

ARTÍCULO ORIGINAL

# Innovación de un molino de agave cocido para la producción de mezcal

## *Innovation of an agave mill cooked for the mezcal production*

Dr. Magdaleno Caballero Caballero, M.C. José Luis Montes Bernabé, M.C. María Eugenia Silva Rivera

Instituto Politécnico Nacional, CIIDIR-Oaxaca, Santa Cruz Xoxocotlán, Oaxaca, México.

### RESUMEN

La agroindustria del sistema agave-mezcal es de gran importancia económica en Oaxaca ya que de ella dependen, directa e indirectamente más de 25000 familias, entre productores de agave, productores de mezcal, envasadores y comercializadores. En el proceso artesanal para la elaboración de mezcal se emplean 12,7 kg de agave verde para producir un litro de mezcal. Este trabajo seleccionó la fase de molienda que es una de las más importantes dentro del proceso de producción de mezcal, y su mejora no violenta las características organolépticas del producto, implementando la innovación de un molino artesanal de agave hidrolizado, al cambiar la tracción animal por tracción mecánica de la rueda de molienda, y el rediseño de la misma que da como resultado el incremento en su capacidad de procesamiento de 312 kg/h a 1101,36 kg/h, además de incrementar el porcentaje de producto totalmente molido de 55% a 98%. Esto se traduce en un incremento en la eficiencia en la producción al aumentar el rendimiento de 78,74 litros de mezcal a 102,36 litros, con el empleo de 1000 kg de agave verde, es decir se redujo de 12,7 kg a 9,76 kg de agave para la obtención de un litro de mezcal.

**Palabras clave:** agave *angustifolia* Haw hidrolizado, molienda, mecanización.

### ABSTRACT

The agribusiness system agave, mezcal is of great economic importance in Oaxaca since it depends directly and indirectly more than 25000 families, between producers of agave, mezcal producers, packers and marketers. In the process for the manufacture of artisanal mezcal used 12,7 kg of green agave to produce one liter of mezcal. This study selected the grind that is one of the most important in the process of production of mezcal, and nonviolent improved organoleptic characteristics, implementing innovation artisanal agave mill hydrolyzed animal traction change mechanical drive of the grinding wheel, and the redesign of the same which results in increased processing capacity of 312 kg/h to 1101,36 kg/h, thus increasing the percentage of completely milled product of 55% to 98%. This translates into an increase in production efficiency to increase the yield of 78,74 liters of mezcal to 102,36 liters, employing 1000 kg of agave green, is reduced from 12,7 kg to 9,76 kg of agave to obtain one liter of mezcal.

**Keywords:** Agave *angustifolia* Haw hydrolyzate, grinding, machining.

### INTRODUCCIÓN

En México el mezcal es una bebida tradicional, herencia del pasado prehispánico y emblemático de Oaxaca. Sin embargo, hasta la fecha no existen mejoras tecnológicas para el desarrollo de la agroindustria del sistema agave-mezcal en el estado de Oaxaca el cual se lleva a nivel artesanal en un 90%, en este tipo de proceso para la elaboración de mezcal se emplean 12,7 kg de agave verde para producir un litro de mezcal. Esta agroindustria es de gran importancia económica en la región ya que de ella

dependen, directa e indirectamente más de 25000 familias, entre productores de agave, productores de mezcal, envasadores, comercializadores y artesanos. En estudios realizados al proceso de fabricación del mezcal en sus cuatro etapas que la componen: horneado de la piña de agave, molienda del agave hidrolizado la cual es un punto crítico en el proceso de elaboración del mezcal por su influencia en el rendimiento del producto terminado (Duran y Pulido, 2007), fermentación y destilación, se han identificado una serie de problemáticas técnicas que no han sido

abordadas para su mejora a través de tecnología adecuada que las mecanicen para obtener mejores rendimientos. El presente trabajo seleccionó la fase de molienda que es una de las más importantes, y su mejora no violenta las características organolépticas del producto, se conservan en el producto final el sabor y el aroma, que son algunos de los factores de su posicionamiento en los mercados y demanda a nivel nacional y mundial. Dadas estas condiciones se toma como objetivo desarrollar una tecnología que innove el proceso tradicional de mezcal en la fase de molienda conceptualizada en los factores ya expresados, que además de incrementar la productividad, se logra el aprovechamiento de la materia prima, con los mínimos desperdicios (Caballero y Silva, 2007), obteniendo un litro de mezcal con 9,76 kg de agave en verde (Silva y Caballero, 2004).

