

ARTÍCULO ORIGINAL

# Estudio de la eficiencia de troceado de *Agavetequilana* Weber empleando un molino con cuchillas articuladas

## *Study of the cutting efficiency of *Agave tequilana* Weber using a mill with articulated knives*

Alberto Saldaña Robles<sup>1</sup>, Cesar Gutiérrez Vaca<sup>1</sup>, Ryszard Jerzy Serwatowski Hlawinska<sup>2</sup>, Noé Saldaña Robles<sup>2</sup>  
y José Manuel Cabrera Sixto<sup>2</sup>

**RESUMEN.** En el presente estudio se evaluó la eficiencia de troceado de hojas y piña del *Agavetequilana* Weber, empleando un molino con cuchillas articuladas tipo “Y”. Los factores estudiados que influyen en la eficiencia de troceado se emplearán en el diseño del cabezal de trituración de un prototipo de cosechadora-trituradora de agave, cuyo fin es obtener la materia prima para la difusión y obtención de bioetanol. La eficiencia de troceado se definió como el porcentaje de trozos de agave menores a 5 mm medidos transversalmente a la fibra, valor recomendado para una difusión eficiente. La eficiencia de troceado de las hojas se evaluó mediante un arreglo factorial 2x2 completamente al azar con cuatro repeticiones. Los factores fueron: velocidad angular del rotor a 1 500 y 2 000 rpm; y posición angular de alimentación de la hoja respecto al eje del molino: 45 y 90 grados. Los resultados mostraron que la posición de la hoja no influye en la eficiencia de troceado, mientras que para las velocidades de 1 500 y 2 000 rpm los valores de eficiencia resultaron de 91,25 y 94,95, respectivamente, mostrando una diferencia estadísticamente significativa. En la eficiencia de troceado de piña se estudió la influencia de la velocidad a 1 500 y 2 000 rpm usando la prueba de t bajo muestras aleatorias independientes con cuatro repeticiones, lo cual mostró una eficiencia muy superior para 2 000 rpm.

**Palabras clave:** cosechadora, eficiencia, desmenuzado, mecanización.

**ABSTRACT.** In this study, the efficiency of cutting piña and leaves of *Agave tequilana* Weber plant was evaluated by using a mill of articulated “Y-shape” knives. Studied factors influencing the efficiency of cutting will be used in the design of the crushing head of a harvester Agave prototype-crusher, that has the purpose of getting adequate raw material used in the diffusion process for the production of bioethanol. The cutting efficiency was defined as percentage of agave pieces smaller than 5 mm measured transversely to the fiber, recommended value for efficient diffusion. Cutting efficiency of leaves was evaluated using a factorial arrangement 2x2 completely randomized design with four replicates. The factors were: angular velocity of the rotor at 1 500 and 2 000 rpm and feeding angular position of the leaf with rotor axis as reference: 45 and 90 degrees. Results shown that position of the leaf does not affect the efficiency of cutting, while an efficiency of 94,95% at 2 000 rpm was significantly higher than 91,25% at 1 500 rpm. For the cutting efficiency of piña the influence of speed at 1 500 and 2 000 rpm was studied using t-test for independent random samples and four replicates, which showed higher cutting efficiency at 2000 rpm.

**Keywords:** Harvester, efficiency, shredded, mechanization.

## INTRODUCCIÓN

La demanda excesiva de combustibles fósiles así como su impacto ambiental, generan no solo en nuestro país, sino en todo el mundo, la necesidad de aprovechar fuentes de energía

alternativa. El bioetanol es un producto de origen biológico que ha demostrado ser un excelente sustituto de los combustibles fósiles (UNESCO, 2007). En México se produjeron 56 millones de litros de bioetanol en el 2008, pero su consumo en ese mismo año fue de 164 millones, importando el restante

**Recibido** 16/07/10, aprobado 10/12/11, trabajo 02/12, artículo original.

<sup>1</sup> MC., Prof., Departamento de Ingeniería Agrícola. Universidad de Guanajuato. *Campus* Irapuato-Salamanca. Ex-Hacienda “El Copal”. Carretera Irapuato-Silao, km 9. Irapuato, Guanajuato, México. C. P. 36820. Tel. 52 462 6245215, E-✉: [cesarg@dulcinea.ugto.mx](mailto:cesarg@dulcinea.ugto.mx)

<sup>2</sup> Dr., Prof., Departamento de Ingeniería Agrícola. Universidad de Guanajuato, México.

