

Determinación de las características de las cuchillas de corte para mecanizar la cosecha de agave*

Characteristic determination of the cutting blades for the mechanization harvesting of agave

César Gutiérrez Vaca^{1§}, Ryszard Jerzy Serwatowski Hlawinska¹, Oscar Alejandro Martínez Jaime¹, José Manuel Cabrera Sixto¹, Noé Saldaña Robles¹ y Adrián Flores Ortega¹

¹Departamento de Ingeniería Agrícola. Universidad de Guanajuato. Ex Hacienda "El Copal". Carretera Irapuato-Silao, km 9. Irapuato, Guanajuato, México. C. P. 36820. Tel. 52 462 6245215. (cesarg@ugto.mx), (ryszard@ugto.mx), (oscarja@ugto.mx), (jmcabrera@ugto.mx), (saldanar@ugto.mx), (floresoa@ugto.mx). [§]Autor para correspondencia: cesarg@ugto.mx.

Resumen

En México la cosecha de agave se realiza manualmente y se necesita una cuadrilla de *jimadores*, y para los productores representa 75% de los costos del cultivo. Saldaña (2012) plantea el diseñar una máquina que optimice tiempos y costos de cosecha, y que proporcione material vegetal troceado y desmenuzado con destino a la producción de; bioetanol, material comprimido (pellets) y otros subproductos. Dos actividades principales se realizan en la cosecha manual: corte de hojas y corte de piña; para esta última se ha estudiado el corte con cuchillas de características distintas, para seleccionar la que requiera menor fuerza de corte. Se diseñó un experimento con las variables independientes; espesor de cuchilla (3), ángulo de filo (2), perfil del borde cortante (2) y ángulo de ataque (3), utilizando una máquina universal de tensión para los ensayos. Se colocó un mecanismo donde se sujetan las cuchillas; y al desplazarse el conjunto la muestra de agave es cortada, registrándose la variable dependiente fuerza. Los ensayos se realizaron a secciones de piña de agave con dimensiones uniformes, y fueron realizados en 2010 en las instalaciones de la Universidad de Guanajuato. Utilizando el paquete estadístico SAS (SAS, 2001), se determinó la mejor combinación de los factores evaluados en el modelo. Los resultados muestran que la cuchilla de

Abstract

In Mexico agave harvesting is done manually and it takes a crew of *jimadores*, and for the producers, this representing 75% of the costs of cultivation. Saldaña (2012) propose to design a machine to optimize harvest times and costs, and to provide cutting and shredding plant material destined for the production of: bioethanol, compressed material (pellets) and other byproducts. Two main activities are performed during manual harvesting: leaves and heart cuttings; for the latter, cutting blades of different characteristics have been studied to select the lowest required cutting force. An experiment was designed with independent variables; thickness of the blade (3), angle of cutting edge (2), the cutting edge side (2) and angle of attack (3), using a universal tension machine for testing. We fixed a mechanism where the blades are fastened; and when moving the set, the sample of gave is cut, recording the dependent variable force. Assays were performed on sections of agave's heart with uniform dimensions, conducted in 2010 at the premises of the University of Guanajuato. Using the SAS statistical package (SAS, 2001) we determined the best combination of factors evaluated in the model. The results showed that, the blade thickness 6.35 mm (1/4 inch), with a cutting

* Recibido: julio de 2012
Aceptado: enero de 2013

grosor 6.35 mm (1/4 plg), con ángulo de filo de 30°, borde cortante liso y ángulo de ataque de 30°, requieren la menor fuerza para efectuar el corte de piña de agave.

Palabras clave: *Agave Tequilana* Weber., cosechadora, corte, cuchilla.

El *agave tequilana* Weber, variedad azul, es utilizado principalmente para la elaboración de la bebida alcohólica llamada "tequila". En México existe una zona de denominación de origen que incluye los 125 municipios del estado de Jalisco, 30 del estado de Michoacán, once del estado de Tamaulipas, ocho del estado de Nayarit y siete del estado de Guanajuato (Macías y Valenzuela, 2009). Desde la década pasada, se han realizado estudios de desarrollo tecnológico para la fabricación de subproductos tales como: jarabe de fructosa (miel de agave), inulina (Bautista *et al.*, 2001), bioetanol (Madrigal, 2009), *pellets*, o como cultivo para zonas de sequía (Valenzuela, 2011). Los costos de producción de bioetanol no son por el momento competitivos; 60 \$ USD/m³ en caña de azúcar contra 300 \$ USD/m³ en agave (Saldaña *et al.*, 2012). Sarah (2011) menciona que a nivel internacional existen 600 mil hectáreas disponibles para producir agave, con las características necesarias par ser desarrollado, por lo que sería un cultivo con alto potencial para la obtención de biocombustible, no solo en México también en Australia y algunas regiones de África. Holtum *et al.* (2011) determina que la viabilidad de adoptar el agave como materia prima para la producción de biocombustible en Australia depende en gran medida de la mecanización del cultivo, de la que ya ha habido algunos intentos (Ortiz y Rössel, 2004; Castillo *et al.*, 2001).

