

ESTIMACIÓN DE RESIDUOS RESULTANTES DE LA ELABORACIÓN DE MEZCAL Y POSIBLES ALTERNATIVAS DE RECICLAJE

ESTIMATION OF WASTE RESULTING FROM THE MISCAL PRODUCTION AND POSSIBLE RECYCLING ALTERNATIVES

¹Martha Zuleyma Hernández San Juan , ²José Raymundo Enríquez-del Valle , ²Gerardo Rodríguez-Ortiz , ²Vicente Arturo Velasco-Velasco 

^{1,2}Estudiante, investigador, Tecnológico Nacional de México, Campus Valle de Oaxaca (ITVO). Ex hacienda de Nazareno, Xoxocotlán, Oaxaca, México. C.P. 71233. [§]Autor de correspondencia: jenriquezdelvalle@yahoo.com.

Introducción. En México, los magueyes han tenido gran importancia económica y cultural durante dos milenios, ya que se han utilizado como fuente de alimento, en la construcción, elaboración de abono, combustible, la obtención de fibras (García-Mendoza, 2007). Su principal uso es la elaboración de la bebida denominada mezcal, que actualmente en Oaxaca ha incrementado su producción de manera considerable, al pasar de 980,375 L en el año 2011, a 12,934,522 L de mezcal certificado en la categoría de artesanal, en el año 2022; esto representa un crecimiento exponencial de 1,219.3 %. El mezcal producido en el estado de Oaxaca fue el 77, 99 y 91 % de la producción total nacional en los años 2011, 2013 y 2022, respectivamente (**Tabla I**). Según el Consejo Mexicano Regulador de la Calidad del Mezcal (COMERCAM, 2023), el mezcal es un producto representativo de la República Mexicana, que tiene una denominación de origen en el estado de Oaxaca y se rige bajo la norma NOM-070-SCFI-2016, de las bebidas alcohólicas.

Durante el proceso de elaboración del mezcal, en las etapas de horneado, fermentación y destilación, se generan residuos, tales como el bagazo, vinazas, cenizas y carbón, que llegan a causar afectaciones negativas en el ambiente (Martínez-Gutiérrez et al., 2013).

Las vinazas que resultan de la etapa de destilación son líquidos recalcitrantes con residuos de materia orgánica y su pH es muy bajo, de 3.5-5.0 (Ariza-Calvo et al., 2019). Se generan grandes cantidades de estos residuos que al no tener algún tratamiento o uso alternativo representan un peligro, principalmente para los cuerpos de agua y el suelo, en donde son vertidos con mayor frecuencia (Díaz-Barajas et al., 2024). El bagazo al ser un residuo sólido compuesto principalmente de fibras, materiales ligno-celulósicos que provienen de la molienda de los tallos de agave y la destilación, se consideran de mayor índice de contaminación, pero del que no se tienen propuestas de manejo (Acosta-Sotelo et al., 2023). Por otra parte, al aumentar la producción de mezcal (**Tabla I**) debido a su demanda creciente, también se ha incrementado la generación de residuos. La producción de mezcal en la comunidad de San Baltazar Chichicapám, a través del tiempo ha cobrado popularidad y es generadora de empleos, pero además de ello el proceso productivo genera residuos contaminantes al medio ambiente que, por años, han sido arrojados a los ríos o transferidos a terrenos de cultivo. Por lo que el objetivo del presente trabajo fue cuantificar los residuos que resultan del proceso de elaboración de mezcal artesanal de San Baltazar Chichicapám y sugerir posibles alternativas que minimicen las afectaciones al medio ambiente.

Tabla 1. Producción anual de mezcal (L) en Oaxaca y a nivel nacional, durante el periodo 2011 a 2022.

	Año					
	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Oaxaca	758,810.25	971,567.28	2,504,450.592	1,360,259.766	2,354,382.695	2,528,380
Total nacional	980,375	1,044,696	2,519,568	1,451,718	2,419,715	3,028,000
Prop-nacional	0.77	0.93	0.99	0.94	0.97	0.84
	Año					
	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Oaxaca	3,467,142.2	4,697,762.6	6,437,680.139	7,273,474.667	6,917,050.714	12,934.52
Total nacional	3,985,221	5,089,667	7,145,039	7,846,251	8,099,591	14,165.50
Prop-nacional	0.87	0.92	0.90	0.93	0.83	0.91

Prop-nacional= proporción de la producción nacional.