Existe una molienda con eficiencia de 55%, no hay una tecnología propia para efectuar la molienda del agave hidrolizado que innove esta fase, la capacidad de producción actual de los molinos tradicionales está limitada. Las condiciones son anti-higiénicas en el área de trabajo. Pérdidas de escurrimientos de tres a 10% de jugos de agave horneado. Además ésta es una de las actividades que los trabajadores ya no quieren realizar por lo extenuante que resulta.

Para aumentar el nivel de competitividad de los productores es necesario que cuenten con el equipo adecuado para aumentar el volumen de producción en el menor tiempo posible mecanizando únicamente la etapa de molienda, cambiando la fuente de potencia del elemento de molienda (rueda de piedra), se substituyó la tracción animal por tracción mecánica. Con el prototipo se agiliza el proceso de molienda de agave una vez que éste ha pasado por el proceso de cocción, estimando procesar en el molino 1000 kg/h.

## MÉTODOS

Se realizó el estudio del proceso de fabricación del mezcal a nivel artesanal para su mayor identificación, se eligió el ob-

jeto de estudio a innovar, que fue la fase de molienda de agave hidrolizado con tracción animal (Figura 1). Los elementos principales del molino son una piedra cilíndrica, montada en un eje horizontal, el cual gira alrededor de un eje vertical y el piso de rodamiento en donde se deposita el lecho de agave. (Figura 2). Se definieron los parámetros de diseño en función de los nuevos objetivos a alcanzar. Se generó un número considerable de soluciones, las cuales fueron evaluadas y discriminadas hasta lograr conceptualizar la mejor opción de tecnología para la fase de molienda y se construyó un modelo a escala del molino con piedra con tracción mecanizada como se puede apreciar en la Figura 3. Se hizo el diseño preliminar del concepto de tecnología seleccionada desde el punto de vista de análisis funcional y cinemático.

### Velocidad del sistema con tracción animal

En cada ciclo de molido el molino es cargado con agave hidrolizado para generar un lecho de agave sobre el que se desplaza la piedra, se observó que la piedra cilíndrica que realiza la molienda del agave recorre 78 veces el piso de rodamiento en 22,50 minutos por lo que el sistema tiene una velocidad de 3,46 rpm entregando 156 kg de agave procesado, siendo 55% de agave totalmente molido y 45% sin moler. En base a estos datos y considerando los tiempos de carga y descarga, se determinó la capacidad de producción del molino con tracción animal de 312 kg/h.

### Velocidad del sistema con tracción mecanizada

La velocidad de rotación del sistema se incrementó a 12 rpm al implementar la tracción mecanizada por lo que se obtuvo un factor de:  $12/3,46$  igual a 3,53 y que al multiplicarlo por 312 kg/h da una capacidad máxima de molienda de 1101,36 kg/h.



FIGURA 1. Molienda con piedra accionada por tracción animal.

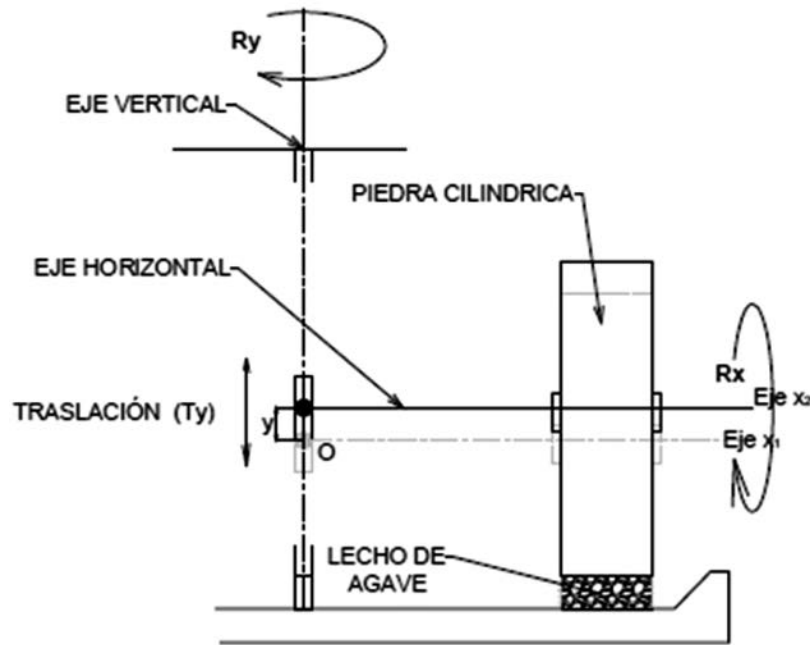


FIGURA 2. Análisis de funcionamiento.



