

Energía requerida para el corte de hojas de *Agave tequilana* Weber

Alberto Saldaña Robles¹, Ryszard Jerzy Serwatowski Hlawinska^{1§}, Noé Saldaña Robles¹, César Gutiérrez Vaca¹, José Manuel Cabrera Sixto¹ y Salvador García Barrón¹

¹Departamento 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. (a.saldana.robles@ugto.mx; ryszard@ugto.mx; saldanar@ugto.mx; cesarg@ugto.mx; jmcabrera@ugto.mx; salvagb@ugto.mx). §Autor para correspondencia: ryszard@ugto.mx.

Resumen

En el estudio realizado se cuantificó la energía unitaria requerida para el corte de las hojas de la planta de *Agave tequilana* Weber empleando un dispositivo construido para este fin. Este parámetro se empleará en el diseño de una cosechadora- trituradora de agave. El estudio se realizó en noviembre de 2010 en la comunidad “El Copal”, municipio de Irapuato, Guanajuato, México. Para cuantificar la energía unitaria se evaluaron dos parámetros. El primer parámetro fue la energía que requiere el corte de la hoja de agave, dicha energía se evaluó en diez posiciones a lo largo de una hoja de aproximadamente un metro, realizando cuatro repeticiones. Para esto se empleó un dispositivo que aplica caída libre. El segundo parámetro fue el área de la sección transversal, en las mismas posiciones de la hoja donde se determinó la energía de corte, para lo cual se empleó visión artificial. De esta información se calculó la energía unitaria, resultando un valor de 2.50 J cm^{-2} . La media de los resultados obtenidos concuerda con lo obtenido por otros autores.

Palabras clave: *Agave tequilana* Weber, cosechadora, energía unitaria, maquinaria agrícola.

Introducción

El principal uso del *Agave tequilana* Weber hoy en día es la producción de tequila que se obtiene a partir de la piña. Sin embargo existen estudios de investigación que demuestran la factibilidad de obtener bioetanol inclusive a partir de

las hojas con menos contenido de azúcares que la piña. González (2008) manifiesta que la producción de bioetanol es viable en lo biológico, a partir de las hojas y piña de la planta, alcanzando valores de hasta 7000 l/ha/año superior a lo obtenido para caña de azúcar y maíz, además que estos últimos son considerados fuente alimenticia. La producción de bioetanol cobra importancia pues se está en la búsqueda de nuevas fuentes de energía y donde el Agave parece ser una opción prometedora que supondría beneficios económicos importantes (Davis *et al.*, 2011; Sierra, 2011).

Holtum *et al.* (2011) y Núñez *et al.* (2011) recomiendan que para abatir los costos de producción es necesario mecanizar el sistema de cosecha, entre otras ideas, pues es el segundo costo más importante a lo largo de los siete años, en promedio, que tarda en madurar la planta. El diseño de una cosechadora requiere de conocimiento de las propiedades físicas de la planta cosechada, como tamaño y peso, densidad de población, fuerzas y velocidades necesarias para realizar satisfactoriamente las operaciones como corte, extracción, separación, desmenuzado; con lo anterior se procede a dimensionar la máquina y sus órganos de trabajo propuestos, así como estimar la potencia requerida para su accionamiento.

Existen estudios publicados sobre las propiedades físicas para gran variedad de productos agrícolas (Irtwange, 2002; Luther, 2004; Isik, 2007), como en el caso del agave variedad *Sisal* donde se determinaron las dimensiones de la hoja, la piña y la energía de corte que eran requeridas para la mecanización de la cosecha del cultivo (Majaja *et al.*, 1997).

Sin embargo, existen otras variedades de agave en los que algunas de las propiedades físicas no han sido determinadas. En el presente trabajo se determina la energía unitaria para el corte de hoja y sus posibles relaciones con la posición de la sección a lo largo de la hoja y con el área de la sección transversal. Dichos parámetros serán utilizados en el diseño de un prototipo de cosechadora- trituradora de agave.

Materiales y métodos

Para la realización del presente estudio se emplearon tres plantas de *Agave tequilana* Weber de entre 7 y 8 años de edad extraídas del campo experimental de agave de la División de Ciencias de la Vida (DICIVA) de la Universidad de Guanajuato (Figura 1).



Figura 1. Materia prima para ensayos (planta completa de la DICIVA).

