

Ensayos

Estudio técnico de la molienda tradicional en la producción de mezcal artesanal

Recibido: 08-03-2018 Aceptado: 26-04-2018 (Artículo arbitrado)

Resumen

Con el objetivo de mejorar y aumentar la eficiencia en la extracción de mieles en la molienda tradicional de piñas de maguey (cabezas) en el proceso de elaboración de mezcal artesanal, se analizó el proceso de molienda y la función que cumple cada elemento mecánico del molino, se analizó la fibra, se determinó el contenido de humedad de las piñas (antes y después de la molienda) y se cuantificó el patinaje. Los resultados obtenidos muestran que en general los problemas que se presentan en los molinos, están relacionados con la falta de mantenimiento, pues son molinos antiguos, que en su momento se utilizaron en la molienda de granos y actualmente se utilizan en la molienda de la piña de maguey. Para eficientizar el proceso de molienda se propone disminuir el deslizamiento, concentra el mayor peso posible de la rueda de piedra en un área pequeña, e impedir que se forme un colchón al paso de la misma.

Abstract

The production process and function of each mechanical component of the milling process of artisanal mezcal was analyzed, aimed at improving the efficiency and extraction of molasses from the hearts (piña) of the maguey plant. The fiber was analyzed, the moisture content of the maguey hearts was determined (before and after milling) and sliding was quantified. The results obtained in this investigation show that the general problems that occur in maguey mills are related to the lack of maintenance, as most of the mills used are old and were adapted from equipment originally designed for grain milling. In order to make the grinding process more efficient, a reduction in sliding is proposed, as well as concentrating the heaviest part of the stone wheel on a small area and preventing the accumulation of excess residue from the ground agave hearts.

Résumé

Dans le but d'améliorer et d'augmenter l'efficacité d'extraction des miels lors du broyage traditionnel des têtes de l'agave maguey pour l'élaboration de mezcal artisanal, nous avons analysé le processus de broyage et la fonction de chaque élément mécanique du moulin : nous avons analysé la fibre, déterminé la quantité d'humidité des têtes (avant et après le broyage) et nous avons quantifié le patinage. Les résultats obtenus montrent, qu'en général, les problèmes présents lors du broyage sont dus au manque de maintenance des moulins : en effet, il s'agit de moulins anciens qui étaient à l'époque utilisés pour le grain et qui, à présent, servent pour les têtes de magueys. Pour rendre plus efficace le processus, nous proposons de diminuer la surface de roulement, de concentrer le poids de la roue sur la plus petite surface possible et d'empêcher la formation d'une couche au passage de cette dernière.

H.M. Durán-García¹
J.L. Pulido-Delgado²
L. Vladimirovna-Krasotina³
C. Michel-Cuello⁴

Palabras clave: Extracción de mieles, molienda de maguey, reducción de tamaño de la piña, mezcal artesanal.

Keywords: Extraction of molasses, milling agave, reduction of pine sizes, artisan mezcal.

Mots-clés : extraction des miels, broyage de l'agave maguey, réduction de la taille des têtes, mezcal artisanal.

Introducción

Según la Real Academia Española el término mezcal proviene del náhuatl *Mexcalli* y establece dos definiciones: Variedad de agave y como Aguardiente que se obtiene por fermentación y destilado de las cabezas de esta planta. Aclarando que lo que se fermenta y destila son las mieles extraídas de las cabezas de maguey cocidas. El aguardiente de mezcal, que ha sido impropriamente llamado vino mezcal, es un líquido espirituoso, incoloro y diáfano, muy fluido, más ligero y movable que el agua destilada: con olor y sabor peculiar y, característico que permite distinguirlo fácilmente de otros aguardientes (Segura, 2006). En cada pueblo y región y aun de una destiladora a otra, el mezcal ha adquirido características propias, bien por el tipo de maguey empleado o por la

^{1, 2, 4} Universidad Autónoma de San Luis Potosí.