Agradecimientos a los profesores Oscar Alejandro Martínez Jaime, J. Concepción Quiroz Ramírez, Adrian Flores Ortega, Salvador García Barrón y José Armando Juárez Guani colaboradores de este trabajo.

(Honty, 2008). Para el 2012 México tiene como meta producir 412 millones de litros de bioetanol, utilizando principalmente como materia prima el maíz y la caña de azúcar, siendo estos dos cultivos considerados en primera instancia como fuente alimenticia (Sierra 2011). En los últimos años se han realizado diversas investigaciones para el aprovechamiento de biomasa como fuente de energía (Madrigal 2009; González 2008; Whitney *et al.*, 2002), las cuales demuestran que es viable biológicamente producir bioetanol de la planta de *Agavetequilana* Weber obteniéndose un mayor rendimiento que de la caña de azúcar y el maíz, hasta 7000L/ha/año únicamente de las hojas. La producción de bioetanol resulta viable en lo biológico más en lo económico sería necesario mecanizar algunas etapas del proceso, que reduzcan el costo de producción, entre ellas la cosecha (jima). Tan solo para la producción de tequila el precio es de \$22 500 por ha, que corresponde al 75% de los costos de producción (Sierra, 2011). La jima le da un sentido artesanal al proceso de producción de tequila, más si el destino es la producción de bioetanol, carece de importancia, por lo que, una máquina cosechadora-trituradora de agave permitiría aprovechar la planta completa, reducir tiempos y gastos de mano de obra evitando en campo la extracción, jima y recolección, así como en la industria procesadora el desmenuzado, además de poder realizar la hidrólisis durante el transporte. El proceso adoptado recientemente por empresas del ramo del tequila para la obtención de los azúcares del agave, es la difusión, por tener una mayor eficiencia que los métodos tradicionales de cocimiento. El proceso de difusión requiere de un material previamente preparado, que se logra mediante dos etapas bien diferenciadas, en ambas etapas se emplean molinos. La primera etapa se encarga de la reducción de la planta en trozos pequeños y la segunda realiza una mayor reducción así como el desfibrado de los trozos de la primera. Lo anterior ha llevado al grupo de Diseño de Maquinaria y Equipo Agroindustrial

del Departamento de Ingeniería Agrícola de la Universidad de Guanajuato (UG), a desarrollar un prototipo de cosechadora-trituradora de agave que sea capaz de conseguir mediante dos etapas de triturado la materia prima adecuada para la difusión con orientación a la obtención de bioetanol. El presente estudio cubre una de las necesidades de dicho proyecto, y tuvo como objetivo evaluar la eficiencia de troceado de la planta de agave (hojas y piña), empleando un molino de cuchillas articuladas tipo “Y”. Los factores estudiados que influyen sobre la eficiencia en el troceado se emplearán en el diseño del cabezal de trituración de un prototipo de cosechadora -trituradora de agave, dicho cabezal estará conformado por dos tambores verticales contra-rotantes provistos de cuchillas “Y”. El diseño de la máquina pretende un implemento acoplado, accionado y tirado por el tractor cuya labor será el troceado-triturado de la planta de agave completa sin extraerla del suelo. La investigación se realizó en las instalaciones de la División de Ciencias de la Vida (DICIVA) de la Universidad de Guanajuato.

## MÉTODOS

Evaluación de la eficiencia de triturado del molino. Sierra (2011), reporta una serie de visitas a industrias tequileras del estado de Jalisco cuyo objetivo fue obtener la caracterización geométrica del material que resulta de la etapa de triturado (troceado) y de la etapa de desmenuzado (desfibrado fino) que se emplean en el proceso de difusión para la producción de tequila, obteniendo también la caracterización geométrica del material resultante posterior a la difusión. El autor clasificó el tamaño de los trozos de agave de acuerdo a lo mostrado en la Tabla 1, con base en la información proporcionada por las empresas, para la etapa de triturado. Esta información se empleó para definir la eficiencia lograda de troceado en el presente estudio.

**TABLA 1. Clasificación del troceado de agave como función del tamaño de los trozos para su uso en la difusión**

Clasificación	Muy bueno (MB)	Bueno (B)	Regular (R)	Malo (M)
Dimensiones de la fibra	A < 0,5 cm	0,5 cm < A < 2,5 cm	2,5 cm < A < 5 cm	A > 5 cm

Nota: A es la medida más grande en dirección transversal a la fibra.