Desarrollo. La investigación se realizó en la comunidad de San Baltazar Chichicapám, ubicada en el Distrito de Ocotlán, en las coordenadas 96° 29' 22" LO, 16° 46' 40" LN (Figura 1) y su topografía con variaciones de altitud entre los 1,552 y 2,600 m, con una superficie de 10,079 ha. En la comunidad hay un total de 2,576 habitantes de los cuales 1,351 y 1,225 son de sexo femenino, y masculino, respectivamente; 2,099 personas son hablantes de zapoteco (INEGI, 2020). En el

territorio predomina el clima templado subhúmedo con temperatura promedio de 14 °C; lluvias en verano en las partes más altas (montañas), y datos de 10 años muestran que la precipitación media anual es de 747.56 mm. Mientras que la parte sur presenta menor altitud, predomina un clima semiseco, y semicálido, con 18-21°C y precipitación de 454.50 mm (Plan de Desarrollo Municipal, PDM, 2008).

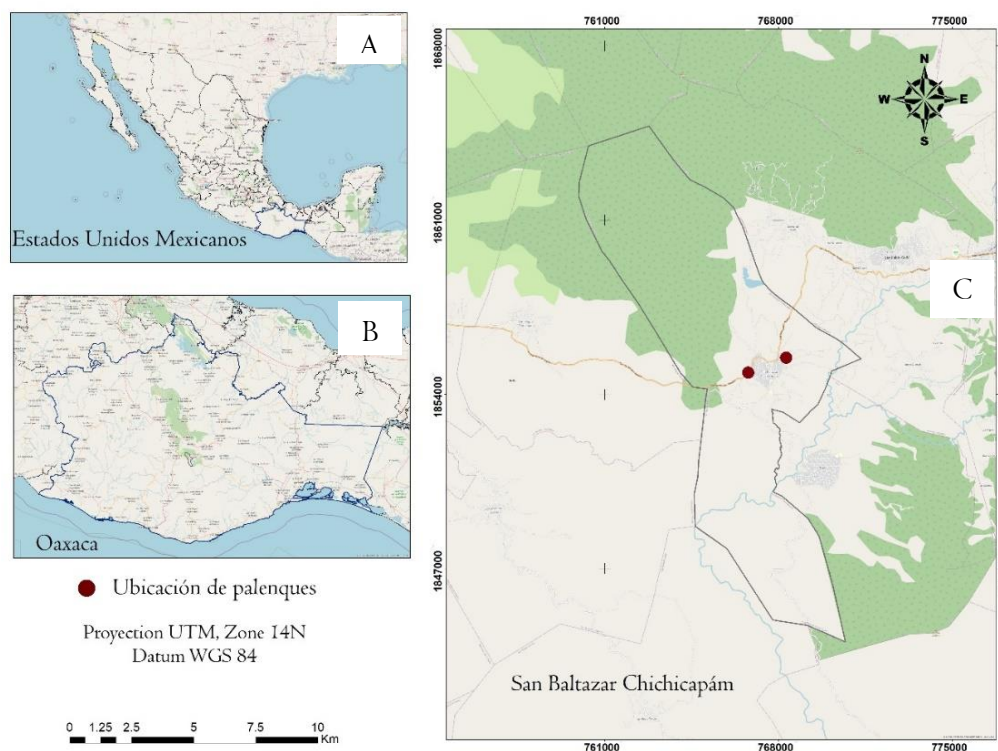


Figura 1. Ubicación de San Baltazar Chichicapám: A) Oaxaca en la república mexicana, B) Oaxaca, C) ubicación de palenques en San Baltazar Chichicapám.