La labor de cosecha de agave representa 75% del costo total del cultivo, por lo que cualquier esfuerzo en reducirlo se traduciría en menor precio por cada litro de bioetanol, siendo factible incorporar la hoja, ya que ésta tiene un porcentaje cercano al 13% de azúcares susceptibles de ser transformados en alcohol (Gordon *et al.*, 2002). Considerando la hipótesis de incluir toda la planta para ser procesada y transformada en energético se ha conceptualizado el diseño de una cosechadora troceadora de agave- Proyecto financiado por el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología en México (CONACYT)- que permita, en un sólo paso en campo, trocear las hojas y piña de agave, a la vez que son desfibradas y depositadas de forma inmediata en un vehículo de transporte (Saldaña *et al.*, 2012).

En la mayoría de las cosechadoras, para diferentes cultivos, se distingue el principio de corte como proceso básico de operación. Dos formas comunes de realizarlo son:

edge angle of 30°, smooth cutting edge, and an angle of attack of 30° require less force to effect the cutting of the heart,

Key words: *Agave tequilana* Weber, harvester, cutting, blade.

Agave tequilana Weber, blue variety, is used mainly for the production of the alcoholic drink called "tequila". In Mexico there is a designation of origin area that includes 125 municipalities in the State of Jalisco, 30 in Michoacán State, 11 of the State of Tamaulipas, 8 for Nayarit State and, 7 of the State of Guanajuato (Macías and Valenzuela, 2009). Over the past decade, there have been studies of technological development for the manufacture of products such as fructose syrup (agave nectar), inulin (Bautista *et al.*, 2001), bioethanol (Madrigal, 2009), pellets, or as a crop for dry-areas (Valenzuela, 2011). Bioethanol production costs are not competitive at the moment; \$ 60 USD/m³ for sugarcane against \$ 300 USD/m³ for agave (Saldaña *et al.*, 2012). Sarah (2011) mentioned that internationally there are 600 000 ha available for producing agave, with the features necessary to be developed; it would be a crop with high potential for the production of biofuels, not only in Mexico also in Australia and some regions of Africa as well. Holtum *et al.* (2011) determined that, the feasibility of adopting agave as a feedstock for biofuel production in Australia depends heavily on the mechanization, which has already have some attempts (Ortiz and Rossel, 2004; Castillo *et al.*, 2001).

Agave harvesting work represents 75% of the total cost of the crop, so any effort to reduce it would result in a lower price per liter of bioethanol, being feasible to incorporate the leaf, since it is a percentage close to 13% of sugars which can be converted to alcohol (Gordon *et al.*, 2002). Considering the hypothesis to include the entire plant to be processed into energy, a design has been conceptualized of an agave harvester-chopper, -project funded by the National Council for Science and Technology in Mexico (CONACYT)- that would permit in one step in the field, to chop the leaves and heart of the agave while being defibrated and deposited immediately in a transport vehicle (Saldana *et al.*, 2012).

In most of the harvesters for different crops, the cutting principle is considered as the basic process of operation. Two common ways to do this are: pure shear and impact cut

cizallamiento puro y corte por impacto (Ortiz *et al.*, 2003). El primero requiere dos elementos; cuchilla y contra-cuchilla, el segundo se realiza por impacto del elemento cortante sobre el producto. Ghahraei *et al.* (2011) mencionan, en un estudio de corte de tallos de Kanopia (*Hibiscus cannabifolius* L.), que el ángulo de filo y el ángulo de ataque son los parámetros más importantes, en la confección de cuchillas de corte para materiales biológicos. Por su parte Esehaghbeygi *et al.* (2010), en un estudio de corte en tallos de canola (*Brassica napus*), ensayan cuchillas con borde liso y dentado, y diferentes ángulos de filo. Esehaghbeygi *et al.* (2009) realizan un estudio similar en tallos de trigo (*Triticum* spp.) para evaluar el corte con cuchillas de borde liso y dentado así como diferentes ángulos de filo. El objetivo de este trabajo fue determinar; el espesor de cuchilla, ángulo de filo, perfil de borde cortante, y ángulo de ataque adecuados para efectuar el corte de la piña de agave, con la menor fuerza requerida. En el segundo trimestre de 2010 se llevó a cabo el estudio de corte, construyéndose las cuchillas en placa de acero comercial y espesores distintos: 4.7625 mm (3/16 plg), 6.35 mm (1/4 plg) y 7.9635 mm (5/16 plg).