**Preparación de la maquinaria y materia prima para los ensayos.** Para la realización del estudio la División de Ciencias de la Vida (DICIVA) proporcionó los siguientes equipos; un tractor New Holland de potencia mediana (78 hp) con 66,4 hp a la toma de fuerza; un molino de martillos para picar forraje marca “Triunfo” serie: 05069811 (Figura 1a) cuyo órgano de trabajo es un tambor rotativo provisto de 11 discos, 30 martillos, 30 bujes separadores (para los martillos) y 6 pernos para posicionar los martillos en diferentes arreglos (Figura 2 b). El molino es accionado por la toma de fuerza del tractor y tiene un juego de poleas con un incremento de uno a seis, por lo que, el tambor puede alcanzar una velocidad rotacional máxima de 3240 rpm, dicha velocidad varía dependiendo de la velocidad aplicada del tractor a la toma de fuerza.

Los martillos que posee el molino fueron diseñados y fabricados especialmente para el triturado de forraje seco, siendo éste un material frágil y ligero, características muy diferentes a las que posee la planta de agave *Tequilana weber*, compuesta por el 40% de fibra y 60% de jugo (Saucedo *et al.*, 2009). Con base en lo anterior los martillos del molino no son útiles para la etapa de triturado. El molino posee la característica de poder ensamblar y desmontar fácilmente los ejes, bujes y martillos, ventaja que permitió emplear en el molino series de cuchillas tipo “Y”, siendo el tipo de cuchilla más empleado en máquinas trituradoras y picadoras de uso agrícola para el troceado – triturado de material fibroso con características similares a las del agave. La cuchilla se diseñó y fabricó de acuerdo a las características geométricas del molino y de los elementos que lo conforman así como por la resistencia de los pernos-pivotes. A la cuchilla se le proveyó un borde liso con un ángulo de ataque de 30°, seleccionado para su fabricación solera comercial (ASTM-A36) de 1,5 plg. X 0,25 plg., valores recomendados que precisan la menor fuerza para

realizar el corte de la planta de agave (Sierra, 2010) sin perder la rigidez y resistencia de la cuchilla. Se fabricaron 30 cuchillas del tipo “Y” (Figura 2a), 15 de ellas con borde liso derecho y 15 con izquierdo, que posteriormente se colocaron en arreglos con forma de “Y” (Figura 2b). También se fabricaron 30 bujes, dos para centrar cada arreglo entre discos. La distribución geométrica mostrada en la Figura 3 fue la que permitió cubrir el mayor ancho de trabajo del molino, colocando tres cuchillas equidistantes en tres ejes y en los otros tres ejes, dos cuchillas, alternando los ejes.



FIGURA 1. Molino de martillos; (a) vista general del equipo; (b) tambor rotativo.

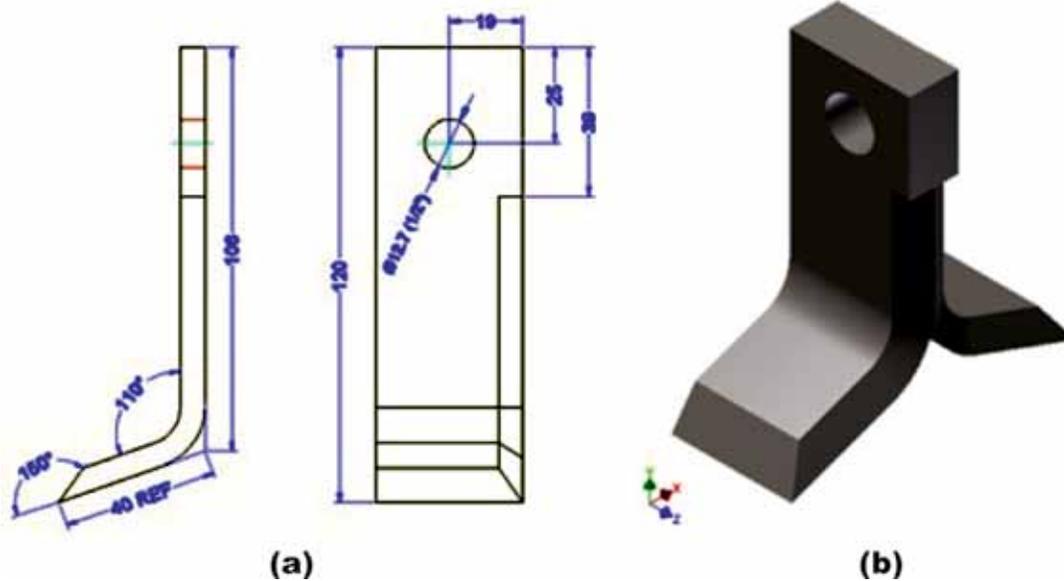


FIGURA 2. Cuchilla; (a) ½”Y” dimensiones; (b)”Y” modelado 3D en Autodesk Inventor 2010.

