

Determinación de las propiedades físico-mecánicas para el descascarado de las cápsulas de la higuerilla (*Ricinus communis L.*)

Pedro Cruz Meza^{1§}, Samuel García Silva¹, Conrado Márquez Rosano¹ y Gilberto López Canteñs¹

¹Departamento de Ingeniería Mecánica Agrícola. Universidad Autónoma Chapingo. Carretera México-Texcoco, km 38.5, C. P. 56230. samuelmx57@yahoo.com, cmar_ros59@yahoo.com; alelopez10@hotmail.com. §Autor para correspondencia: pcruzmeza@yahoo.com.mx.

Resumen

El descascarado de la higuerilla en nuestro país se realiza de forma manual, utilizando gran cantidad de mano de obra, por lo que existe una baja productividad en la realización de esta labor, aspecto que debe mejorarse en el futuro por la gran demanda de este producto para la producción de biodiesel. Como parte del proyecto de investigación dirigido al desarrollo de una máquina para el descascarado de las cápsulas de higuerilla, se determinaron las propiedades físico-mecánicas de higuerillas del tipo I (criolla) y tipo II (roja) colectadas en las poblaciones de San Bernardino, Estado de México y Santa María Roaló, Oaxaca. Estas propiedades constituyen datos de entrada imprescindibles para la evaluación de modelos matemáticos que posibilitan calcular los principales parámetros de diseño y explotación de las máquinas descascaradoras. Las principales propiedades determinadas son: dimensiones y masa de las cápsulas y granos, ángulo de reposo del fruto en diferentes superficies y resistencia a la compresión de la cápsula en posición horizontal y vertical.

Palabra clave: descascarado, higuerilla, mecanización, propiedades físico-mecánicas.

Introducción

La higuerilla es, una planta que crece silvestre en muchas latitudes del mundo, incluido México. Sin embargo, las variedades silvestres no son susceptibles de

aprovechamiento. Esta planta oleaginosa produce, racimos de bellotas que contienen compartimentos donde almacena sus semillas y éstas producen un aceite que puede llegar a tener hasta 500 aplicaciones diferentes en la industria de los biocombustibles, farmacéutica, lubricantes, surfactantes, pinturas, plásticos, detergentes y tintes (Guzmán, 1970; Martínez, 1970; Vázquez, 1993; Goytia *et al.*, 2011). Uno de sus productos principales es el biodiesel, el cual es obtenido por países como Brasil a manera de alternativa y prevención ante la futura escasez del petróleo (Soares *et al.*, 2009).

El creciente desarrollo de la aviación y el constante empleo de motores de altas revoluciones, le dan gran demanda al aceite como lubricante por su alta densidad, porque conserva su viscosidad a altas temperaturas y porque solo se congela a los 10 °C bajo cero (Tobar, 1981; Scholz y Da Silva, 2007).

La cosecha de esta planta se inicia normalmente a los 120 días, cuando las variedades son tempranas y a los 150 días en las más tardías. En las variedades cuyo fruto no se abre (indehiscente), la cosecha se hace cuando todos los frutos están secos, por lo que la mayoría de las veces se hace una sola recolección (Savy Filho *et al.*, 2007 citado por Fanan *et al.*, 2009). La cosecha mecanizada requiere variedades enanas y uniformes tanto en crecimiento como en ramificaciones, con cápsulas indehiscentes y las hojas deben eliminarse ya sea natural o artificialmente con defoliantes. La cosechadora típica de granos, sirve para cosechar este cultivo con simples ajustes y cambio en la velocidad del cilindro (Schoenleber y Bouse, 1964; Hussain *et al.*, 1980).

El beneficiado de la higuerilla puede ser manual o mecanizada y tiene tres etapas básicas: secado, separación, limpieza y ensacado de las semillas. El secado puede ser natural o mediante secadoras. La separación a través de la máquina descascaradora y la limpieza puede ser manual (aventado) o por abanicos mecánicos. Para los frutos indehiscentes el proceso de separado debe ser mecanizado. Dos de los métodos manuales son:

Método de impacto. Consiste en sujetar y golpear con un ladrillo la punta del diámetro polar del fruto, para que se desprendan las 3 semillas de éste; este método es lento y tedioso. Otra variante de este método es que los frutos se colocan en el lugar a descascarillar y mediante una tabla o banquito (Figura 1) se golpean estos para posteriormente limpiarlos mediante una corriente de aire. Este método es más rápido, pero se puede dañar mecánicamente la semilla, lo que ocasiona que se rancie ésta.