Grosos menores a los mencionados son considerados como láminas, que se estima sufrirían deformaciones a causa de las fuerzas que se esperan en los ensayos. Se consideró además el ángulo de filo de la cuchilla con dos niveles: 30° y 60°, tomando como base los estudios realizados por los autores citados con anterioridad. Se evaluó la variable de clasificación perfil de borde cortante en dos formas: lisa y dentada (Figura 1).

El borde liso corresponde a las cuchillas donde se aplicó ángulo de filo. El borde dentado corresponde al maquinado de muescas sobre la sección donde se aplicó ángulo de filo. Se eligieron estos tipos de bordes debido a que muchas máquinas agrícolas utilizan cuchillas de borde liso como elemento de corte, por facilidad de manufactura, alta efectividad y limpieza en el corte. El borde dentado se eligió con la hipótesis de que se requiere menor fuerza de corte comparado con el borde liso. Majaja y Chancellor (1997) analizaron el corte de agave sisal con diferentes ángulos de ataque, por lo que se consideró un cuarto factor bajo la hipótesis de que un ángulo no perpendicular a la dirección de avance generaría un efecto de deslizamiento que favorecería el corte, utilizándose tres ángulos: 0° (perpendicular), 15° y 30° (Figura 2). En resumen, se consideraron cuatro factores: espesor de cuchilla con tres niveles; 4.7625 mm, 6.35 mm y 7.9635 mm; ángulo de filo con dos niveles; 30° y 60°; borde cortante con dos niveles; liso y dentado; y ángulo de ataque con tres niveles; 0°, 15° y 30°. Se utilizó un arreglo factorial 3 x 2 x 2 x 3 bajo un diseño completamente aleatorio (DCA) con cuatro repeticiones.

(Ortiz *et al.*, 2003). The first one requires two elements: blade and counter-blade, the impact is made by the second cutting element on the product. Ghahraei *et al.* (2011) mentioned in a study of Kanopia (*Hibiscus cannabifolius* L.) stems cutting that the cutting edge and angle of attack are the most important parameters in the manufacture of cutting knives for biological materials. Esehaghbeygi *et al.* (2010), in a study of canola (*Brassica napus*) stems cutting, tested blades with smooth edge and serrated edge and different cutting edges. Esehaghbeygi *et al.* (2009) conducted a similar study in stems of wheat (*Triticum* spp.) to evaluate the cutting with blades of smooth edge and serrated edge with different cutting edges. The objective of this study was to determine: the blade thickness, cutting edge, cutting edge side, and angle of attack suitable for cutting hearts of agave with less force. In the second quarter of 2010 was conducted to study cutting blades built in commercial steel plate and different thicknesses: 4.7625 mm (3/16 in.), 6.35 mm (1/4 in.) and 7.9635 mm (5/16-in).

Thicknesses less than the above are considered as sheets, which are estimated to suffer deformation due to the forces expected during the trials. It was also considered the cutting edge angle with two levels, 30° and 60°, based on studies undertaken by the authors cited above. We evaluated the classification variable cutting edge side in two ways: smooth and serrated (Figure 1).

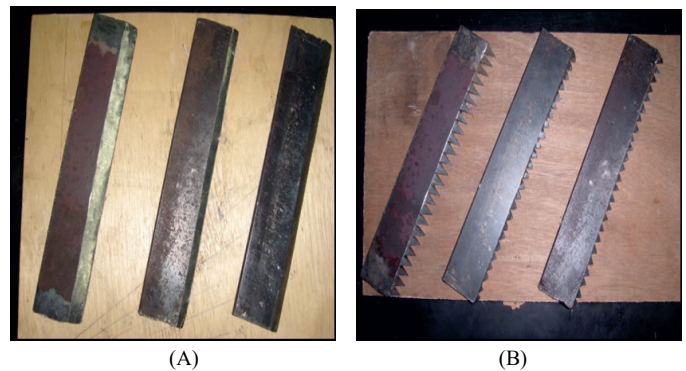


Figura 1. Bordos cortantes liso (A) y dentado (B) de las cuchillas.