³ Universidad Estatal de Automóviles y Carreteras de Siberia

Correspondencia:
jpulido@uaslp.mx

mezcla de estos; por el modo de cocción, la forma de fermentar las mieles y el tiempo de fermentación (Rios-González *et al.*, 2017). Así nació el tequila, el comiteco de Chiapas, el bacanora de Sonora, la raicilla y barranca de Nayarit y Jalisco, la tuxca o quitupán de Colima y el yahuytzingu en la mixteca (Torrentera, 2001). De los agaves se obtienen dos clases de bebidas alcohólicas, una fermentada (pulque) y una destilada (mezcal) (DOF: 03/03/2003). El mezcal tiene su origen en un alimento muy parecido que obtenían los indígenas al cocer las cabezas o piñas del maguey denominado *mezcalli*, que es el antecedente directo de la palabra mezcal (Kirchmayr, *et al.*, 2017).

El proceso de elaboración de mezcal tradicional en las distintas fábricas en México, es similar y las etapas que lo conforman son las siguientes: cocción, molienda, fermentación y destilado (Durán *et al.*, 2007).

En la molienda se presentan diversos problemas que merman el volumen de mieles extraídas a las piñas o corazones del maguey; entre ellos, el patinaje, el deslizamiento y desperfectos estructurales entre otros. Con el objetivo de mejorar y aumentar la eficiencia en la extracción de mieles en la molienda tradicional de piñas de maguey (cabezas) en el proceso de elaboración de mezcal artesanal, se analizó el proceso de molienda y la función que cumple cada elemento mecánico del molino, se analizó la fibra, se determinó el contenido de humedad de las piñas (antes y después de la molienda) y se cuantifico el patinaje. Se visitaron las fábricas de mezcal Saldaña, Santa Teresa, Laguna Seca, Jarillas y Santa Isabel, todas ubicadas en el altiplano potosino-zacatecano. El mezcal, según la NOM-070-SCFI-1994, es una bebida alcohólica regional obtenida por destilación y rectificación de mostos preparados directa y originalmente con los azúcares extraídos de las cabezas maduras de los agaves: *Agave angustifolia* Haw, *Agave asperissima* Jacovi, *Agave weberi* Cels ex Poissons, *Agave potatorum* Zucc, *Agave salmiana* Otto ex Salm-Dyck ssp. *Crassispina* (Trel.) Gentry, y otras especies de agave, siempre y cuando no sean utilizadas como materia prima para otras denominaciones de origen. Es posible caracterizar la molienda en dos tipos: manual y auxiliada con tracción animal (y en ocasiones motorizada). La molienda manual se realiza con mazos de madera; característica de lugares con bajo volumen

de producción y no continua, pues exige esfuerzo físico desgastador. La molienda donde se utiliza un molino de piedra con tracción animal se observa en lugares que producen mezcal de manera continua. En las fábricas de mezcal visitadas se cuenta con un molino chileno o tahona, cuyo principio de funcionamiento es similar, mostrando pequeñas diferencias en cuanto a diseño y forma de trabajo. Estos molinos que inicialmente se utilizaron en la molienda de trigo, se adaptaron para extraer mieles de las piñas de maguey; por lo tanto, el material a moler es diferente en tamaño, forma y consistencia. Para abrir mecánicamente las células del material biológico existen cuatro principios (Durán y Pulido, 2007): presión, golpe, choque y corte, aplicando los fenómenos de romper, moler y cortar; siendo importantes la fricción y la resistencia al corte en la molienda de la masa orgánica del maguey. Desde el punto de vista energético las máquinas accionadas por el principio de corte por deslizamiento (cuchillos) reducen más efectivamente los tamaños del material (piña de maguey), pero la cantidad de células abiertas es menor, en comparación con otros principios. Con el uso del impacto y el choque (molino de martillos), las células se abren más que si fuese sólo por corte (Zuñiga y Mantari, 2017). El molino chileno o tahona aplica en su funcionamiento la fricción, el corte y la presión (Durán y Pulido, 2007). Con esta combinación se extraen las mieles de forma sencilla y completa; el inconveniente es el gran espacio en la construcción, el suministro y descarga del material.