Estimación de la energía de corte por sección (relación posición-energía). Se diseñó y construyó un dispositivo (Figura 2a) para evaluar la energía de corte. Dicho elemento está formado de un par de marcos en "U" invertida que están soldados en una placa de metal, ambos marcos tienen en su parte media superior un tubo soldado de 6 cm de largo y 0.5 plg de diámetro nominal, el cual sirve como guía. En el primer marco la guía permite el movimiento de una varilla lisa que en un extremo cuenta con una base rectangular y en el otro tiene una cuchilla tipo "Y" (Figura 2b), la cual realiza el corte de la hoja de agave. Similar a la del prototipo que se pretende diseñar, el tipo de cuchilla, es la más empleada en máquinas agrícolas (trituradoras, desmenuzadoras, molinos, etc.).

La cuchilla se proveyó de un borde liso con un ángulo de ataque de 30° y se fabricó de solera comercial ASTM-A36 de 1.5 pulgadas x 0.25 pulgadas, valores recomendados que precisan la menor fuerza para realizar el corte de la planta de agave (Sierra, 2010) asegurando resistencia y rigidez del filo de la navaja. En el segundo marco (que es aproximadamente 4 veces más alto que el primero) el tubo sirve de guía a un porta-pesas. En la placa de metal donde se apoya la cuchilla se colocó una base de madera para mitigar el efecto de la pérdida de filo, por el impacto de la cuchilla sobre la base de metal. El objetivo del dispositivo es transferir energía potencial a cinética empleando caída libre, para realizar el corte de la hoja.

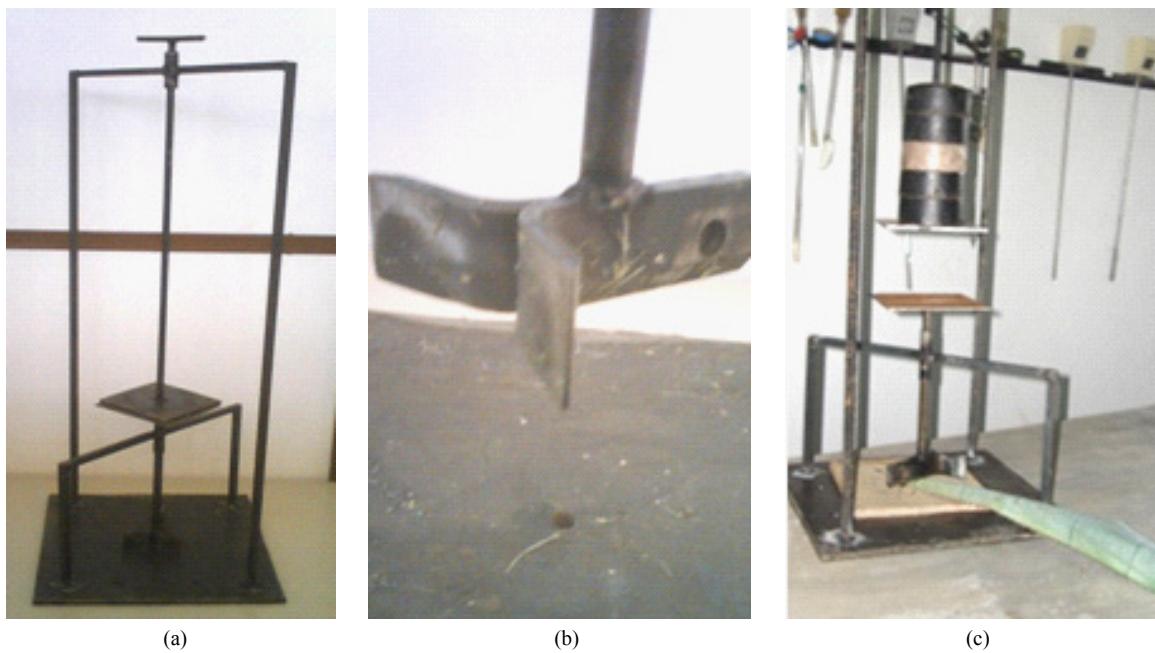


Figura 2. Dispositivo de prueba: a) vista general; b) detalle cuchilla tipo "Y"; c) ensayo a 0.1 m.

Se preparó el material para las pruebas seleccionando al azar cinco hojas de una planta de agave, las cuales fueron marcadas cada 10 cm comenzando de la espina en la punta de la hoja, con un total de 10 marcas por hoja, la longitud de las hojas en promedio fue de alrededor de un 1 m. Las marcas fueron identificadas como la posición de corte en la hoja, iniciando con la posición cero en la punta de la hoja y terminando en la posición diez cerca del extremo que estaba unido a la piña de agave. Al porta-pesas se le agregaron pesas de 4, 6, 10 y 20 kg en diferentes combinaciones. Para cortar las posiciones de la hoja con menos espesor se emplearon pesos pequeños, a medida que el grosor y ancho de la hoja aumentó se manejaron pesos más grandes. Sobre la base de madera del dispositivo de prueba se colocó una hoja tres centímetros atrás de la primera marca (0.1 m de la punta) apoyando la cuchilla tipo "Y" ligeramente.