Figure 1. Smooth cutting (A) and serrated (B) edges of the blades.

The smooth edge corresponds to the blades where cutting edge was applied. The serrated edge corresponds to machined notches on the section where the cutting edge was applied. These types were selected because many

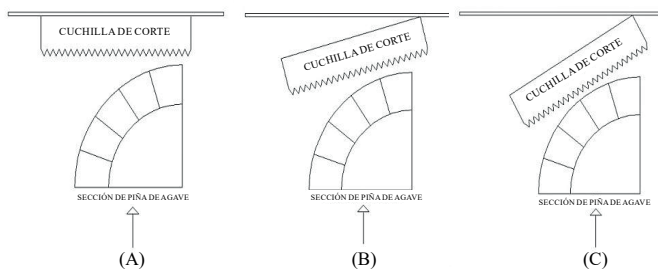


Figura 2. Ángulos de ataque de 0° (A), 15° (B) y 30° (C) para el corte de las cuchillas.

Figure 2. Angles of attack at 0° (A), 15° (B) and 30° (C) for cutting blades.

Para la realización de los ensayos se fabricó un mecanismo que sujeta las cuchillas (Figura 3), y se acopló sobre la base de una máquina universal de tensión (Figura 4), donde un par de dinamómetros de carátula (precisión ± 44.5 N), registran la fuerza máxima alcanzada en cada corte.



Figura 3. Mecanismo de sujeción de las cuchillas.

Figure 3. Fixing Mechanism of then blades.



Figura 4. Mecanismo sobre la máquina de tensión.

Figure 4. Mechanism on the tension machine.

Tomando como base las dimensiones resultantes del mecanismo, las cuchillas se confeccionaron con una longitud de 25 cm de largo y 5 cm de ancho. Cada piña de agave se dividió en ocho partes (Figura 5), debido al espacio limitado en la zona de corte, pero a pesar de ello la consistencia del

edges of agricultural machines use smooth edged-blades as cutting element, for ease of manufacture, and high cleaning effectiveness in cutting. The serrated edge is chosen with the hypothesis that less force is required compared to the cutting edge in straight. Majaja and Chancellor (1997) analyzed the agave sisal cut with different angles of attack, so that the fourth factor is considered under the hypothesis that a non-perpendicular angle to the direction of sliding generates an effect that would favor the cutting, using three angles: 0° (perpendicular), 15° and 30° (Figure 2). In summary, four factors were considered: thickness blade with three levels 4.7625 mm, 6.35 mm and 7.9635 mm cutting edge angle at two levels, 30° and 60°: cutting edge with two levels, smooth and serrated: and angle of attack with three levels, 0°, 15° and 30°. We used a factorial design 3 x 2 x 2 x 3 under a completely randomized design (DCA) with four replications.

In order to perform the tests a mechanism that holds the blades was manufactured (Figure 3), and coupled on the basis of a universal tensile machine (Figure 4), where a pair of dynamometers (accuracy ± 44.5 N), recorded the maximum force achieved for each cut.

Based on the resulting dimensions of the mechanism, the blades were made with a length of 25 cm long and 5 cm wide. Each heart of agave was divided into eight parts (Figure 5), due to the limited space in the cutting area, and despite of this, the plant material consistency was maintained. The blade is installed on the clamping mechanism and this on the fixed base of the machine, agave samples were placed on the movable base. When starting the machine, the piece of agave moves against the cutting blade, making the cut. At the end of each test, the maximum force was recorded (Figure 6).



Figura 5. Segmentos de la piña de agave.

Figure 5. Slice of the heart.

material vegetal se mantiene. Se instaló la cuchilla sobre el mecanismo de sujeción y éste sobre la base fija de la máquina, la muestra de agave se colocó sobre la base móvil. Al encender máquina la pieza de agave se mueve contra la cuchilla efectuándose el corte. Al final de cada ensayo, se registró el valor máximo de fuerza (Figura 6).

Con la finalidad de determinar la influencia de los factores principales y sus interacciones dobles sobre el corte de la piña de agave, se realizó la prueba de F para el modelo estadístico planteado, utilizando el paquete estadístico SAS (SAS, 2001), la tabla de análisis de varianza se presenta en el Cuadro 1.



Figura 6. Corte y registro de la fuerza.
Figure 6. Cutting and force recording.

Cuadro 1. Análisis de varianza del arreglo factorial 3 x 2 x 2 x 3 bajo un DCA para la variable fuerza de corte.
Table 1. Analysis of variance of the factorial arrangement 3 x 2 x 2 x 3 under a DCA for the variable cutting force.