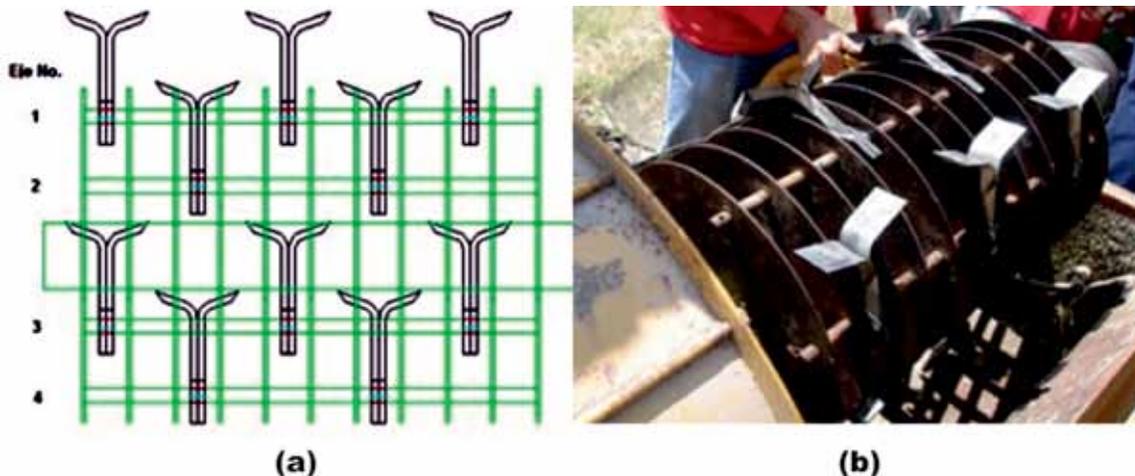


FIGURA 3. Distribución de cuchillas; (a) vista esquemática eje 1 a 4; (b) construidas y acopladas.

La materia prima empleada para la realización del presente estudio fue una planta de *Agavetequilana* Weber extraída del campo experimental de agave de la DICIVA, dicha planta se trasladó al laboratorio de prototipos donde fue jimada separando hojas y piña.

**Determinación de la eficiencia de troceado de las hojas de agave.** Se planteó un arreglo factorial 2x2 bajo un diseño completamente aleatorio con cuatro repeticiones, para evaluar la eficiencia de troceado de las hojas de agave, que fue la variable respuesta. Este modelo evaluó el efecto de dos factores que fueron la velocidad rotacional del tambor (1 500 y 2 000 rpm) y la posición de alimentación de la hoja (entrada de la hoja con ángulo de 45° y 90°, denotados por H45° y H90°).

**Niveles de velocidad rotacional.** Debido a que no existen datos experimentales de velocidad rotacional reportados en la bibliografía con respecto al troceado mecánico de agave, se propusieron dos velocidades 1 500 (V1) y 2 000 (V2) rpm lo que corresponde teóricamente a 75 cortes por segundo con una velocidad lineal de 34,9 m/s y 100 cortes por segundo con velocidad lineal de 46,5 m/s, respectivamente. Las velocidades elegidas abarcan el rango de velocidades empleadas

en plantas tequileras para el troceado de la piña de agave, así como el rango de velocidades empleadas en diversa maquinaria agrícola que tiene la función de trocear-triturar material de origen biológico en distintas condiciones. También fueron las que limitaron el intervalo de valores de velocidad que correspondieron a un producto con composición deseada visualmente durante una serie de pruebas preliminares. Cabe mencionar, que el material demasiado desmenuzado no es deseable debido a su difícil manejo y pérdida de jugo que contiene los azúcares del agave.