La presente investigación se realizó en dos palenques (destilerías de mezcal) de la comunidad antes mencionada, los cuales se seleccionaron mediante un muestreo no probabilístico o por conveniencia (Otzen y Manterola, 2017). Estos dos palenques no pertenecen a alguna de las asociaciones de maestros mezcaleros en la comunidad (Hernández-Sampieri., 2014). Durante los meses de enero a octubre del año 2023, se realizaron visitas frecuentes a los palenques, y mediante técnicas de observación directa participativa, diálogo con los responsables de los palenques, seguimiento del proceso, registro de datos y la toma de fotografías, se obtuvo información; se describió un total de cuatro lotes de elaboración de mezcal, durante los meses de enero hasta octubre del año 2023, en los cuales se realizó primeramente la descripción del proceso, que comenzó desde la cosecha (rasurado de maguey de las plantas de agave en campo, traslado de los tallos (piñas), al palenque, proceso de horneado, maceración, fermentación, destilación, refinación y ajuste de grado alcohólico. En cada lote se cuantificó la cantidad de materia prima de

agave; en las etapas de horneado y destilación se cuantificó la cantidad de leña utilizada medida en cargas y kg, y el carbón generado. En destilación se cuantificó el total de bagazo (kg) y vinazas (L) que se generaron, y por último, en el proceso de destilación y refinación se cuantificó la cantidad de ceniza generada (kg). Se consideró que una carga de leña equivale en promedio a 85 kg ya que, al pesar diversas cargas de leña, estas presentaron variaciones en peso que fueron entre 80 kg y 90 kg. Para cuantificar las vinazas, éstas se colectaron en tambos de plástico de 200 L, y el bagazo, carbón y cenizas generadas se pesaron en báscula con capacidad de 50 kg y 100 kg de las marcas Pretul® y Chiciris, respectivamente.

En la localidad de San Baltazar Chichicapám, la producción de mezcal es una de las principales actividades económicas de las familias, por ello es importante cuantificar los residuos que llegan a generarse por cada lote de producción y así proponer alternativas que podrían aplicarse para reducir la contaminación, mayormente en suelo y agua (Figura 2).



Figura 2. A) Montículo de bagazo húmedo, B) contenedor de vinazas, C) carbón resultante del proceso de horneado, D) cenizas de destilado y refinación.

La cantidad de “piña” que se utiliza influye en las cantidades de residuos que se generan. En el caso de las vinazas existen aproximaciones, respecto a este líquido recalcitrante, con pH ácidos, y se estima que se llegan a generar de 10 L a 12 L por cada litro de mezcal producido (Zelaya-Benavidez et al., 2021). En el caso de los procesos que se describieron existieron variaciones en el volumen de vinazas producido, ya que por cada litro de mezcal producido se generaron de 12, 13 y 14 L de vinazas, entrando en el rango que se menciona, todo esto dependiendo de la especie con la cual se trabajó en cada lote de producción. Las vinazas al no tener un uso, se vierten en el suelo donde se infiltran al subsuelo. En el caso del palenque a cargo del señor Faustino García, se tiene una cisterna con capacidad de 20,000 L, donde deposita este residuo, cuando se llega a la capacidad máxima de la cisterna, este residuo se vende. En el palenque a cargo de Donato Hernández, las vinazas se vierten en un pozo de tierra por lo que se infiltran en el subsuelo. Lo anterior está causando contaminación de los mantos freáticos, pues los productores reportan que el agua que extraen de los pozos presenta coloración y aroma de vinazas.

Los bagazos, son las fibras que quedan después de que el maguey fue horneado (para provocar la hidrólisis térmica de los fructanos y obtener azúcares reductores), troceado, macerado y destilado. En palenques artesanales en el estado de San Luis Potosí, por cada litro de mezcal que se elabora a partir de *Agave salmiana*, la cantidad de bagazo en fresco llega a ser de 15- 20 kg (Chávez-Guerrero, 2010). En otros trabajos se menciona

que por cada litro de mezcal se obtienen 4.4 kg de bagazo tal como menciona Ordaz-Díaz et al. (2019). En el caso de este estudio se obtuvieron de 5 a 6 kg de bagazo por litro de mezcal. En los cuatro lotes se usaron 8,000, 3,000, 6,500 y 11,000 kg de agave, de los que se obtuvieron 950, 180, 715 y 1,200 L de mezcal, en los que se generó un total de 17,490 kg de bagazo (Tabla 2).