El sistema se elevó una distancia conocida, se liberó y se evaluó de forma visual el corte. Si la cuchilla cortó la hoja completamente, se procedió a disminuir la altura de caída del porta-pesas en un centímetro, y se reubicó la cuchilla a dos centímetros de la posición de corte deseada. Si la hoja se cortó parcialmente, se procedió a aumentar la altura del porta-pesas en un centímetro y se recorrió la cuchilla hasta dos centímetros de la posición de corte deseada. Se repitió la caída del porta pesas y la verificación del corte, hasta que se logró encontrar la altura mínima requerida para conseguir un corte completo de la hoja de la sección transversal. Una vez logrado el corte completo se repitió en la sección indicada a determinar la energía de corte, registrando los valores de masa de las pesas empleadas y altura de caída del porta-pesas. La energía de corte en dicha sección (E_{CS}) se calculó empleando la siguiente ecuación simplificada.

$$E_{CS} = m_P gh \quad 1)$$

Donde: m_P = masa del porta-pesas más masa de pesas (kg); g = gravedad en la ciudad de Irapuato (m/s^2); y h = altura de elevación del porta-pesas (m). Para determinar el valor de la gravedad en el municipio de Irapuato se empleó la ecuación recomendada por la Organización Internacional de Metrología Legal que presume una precisión de 0.01% (Thulin, 1992). La ecuación se presenta a continuación.

$$gl = g_e * (1 + f * \operatorname{sen}^2 \theta - (5.8 \times 10^{-6} * \operatorname{sen}^2 2\theta) - 3.086 \times 10^{-6} * H \quad 2)$$

Donde: gl = aceleración de la gravedad local ($m s^{-2}$); g_e = aceleración de la gravedad a nivel del mar en el ecuador ($9.7803 m s^{-2}$); f = constante de aplastamiento gravitacional con un valor de 0.0053024; θ =latitud en grados; y H =altitud ortométrica sobre el nivel medio del mar.

La ecuación anterior utiliza los coeficientes adoptados por la Asociación Internacional de Geodesia (IAG) en el sistema GRS80 (Geodetic Reference System of 1980), dichos coeficientes representan el tamaño, forma y campos gravitacionales de la tierra (Moritz, 1988). La altitud para el municipio de Irapuato es de 1 730 m y la latitud Norte de 20.6° (INEGI, 2010), resultando un valor de aceleración gravitacional de $9.7814 m s^{-2}$.

Una vez realizada la prueba de corte a 0.1 m desde la espina, (Figura 2c) y habiendo calculado la energía con la ecuación(1), se repitió el mismo procedimiento anterior para las siguientes 9 posiciones sobre la hoja; la misma metodología se efectuó para las otras 4 hojas, calculando un total de 50 energías de corte. Una vez realizadas las pruebas en las cinco hojas se obtuvo el valor medio y la desviación estándar de la energía para cada posición en la hoja. Con los datos medios obtenidos de la energía en cada sección de la hoja se buscó la regresión que ajustase mejor a los datos empleando para ello Microsoft Excel 2010. Se verificaron cuatro modelos estadísticos de regresión: lineal, polinomial de orden dos, exponencial y logarítmica, de ellas se escogió la que mejor predijo el fenómeno en función del máximo coeficiente de Pearson.

Determinación del área transversal de la hoja por posición (relación área-energía, energía unitaria)

Se define a la energía unitaria, como la cantidad de energía necesaria para el corte de la hoja por unidad de área transversal. La energía de corte fue estimada anteriormente cada 0.1 m de la hoja a lo largo de 1 m, obteniendo 10 estimaciones, por lo que fue conveniente determinar el área transversal en estas mismas secciones. Para determinar el área se empleó visión artificial mediante el método de análisis digital de imagen (ADI).

El método de ADI consistió en estimar el área de la sección transversal de la hoja de agave cada 0.1 m, a partir de imágenes digitales tomadas por una Cámara Web Intel CS120 (Figura 3a) configurada para una resolución de 320 X 240 pixeles. En el programa MATLAB 8a se elaboró una rutina empleando la librería de ADI. La rutina elaborada permite determinar el área de una imagen remasterizada en blanco y negro. La Cámara Web Intel CS120 fue montada en una estructura (Figura 3b) construida especialmente para el ADI.