Figura 1. Descascarado manual utilizando un “banquito”.

Método de pisoteado. Los frutos se colocan en el lugar a descascarillar y con los pies se pisotean en sentido horario proporcionándole sobre la superficie de éstos un ligero giro para que se separe la semilla y posteriormente se ventea. Este es un método masivo de descascarillado.

En el estado de Oaxaca se cultiva la higuerilla asociado con el maíz. Para el descascarado se realiza el desprendimiento del raquis del racimo. El descascarado se realiza después del mediodía, para facilitar el desprendimiento de la semilla del fruto, en forma manual. El presente trabajo tiene como objetivo determinar las propiedades físicas y mecánicas para el diseño del órgano de trabajo de la descascaradora de higuerilla.

Materiales y métodos

El material fue recolectado en la población de San Bernardino, Texcoco, Estado de México, y en la población de Santa María Roaló, Oaxaca. De un lote de alrededor de 3 000 frutos se seleccionaron al azar, además que no tuvieran daño mecánico y biológico.

El material de estudio fueron de dos tipos: tipo I (diferenciado en campo como “criolla” o silvestre, frutos de forma esférica, de semilla pequeña, colectada en el Estado de México) y tipo II (diferenciado en campo como “roja”, frutos de forma ovoide, de semilla grande, colectada en el estado de Oaxaca).

La metodología presente fue desarrollada a partir de diferentes investigaciones que se han realizado a diversos cultivos por diferentes autores (Souza *et al.*, 1998; García *et al.*, 2003; Mayorga *et al.*, 2004; Almeida *et al.*, 2007; Bouza *et al.*, 2007; Ferreira *et al.*, 2007; Valdés *et al.*, 2008; López *et al.*, 2011).

Dimensiones y masa de la cápsula

Para determinar las dimensiones y la masa de las cápsulas se escogen de manera aleatoria 100 cápsulas y utilizando un vernier digital marca Mitutoyo serie 500 de 6 pulgadas de longitud, con valor de división de 0.01 mm, se mide el diámetro polar y ecuatorial del fruto de la higuerilla (Figura 2). Para la medición de la masa se utiliza una balanza analítica Ohaus Explorer de 4 200 g de capacidad, con un valor de precisión de 0.01 g (Figura 3). Para ello se toman 4 muestras de 25 cápsulas. Determinar el promedio y la desviación estándar según la metodología propuesta por Canavos (1999) e Infante y Zárate (2000).



Figura 2. Determinación de las dimensiones de la cápsula y de la semilla.



Figura 3. Determinación de la masa de la cápsula y de la semilla.

Dimensiones de los granos

Para determinar las dimensiones del grano es necesario seleccionar 100 granos de las muestras utilizadas en la determinación de la densidad del grano, para ello es necesario tomar 25 granos de forma aleatoria en cada muestra. El valor de la longitud, ancho y espesor del grano, corresponden a los valores máximos medidos en la semilla para cada caso, y su valor se especifica en milímetros. Calcular la media y la desviación estándar de los granos.

Ángulo de reposo

Para la determinación del ángulo de reposo se seleccionaron al azar un grupo de cápsulas de higuerilla tipo II o de granos para posteriormente colocarlo sobre un plano inclinado (Figura 3) con diferentes superficies de madera, caucho y metal. Posteriormente se comienza a levantar la superficie hasta que comienzan a deslizarse el primer fruto y se toma la lectura indicada por la aguja en el transportador.



Figura 3. Determinación del ángulo de reposo de las cápsulas de higuerilla tipo II.

