



## RESUMEN

El sector agroindustrial en México es muy importante debido a la gran cantidad de productos que se generan a partir de materias primas agrícolas, su repercusión económica para el país es significativa, y generan un impacto directo en las comunidades rurales en donde se encuentran la mayoría de las materias primas e incluso las industrias. Uno de los productos agroindustriales representativos de México es el mezcal, el cual se produce en los estados de Durango, Guanajuato, Guerrero, Oaxaca, San Luis Potosí, Tamaulipas, Michoacán, Zacatecas y Puebla, todos ellos con denominación de origen reconocida por el Instituto Mexicano de la Propiedad Industrial. Su producción se describe de forma general, haciendo énfasis en los residuos generados durante el proceso de fabricación: las vinazas, las cuales debido a sus características representan para el medio ambiente un problema de contaminación, si éstos son desechados a cuerpos de aguas o suelos sin previo tratamiento. El reaprovechamiento y tratamiento de estos residuos constituyen una oportunidad para aminorar la afectación hacia el medio ambiente, así como la generación de productos de valor agregado.

**Palabras clave:** mezcal, vinazas, tratamiento residuos.

## ABSTRACT

The agroindustrial sector in Mexico is very important due to the large number of products that are generated from agricultural raw materials, its economic impact for the country is significant, and they have a direct impact on the rural communities where the majority of raw materials and even industries. One of the representative agro-industrial products of Mexico is the mezcal, which is produced in the states of Durango, Guanajuato, Guerrero, Oaxaca, San Luis Potosí, Tamaulipas, Michoacán, Zacatecas and Puebla, all of them with denomination of origin recognized by the Institute. Mexican Industrial Property. Its production is described in a general

# El mezcal, su producción y tratamiento de residuos

The mezcal, its production and waste treatment

way, emphasizing the waste generated during the manufacturing process: vinasses, which due to their characteristics represent a pollution problem for the environment, if they are discarded to bodies of water or soil without previous treatment. The reuse and treatment of this waste is an opportunity to reduce the impact on the environment, as well as the generation of value-added products.

Angélica Rodríguez Cortés<sup>1</sup>  
Carla de la Cerna Hernández<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Facultad de Ingeniería Química, Benemérita  
Universidad Autónoma de México

<sup>2\*</sup>Oficina de Comercialización de Tecnología,  
Centro Universitario de Vinculación y  
Transferencia de Tecnología, Benemérita  
Universidad Autónoma de Puebla

\*carla.hernandez@correo.buap.mx

Angélica Rodríguez Cortés & Carla de la Cerna  
Hernández. El mezcal, su producción y  
tratamiento de residuos.  
Alianzas y Tendencias. 2017, 2 (8): 10-14.  
Recibido: 5 noviembre 2017. Aceptado: 2  
diciembre 2017.

## INTRODUCCIÓN

En México el sector agroindustrial, que se define como la fracción manufacturera que procesa materias primas y productos intermedios agrícolas, forestales y pesqueros, es una actividad fundamental sobre todo en el medio rural, en el cual habita una parte significativa de la población nacional; la FAO (1997) incluye en el sector agroindustrial a fabricantes de alimentos, bebidas y tabaco, textiles y prendas de

vestir, muebles y productos de madera, papel, productos de papel e impresión, además de caucho y productos de caucho.

En México un producto agroindustrial de gran importancia es el mezcal, el cual se obtiene como producto de la destilación de los mostos fermentados de las piñas o cabezas cocidas del maguey o agave, su nombre se ha utilizado desde hace al menos 400 años y proviene de los vocablos “mexcalli” (“metl” o “meztli”: maguey e “ixcalli”: cocer) siendo la traducción: “maguey cocido”. El mezcal se ha convertido en uno de los productos más representativos de México a nivel internacional, ya que su carácter artesanal y su variedad de presentaciones lo han convertido en una bebida con alta demanda en mercados nacionales y extranjeros, por lo cual se ha consolidado como motor de desarrollo económico, especialmente en zonas marginadas, ya que en su mayoría, son pequeños productores los que se dedican a su fabricación. Esta bebida cuenta con la denominación de origen, comprendido en los territorios protegidos en los estados de Durango, Guanajuato, Guerrero, Oaxaca, Michoacán, San Luis Potosí, Tamaulipas, Zacatecas y Puebla (Figura 1). Según cifras del Consejo Mexicano Regulador de la Calidad del Mezcal [1], México tiene alrededor de 330,000 hectáreas de agave en explotación, propiedad de 9,000 productores.