Materiales y métodos

Descripción del proceso

En las mezcaleras ubicadas en el altiplano Potosino-Zacatecano, la molienda se realiza con un molino chileno o tahona, que consiste en una piedra amonedada de cantera o cemento con un peso que varía de 500 a 3000 kg, que puede ser dentada o lisa en su área de contacto (Figuras 1 y 2). Al centro la piedra es atravesada por un tubo metálico o un barrote de madera, que al mismo tiempo la une con un eje vertical de hormigón o madera permitiendo un movimiento de traslación. Sobre la superficie del suelo en su circunferencia, existe un borde de piedra o cemento que impide la salida de las mieles y del bagazo. El movimiento del molino se logra gracias a un motor,

a un tractor o por tiro animal. La rueda presenta movimientos de giro, torsión y traslación alrededor del eje central; las piñas de maguey cocido se parten en trozos y se colocan al paso de la piedra para ser prensadas y exprimidas gracias al giro y traslación. La torsión afloja y desgarrar la fibra de la piña para que las mieles salgan con facilidad. La superficie de la cama del molino tiene una ligera inclinación y pequeños canales para conducir las mieles obtenidas a las tinas de fermentación.

Caracterización de la molienda.

Análisis de la fibra

La rueda de piedra al pasar sobre las piñas troceadas, aplica fuerzas que provocan tensión, presión, golpe y choque; por lo tanto, es importante conocer la resistencia de la fibra antes de ser fracturada, determinando la fuerza necesaria para romperla y permitir que las mieles salgan y fluyan. En la determinación de la resistencia a la tensión se utilizó una máquina universal de ensayo de materiales de laboratorio marca Monsanto. Se determinó el diámetro y longitud a muestras de fibras individuales y en grupos de cinco, buscando que tuviesen longitud similar. El diámetro de la fibra se determinó empleando un micrómetro digital, realizando la medición a 20 muestras en cuatro puntos localizados a lo largo de la fibra y posteriormente se aplicó tensión hasta su ruptura.

Determinación de la humedad en bagazo

La pérdida de peso se debe a la eliminación del agua. Los materiales secados a temperaturas superiores a 55°C, se alteran significativamente en algunos de sus componentes estructurales. Por lo tanto, si un material se va a secar para someterlo a análisis diferente al de humedad, no deberán sobrepasarse los 55°C. Si el material se va a secar para medir exclusivamente el contenido de humedad, se pueden emplear temperaturas superiores a 55°C, sin importar que haya pérdida de sustancias por volatilización o descomposición. Determinar la materia seca total permite conocer el porcentaje de humedad que aún tiene el bagazo al salir de la molienda. Para determinar la humedad, se deposita una muestra de 1 a 1.5 g en el crisol de porcelana y se registra el peso exacto; seguido, se seca en la estufa a 100-105°C hasta peso constante (aproximadamente cuatro horas), pasado ese tiempo

se retira el crisol con su contenido y se pesa en la balanza analítica.

$$\% \text{ de humedad} = (\text{pérdida de peso en gramos} / \text{gramos de la muestra}) \times 100 \quad (1)$$

Determinación del patinaje y el deslizamiento.

El patinaje y el deslizamiento (medidos como índice de eficiencia) que se presenta en los molinos, es un problema asociado con el alto contenido de humedad presente en el maguey cocido, al perfil de la rueda y al metate o piso (liso o labrado). La presencia de patinaje es positivo para la molienda pues el material se desgarrar; si se presenta deslizamiento, la rueda no gira (no muele). Cuando la rueda pierde tracción, sólo ejerce presión sobre el material (la tensión, el choque y el corte disminuyen); el patinaje y el deslizamiento se calculan con la siguiente ecuación (Durrán y Pulido, 2007):

$$I_{ef} = D_t / D_r \quad (2)$$

donde I_{ef} es el Índice de eficiencia, D_t es la distancia teórica recorrida, D_r es la distancia real recorrida.

La distancia teórica se obtiene calculando la circunferencia del círculo por donde se desplaza la rueda, tomando como radio la longitud del brazo de palanca desde el centro del vástago hasta el punto medio del ancho de la rueda. Para obtener la distancia real recorrida por la piedra en una traslación se contabiliza el número de vueltas que requiere la rueda para llegar al mismo punto y, se multiplica por el perímetro de la rueda. Si el valor del índice de eficiencia obtenido es menor a 1, existe patinaje, si es superior a 1 ocurre deslizamiento.