La estructura cuenta con varios aditamentos que juegan un papel importante para el adecuado análisis de las imágenes. La iluminación uniforme sobre una muestra

de área transversal de la hoja de agave es de gran importancia para eliminar las sombras del área transversal; para ello la estructura cuenta con un par de Lámparas StockerYale (Figura 3a) acomodadas a una altura de 45 cm del objetivo (muestra de área), con ángulos de

inclinación de 25 grados respecto de la horizontal. A la base donde la cámara toma las imágenes se colocó una hoja de papel color rosa (PANTONE Rhodamine Red) para contrastar el color del área transversal de la hoja de agave (Figura 3c).

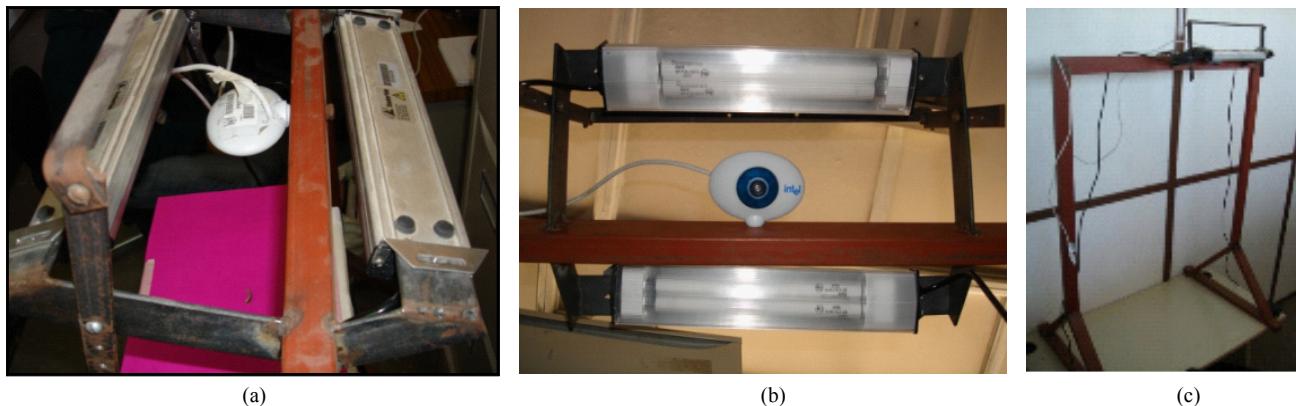


Figura 3. Equipo de visión artificial: a) cámara Web Intel CS120 y lámparas StockerYale; b) estructura de soporte; y c) ensayo de lectura de área a 0.1 m de la hoja 1.

La Cámara Web Intel CS120 toma una imagen y la rutina en MATLAB posteriza a un nivel de grises con una resolución de 8 bits (Figura 4a). La conversión se realiza promediando los niveles digitales de cada canal de color RGB también de 8 bits. En seguida se empleó un factor de umbralización de 0.7 para obtener imágenes posterizadas en blanco y negro (Figura 4b). Con la imagen en blanco y negro el área transversal de la hoja de agave representada por pixeles blancos y el resto de la imagen en color negro, la rutina hecha en MATLAB se encargó de contar el número de pixeles blancos y convertirlos en área mediante un factor de conversión que se alimentó a la rutina del programa. Para obtener el factor de conversión se requiere realizar una calibración.

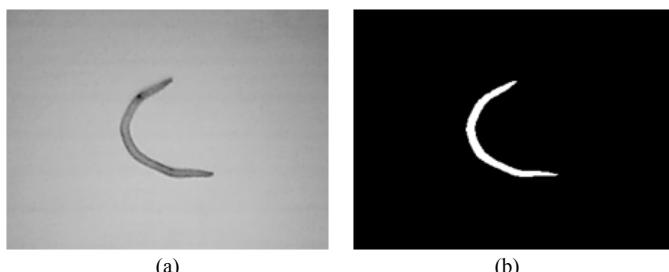


Figura 4. Posterización de imágenes: a) nivel de grises con resolución de 8 bits; y b) blanco y negro.