Fig. 1 Estados de producción del mezcal, con denominación de origen (tomado de Consejo Regulador del Mezcal, <http://www.crm.org.mx/>)

En el Plan Rector Maguey-Mezcal, actualizado en 2006, se señala la existencia de 625 fábricas, 80 plantas envasadoras y 130 marcas de mezcal.

### Producción de Mezcal

En general la producción de mezcal, según SAGARPA (2012), se lleva a cabo a través de los siguientes procesos (Figura 2):

•Cocimiento. El cocimiento del maguey permite que se genere un proceso de hidrólisis de los almidones y que se conviertan en glucosa y fructuosa. A las piñas ya cocidas se les llama mezcal.

•Molienda. Existen diferentes formas de realizar la molienda del corazón ya cocido del maguey: macerado a mano, machacado en una tahona (molino que funciona por la fuerza de caballos o mulas), o en una desgarradora apoyándose además con una prensa. Al terminar la molienda se obtiene el jugo llamado mosto y el bagazo; el mosto es depositado o bombeado a las tinajas de fermentación.

•Fermentación. Mediante este proceso, que tiene una duración de 1 a 3 días, se logra la conversión de los azúcares contenidos en el mosto en alcohol. Ésta etapa se puede llevar a cabo en tinajas de madera, pilas forradas de madera o en tanques de acero inoxidable. Al jugo fermentado se le conoce como “mosto muerto” y tiene una graduación alcohólica entre 6 y 7%.

•Destilación. Los destiladores pueden ser de acero inoxidable o cobre. En esta operación se efectúa la separación del alcohol de los sólidos o líquidos indeseables. Al producto obtenido se le conoce como mezcal de primera destilación.

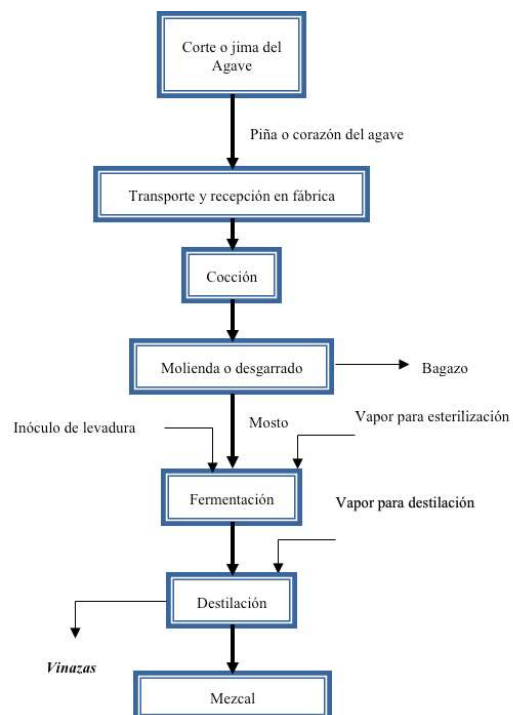


Fig. 2. Proceso general de elaboración del mezcal.

### Vinazas

Es durante última etapa de producción del mezcal donde se generan las vinazas, las cuales son el producto residual de la destilación del mosto

fermentado una vez que los componentes ricos en alcohol son separados por medio de temperatura y presión, parte de su volumen y variabilidad de carga orgánica proviene de otros efluentes menores como son el agua de limpieza de las tinas de fermentación, que contribuye significativamente en la carga teniendo valores de alrededor de 500 mg de Demanda Química de Oxígeno por litro (DQO/L), y el agua de enfriamiento de los condensadores que presenta un gran caudal, aumentando el volumen de las vinazas. Se estima que en años anteriores México ha generado de 14 a 27 millones de litros de vinaza de mezcal. Aproximadamente el 80% de las vinazas son descargadas directamente en los cuerpos de agua (ríos, lagos y reservas), al sistema de alcantarillado municipal o al suelo sin recibir el tratamiento adecuado para su disposición. Su alto contenido en sales puede conducir a la sodicidad y salinidad en el suelo causando el deterioro severo de su estructura, fertilidad y porosidad [2]. Además la presencia de sustancias como el ácido acético, ácido láctico, glicerina y nitrógeno amoniacal puede envenenar las cosechas (fitotoxicidad) [3]. Los compuestos fenólicos y polifenólicos en ellas pueden inhibir la germinación de semillas y dañar severamente las cosechas, así como afectar negativamente la actividad microbiana del suelo [4] (Tabla 1).