**Niveles de posición de alimentación de la hoja.** De acuerdo a la geometría de la planta de agave existen tres casos extremos en que la hoja entrará al par de molinos para ser troceada, según la geometría de la Figura 4: que la hoja entre completamente perpendicular al eje del molino (H90°); que la hoja entre paralela al eje; o que la hoja entre con un ángulo de 45° (H45°). En el diseño del cabezal se requerirá colocar una tolva que guíe las hojas a los tambores de tal manera que al entrar las hojas laterales del agave se doblen, y la posición en que la hoja entre paralela se presente en contadas ocasiones, por lo que este caso no se consideró en la investigación.

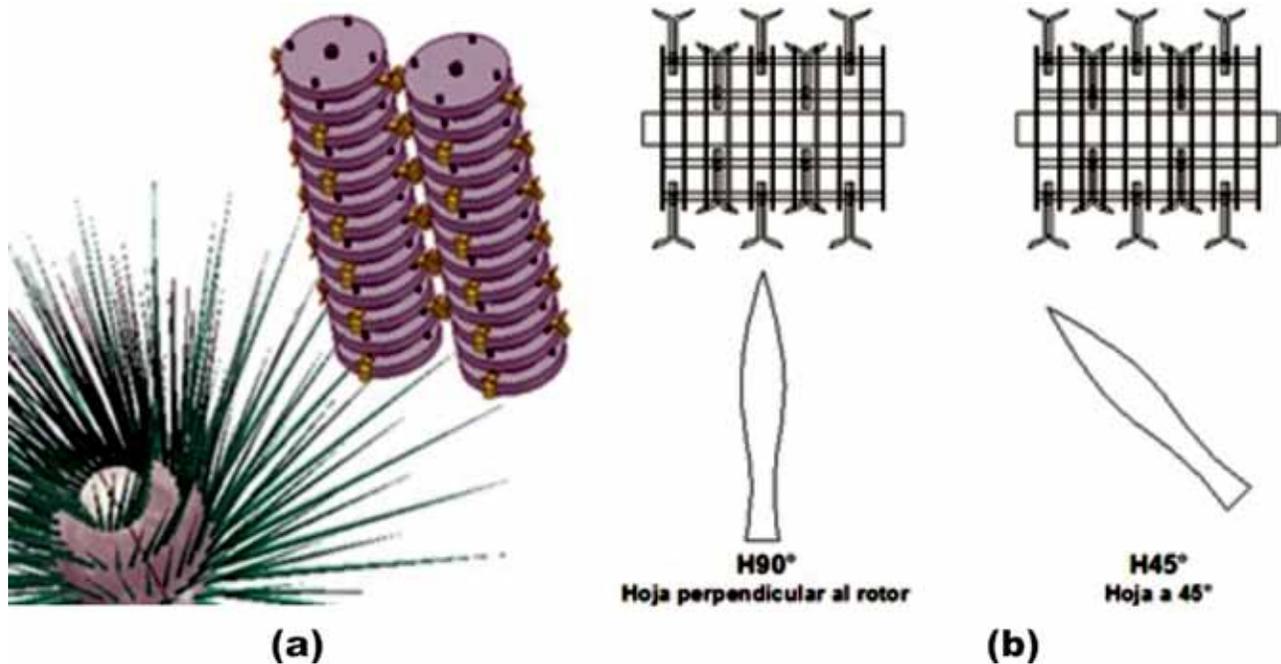


FIGURA 4. Troceado de hoja; (a) esquema propuesto; (b) posiciones extremas de troceado.

**Procedimiento para la realización de los ensayos.** El molino se acopló a la toma de fuerza del tractor agrícola proporcionando al eje la velocidad conveniente, empleando un tacómetro digital Cole Parmer 08199, de acuerdo con la repetición y la combinación correspondiente entre velocidad - posición de alimentación. En cada ensayo se alimentaron dos hojas a 90° respecto al rotor (Figura 4a), o 2 hojas con ángulo de 45° según fue la repetición y la combinación correspondiente empleando un total de 32 hojas, resultado 16 ensayos. El par de hojas se introdujeron al molino con una velocidad aproximada de 5 cm/s, velocidad propuesta de avance del prototipo de cosechadora-trituradora de agave, que pretende cosechar ¼ de hectárea durante una jornada de 8 h/día. Posteriormente a cada prueba se recogió el material troceado y se clasificó de acuerdo con con la Tabla 1, registrando el peso total de los trozos resultantes por clase; para el registro de los pesos se empleó una balanza analítica Scout™ Pro con precisión de ±0,1 g. Con los valores obtenidos de masa se calcularon los contenidos en porcentaje para cada clase por prueba. Se definió la eficiencia como la relación de la masa de los trozos resultantes que cayeron en la clase MB entre la suma total de las masas de los trozos de la prueba. Para realizar el análisis estadístico se utilizó el programa SAS(SAS,2001 Institute Inc. Cary, N.C., U.S.A.).