La calibración consiste en colocar una serie de objetos planos de área conocida (recortes precisos de una hoja de color contrastante con el fondo), se toma una imagen de los objetos y se umbraliza a una imagen en blanco y negro,

se contabiliza el número de pixeles blancos y se obtiene la razón área conocida/pixeles contabilizados. Para el presente estudio se realizó una calibración para establecer el factor de conversión empleado en la rutina del programa, colocando tres cuadros de papel blanco con diferente área; 1 cm², 9 cm² y 36 cm². Una vez calibrado se procedió a realizar la toma de imágenes de los recortes de las hojas de agave.

El procedimiento para determinar el área transversal a cada 10 cm de la hoja de agave se describe a continuación. Se cortaron al azar cinco hojas de una planta de agave, las cuales fueron marcadas cada 10 cm y empleando una navaja fueron troceadas a estas respectivas posiciones, obteniendo un total de 10 trozos por hoja (Figura 5a). De cada trozo se obtuvo una muestra de la sección transversal con un espesor máximo de 2 mm (Figura 5b).

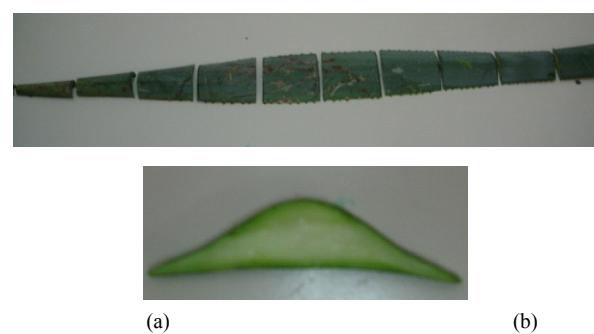


Figura 5. Hoja de agave: a) seccionada en 10 partes de 0.1m; b) sección transversal a 0.7 m.

Se colocó la primera muestra de la hoja 1 sobre el fondo empleado en la toma de imágenes, centrándola. Posteriormente se tomó la imagen con la Cámara Web Intel CS120 y se ejecutó la rutina, calculando y registrando el área de la muestra. Esto se repitió para todas las muestras de la hoja 1 (Figura 6). De la misma manera se determinó el área de las muestras de las otras cuatro hojas, registrando todos los valores de área. Una vez obtenidas las 10 áreas de cada una de las cinco hojas, se calculó el área media y la desviación estándar a las diferentes posiciones de la hoja de agave. Con el valor medio del área de la sección transversal de la hoja de agave y el valor de la energía de corte, ambos parámetros a las mismas posiciones

de la hoja, se evaluó el valor promedio de la energía unitaria así como la relación de la energía con el área transversal (área-energía) en función de su posición en la hoja mediante una regresión polinomial elaborada en Microsoft Excel 2010.

Estimación de la energía de corte por sección (relación posición-energía).

Una vez determinado el valor de la energía de corte cada 0.1 m a lo largo de cada una de cinco hojas se determinó el valor medio de energía en cada sección y la desviación estándar, lo anterior se muestra en el Cuadro 1.

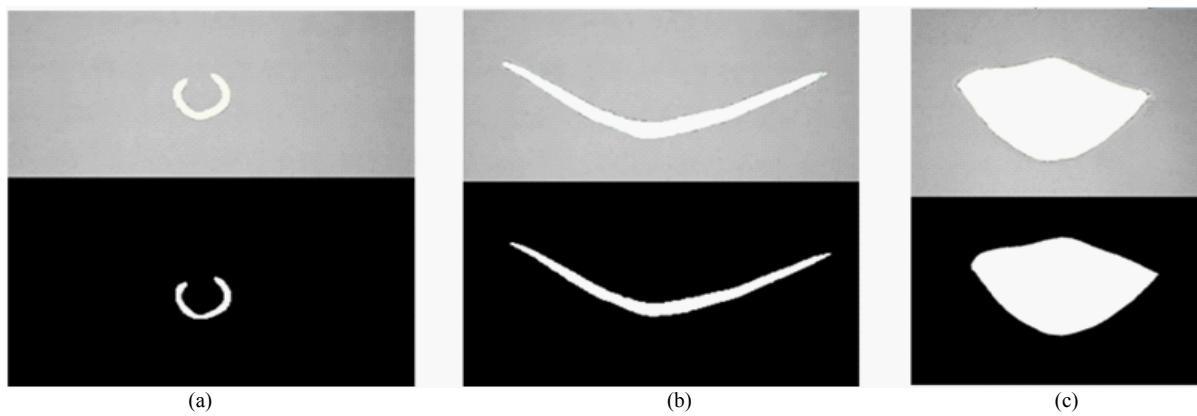


Figura 6. Imágenes de muestras: a) 0.1 m; b) 0.4 m; y c) 1 m.