*Tabla 1. Características de vinazas mezcaleras de diferentes destilerías*

| Parámetro                                       | FIM-1         | FIM-2         | FAM            |
|---|---------------|---------------|----------------|
| pH  | 3.7           | 3.6           | 3.8            |
| Conductividad(mS/cm)                            | 2.6 ± 0.02    | 3.9 ± 0.03    | 4.2 ± 0.05     |
| Color (475 nm)                                  | 4.6 ± 0.3     | 6.0 ± 0.2     | 10.6 ± 0.5     |
| DQO (mg O <sub>2</sub> /L)                      | 56,230 ± 162  | 60,560 ± 1004 | 122,860 ± 2270 |
| DBO <sub>5</sub> (mg O <sub>2</sub> /L)         | 26,500 ± 710  | 22,000 ± 2830 | 33,600 ± 2260  |
| Fenol (mg de ácido gálico/L)                    | 478 ± 24      | 521 ± 16      | 542 ± 48       |
| Fructuosa (mg/L)                                | 14.8 ± 2.3    | 25.4 ± 4.2    | 50.0 ± 6.4     |
| Nitrógeno Kjeldahl (mg de NH <sub>3</sub> -N/L) | 660 ± 37      | 843 ± 97      | 5,650 ± 503    |
| Sólido totales (mg/L)                           | 26,830 ± 1120 | 43,450 ± 1490 | 94,7130 ± 4055 |
| Sólidos suspendidos totales (mg/L)              | 3130 ± 168    | 3905 ± 156    | 8400 ± 504     |
| Sólidos volátiles suspendidos (mg/L)            | 1130 ± 88     | 2500 ± 100    | 6850 ± 411     |
| Sólidos suspendidos fijos (mg/L)                | 2000 ± 80     | 1405 ± 56     | 1550 ± 93      |
| Fosfato (mg/L)                                  | 290 ± 5       | 850 ± 14      | 1705 ± 30      |
| Sulfato (mg/L)                                  | 308 ± 14      | 947 ± 12      | 842 ± 14       |

[5]

FIM-1: Fábrica industrial de mezcal 1  
FIM-2: Fábrica industrial de mezcal 2  
FAM: Fábrica artesanal de mezcal.

Si las vinazas no son enfriadas antes de su descarga, ya que dejan la fábrica a temperaturas alrededor de los 50 a 80 °C, pueden incrementar la temperatura del agua y disminuir el oxígeno a niveles críticos para la supervivencia de los peces [6,7]. Por otra parte, la turbiedad y el color asociados a los sólidos

suspendidos y melanoidinas respectivamente, pueden impedir la penetración de la luz necesaria para la fotosíntesis e impactar severamente la vida acuática. Las concentraciones relativamente altas de nutrientes como el potasio y nitrógeno pueden causar eutrofización en cuerpos de agua, reservas y canales [8].

#### • Tratamiento y utilización de las vinazas

Para el tratamiento de las vinazas mezcaleras se pueden emplear técnicas que también han sido utilizadas para el procesamiento de otros efluentes recalcitrantes tóxicos con características similares a las de las vinazas mezcaleras, por ejemplo, vinazas de vino, vinazas de la industria azucarera y de las aguas residuales provenientes de la industria del papel. Algunas de estas técnicas se enlistan a continuación:

1. Digestión anaerobia o biodigestión, donde son utilizados una gran variedad de microorganismos para la descomposición y procesamiento de la materia orgánica, dando por resultado subproductos de interés como el metano o el hidrógeno, dependiendo del microorganismo y su ruta metabólica.

2. Tratamiento aerobio solo o con ozono dirigido a remover los compuestos fenólicos y el color, estos se han aplicado exitosamente

3. Tratamientos fisicoquímicos como el Fenton, electro-oxidación, oxidantes y otros, los cuales solo se han desarrollado a nivel laboratorio, han demostrado una remoción significativa de compuestos orgánicos recalcitrantes.