Las cenizas que se obtienen de la combustión de leña de diversas especies, son parte de los residuos que son tirados fuera de los palenques sin que se les haya prestado atención, aunque se generan en cantidades elevadas. Estos materiales pueden contener hasta 4 % de K (potasio), 3 % de P (fósforo) 6 % de Mg (magnesio) que son importantes para los suelos y las plantas (Angaspilco-Llamo et al., 2021).

El carbón que se llega a generar es el resultado de la combustión de leña de especies como mezquite (*Prosopis* sp.), eucalipto (*Eucalyptus* sp.) y encino (*Quercus* sp.) que se usa en la cocción de las piñas de agave. Los trozos de carbón se utilizan principalmente para las necesidades domésticas (Cruz-Montelongo et al., 2020).

De acuerdo a las evidencias obtenidas (Tabla 2) se puede afirmar que en la comunidad de San Baltazar Chichicapám, para obtener un litro de mezcal se requieren de 8.42 a 16.66 kg de materia prima de agave, y de 2.94, a 5.55 kg de leña; de lo que se obtienen de 5 a 6 kg de bagazo; de 12 a 14 L de vinazas, de 11.18 a 15.0 g de cenizas, de 52.63 a 166.66 g de carbón.

Tabla 2. Volumen de mezcal producido según la cantidad de materia prima de tallo (piña) de *Agave* y residuos generados para cada lote de producción.

Lotes	Mezcal (L)	piña (kg)	Total de leña (kg)	Bagazo (kg)	Vinaza (L)	Ceniza (kg)	Carbón (kg)
Espadín/Tepeztate (<i>A. angustifolia</i> , <i>A. marmorata</i>)	950	8,000	2,800	5,700	12,350	14	50
Tobalá (<i>A. potatorum</i>)	180	3,000	1,000	900	2,160	6	30
Espadín (<i>A. angustifolia</i>)	715	6,500	2,600	4,290	8,580	8	40
Espadín (<i>A. angustifolia</i>)	1,200	11,000	4,200	6,600	16,800	18	65

La información que proporcionaron la mayoría de los encargados de los palenques muestra que en muy raras ocasiones les dan uso a los residuos, los bagazos como fuente de composta que se incorpora al suelo como abono, y la mayor utilización que se tiene es para la tapada del horno, en próximos lotes de elaboración de mezcal. En el caso de las vinazas no se les da algún tipo de uso. El carbón se le utiliza mayormente para las labores del hogar, venta y por supuesto como abono para los terrenos de cultivo, otro tipo de abono que se utiliza para el suelo son las cenizas de leña. Algunas veces las cenizas son vendidas a personas dedicadas a elaborar adobes para la construcción.

Usos alternativos

En Oaxaca y otras partes del país se realizan investigaciones para usar los subproductos derivados de la elaboración del mezcal, actualmente están presentando alternativas para darles un nuevo uso, para evitar más afectaciones al medio ambiente.

El bagazo puede ser utilizado para elaborar composta, que para la degradación natural de las fibras se deja apilado durante un año y medio a dos años. Práctica que realizan quienes trabajan en los palenques. El bagazo seco también se usa como material combustible durante el proceso de refinación, o también en las labores del hogar, las amas de casa lo usan como sustituto de leña de ocote (*Pinus* sp.), para usar el bagazo como material combustible, éste es secado a la intemperie, exponiéndolo a radiación solar. De esta manera se mantiene impregnado de los alcoholes lo que permite su fácil manipulación y el costo de un rollo que pesa 250 g, es vendido a un precio aproximado de 15 pesos (Ordaz-Díaz et al., 2019). En el estado de Guanajuato, se han realizado investigaciones sobre el aprovechamiento de fibras de *A. lechuguilla*, *A. angustifolia*, *A. tequilana*, *A. americana*, *A. salmiana* y *A. mapisaga*, que muestran la posibilidad de usar el bagazo para elaborar diversos productos como cepillos de dientes, maceteros, elaboración de papel entre otros (Parra-Negrete et al., 2010)

En el estado de Oaxaca, se han realizado estudios en donde el bagazo de agave se usó como sustrato para cultivo del hongo comestible *Pleurotus* y posterior de cosechar los cuerpos frutíferos del hongo, el sustrato composteado se usó para cultivar tomate (Chairez-Aquino et al., 2015; Martínez-Gutiérrez et al., 2013).