Cuadro 1. Energía media en función de la posición de la sección a lo largo de la hoja de agave.

Distancia en hoja (m)	Altura pesa (m)	Pesa (kg)	Energía (J)					Media	Desviación estándar
			Hoja 1	Hoja 2	Hoja 3	Hoja 4	Hoja 5		
0.1	0.07	6	4.1	4.7	4.7	4.1	3.5	4.2	0.5
0.2	0.08	6	4.7	5.3	5.3	4.4	4.1	4.8	0.5
0.3	0.12	4	4.7	5.9	5.3	4.3	4.7	5.0	0.6
0.4	0.08	10	8.8	7.1	6.5	7.8	7.8	7.6	0.9
0.5	0.08	20	15.7	8.2	7.7	15.7	13.7	12.2	4
0.6	0.10	20	19.6	10.8	13.7	19.6	17.7	16.3	3.9
0.7	0.11	20	23.5	18.6	19.6	21.6	21.6	21.0	1.9
0.8	0.13	20	25.5	21.6	21.6	25.5	25.5	23.9	2.1
0.9	0.15	20	27.5	32.4	29.4	29.4	29.4	29.6	1.8
1.0	0.16	20	29.4	34.3	30.4	31.4	31.4	31.4	1.8

El Cuadro 1 muestra la altura media y el peso medio utilizados para realizar un corte satisfactorio en las diferentes posiciones de la hoja, también se observa que la relación de la posición y la energía media es polinomial de grado dos (Figura 8). A

mayor posición de la sección a lo largo de la hoja se requiere de una mayor cantidad de energía para realizar el corte, esto se debe a que la sección transversal aumenta al moverse de la punta de la hoja hacia el extremo unido a la piña.

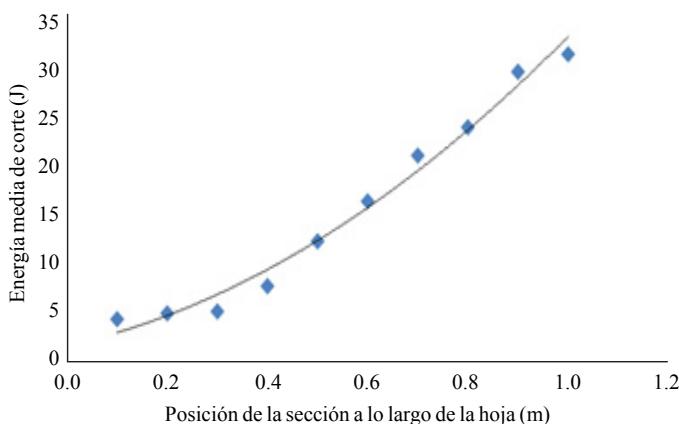


Figura 8. Relación posición de la sección a lo largo de la hoja- energía media de corte.

La ecuación que presentó el coeficiente de correlación ($R^2=0.9836$) más cercano a 1, es una ecuación polinomial de segundo orden. La ecuación se muestra a continuación.

$$E=20.341P^2+11.395P+1.5017 \quad 3)$$

Donde: E es la energía necesaria para el corte medida en Joules y P es la posición de la hoja medida a partir de la punta en centímetros. La ecuación anterior puede

emplearse para determinar la energía que requiere el corte de la hoja en cualquier posición propuesta. Es importante destacar que a partir de los 0.3 m los valores de energía en función de la posición de la hoja muestran una tendencia lineal ($R^2=0.994$), muy probablemente las posiciones de 0.1 y 0.2 m presentaban un grosor y área pequeños y muy parecidos.

Determinación del área transversal de la hoja por sección (relación área- energía y posición- área)

En el Cuadro 2 se muestran las áreas obtenidas de cada una de las 10 secciones a lo largo de cada una de las cinco hojas de agave; asimismo, el área media y la desviación estándar. En dicho cuadro también se puede observar que a partir de los 0.9 m de distancia la desviación estándar aumenta considerablemente comparada con los demás valores; lo anterior se puede deber a que no todas las hojas tienen exactamente la misma longitud y por ende en las hojas más cortas se empieza a exhibir la unión de la hoja con la piña.

La ecuación que rige el comportamiento del área transversal en función de la posición de la sección a lo largo de la hoja se presenta a continuación.

Cuadro 2. Área de la sección transversal a lo largo de la longitud de las hojas.