Fuente de variación	DF	Sumas de cuadrados	Cuadrados medios	F	P > F
Factores principales					
A: espesor de cuchilla	2	28958476.65	14479238.33	3.03	0.0517*
B: ángulo de filo	1	50443020.41	50443020.41	10.57	0.0015**
C: perfil de borde cortante	1	7044379.52	7044379.52	1.48	0.2266
D: ángulo de ataque	2	63706927.07	31853463.54	6.68	0.0018**
Interacciones					
A*B	2	32620240.28	16310120.14	3.42	0.0359*
A*C	2	31409083.67	15704541.83	3.29	0.0405*
A*D	4	16035423.07	4008855.77	0.84	0.5022
B*C	1	87536451.28	87536451.28	18.35	0.0001**
B*D	2	625384.31	312692.15	0.07	0.9366
C*D	2	1982177.62	991088.81	0.21	0.8127
Error experimental	124	591599493.20	4770963.70		
Total	143	911961057.10			

* indica diferencias significativas. ** indica diferencias altamente significativas.

El espesor de cuchilla presentó diferencias significativas, y los ángulos de filo y de ataque mostraron diferencias altamente significativas, mientras que el perfil de borde cortante no tuvo ningún efecto en la variable respuesta. Sin embargo, en los resultados reportados por Esehaghbeygi *et al.* (2009) y Esehaghbeygi *et al.* (2010) se concluye que utilizar cuchillas con borde cortante liso muestran menor requerimiento de fuerza de corte. Al aplicar la prueba de la diferencia mínima significativa (DMS, $p= 0.05$) vemos que el borde liso muestra menor requerimiento de energía (Cuadro 2). Se entiende que la diferencia obedece principalmente a que las fibras del material vegetal son fracturadas, y no cortadas, en el fondo de cada uno de los dientes, cuando se utiliza cuchilla dentada.

In order to determine the influence of the main factors and their double interactions on the cut of the heart, the F test was done for the statistical model proposed, using the SAS statistical package (SAS, 2001).

The blade thickness showed significant differences and, the cutting edges angle and angle of attack showed highly significant differences, while the cutting edge side had no effect on the response variable whatsoever. However, the results reported by Esehaghbeygi *et al.* (2009) and Esehaghbeygi *et al.* (2010) concluded that, the use of blades with smooth cutting edges show lower shear force requirement. By applying the test of the least significant difference (LSD, $p= 0.05$) we see that, the smooth edge

Al aplicar la prueba DMS para el espesor de cuchilla, se observó que los promedios de fuerza para cuchillas de espesor 4.7625 mm, y 6.35 mm, grupo estadístico b (Cuadro 3), requieren menor fuerza comparada con la media de la cuchilla de 7.9635 mm (letra a). Se deduce que a mayor espesor de cuchilla se precisa de mayor fuerza para penetrar en el material vegetal y efectuar el corte. En el caso del ángulo de filo, la prueba DMS demuestra que a 30° existe menor requerimiento de fuerza para el corte de la piña que a 60° (Cuadro 4); es decir, mientras la cuchilla sea más filosa requerirá menor fuerza de corte. Lo anterior coincide con los resultados reportados por Ghahraei *et al.* (2011), Esehaghbeygi *et al.* (2010) y Esehaghbeygi *et al.* (2009).

Cuadro 2. Prueba DMS factor borde cortante.

Table 2. LSD test, cutting edge factor.

Borde cortante	N	Media	Grupo estadístico
Liso	72	7307.4	a
Dentado	72	7749.8	A

Valor de DMS= 720.54, $p=0.05$.

Cuadro 3. Prueba DMS factor espesor de cuchilla.

Table 3. LSD test, blade thickness factor.

Espesor de cuchilla	N	Media	Grupo estadístico
4.7625 mm	48	7167.2	b
6.35 mm	48	7258.0	b
7.9635 mm	48	8160.6	a

Valor de DMS= 882.48, $p=0.05$.

Cuadro 4. Prueba DMS factor ángulo de filo.

Table 4. LSD, test cutting edge angle factor.

Ángulo de filo	N	Media	Grupo estadístico
30°	72	6936.8	b
60°	72	8120.5	a

Valor de DMS= 720.54, $p=0.05$.