Se tienen evidencias de que es posible producir etanol a partir del bagazo. Los datos muestran que por cada 100 g de bagazo se obtienen 2.9 g de etanol puro, todo esto bajo condiciones de laboratorio (Estrada-Maya y Weber, 2022). De igual manera el bagazo es utilizado para la elaboración de adobe, al mezclarlo con arcilla, utilizados para la construcción de casas, que además de darle firmeza, es un material orgánico.

Las vinazas en la actualidad han presentado mayores problemas en sus usos, por las características que presentan. Se ha comenzado con la creación de refinerías con el objetivo de obtener electricidad, o como fuente de combustible, con el fin de sustituir el uso de leña en el proceso productivo de mezcal en la destilación y la refinación (Díaz-Barajas et al., 2024). En el Instituto Politécnico Nacional, CIIDIR Unidad Oaxaca, se han realizado investigaciones para la digestión anaerobia de bagazos y vinazas, mezclados con excretas porcinas, que mediante la acción de bacterias se produce metano que puede ser usado como fuente de energía. Con este procedimiento se logra la remoción del 70 % a 91 % de materia orgánica biodegradable, Posteriormente los lodos se usan como abono (Gómez-Guerrero, 2014).

Las cenizas son utilizadas como abono, en los terrenos de cultivo mayormente de maguey. En labores domésticas las cenizas se usan para la limpieza de impurezas de los trastes. Este material también se mezcla con otros materiales para la elaboración de hornos de barro. El carbón es mayormente utilizado en las labores del hogar como fuente de energía, las aproximaciones del carbón que se genera en un proceso de horneado de maguey son de 30-65 kg.

Prospectiva. Los residuos generados en el proceso de elaboración de mezcal son un problema ambiental, que causa las mayores afectaciones al suelo y a los cuerpos de agua, y es de vital importancia que los estudios se sigan realizando para buscar más alternativas que sean amigables con el medio ambiente. En esta investigación se sugieren alternativas que estén al alcance de los productores, pero se mencionan experiencias realizadas en diversas entidades de México, que pretenden un uso más integral de la planta de agave, el aprovechamiento de los residuos de la industria de destilados, incrementando el valor agregado, a la vez que se reduciría la cantidad de residuos que actualmente son contaminantes. Se menciona la digestión anaerobia de bagazos y vinazas, que muestran la posibilidad de obtener gas combustible, abono y agua para uso en agricultura. También se mencionan dos residuos más que se generan a lo largo del proceso, tales como el carbón y las cenizas. En el caso de las cenizas se les sugirió como alternativa la venta de este material, a las personas que se dedican a la elaboración de productos de barro. El carbón por otra parte lo utilizan las amas de casa como combustible en sus cocinas, para la preparación de sus alimentos, pero además de esto se les hizo la propuesta de separar el carbón en dos categorías de tamaño, para venderlos a precios diferentes, los de tamaño igual o mayor a 5 cm y los de tamaño menor que, se venderán por kg o por costales, lo que beneficiaría económicamente a las amas de casa, ya que ellas son las encargadas de extraer el carbón del horno.