Posición de sección a lo largo de la hoja (m)	Área (cm ²)					Desviación estándar	
	Hoja 1	Hoja 2	Hoja 3	Hoja 4	Hoja 5		
0.1	0.7971	0.6978	0.7716	0.7211	0.7284	0.7432	0.0403
0.2	1.5558	1.4245	1.5388	1.5259	1.3767	1.4843	0.079
0.3	2.2441	2.3115	2.3621	2.3421	2.3623	2.3244	0.0495
0.4	3.3829	3.4983	3.5820	3.5332	3.6699	3.5333	0.1059
0.5	4.0838	4.1123	4.4692	4.3374	4.5421	4.309	0.2063
0.6	5.5002	5.2801	5.6239	5.0766	5.6391	5.424	0.2416
0.7	6.8521	7.4236	7.3065	6.9691	7.8093	7.2721	0.3811
0.8	9.6948	9.9158	9.9413	10.1597	9.6612	9.8746	0.2033
0.9	13.4025	13.2066	12.3403	13.7107	14.2707	13.3862	0.7096
1	21.1527	16.9723	20.6078	18.0891	23.4263	20.0496	2.5614

$$A=26.875P^2 - 10.948P + 2.51420582 \quad 4)$$

Donde: A=área transversal de la hoja en centímetros cuadrados; y P=posición de la sección a lo largo de la hoja en metros.

La función tiene un comportamiento polinomial de segundo orden con una R^2 de 0.975, al aumentar la posición de la hoja el valor de área transversal incrementa. Empleando los valores medios del área de la sección transversal de la hoja de agave (Cuadro 2) y los valores medios de la energía de corte (Cuadro 1), ambos parámetros a las mismas posiciones en la hoja, se evaluó el valor promedio de la energía unitaria, resultando un valor de 2.50 J cm^{-2} .

La relación área-energía se puede observar en la Figura 9, donde se aprecia un comportamiento polinomial de orden 2 con una R^2 de 0.9789; al aumentar el área en la posición de la hoja el valor de energía incrementa. La ecuación que rige el comportamiento de la energía media de corte en función del área de la sección transversal se presenta a continuación.

$$E=-0.0903A^2+3.4185A-0.5566 \quad 5)$$

Donde: E=energía necesaria para el corte medida en Joules; y A=área de la sección transversal respectiva en centímetros cuadrados.

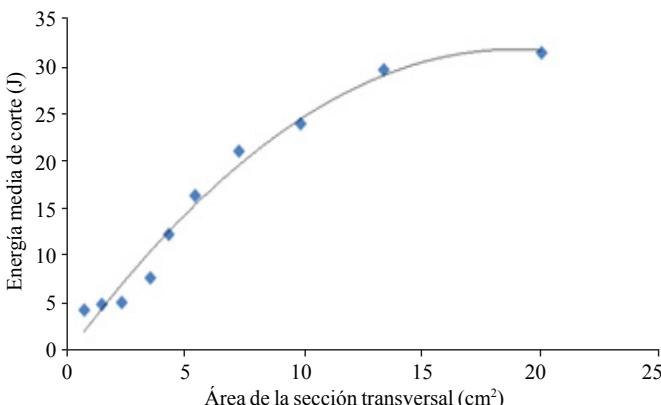


Figura 9. Relación área de sección transversal energía media de corte.

El crecimiento menor al lineal en la relación energía-área puede deberse al decremento de la relación perímetro-área de la sección de la hoja. Conforme aumenta la sección se va reduciendo el contenido relativo de la piel, más dura para el corte que el interior de la hoja. Calculando con los datos del Cuadro 1 y 2 la energía unitaria del corte para la distancia de 1 m; es decir, para una sección a 8 cm de la base de la hoja, resulta el valor de 1.56 J cm^{-2} .

Este valor puede compararse con los resultados obtenidos por Majaja y Chancellor (1997), para el corte de hojas de sisal a 7 cm de la base, de los cuales puede deducirse el valor de la energía unitaria de corte de 0.59 J cm^{-2} empleando cuchilla de hoja delgada y hasta 1.32 J cm^{-2} con herramientas cortantes tipo cizalla, comúnmente utilizadas en la poda de árboles. Es notable la similitud de los resultados, tomando en cuenta que las propiedades de cada especie, la geometría de las herramientas cortantes, así como las velocidades de corte proporcionadas por los dispositivos de prueba empleados influyen en los valores de energía de corte determinados.