FIGURA 3. Modelo de molino mecanizado.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En base a datos experimentales (Tabla 1) de compresión y de impacto realizados al agave hidrolizado, se determinó la energía necesaria para realizar la molienda de una forma más óptima.

**TABLA 1. Datos experimentales de las propiedades mecánicas del agave hidrolizado**

Energía absorbida durante el corte por impacto ensayada al agave mezcalero variedad espadín azul en estado horneado	6,0 J/cm <sup>2</sup>
$p$ = fuerza específica de la trituración relacionada con 1 cm de longitud de cilindro.	223,34 N/cm
Esfuerzo de compresión de agave hidrolizado	0,455 MPa
Módulo de elasticidad de agave hidrolizado	5,61 MPa
Densidad del agave	1 500 kg/m <sup>3</sup>
Coefficiente de fricción de agave hidrolizado	0,3

En la investigación de Mena *et al.* (2007) establece que los caballos de potencia en tracción animal (yunta de bueyes) es de 1,05 kW equivalente a 1,40 hp.

Por otra parte se determinó que en la molienda con las nuevas características de la piedra se consumen 10 hp de potencia, donde se consideran los fenómenos de cizallamiento, fuerzas de fricción, compresión e impacto, a los que se suman tres hp que consumen los mecanismos deflectores durante el trabajo de barrido y de orientación del material en la trayectoria de la piedra cilíndrica que es la que asegura se realice la molienda

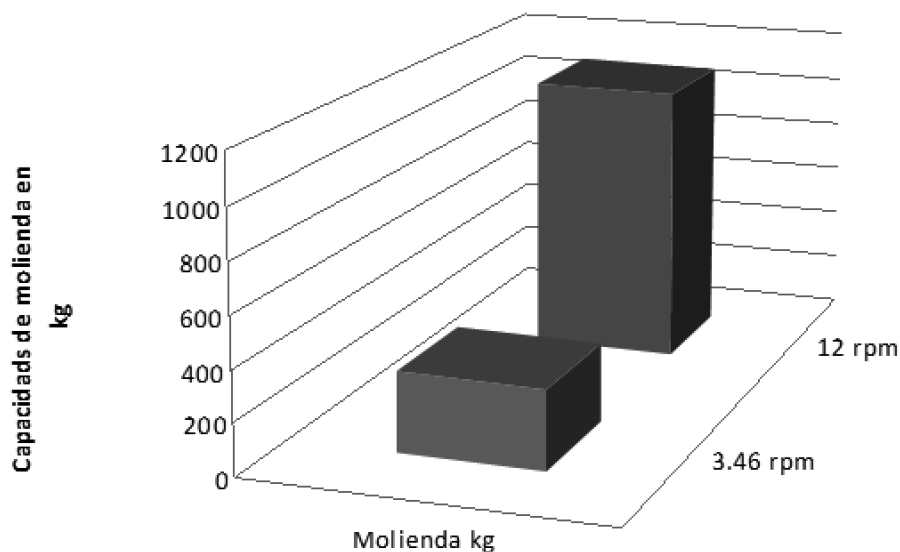
en la totalidad del producto. La Potencia total consumida durante el proceso tecnológico de molienda es de 13 hp por lo que comercialmente se seleccionó un motor de 15 hp.

En las pruebas preliminares se reportó un 67% de material molido totalmente, 13% molido parcialmente, y el 20% restante sin moler. Observándose una mejora con respecto a la molienda actual, la cual tiene un 55% molido y 45% sin moler, se continuó haciendo pruebas variando velocidad y ángulo del mecanismo direccionador. (Figura 4). En la Tabla 2 y Figuras 4 y 5 se concentran los resultados de innovación al molino.



FIGURA 4. Resultados de las pruebas.

## Capacidad de molienda



	Molienda kg
■ 3.46 rpm	312
■ 12 rpm	1,101.36

FIGURA 5. Capacidad de molienda.