**Determinación de la eficiencia de troceado de la piña.**

En la evaluación de la eficiencia de troceado de piña se estudió únicamente la influencia de la velocidad a 1500 y 2000 rpm, ya que su alimentación se realizó de la única forma que ésta pudiera ser troceada al emplear molinos verticales sobre la planta. La piña fue seccionada en ocho partes iguales, número de partes que proporcionaron las dimensiones adecuadas del material de prueba, para poder ser introducido por la garganta de alimentación del molino. Se empleó la metodología de los ensayos para las hojas, resultando ocho ensayos. La evaluación de la eficiencia se realizó de la misma manera que en las hojas. Para realizar el análisis estadístico se utili-

zó el programa SAS (SAS, 2001).

Nota: La mención de marcas comerciales de equipos, instrumentos o materiales específicos obedece a propósitos de identificación, no existiendo ningún compromiso promocional con relación a los mismos, ni por los autores ni por el editor.

**RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

En las Figuras 5 y 6, se puede apreciar el resultado de los ensayos para hojas a diferente velocidad y posición, así mismo para la piña.



FIGURA 5. Material troceado a 1500 rpm; (a) hojas a 45°; (b) hojas a 90°; (c) piña.

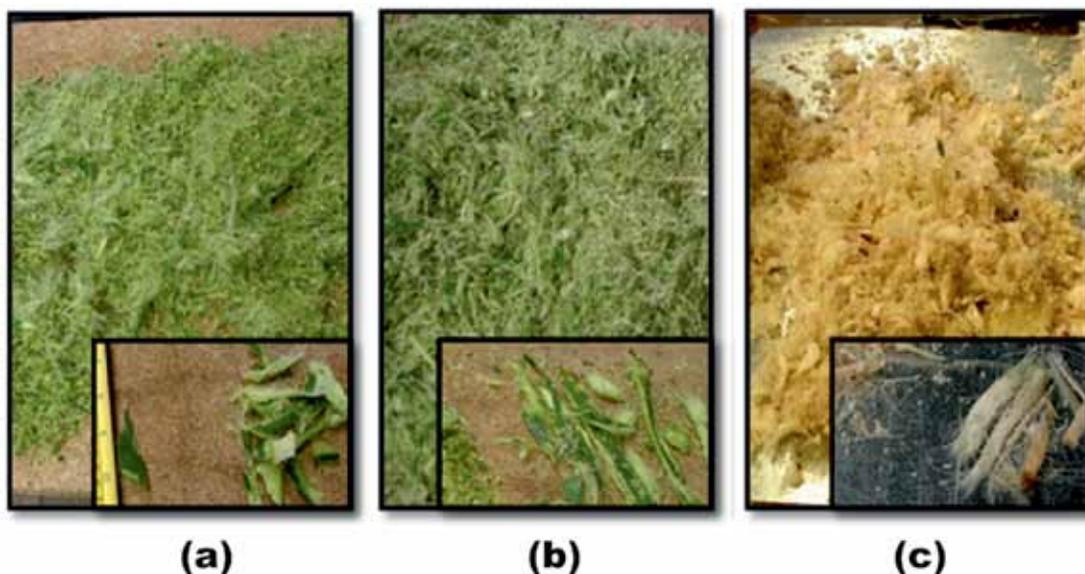


FIGURA 6. Material troceado a 2 000 rpm; (a) hojas a 45 °; (b) hojas a 90°; (c) piña.

Determinación de la eficiencia de troceado de la hoja de agave. La Tabla 2 muestra los resultados en forma condensada de los ensayos de hojas, donde se observa que los valores más altos de la clasificación MB definida como la eficiencia del molino, se obtuvieron con la velocidad de 2 000 rpm, comparados con los de la velocidad de 1 500 rpm.