Las cuchillas con ángulo de ataque de 15° y 30° requieren menor fuerza para corte (letra b, Cuadro 5), comparado con la posición perpendicular de la cuchilla (letra a), se deduce que al existir un ángulo de ataque se experimenta una combinación de corte y desplazamiento sobre el material vegetal facilitando el proceso, lo cual coincide con lo reportado por Durán y Pulido (2007) y Ghahraei *et al.* (2011).

Las interacciones; espesor de cuchilla * ángulo de filo, espesor de cuchilla * perfil de borde cortante y ángulo de filo * perfil de borde cortante, resultaron ser significativas

showed lower energy requirement (Table 2). It is understood that the difference is due primarily to the fibers of the plant material fractured and cut at the bottom of each of the teeth when using serrated blades.

By applying the LSD test for blade thickness, it was observed that, the average strength to the blades thickness 4.7625 mm, and 6.35 mm, statistical group b (Table 3) require less force compared to the average of 7.9635 mm (a). We deduced that, the thicker the blade requires more force to penetrate the plant material and cutting it. For the cutting edge angle, the LSD test showed that at 30° requires less force to cut the heart than at 60° (Table 4), *i.e.*, while a sharper blade requires less cutting force. This coincides with the results reported by Ghahraei *et al.* (2011), Esehaghbeygi *et al.* (2010) and Esehaghbeygi *et al.* (2009).

The blade with the angle of attack at 15° and 30° require less force for the cut (b, Table 5) compared to the perpendicular position of the blade (a), we can deduce that, the angle of attack there is experienced combination of cut and slip on the plant material to facilitate the process, which is consistent with that reported by Durán and Pulido (2007) and Ghahraei *et al.* (2011).

Cuadro 5. Prueba DMS factor ángulo de ataque.

Table 5. LSD test, angle of attack factor.

Ángulo de ataque	N	Media	Grupo estadístico
30°	48	6718.7	b
15°	48	7519.4	b
0°	48	8347.8	a

Valor de DMS= 882.48, $p=0.05$.

The interactions; thickness * cutting edge angle, blade thickness * cutting edge side and cutting edge angle * cutting edge side were significant for the cutting force (Table 1). The Figure 7 shows the interaction of the blade thickness * cutting edge angle, it is seen that for any thickness of the edge blade, the angle at 30° show lower force requirements, compared to 60° edge, especially when using the blade 7.9375 mm. It is understood that when the cutting edge angle is 30° the blade acts as a better cutting element, since at 60°, the plant material is fractured or torn.

The interaction blade thickness * cutting edge side presented in Figure 8 showed that, the blades of 4.7625 mm and 6.35 mm, with smooth edge recorded the lowest force values, quite different than the blade with 7.9375 mm, we can deduce that

para la fuerza de corte (Cuadro 1). La Figura 7 muestra la interacción espesor de cuchilla * ángulo de filo, se aprecia que para cualquier espesor de cuchilla el filo a 30° muestran requerimientos de fuerza menores, comparados con el filo a 60°, sobre todo cuando se utiliza la cuchilla de 7.9375 mm. Se entiende que cuando el ángulo de filo es 30° la cuchilla actúa más como elemento cortante, pues a 60° el material vegetal más bien se fractura o desgarr.

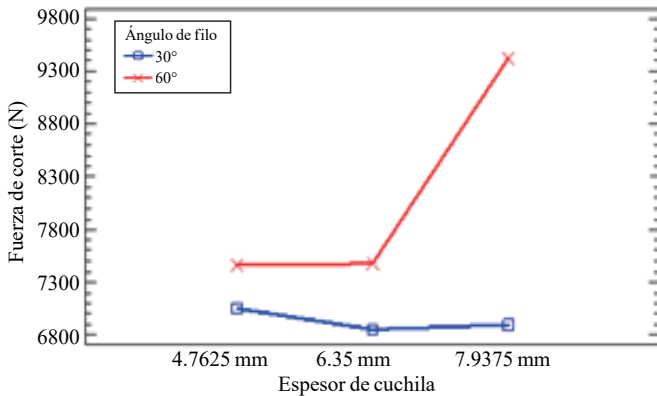


Figura 7. Interacción: espesor de cuchilla * ángulo de filo.
Figure 7. Interaction: blade thickness * cutting edge angle.