**TABLA 2. Comparación entre el proceso de molienda con tracción animal y el proceso de molienda con tracción mecanizada**

Concepto	Molienda con tracción animal	Molienda con tracción mecanizada
Tracción	Animal	Tracción mecánica
Transmisión de potencia	Eslabones flexibles	Sistema de mecanismos
Peso de la piedra de molienda	753,24 kg	1765,55 kg
Porcentaje de material procesado sin moler	45%	0% - 2%
Caballos de potencia	1,40 hp	10 hp
Velocidad angular del sistema	3,46 rpm	12 rpm
Angulo del deflector direccionador de agave	Sin direccionador	45° respecto al eje de la piedra de molienda

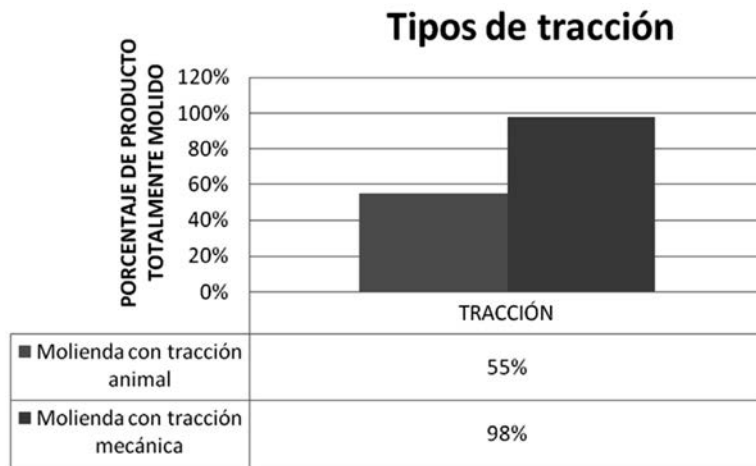


FIGURA 6. Porcentaje de producto molido totalmente con diferentes tipos de tracción

## CONCLUSIONES

- Las pruebas del prototipo de molino mecanizado reportan mejora en la calidad de molienda del material así como también en la cantidad procesada de 312 kg/h a 1000-1101,36 kg/h debido a la mayor velocidad de rotación de la piedra de 12 rpm comparada con la velocidad del molino por tracción animal de 3,46 rpm. En esta innovación de la fase de molienda se logró incrementar el porcentaje de producto totalmente molido al 98%-100%. Dado que el diseño del sistema de molienda cuenta con un sistema de mecanismos deflectores que direccionan el agave horneado hacia el centro

de la trayectoria de rodadura de la rueda cilíndrica y aquellos pedazos de agave que se salen del área de presión de la rueda, se logra que se encausen de nuevo garantizando la molienda de una manera eficiente, estos deflectores se encuentran a un ángulo de 45° respecto al eje de la piedra de molienda, así como también el rediseño de la geometría de la piedra que aumento su peso en un 234,39%. Con la tecnificación de la fase de molienda se incremento el rendimiento de producción de 78,74 litros de mezcal a 102,36 litros a partir de 1000 kg de agave verde, es decir se redujo de 12,7 kg a 9,76 kg de agave para la obtención de un litro de mezcal.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- DURÁN, M. H.; J.L. PULIDO: "Análisis de la molienda en el proceso de elaboración de mezcal", Universidad Autónoma de San Luis Potosí, México, *Información Tecnológica*, 18(1): 47-52, 2007.
- CABALLERO, C. M.; L. SILVA: *Diversificación del aprovechamiento del Agave angustifolia Haw, a través de la generación de tecnología apropiada para la producción de mieles y mezcal en el estado de Oaxaca*. Informe técnico final. SIP, IPN, México, 2007.
- SILVA, S. L.; M. CABALLERO: *Desarrollo de tecnologías adecuadas para el proceso de producción del mezcal en el Estado de Oaxaca*, Premio a la investigación en el IPN, México, 2004.
- MENA, M., N. RUIZ, A. BRYDSON, J. PÉREZ DE CORCHO; A. MOLINA: "Evaluación de la eficiencia económica de los animales de tiro, en la unidad básica de producción -Armando Enrique Cardoso- Cuba", *Naturaleza y Desarrollo*, 5(2): 15-25, 2007.

**Recibido:** 31 de julio de 2013.

**Aprobado:** 10 de septiembre de 2013.

José Luis Montes Bernabé, Instituto Politécnico Nacional, CIIDIR-Oaxaca, Hornos No. 1003, Col. Noche Buena, Santa Cruz Xoxocotlán, Oaxaca. México, C.P.71230, Teléfono: (951) 51 706 10, (951) 51704 00, (951) 51 711 99. Correo electrónico: [jlmberna66@yahoo.com.mx](mailto:jlmberna66@yahoo.com.mx)