**TABLA 2. Resultados de la clasificación MB para los ensayos de hoja**

Velocidad Posición Clasificación	V1 (1 500 rpm)		V2 (2 000 rpm)	
	H45° MB (%)	H90° MB (%)	H45° MB (%)	H90° MB (%)
Repetición 1	71,5	90,4	94,4	96,2
Repetición 2	81,2	93,2	94,8	96,7
Repetición 3	92,6	92,6	95,6	94,5
Repetición 4	92,1	90,3	95,1	94,1

La variable dependiente eficiencia de la Tabla 2 no cumplió el supuesto de normalidad motivo por el cual se realizó la prueba de Kruskal-Wallis (K-W) que constituye la alternativa no paramétrica para la prueba de F de un diseño completamente al azar. Adicionalmente, se utilizó la prueba de comparación múltiple de medias de rangos asignados (medianas) de tratamientos, conocida como la diferencia mínima significativa (DMS) con  $p < 0,05$ . En resumen los resultados obtenidos de la prueba K-W se muestra en la Tabla 3.

**TABLA 3. Análisis de Kruskal-Wallis para los factores (posición y velocidad), así como su combinación (cuatro tratamientos) con cuatro repeticiones para la variable eficiencia de troceado de hojas en porcentaje**

Variable Respuesta	Factor (F)	F(Nivel)	Estadístico K-W	Valor - P
Eficiencia de troceado de hojas	Posición (P)	H90° H45°	0,2237	0,6363 N.S.
	Velocidad (V)	V2 V1	11,3108	0,0008**
	Combinación V-P	V2(H90°) V2(H45°) V1(H90°) V1(H45°)	11,6035	0,0089**

Nota: N.S. indica diferencia no significativa y \*\* indica diferencia altamente significativa.

La prueba de K-W demuestra que el factor velocidad así como la combinación con el factor posición, mostraron diferencias altamente significativas para la eficiencia de troceado de las hojas de agave. Mientras que el factor posición de la hoja no muestra diferencia estadística para esta variable respuesta a un nivel de confianza del 95%.

La prueba (DMS) de comparación múltiple de medias de rangos asignados (medianas) de tratamientos se muestra en el tabla 4, donde se observa que los valores de las medianas de la eficiencia para el factor posición de la hoja son casi iguales, y la pertenecen al mismo grupo estadístico, según la prueba DMS. Por su parte, en el factor velocidad, se observa que las medianas pertenecen a grupos estadísticos diferentes, de acuerdo a la prueba DMS, lo que demuestra que se obtuvo una eficiencia de troceado mayor a la velocidad de 2 000 rpm. En lo que respecta a la combinación de factores se observa que el peso de la significancia estadística del factor velocidad transfiere su efecto, ya que no existe diferencia significativa entre tratamientos con diferente posición de la hoja, pues pertenecen al mismo grupo estadístico, y la diferencia estadística se observa entre tratamientos con diferente velocidad.

**TABLA 4. Prueba DMS para comparar las medias de los rangos asignados (medianas) de tratamientos, para la variable eficiencia de troceado de hojas en porcentaje**

Variable Respuesta	Factor (F)	F(Nivel)	Medianas	DMS (P<0.05)
Eficiencia de troceado de hojas	Posición (P)	H90° H-45°	93,65 A 93,50 A	0,5314
	Velocidad (V)	V2 V1	94,95 A 91,25 B	0,3761
	Combinación V-P	V2(H90°) V2(H45°) V1(H90°) V1(H45°)	95,35 A 94,95 A 91,50 B 86,65 B	0,8171

**Determinación de la eficiencia de troceado de la piña.** La Tabla 5 muestra los resultados obtenidos de los ensayos de piña, en el cual se puede observar al igual que en hojas, que los valores más altos de la clasificación MB se presentaron a la velocidad de 2 000 rpm, comparado con los valores encontrados para la velocidad de 1 500 rpm.

**TABLA 5. Resultados de la clasificación MB para los ensayos de piña**

Velocidad Clasificación	V1 (1 500 rpm) MB (%)	V2 (2 000 rpm) MB (%)
Repetición 1	87,3	93,5
Repetición 2	70,0	92,6
Repetición 3	77,8	93,0
Repetición 4	73,1	89,7

La variable de eficiencia de troceado de la piña del agave, cumplió con el supuesto de normalidad y la homogeneidad de varianzas entre muestras de ambas velocidades, motivo por el cual se utilizó la prueba de t para comparar las medias de dos tratamientos bajo muestras aleatorias independientes, en la Tabla 6 se presenta una síntesis de esta prueba.