Resistencia a la compresión

Se seleccionaron 30 frutos de higuerilla tipo I por tratamiento (una por cada intervalo de longitud) eligiendo 2 tratamientos (posición horizontal y vertical del fruto), que se montaron en una máquina universal Instron modelo 3382 (Figura 4) accionada por medio de una computadora equipada con el software BLUEHILL, utilizando dos platos paralelos de 15 cm de diámetro, con una capacidad de 100 kN y una velocidad de cruceta de 25 mm min⁻¹. La prueba se realizó a 25 °C y 65% de humedad relativa, determinando la carga máxima soportada por la cascara del fruto y el módulo de Young.

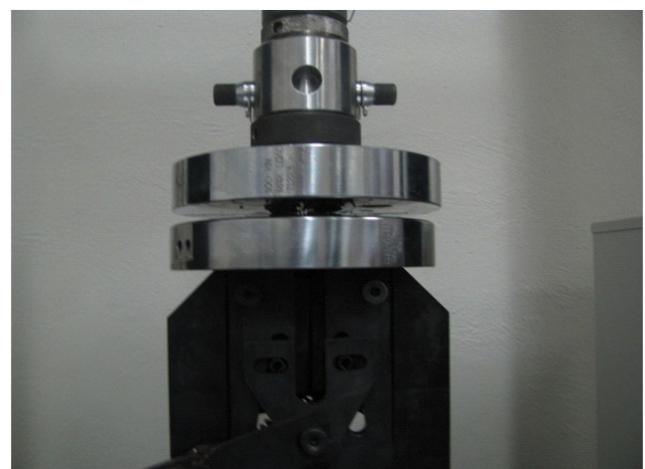


Figura 4. Compresión del fruto de la higuerilla tipo I: posición vertical y horizontal.

Resultados y discusión

En los Cuadro 1, 2 y 3 se muestran las principales propiedades dimensionales de las cápsulas y granos de la higuerilla, en las cuales se aprecia que el tipo I (criolla) presenta menores dimensiones con respecto al tipo II (roja). El material I presenta la forma de una esfera, mientras que el material II, es un elipsoide. En el material silvestre el espesor de la cáscara es mayor comparado con la roja, por lo cual se puede descascarar a mayores revoluciones por minuto del órgano de trabajo.

Los resultados del procesamiento estadístico de los datos obtenidos durante la determinación del ángulo de fricción estática de las cápsulas sobre acero, madera y hule se muestran en el Cuadro 4.

Cuadro 1. Estadígrafos de las principales propiedades físico-mecánicas de la higuerilla tipo I (criolla).

Parámetro	Diámetro ecuatorial (mm)	Diámetro polar (mm)	Espesor cáscara (mm)	Masa fruto (g)	Masa semillas (G)	Masa cáscara (g)
Promedio	16.83	17.42	1.25	1.25	0.67	0.59
Desv. est.	0.86	0.89	0.21	0.27	0.2	0.17
Máximo	18.83	19.5	1.84	1.7	1	0.9
Mínimo	13.7	15.36	0.8	0.5	0.2	0.3

Cuadro 2. Estadígrafos de las principales propiedades físico-mecánicas de la higuerilla tipo II (roja).

Parámetro	Diámetro ecuatorial (MM)	Diámetro polar (MM)	Espesor cáscara (MM)	Masa fruto (G)	Masa semillas (G)	Masa cáscara (G)
Promedio	21.81	25.59	0.76	3.32	2.1	1.22
Desv. est.	1.43	2.06	0.16	0.87	0.68	0.26
Máximo	25.57	30.54	1.23	5.5	3.4	2.1
Mínimo	18.21	18.45	0.36	1.1	0.5	0.5

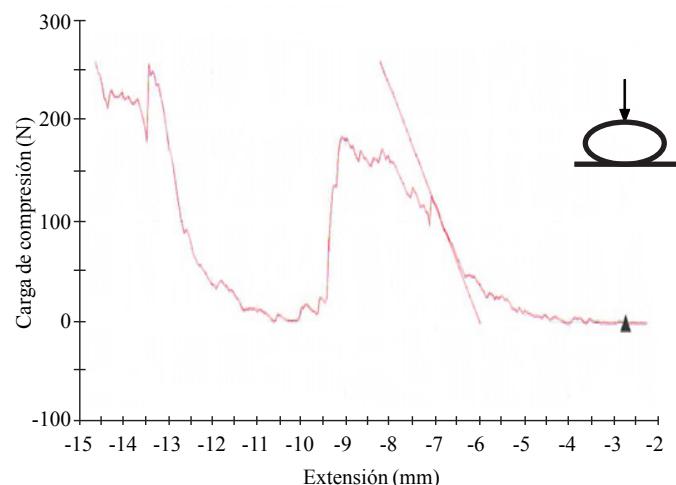
Cuadro 3. Estadígrafos de las dimensiones de las semillas de la higuerilla tipo I y II.