Conclusiones

Se propuso y validó una metodología para determinar la energía requerida para el troceado de las hojas de agave. Existe una relación bien definida entre la posición de la sección a lo largo de la hoja y la energía de corte que puede ser explicada en términos de cambio del área de la sección transversal de la hoja, es decir, a medida que la distancia aumenta partiendo de la punta de la hoja hacia la unión de ésta con la piña el área incrementa de acuerdo a un polinomio de orden 2 y lo mismo se puede observar en las mediciones hechas para la energía de corte. El valor de la energía unitaria determinada muestra que requiere de 2.50 J para cortar transversalmente un centímetro cuadrado de hoja de agave usando la geometría de las cuchillas comúnmente usadas en esta clase de maquinaria. Los valores obtenidos en el presente trabajo pueden emplearse en el diseño de maquinaria para la mecanización de la cosecha y procesamiento del *Agave tequilana* Weber.

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) y a la tequilera “Real de Pénjamo” por su valiosa aportación de recursos humanos, materia prima (agave) y maquinaria agrícola para la realización del presente trabajo.

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 pp.
- Davis, S. C.; Dohleman, F. G. and Long, S. P. 2001. The global potential for Agave as a biofuel feedstock. *GCB Bioenergy*. 3(1):68-78 pp.
- González, P. G. 2008. Producción potencial de bioetanol a partir de diferentes especies de agave en el estado de Guanajuato. Tesis de licenciatura. Instituto de Ciencias Agrícolas de la Universidad de Guanajuato. 62 p.
- Háuad, M. L. A.; Rodríguez P. C.; Franco, M.; Castillo P.; Vázquez A. R. y Rojas, M. A. 2010. Propiedades terapéuticas de Agave *tequilana* Weber. *Toctli Rev. Intern. Cienc. Tecnol. Biomedica*. 1-4 p.
- Holtum, J. A. M.; Chambers, D.; Morgan, T. and Tan, D. K. T. 2011. Agave as a biofuel feedstock in Australia. *GCB Bioenergy*. 3(1):58-67.
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI). 2010. Distribución de localidades, según su altitud sobre el nivel del mar. URL: <http://www.inegi.gob.mx/>.
- Irtwange, S. V. and Igbeke, J. C. 2002. Some physical properties of two african yam bean (*Sphenostylis stenocarpa*). Accessions and their Interrelations with Moisture Content. *J. Appl. Eng. Agric. ASAE*. 18(5):567-576.
- Isik, E. 2007. Some physical and mechanical properties of round red lentil grains. *J. Appl. Eng. Agric. ASAE*. 23(4):503-509.
- Luther, R. W.; Suter D. A. and Brusewitz, G. H. 2004. Physical properties of food materials. *food and process engineering technology*. St. Joseph, Michigan: ASAE. Am. Soc. Agric. Eng. 2:23-52.
- Majaja, B. A. and Chancellor, W. J. 1997. The potential for mechanical harvest of sisal. *Am. Soc. Agric. Eng.* 13(6):703-708.
- Moreno, H. A.; Estrella, C. N.; Escobedo, G. S.; Bustamante, G. A. y Gerritsen, P. W. 2011. Prácticas de manejo agronómico para la sustentabilidad: características y medición en Agave *tequilana* Weber en la región. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*. 14(1):159-169 pp.
- Moritz, H. 1988. Geodetic reference system. 1980. *Geodesist handbook*. *Bulletin Geodesique*. 62(3):128-172.
- Núñez, H. M.; Rodríguez, L. F. and Khanna, M. 2011. Agave for tequila and biofuels: an economic assessment and potential opportunities. *GCB Bioenergy*. 3(1):43-57.
- Owolarafe, O. K. and Shotonde, H. O. 2004. Some physical properties of fresh okro fruit. *J. Food Eng.* 63(3):299-302.
- Sierra, S. L. A. 2011. Estudio y diseño del mecanismo desfibrador de una cosechadora- trituradora de agave. Tesis de licenciatura. División de Ciencias de la Vida de la Universidad de Guanajuato. 198 p.
- Sierra, S. L. A.; Gutiérrez, V. C.; Saldaña, R. A. y Serwatowski, H. R. 2010. Energía necesaria para el corte de la piña de agave con cuchillas de diferente borde cortante. In: *Memorias del XIX Congreso Nacional de Ingeniería Agrícola*. Saltillo, Coahuila, México.
- Thulin, A. 1992. A "standardized" gravity formula. *Bulletin OIML*- N° 127 1992- MIML.
- Whitney, G. K.; Lioutas, S. T.; Henderson, W. L. and Combs, L., Inventors. 2002. Production for tequila. United States Patent US 2002/0119217 A1.