**TABLA 6. Prueba de t para el factor velocidad con dos niveles y cuatro repeticiones para la variable eficiencia de troceado de piña en porcentaje**

Variable Respuesta	Factor	Nivel	Medias	Estadístico T	Valor - P
Eficiencia de troceado de hojas	Velocidad (V)	V2	92,20 A	- 3,9153	0,0078**
		V1	77,05 B		

Nota: \*\* diferencia altamente significativa.

Dada la diferencia estadística significativa de la prueba de t, se deduce que el valor medio de 92,20% de eficiencia para el troceado de la piña a la velocidad de 2000 rpm superó el promedio de 77,05% observado en la velocidad de 1 500 rpm.

## CONCLUSIONES

- El factor velocidad rotacional en el molino de cuchillas articuladas tipo “Y” resultó tener un efecto significativo sobre la eficiencia de troceado tanto en hojas como en piña de la planta de *Agavetequilana* Weber, resultando ser un factor substancial para el troceado. El factor de la posición de la hoja no mostró influencia sobre la eficiencia de troceado de las hojas de agave. De acuerdo a lo anterior la velocidad rotacional que proporciona mayor probabilidad de ausencia de los trozos de tamaño no deseado, poco apto para un proceso de difusión eficiente, es la velocidad lineal de corte de 46,5 m/s correspondiente a 2 000 rpm. La investigación cumple con el objetivo de generar los datos recomendables para el

diseño del cabezal de trituración en el prototipo de cosechadora-trituradora de agave, cuyo principio de funcionamiento y geometría de los órganos de trabajo serán similares a los utilizados en el experimento descrito.

## AGRADECIMIENTOS

A los organismos de financiamiento: Consejo de Ciencia y Tecnología (CONACYT) y al Consejo de Ciencia y Tecnología del Estado de Guanajuato (CONCYTEG) por la aportación de recursos para el desarrollo del proyecto “Diseño y Construcción de una Cosechadora-Trituradora de Agave”, (GTO-2009-02-118718) del cual emerge el presente estudio y la formación de recursos humanos en licenciatura y posgrado. A la División de Ciencias de la Vida (DICIVA) por su aportación de maquinaria y materia prima y a la empresa tequilera Casa Cuervo, S.A. de C.V., por el acceso y la información proporcionados para la realización del presente trabajo.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- GONZÁLEZ, P. G.: *Producción potencial de bioetanol a partir de diferentes especies de agave en el estado de Guanajuato*, 62pp., **Tesis (en opción al título de Ingeniero Ambiental)**, Instituto de Ciencias Agrícolas de la Universidad de Guanajuato, México, 2008.
- HONTY, G. y E. GUDYNAS: *Agrocombustibles y Desarrollo Sostenible en América Latina*, En: **Memorias del IV Congreso Regional de Ingeniería Química**, Montevideo, Uruguay, 2008.
- MADRIGAL R.: *Agaves para producir bioetanol*, En: **Seminario México después del petróleo, ¿Serán los biocombustibles y geotermia una alternativa?**, México, D.F., 2009.
- SAS: *SAS User’s Guide*, Version 8, SAS Institute Inc. Cary, N.C., U.S.A., 2001.
- SIERRA, S. L.A.: *Estudio y diseño del mecanismo desfibrador de una cosechadora – trituradora de agave*, 198pp., **Tesis (en opción al título de Ingeniero Mecánico Agrícola)**, División de Ciencias de la Vida de la Universidad de Guanajuato, México, 2011.
- SIERRA L. A.; C. GUTIÉRREZ; A. SALDAÑA y R. SERWATOWSKI: *Energía necesaria para el corte de la piña de agave con cuchillas de diferente borde cortante*, En: **Memorias del XIX Congreso Nacional de Ingeniería Agrícola**, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Saltillo, Coahuila, México, 2010.
- UNITED NATIONS EDUCATIONAL, SCIENTIFIC AND CULTURAL ORGANIZATION (UNESCO): *Problemáticas nuevas e incipientes en relación con la conservación y utilización sostenible de la diversidad biológica*, 18 pp. Paris, 2007.
- WHITNEY, G. K.; S.T. LIOUTAS; W. L. HENDERSON & L. COMBS: *Production for tequila* US Patent 2002/0119217 A1. August 29, 2002.