Parámetro	Tipo I			Tipo II		
	Longitud (mm)	Ancho (mm)	Espesor (mm)	Longitud (mm)	Ancho (mm)	Espesor (mm)
Promedio	11.92	7.62	5.4	17.76	11.71	7.9
Desv. est.	0.81	0.4	0.23	1.29	0.95	0.67
Máximo	13.6	8.38	6.14	20.04	13.55	9.98
Mínimo	9.94	6.69	4.87	11.9	8.59	5.25

Cuadro 4. Ángulo de reposo del fruto de higuerilla tipo II (roja) en diferentes superficies de fricción.

Superficies	Media (grado)	Desviación estándar	Error estándar (%)	Coef. Variación (%)
Metal	21.58	2.34	21.35	10.84
Madera	25.35	1.55	14.13	6.11
Hule	23.39	1.55	14.12	6.61

Para la búsqueda de las condiciones y regímenes de trabajo de las máquinas, con las cuales se realiza la compresión del material de trabajo, es necesario estudiar correctamente las propiedades físico-mecánicas, con el fin de hacerlo con el mínimo gasto de energía. Los diagramas de trabajo de compresión del fruto de la higuerilla en las posiciones horizontales y verticales de los ejes de coordenadas: fuerza de compresión (N) por la vertical y la extensión (mm) por la horizontal se muestra en la Figura 5 y 6. En estas se observa que se requiere una mayor fuerza de compresión para romper la cascarilla del fruto en la posición del fruto vertical (diámetro polar del fruto) que en la posición horizontal (diámetro ecuatorial). Además en esta última posición es más alta la posibilidad de dañar la semilla mecánicamente. En el Cuadro 5 se muestra la variación del modulo de Young de la cápsula de higuerilla.

**Figura 5. Diagrama de compresión del fruto de la higuerilla tipo I en posición horizontal.**

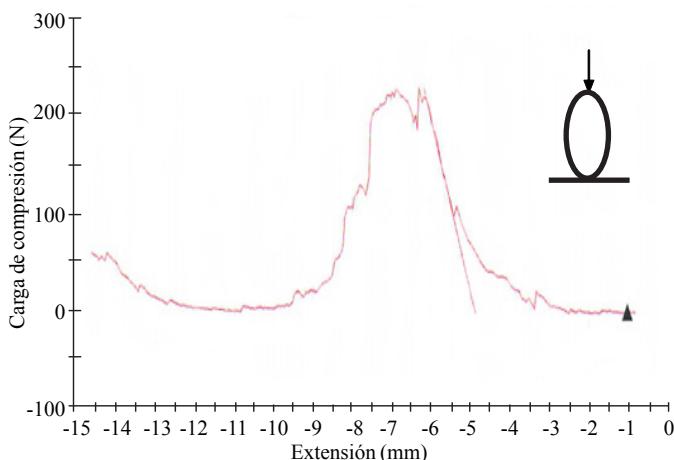


Figura 6. Diagrama de compresión del fruto de la higuerilla tipo I en posición vertical.

Cuadro 5. Módulo de Young de la higuerilla tipo I.

N.º	Parámetro	Módulo de Young (pa)
1	Valor máximo	18000000
2	Valor mínimo	2700000
3	Valores medios	11.778x10 ⁶
4	Desviación estándar	3169363.43

Conclusiones

Como resultado de la investigación fueron determinadas las principales propiedades dimensionales y físico-mecánicas de los frutos de la higuerilla (*Ricinus communis* L.), requeridas para los estudios relacionados con la postcosecha mecanizada de este producto.

