrediente funcional, coincidiendo con las recomendaciones de Freitas et al. (2021) para integrar residuos en matrices alimentarias sin comprometer su calidad. La propuesta, además de técnica, tiene relevancia socioeconómica en Oaxaca —donde se generan 59 000 toneladas anuales de este residuo (COMERCAM, 2024)—, ofreciendo una solución alineada con los principios de economía circular (Zainudin et al., 2022).

Discusiones

La elaboración de pan tipo chapata con harina de bagazo de *Agave angustifolia* Haw. Demostró viabilidad técnica en formulaciones con hasta un 10 % de sustitución, mejorando el contenido de fibra y mostrando una capacidad de absorción de agua del 25 %. Este comportamiento tecnofuncional posiciona al bagazo como un mejorador reológico natural dentro de matrices panificables, en concordancia con estudios previos sobre otros residuos agroindustriales (Salazar-López et al., 2023; Fernandes et al., 2019). Sin embargo, al igual que lo reportado en estos trabajos, se observó que concentraciones superiores al 10 % afectan negativamente la textura, reducen el volumen de la miga y generan notas amargas, lo cual impacta la aceptabilidad sensorial. Estos hallazgos subrayan la importancia de dosificar adecuadamente el ingrediente para equilibrar valor funcional y calidad organoléptica.

Desde una perspectiva de sostenibilidad, el aprovechamiento de residuos agroindustriales como el bagazo permite transformar pasivos ambientales en activos productivos. Al integrarse en nuevas cadenas de valor, estos subproductos contribuyen a cerrar ciclos productivos, reducir la huella de carbono y sustituir aditivos artificiales en productos alimentarios (Freitas et al., 2021; Zainudin et al., 2022; Doyeni et al., 2023). Su inclusión en formulaciones saludables, funcionales o gourmet responde a la creciente demanda de alimentos con valor nutricional diferenciado y bajo impacto ambiental.

Además, esta estrategia tiene implicaciones socioeconómicas relevantes: la valorización del bagazo puede generar oportunidades para productores mezcaleros mediante el desarrollo de líneas de panificación

funcional, suplementos o empaques biodegradables. La implementación de microempresas asociadas en zonas de producción, con tecnologías accesibles, facilitaría la creación de subproductos con alto valor comercial para la industria alimentaria, aprovechando bioactivos y compuestos presentes en el residuo que no se encuentran comúnmente en otras fuentes, con la ventaja de que la cadena de valor del mezcal podría ampliarse mediante el aprovechamiento de sus subproductos, generando nuevas fuentes de ingreso (Moctezuma et al. 2023).

Conclusiones

El desarrollo de harina funcional a partir del bagazo de agave representa una estrategia innovadora y sostenible en el ámbito agroalimentario. Los resultados confirman su viabilidad como ingrediente funcional en panificación, particularmente en productos tipo chapata con niveles de inclusión del 5 al 10 %, sin comprometer la integridad estructural ni las propiedades sensoriales del producto.

Este modelo de valorización promueve la economía circular, reduce costos por insumos, disminuye la presión ambiental y fortalece las economías locales mediante la generación de productos con identidad territorial. La harina de bagazo de agave puede considerarse como un insumo emergente para sistemas agroalimentarios resilientes, en consonancia con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS 2, 12 y 13).

Las investigaciones futuras deberán centrarse en los análisis sensoriales para comprobar la viabilidad, caracterizar en profundidad su perfil nutrimental, así como explorar formulaciones sinérgicas con otras harinas funcionales como avena o amaranto que permitan potenciar su funcionalidad, sin comprometer la textura ni el sabor del producto final. Asimismo, se recomienda ampliar el estudio a nuevas matrices alimentarias y validaciones a escala piloto para su inserción en mercados especializados nacionales e internacionales.

El mayor aporte de esta investigación es la validación experimental del bagazo de agave como ingrediente funcional viable para panificación, marcando una ruta concreta de aprovechamiento tecnológico para residuos agroindustriales con potencial nutricional y aplicación práctica en el desarrollo de productos con valor agregado.

Referencias

- Asghar, A., Afzaal, M., Saeed, F., Ahmed, A., Ateeq, H., Shah, Y. A., ... & Shah, M. A. (2023). Valorization and food applications of okara (soybean residue): A concurrent review. *Food science & nutrition*, 11(7), 3631-3640. <https://doi.org/10.1002/fsn3.3363>
- Aswathi, K. N., & Murthy, P. S. (2024). *Pulped natural/honey coffee process: An innovative approach*. Food and Humanity, 100287.
- Avendaño-Rito , M. del C., Aquino-González , L. V., Ríos , P. A. F., Martínez-Vargas , A., & Sarubbi-Baltazar, F. A. (2024). Use of Agave Angustifolia Haw Bagasse Pulp as An Additive Powder For Baking Flour. *Revista De Gestão Social E Ambiental*, 18(8), e07057. <https://doi.org/10.24857/rgsa.v18n8-109>
- Avendaño Rito , M. del C., Aquino González , L. V., & Martínez Vargas , A. (2023). Viabilidad del uso de la pulpa de bagazo de agave angustifolia haw como aditivo de alimentos. *REVISTA IPSUMTEC*, 6(6), 17–25. <https://doi.org/10.61117/ipsumtec.v6i6.48>
- CODEX STAN 152-1985. (2023). *Norma para la Harina de Trigo*. FAO/OMS. <https://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/codex-texts/list-standards/es/>
- Demilta, M. B., & Tagliaferro Costa, J. (2024). *Desarrollo de una barra de cereal a partir de bagazo de cerveza* (Doctoral dissertation, Universidad Nacional de La Plata).
- Doyeni, M. O., Barcauskaite, K., Buneviciene, K., Venslauskas, K., Navickas, K., Rubezius, M., ... & Tilvikiene, V. (2023). Nitrogen flow in livestock waste system towards an efficient circular economy in agriculture. *Waste Management & Research*, 41(3), 701-712.
- Fernandes, P. A., Ferreira, S. S., Bastos, R., Ferreira, I., Cruz, M. T., Pinto, A., ... & Wessel, D. F. (2019). Apple pomace extract as a sustainable food ingredient. *Antioxidants*, 8(6), 189. <https://doi.org/10.3390/antiox8060189>
- Ferrari, J. L., Villagra, S., Claps, L., & Tittone, P. (2017). Reutilización de bagazo de cebada cervecera por secado y pelletización como suplemento forrajero. *Presencia*, 67, 43-46.