Las técnicas anteriores, presentan ventajas y desventajas en su aplicación, por ejemplo, la principal causa de la falla o el mal funcionamiento en los biodigestores anaerobios es la concentración de diversas sustancias inhibitoras. Estas sustancias pueden formar parte de las materias primas que entran al digestor o pueden ser subproductos de la actividad metabólica de los microorganismos anaeróbicos.

A pesar de los esfuerzos por adaptar y desarrollar procesos fisicoquímicos y biológicos para el tratamiento de este tipo de efluentes, estos han sido insuficientes para proveer una solución técnica viable y rentable que cumpla con la regulación de la Norma Oficial Mexicana NOM-064-ECOL-1994, donde se establecen los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a cuerpos receptores provenientes de la industria de la destilería (Tabla 2).

**Tabla 2. Límites máximos permisibles de contaminantes de los efluentes de la industria de la destilería**

| Parámetros                         | Límites máximos permisibles |                 |
|------------------------------------|-----------------------------|-----------------|
|                                    | Diarios(a)                  | Instantáneos(b) |
| pH (unidades de pH)                | 6.9                         | 6.9             |
| DBO (mg/L)                         | 200                         | 240             |
| DQO (mg/L)                         | 260                         | 360             |
| Grasas y aceites (mg/L)            | 10                          | 20              |
| Sólidos sedimentables (mg/L)       | 1.0                         | 2.0             |
| Sólidos suspendidos totales (mg/L) | 200                         | 240             |
| Fósforo Total (mg/L)               | 5                           | 6               |
| Nitrógeno Total (mg/L)             | 10                          | 12              |

(a) Límite máximo permisible promedio diario. Son los valores, rangos y concentraciones de los parámetros que debe cumplir el responsable de la descarga, en función del análisis de una muestra compuesta de las aguas residuales provenientes de esta industria.

(b) Límite máximo permisible instantáneo. Son los valores, rangos y concentraciones de los parámetros que debe cumplir el responsable de la descarga, en función del análisis de muestras instantáneas de las aguas residuales provenientes de esta industria.

Debido a que la vinaza contiene una gran cantidad de materia orgánica, el reciclaje de esta materia ha tomado relevancia debido a la búsqueda de alternativas no tradicionales de energía, así como también, a la necesidad de vías de descontaminación y eliminación de residuos. Por lo que los residuos producidos a partir de la elaboración del mezcal representan en sí una materia prima para su aprovechamiento y generación de otros productos de valor agregado, como por ejemplo:

- Las vinazas se pueden co-compostar con residuos orgánicos sólidos, principalmente aquellos provenientes de las actividades agrícolas y agro-industrias. Además de ser reparadores para el suelo con propiedades fertilizantes para mejorar la calidad del mismo en áreas típicamente áridas, aparenta ser una tecnología de bajo costo la cual encaja muy bien en las regiones rurales de países subdesarrollados donde tecnologías más sofisticadas son difíciles de adoptar, debido a sus altos costos y personal especializado.
- Los bioproductos como las enzimas lacasas utilizadas como blanqueador en la industria de la mezcilla y el papel o la obtención de biomasa microbiana que es una fuente de alto contenido de proteínas que se comercializaría como suplemento alimenticio de animales.
- Generación de bioenergía a partir de metano y biohidrógeno.

Es posible la generación de productos de interés dentro de diferentes industrias, tal es el caso de la industria química, ya que a partir de la biodigestión anaerobia de las vinazas (Rodríguez-Cortés, A., 2016) obtuvo un subproducto de valor agregado llamado metilisourea, logrando su producción de manera más satisfactoria con vinaza tratada a un pH de 6, temperatura de 35°C y a cortos periodos de inoculación, con bacterias como *Clostridium*, *E. cloacae* y cepas aisladas a partir de estiércol de vaca, ya que logran adaptarse a la vinaza de manera exitosa y en tiempos cortos; sin embargo mejoras en el proceso de tratamiento de las vinazas aún se encuentra en estudio y desarrollo, así como la adaptación y modificación de microorganismos para obtener el mayor rendimiento y producción en la generación de subproductos a partir de estos residuos.