La interacción espesor de cuchilla * perfil de borde cortante, presentada en la Figura 8, muestra que las cuchillas de 4.7625 mm y 6.35 mm, con borde liso registran valores más bajos de fuerza, no así para la cuchilla 7.9375 mm, se deduce que ese comportamiento se relaciona con el efecto de fractura o desgarr ocurrido también en la interacción espesor de cuchilla * ángulo de filo, pero en este caso el borde dentado favorece la penetración en el material vegetal. La Figura 9 muestra la interacción; ángulo de filo * perfil de borde cortante, se observa que ángulo de filo de 30° con borde liso muestra menor requerimiento de fuerza que el de 60°. Cuando se utiliza el perfil dentado se exhibe un requerimiento de fuerza similar con ambos filos. Se infiere que cuando la cuchilla tiende a la fractura o desgarr, el borde cortante dentado reduce los requerimientos de fuerza que si se utiliza borde cortante liso.

En términos generales, la cuchilla de grosor 7.9375 mm requiere valores más altos de fuerza pues la muestra opone mayor resistencia al corte, llegando incluso a la fractura (Figura 10). La cuchillas de grosores de 4.7625 mm y 6.35 mm requieren de menor fuerza, sin embargo las fuerzas de reacción del material vegetal provocaron la deformación de la cuchilla de menor espesor en una ocasión (Figura 11). La cuchilla 6.35 mm (1/4 plg) es la que tuvo mejor desempeño al involucrar todos los factores de estudio.

this behavior relates to the effect of fracture or tearing occurred also in the interaction of blade thickness * cutting edge angle, but in this case favors the penetration serration in the plant material. The Figure 9 shows the interaction; cutting edge angle * cutting edge side; it is noted that at the edge angle of 30° with smooth edge sample requiring less force than at 60°. When using the serrated profile is exhibited a similar strength requirement for both edges. We can deduce that when the blade tends to fracture or tear, the serrated cutting edge reduces the force requirements when using a smooth cutting edge.

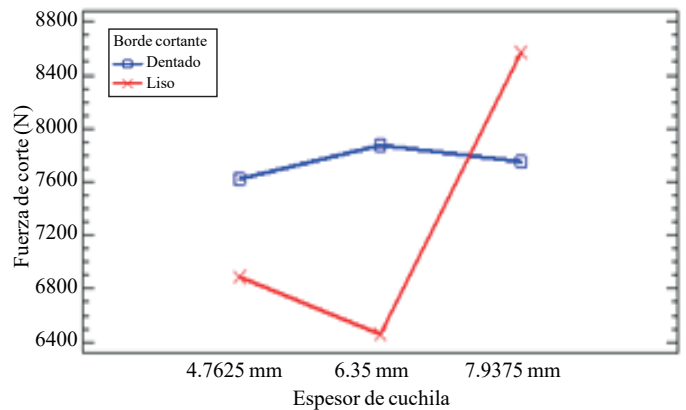


Figura 8. Interacción: espesor de cuchilla * perfil de borde cortante.
Figure 8. Interaction: blade thickness * cutting edge side.

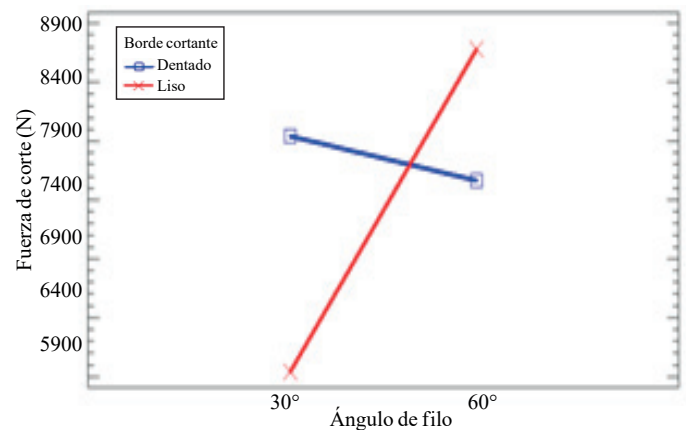


Figura 9. Interacción: ángulo de filo * perfil de borde cortante.
Figure 9. Interaction: cutting edge angle * cutting edge side.

In general terms, the 7.9375 mm thick blade requires higher strength values because the sample opposes stronger to the cutting force, even to the fracture (Figure 10). The blade thickness 4.7625 mm and 6.35 mm require less force; however, the reaction forces of the plant material made once the least thick blade to deform (Figure 11). The blade with 6.35 mm (1/4 inch) had the best performance by involving all the factors studied.



Figura 10. Muestra de agave fracturada.
Figure 10. Fractured agave sampling.