Determinación de la compresión

El porcentaje de compresión se calculó utilizando la siguiente ecuación:

$$C = (A_1 / A_2) 100. \quad (3)$$

donde C es el porcentaje de compresión, A_1 es el espesor inicial, A_2 es el espesor final

Resultados y discusión

En promedio la resistencia a la tensión de la fibra hasta su ruptura es de 4.68 N si es fibra seca y de 6.52 N si es fibra húmeda. El diámetro de la fibra antes de la molienda es de 0.226 mm, después de la molienda se destruye y no es posible cuantificarlo. Conocer el porcentaje de compresión permite optimizar el número de vueltas, extrayendo la mayor cantidad de mieles. En la tabla 1 se muestra las características del proceso de las mezcaleras, cabe hacer notar que de las 5 mezcaleras que se visitó, solamente dos cumplen con las especificaciones.

Tabla 1. Comparación de fábricas mezcaleras

Mezcalera	Saldaña	Laguna Seca
Vueltas para Comprimir	27 a 28	10
% Compresión	28.5	44
Presión (Kg/cm ²)	971	762
% Humedad piña	69.44	69.44
% Humedad bagazo	57.3	53.4

La presión ejercida por cada una de las ruedas es diferente, pues ésta depende del peso y del área de contacto. La deformación vertical del material depende de las características de cada rueda, ya que la presión es inversamente proporcional al área de aplicación. Existen dos tipos de deformación, la primera en presentarse es la deformación plástica (el cuerpo no recupera su forma original al retirar la fuerza que le provoca la deformación); la deformación plástica se activa cuando la tensión aplicada supera a la tensión de fluencia del material. La deformación elástica es aquella en la que el cuerpo recupera su forma original al retirar la fuerza que le provoca la deformación (esta deformación se puede despreciar pues el material regresa a su volumen original).

Tras el análisis y el estudio completo de la molienda se observaron los siguientes puntos, para mejor ayuda ver figuras 1 y 2:

1.- El metate o piso (1) debe tener pendiente de 3 ó 4% para permitir el rápido drenado de las mieles hacia el colector (11), en el piso o metate es fundamental la presencia de hoyos hechos con cincel y martillo y en la rueda de piedra (6) labrar en el perfil (7) ranuras transversales para aumentar la tracción.

2.- Los vástagos (2) de madera suelen ser muy problemáticos, pues oscilan cuando la rueda de pie-

dra está en movimiento. Además, no tienen la resistencia necesaria para que el eje central o pivote (3) mantenga firme al brazo de palanca (4 y 8), permitiendo que la rueda de piedra oscile. Es necesario y recomendable construir el vástago de hormigón y reforzarlo con una camisa metálica.

3.- En todas las mezcaleras se observó un desgaste significativo en la unión (5), esto debido a que la corona en el eje central oscila hacia arriba y abajo, pues la superficie del metate no es completamente horizontal, provocando desgaste por fricción. La solución propuesta es aplicar grasa o lubricante regularmente y dar la pendiente indicada anteriormente. Para evitar que el eje central o pivote se desgaste rápidamente, se debe aplicar grasa periódicamente.

4.- El brazo de palanca (4 y 8) está formado generalmente por un tubo (el cual termina en el punto de tiro o arrastre (9)), debe ser lo suficientemente robusto por lo que se hace necesario el reforzamiento para dar más firmeza. En la unión de la rueda con el brazo, el orificio central de la rueda es cuadrado pero el brazo de palanca redondo; para mantener la rueda firme y que no se deslice, se colocan cuñas de madera que gradualmente se aflojan y tienen que ser ajustadas constantemente. La solución propuesta es montar rodamientos a cada lado de la rueda, permitiendo el libre giro y al mismo tiempo se limite el movimiento de la rueda a lo largo del brazo de palanca. Se recomienda que la rueda en general gire cerca del borde de contención (10), que es el área donde el piso o metate esta labrado, facilitando la extracción de mieles y que éstas sean rápidamente colectadas (11). Se recomienda mantener el perfil de la rueda siempre labrado, buscando buena tracción y evitando el deslizamiento.