Lo último nos indica que la integración de la biotecnología con los procesos tradicionales agroindustriales es un elemento determinante en la modernización de los procesos, al elevar la eficiencia, la diversificación y la integración de los procesos productivos, desde la elaboración del mezcal, hasta el tratamiento y disposición de los residuos producidos. Logrando así un desarrollo en el sector agroindustrial al causar la menor afectación posible al medio ambiente, ya que por falta de conocimientos, recursos o tecnología, los residuos son desechados sin tratamiento previo, ocasionando afectaciones a los ecosistemas, equilibrio ecológico y calidad de vida en las comunidades aledañas.

## CONCLUSIÓN

El mezcal representa para México uno de los productos más representativos, debido a su carácter artesanal, siendo un motor de desarrollo económico para las regiones del país que poseen la denominación de origen, pues brinda gran valor para el desarrollo local, fortaleciendo la identidad y las tradiciones de las regiones, sin embargo, su producción genera residuos que han sido liberados al medio ambiente provocando gran afectación. El desarrollo y aplicación de tecnologías para un eficiente tratamiento y reaprovechamiento de estos residuos son necesarias y urgentes para obtener un proceso de producción de mezcal y generación de residuos respetando la NOM-064-ECOL-1994.

## CONFLICTO DE INTERES

Se declara que el presente documento no tiene conflicto de intereses, ya que no existe relación económica, personal o política que interfiera o influya en la credibilidad del mismo.



## REFERENCIAS

- [1] Consejo Mexicano Regulador de la Calidad del mezcal (COMERCAM). Informe anual 2010. <http://www.comercam.org/>. (Accessed on: December 1, 2011).
- [2] Tejada, M., García-Martínez, A.M., Parrado. (2009). Effects of a vermicompost composted with beet vinasse on soil properties, soil losses and soil restoration. *CATENA*. 77(3), 238-247.
- [3] Yavuz, Y. (2007). EC and EF processes for the treatment of alcohol distillery wastewater. *Separation and Purification Technology*. 53(1), 135-140.
- [4] Díaz, M., Madejon, E., López, F., López, R., Cabrera, F., (2002). Optimization of the rate vinasse/grape marc for co-composting process. *Process Biochemistry*. 37, 1143-1150.
- [5] Robles-González, V., Galindez-Mayer, J., Rinderknecht-Seijas, N., Poggi-Varaldo, H.M. (2012). Treatment of mezcal vinasses: A review. *Journal of Biotechnology*. 157(4), 524-546.
- [6] Mane, J.D., Modi, S., Nagawade, S., Phadnis, S.P., Bhandari, V.M. (2006). Treatment of spentwash using chemically modified bagasse and colour removal studies. *Bioresource Technology*. 97, 1752-1755.
- [7] Jiménez, A.M., Borja, R., Martín, A., Raposo, F. (2005). Mathematical modelling of aerobic degradation of vinasses with *Penicillium decumbens*. *Process Biochemistry*. 40, 2805-2811.
- [8] Vlyssides, A.G., Israilides, C.J., Loizidou, M., Karvouni, G., Mourafeti, V., (1997). Electrochemical treatment of vinasse from beet molasses. *Water Science and Technology*. 36 (2-3), 271-278.
- [9] Secretaría de agricultura, ganadería, desarrollo rural, pesca y alimentación (SAGARPA). Plan rector sistema nacional maguey mezcal. Consultado en el 2012 de <http://www.sagarpa.gob.mx/>.
- [10] NOM-064-ECOL-1994. Establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a cuerpos receptores provenientes de la industria de la destilería. Normas Mexicanas. Dirección General de Normas.
- [11] FAO. 1997. El estado mundial de la agricultura y la alimentación. Italia. ISSN 0251-1371.
- [12] Comité sistema producto maguey mezcal. 2006. Plan rector sistema nacional maguey mezcal. <http://www.sientemezcal.com/pdf/PlanRector.pdf> (Accessed on: December 1, 2011).
- [13] Rodríguez-Cortés, Angélica. Fermentación Anaerobia de la vinaza mezcalera para la obtención de productos de valor industrial.

Master's thesis, BUAP, Puebla, México. January 2016.