- Flores-Ríos, Paulina Alejandra, Celerino, Robles, & Castañeda-Hidalgo, Ernesto. (2020). Generación y caracterización básica de bagazos de la agroindustria del mezcal en Oaxaca. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 11(6), 1437-1445. Epub 11 de octubre de 2021. <https://doi.org/10.29312/remexca.v11i6.2615>
- Freitas, L. C., Barbosa, J. R., da Costa, A. L. C., Bezerra, F. W. F., Pinto, R. H. H., & de Carvalho Junior, R. N. (2021). From waste to sustainable industry: How can agro-industrial wastes help in the development of new products? *Resources, conservation and recycling*, 169, 105466. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2021.105466>
- García-Méndez, R. F., Cortés-Martínez, C. I., Carrillo, J. G., & Almendárez-Camarillo, A. (2023). Investigation on Physicochemical, Tensile Test, and Thermal Properties of Alkali Treatment to *A. Angustifolia* Haw Fibers. *Journal of Natural Fibers*, 20(1), 2166644
- Hadidi, M., Amoli, P. I., Jelyani, A. Z., Hasiri, Z., Rouhafza, A., Ibarz, A., & Tabrizi, S. T. (2020). Polysaccharides from pineapple core as a canning by-product: Extraction optimization, chemical structure, antioxidant and functional properties. *International Journal of Biological Macromolecules*, 163, 2357-2364. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.09.092>
- Ivanov, Y., Atanasova, M., & Godjevargova, T. (2025). Nutritional and Functional Values of Grape Seed Flour and Extract for Production of Antioxidative Dietary Supplements and Functional Foods. *Molecules*, 30(9), 2029. <https://doi.org/10.3390/molecules30092029>
- Moctezuma, G., Pérez, R., González, A., Romero, M. E., Velasco, E., & Ramírez, G. (2023). Agave mezcalero: Importancia del contexto económico a nivel estado de Oaxaca y su comparación a escala país México. *Revista Mexicana de Agronegocios*, 53(2023), 535-549.
- Lasunon, P., & Sengkhamparn, N. (2022). Effect of ultrasound-assisted, microwave-assisted and ultrasound-microwave-assisted extraction on pectin extraction from industrial tomato waste. *Molecules*, 27(4), 1157. <https://doi.org/10.3390/molecules27041157>
- Okiyama, D. C., Navarro, S. L., & Rodrigues, C. E. (2017). Cocoa shell and its compounds: Applications in the food industry. *Trends in Food Science & Technology*, 63, 103-112. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2017.03.007>

- Palma, F. Pérez, P. Y Meza, V. (2016). *Diagnóstico de la cadena de valor Mezcal en las Regiones de Oaxaca*. Coordinación General del Comité estatal de Planeación para el Desarrollo de Oaxaca COPLADE.
- Quintero, M. E. M., Zafra, L. M. C., & Hernández, C. C. (2021). Uso de harina de vainas secas de moringa en la elaboración de galletas y tortas venezolanas. Parte I. *Revista Centro Azúcar*, 48(3), 62-74
- Rito Salinas C. (2022). Las letras de la verdad: Matatlán, capital mundial del mezcal. *Periódico Quadrantin*. <https://oaxaca.quadratin.com.mx/las-letras-de-la-verdad-matatlan-capital-mundial-del-mezcal/>
- Salazar-López, N. J., Enríquez-Valencia, S. A., Zuñiga Martínez, B. S., & González-Aguilar, G. A. (2023). Residuos agroindustriales como fuente de nutrientes y compuestos fenólicos. *Epistemos (Sonora)*, 17(34), 60-69. <https://doi.org/10.36790/epistemos.v17i34.265>
- Tech Press (2024). *Ideas para valorizar el bagazo en la industria alimentaria*. <https://techpress.es/actualidad/servicios-a-la-industria/ideas-para-valorizar-el-bagazo-en-la-industria-alimentaria-NO16810629#:~:text=Snacks%2C%20panes%20y%20bebidas%20elaborados%20a%20partir,cervecera%2C%20que%20puede%20transformarse%20en%20alimentos%20y>
- Wedamulla, N. E., Fan, M., Choi, Y. J., & Kim, E. K. (2022). Citrus peel as a renewable bioresource: Transforming waste to food additives. *Journal of Functional Foods*, 95, 105163.
- Zainudin, M. H. M., Zulkarnain, A., Azmi, A. S., Muniandy, S., Sakai, K., Shirai, Y., & Hassan, M. A. (2022). Enhancement of agro-industrial waste composting process via the microbial inoculation: a brief review. *Agronomy*, 12(1), 198. <https://doi.org/10.3390/agronomy12010198>