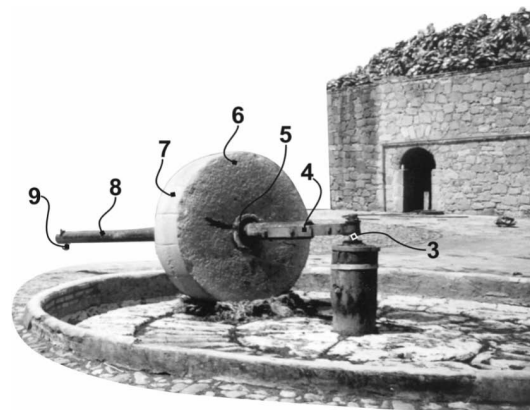


Figura 1. Molino chileno o tahona utilizado en plantas artesanales de mezcal en el norte de México. (Fuente. Propia).

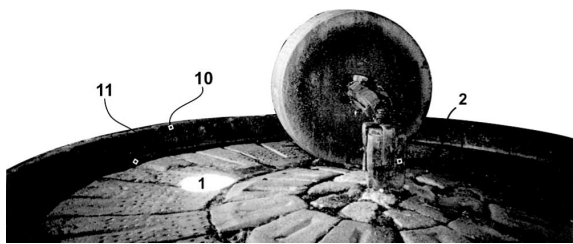


Figura 2. Detalle de un molino chileno o tahona. (Fuente. Propia).

Conclusiones

La falta de mantenimiento es un problema común en las mezcaleras del altiplano potosino-zacatecano. El principio de molienda no es de gran importancia en el sentido de la efectividad energética del proceso, pues se observó que es más importante la integración tecnológica para lograr reducir las pérdidas por los procesos asociados como: extracción y recolección de mieles, reducción de espacio en las instalaciones, facilidad de manejo, buena fermentación, etcétera.

Impedir que se forme un colchón de bagazo al paso de la rueda permite llegar hasta la deformación plástica y se evita que el bagazo recupere su espesor, al igual que evitar y/o disminuir el deslizamiento, mejorando la extracción de las mieles.

Bibliografía

DOF: 03/03/2003. Modificación a la declaración general de protección de la denominación de origen Mezcal, publicada el 28 de Noviembre de 1994, http://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?

- Durán, H.M. y Pulido, J.L. (2007). Análisis de la molienda en el proceso de elaboración de mezcal. *Información Tecnológica* 18(1): 47-52.
- Durán, H.M., González, E.J. and Matadamas, P. (2007). Mechanization process in the production of mezcal. *Journal of Food, Agriculture and Environment* 5(3&4): 32-35.
- Kirchmayr, M.R., Segura, L.A., Lappe, P., Moreno, R., de la Rosa, M. and Gschaedler A. (2017). Impact of environmental conditions and process modifications on microbial diversity, fermentation efficiency and chemical profile during the fermentation of mezcal in Oaxaca. *LWT – Food Science and Technology* 79: 160-169. DOI: 10.1016/j.lwt.2016.12.052.
- Norma Oficial Mexicana NOM-070-SCFI-1994, Bebidas Alcohólicas – Mezcal – Especificaciones. Diario Oficial de la Federación del 12 Junio de 1997.
- Ríos, L.J., Morales, T.K., Rodríguez, M.F., Rodríguez, J.A., Castillo, D, Castro, A.J. and Martínez A. (2017). Autohydrolysis pretreatment assessment in ethanol production from agave bagasse. *Bioresource Technology* 242:184-190.
- Segura, J.C. (2006). El maguey. Memoria sobre el cultivo y beneficio de sus productos. *Revista de Geografía Agrícola*, núm. 37: 131-150.
- Torrentera, U. (2001). *Mezcalaria*. Segunda edición. Editorial Farolito. México. 210p.
- Zuñiga, J.M. and Mantari, J.L. (2017). A computational methodology to calculate the required power in disc crushers. *Journal of Computational Design and Engineering* 4: 14-20.