REFERENCIAS

- Acosta-Sotelo, L.L., Zamora-Natera, J.F., Rodríguez-Macías, R., González-Eguiarte, D.R., Gallardo-Lancho, J.F. y Salcedo-Pérez, E. (2023). Bagazo y composta de bagazo de agave tequilero en suelos contrastantes: dinámica de degradación. *Biotechnia*, 25(2), 90-96. <https://doi.org/10.18633/biotechnia.v25i2.1801>
- Angaspilco-Llamo, M., Bocanegra-Avellaneda, J.C., Muñoz-Pérez, S.P., Torres-Zavaleta L.J. y Villanueva-Meza, C. D. (2021). Uso de cenizas de carbón para mejorar la resistencia de comprensión del concreto. *Revista Ciencia No@rdina*, 4(2), 47-60.
- Ariza-Calvo, D., Rincón-Ravelo, M., Paz-Cadavid, C.A. y Gutiérrez-Montero, D.J. (2019). Evaluación de producción de biogás y reducción de carga orgánica de vinazas mediante digestión anaerobia. *Revista Colombiana de Biotecnología*, 21(2), 118-130. <https://doi.org/10.15446/rev.colomb.biote.v21n2.79555>
- Chairez-Aquino, J., Enríquez-del Valle, J.R., Ruíz-Luna, J., Campos-Ángeles, G.V. y Martínez-García, R. (2015). Uso del bagazo de *Agave* spp y hojas de maíz para cultivar el hongo *Pleurotus ostreatus*. *Revista Mexicana de Agroecosistemas*, 2(1), 23-28.
- Chávez-Guerrero, L. (2010). Uso de bagazo en la industria mezcalera como materia prima para generar energía. *Ingenierías*, 23(47), 8-16.
- COMERCAM. (2023). Consejo Mexicano Regulador de la Calidad del Mezcal. *Informe de actividades* https://comercam-dom.org.mx/wp-content/uploads/2023/05/INFORME-2023_PUBLICO.pdf
- Cruz-Montelongo, C., Herrera-Gamboa, J., Ortiz-Sánchez, I.A., Ríos-Saucedo, J.C., Rosales-Cerna, R. & Carrillo-Parra, A. (2020). Caracterización energética del carbón vegetal producido en el Norte Centro de México. *Madera y Bosques*, 26(2), 262-271. <https://doi.org/10.21829/myb.2020.2621971>
- Díaz-Barajas, S. Moreno-Andrade, I. Garzón-Zúñiga, M.A. (2024). Tratamiento de vinazas de mezcal: Revisión de procesos evaluados. *Tecnología y Ciencias del Agua*, 15(2) 164-206. DOI: 10.24850/j-tyca-15-02-04
- 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/ft.25940732e.2022.23.2.009>

- García-Mendoza, A.J. (2007). Los agaves de México. *Ciencias*, (87), 14-23.
- Gómez-Guerrero, A.V. (2014). *Producción de biogás a partir de bagazo y vinaza del Agave angustifolia Haw generada como residuo en la elaboración de mezcal*. Tesis. Maestro en ciencias. IPN-CIIDIR. Unidad Oaxaca. 79 p.
- Hernández-Sampieri, R. (2014). *Metodología de la investigación*. McGraw-Hill/Interamericana Editores, S.A de C.V.
- Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (INEGI). (2020). Censo de población y vivienda. <https://www.inegi.org.mx/programas/ccpv/2020/>.
- Martínez-Gutiérrez, G.A., Iñiguez-Covarrubias, G., Ortiz-Hernández, Y.D., López-Cruz, J.Y. y Bautista-Cruz, M.A. (2013). Tiempos de apilado del bagazo del maguey mezcalero y su efecto en las propiedades del compost para sustrato de tomate. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 29(3), 209-216.
- Ordaz-Díaz, L., Madrid-del Palacio, M., Rodríguez-Flores, F. & Bailón-Salas, A. (2019). Aprovechamiento de los subproductos en la industria del mezcal. *Revista Ciencia Administrativa*, 1(1), 12-21.
- Otzen, T., y Manterola, C. (2017). Técnicas de muestreo sobre una población a estudio. *Int. J. Morphol.*, 35(1), 227-232.
- Parra-Negrete, L.A. Villar-Quiñones, P. Prieto-Rodríguez, A. Prieto-Rodríguez, A. (2010). Extracción de fibras de agave para elaborar papel y artesanías. *Acta Universitaria*, 20(3), 77-83.
- Plan de Desarrollo Municipal (PDM) (2008). *Plan de Desarrollo Municipal 2008-2010, San Baltazar Chichicapám Ocotlán Oaxaca*.
- Zelaya-Benavidez, E.A., Martínez-Gutiérrez, G.A., Robles-Pérez, C. & Morales-García, I. (2021). Vinazas de mezcal y su efecto biofertilizante en el rendimiento de hortalizas. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 8(3), 3159. <https://doi.org/10.19136/era.a8n3.3159>