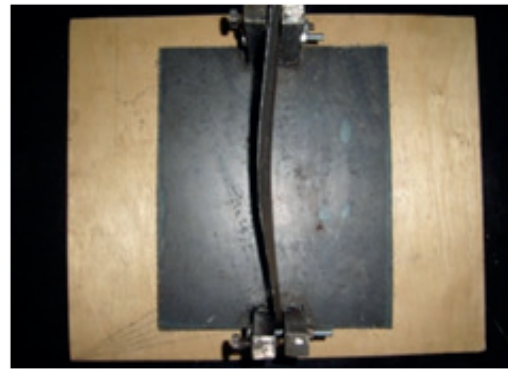


Figura 11. Deformación de cuchilla.
Figure 11. Blade deformation.

End of the English version

Literatura citada

- Bautista, J. M.; García, O. L.; Barboza, C. J. E. y Parra, N. L. A. 2001. El agave Tequilana Weber y la producción de tequila. *Acta Universitaria*. 11(2):26-34.
- Castillo, O. R.; De Anda, S. J.; Rodríguez, G. E.; Fernández, F. O.; Pérez, M. F. y Georg, H. E. 2001. Patente: JL/a/2001/000029 Cosechadora y jimadora de Agave. CIATEJ. Guadalajara. Noviembre.
- Durán, H. M. y Pulido, J. L. 2007. Análisis de la molienda en el proceso de elaboración de mezcal. *Información Tecnológica*. 18:1.
- Esehaghbeygi, A.; Hoseinzadeh, B. and Besharati, S. 2010. Nitrogen use on yield components and stem shearing strength of canola. *Electronic J. Polish Agric. Universities*. 13(4).
- Esehaghbeygi, A.; Hoseinzadeh, B.; Khazaei, M.; and Masoumi A. 2010. *World Appl. Sci. J.* 6(8):1028-1032.
- Ghahraei, O.; Ahmad, D.; Khalina, A.; Suryanto, H.; and Othman J. 2011. Cutting tests of kneaf stems. *Am. Soc. Agric. Biol. Eng.* 54(1):51-56.
- Gordon, K. W.; Theodore S. L.; Lincoln W. H. y Combs L. 2002. Production for tequila. US Patent Application Publication. 2002/0119217. 1-4 p.
- Holtum, J. A. M.; Chambers D.; Morgan, T. and Tan, D. K. Y. 2011. Agave as a biofuel feedstock in Australia. *GCB Bioenergy*. 3:58-67.
- Macías, M. A. y Valenzuela, Z. A. G. 2009. El tequila en tiempos de la mundialización. *Comercio Exterior*. 59:6.
- Majaja, B. A. and Chancellor, W. J. 1997. The potential for mechanical harvest of sisal. *Appl. Eng. Agric.* 13(6):703-708.
- Madrigal, L. R. 2009. Agaves para producir bioetanol. Seminario: México después del petróleo. ¿Serán los biocombustibles y geotermia una alternativa? México D. F.
- Ortiz, C. J.; García R. J.; Gil, S. J.; Hernández, M. J. L.; Ruiz A. M. y Valero, U. C. 2003. Las máquinas agrícolas y su aplicación. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, España. 526 p.
- Ortiz, L. H. y Rössel, K. E. D. 2004. Patente: PA/u/2004/000007, cosechadora mecánica de maguey. Colegio de Postgraduados. Texcoco, Estado de México. 1-14 p.
- Saldaña, R. A.; Serwatowski, H. R.; Saldaña, R. N.; Gutiérrez, V. C.; Cabrera, S. J. M. y García, B. S. 2012. Determinación de algunas propiedades físicas de *Agave tequilana* Weber para mecanizar la cosecha. *Rev. Mex. Cienc. Agríc.* 3(3):45-465.
- Saldaña, R. N.; Gutiérrez, V. C.; Serwatowski, H. R.; Saldaña, R. A.; Flores, O. A.; Quiroz, R. C.; Cabrera, S. J. M.; García, B. S. y Juárez, G. A. 2012. Propuesta de una cosechadora-desmenuzadora de agave tequilana Weber para la producción de bioetanol y revisión de los procedimientos existentes. *Acta Universitaria*. 22(2).
- Sarah, C.; Davis, L.; Dohleman, G. F. and Stephen, P. L. 2011. The global potential for Agave as a biofuel feedstock. *GCB Bioenergy*. 3:68-78.
- Statistical Analysis System (SAS). 2001. SAS User's Guide, Version 8, SAS Institute Inc. Cary, N.C. U. S. A. 100-120 pp.
- Valenzuela, A. A. 2011. New agenda for blue agave landraces: food, energy and .tequila. *GCB Bioenergy*. 3:15-24.