Se determinó la carga máxima que soporta el fruto a compresión en dos posiciones para el descascarado del fruto de la higuerilla tipo I, siendo menor la carga aplicada en el diámetro ecuatorial, pero existe mayor riesgo de dañar mecánicamente la semilla. Lo ideal para efectuar el descascarado es orientar el fruto en la posición polar, para no dañar mecánicamente el grano.

Literatura citada

Almeida, F. A. C.; De Oliveira, M. E. C.; Pereira, P. G. J.; Rubens, F. da Costa, F. R.; Neto Figueirêdo, A. e Oliveira, F. M. de M. 2007. Avaliação da debulha mecânica em sementes de milho. Rev. Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental. 11(2):217-221.

- Bouza, M. Y.; Martínez, R. A.; Mederos, L. D. y Pérez, B. P. 2007. Determinación de propiedades físico-mecánicas de los frutos del Neem relacionadas con la cosecha mecanizada por vibración. Rev. Cien. Téc. Agrop. 16(3):37-42.
- Canavos, G. C. 1999. Probabilidad y estadística. Ed. Mc Graw Hill. México. 651 p.
- Fanan, S.; Fratin, M. P.; Paes de Camargo, M. B. and Galbieri, R. 2009. Description of agronomic characteristics and harvest time evaluation in the yield of castor bean cultivar IAC 2028. Bragantia, Campinas. 68:2.
- Ferreira, I. C.; Silva, R. P.; Lopes, A. e Furlani, C. E. A. 2007. Perdas quantitativas na colheita de soja em função da velocidade de deslocamento e regulagens no sistema de trilha. Engenharia na Agricultura, Viçosa, MG. 15(2):141-150.
- García, R. F.; de Queiroz, D. M.; Fernández, H. C. e Miyagaki, O. H. 2003. Simulação do comportamento dinâmico de um conjunto trator-colhedora de feijão. Rev. Bras. Enge. Agríc. Amb. 7(3):565-571.
- Goytia, J. M. A.; Gallegos, G. C. H. y Núñez, C. C. A. 2011. Relación entre variables climáticas con la morfología y contenido de aceite de semillas de higuerilla (*Ricinus communis* L.) de Chiapas. Revista Chapingo. Serie Ciencias Forestales y del Ambiente. 17(1):41-48.
- Guzmán, S. E. 1970. El cultivo de la higuerilla en Oaxaca. Dirección General de Agricultura. Departamento de Extensión Agrícola. Sección de divulgación. Chapingo, Texcoco, Estado de México. 5 p.
- Hussain, A. A. M.; Sabur, M. A. and Rahman, M. M. 1980. Design and construction of a manually operated castorbean-cum-sunflower seed dehuller. Agricultural Mechanization in Asia. 11(2):83-84.
- Infante, G. S. y Zárate de, L. G. P. 2000. Métodos estadísticos. Ed. Trillas. México. 643 p.
- López, B. V.; Villaseñor, P. C. A. y Pérez, L. A. 2011. Propiedades mecánicas y respuesta fisiológica de frutos de chicozapote bajo compresión axial. Rev. Cienc. Téc. Agropec. 20(3):73-80.
- Martínez, B. E. 1970. Prueba comparativa de adaptación y rendimiento de 2 variedades y 4 híbridos de higuerilla enana en el municipio de General Escobedo N. L. Tesis profesional. Universidad de Nuevo León. Facultad de Agronomía. Monterrey, N. L. 102 p.
- Mayorga, H. E; Rössel, K. D.; Ortiz, L.; H.; Quero, C. A. R. y Amante, O. A. 2004. Análisis comparativo en la calidad de fibra de *agave lecheguilla* torr. procesada manual y mecánicamente. Agrociencia. 38(2): 219- 225.

- Soares, S. L.; Gomes, de A. W.; De Olivera, F. M. A.; Araujo, G. J. and Milani, M. 2009. Variability on porcentaje of seed hulls of castor seed and its importance to breeding. Centro de Ciencia Agraria- Universidade Federal do Ceare, Fortaleza, C. E. Rev. Cienc. Téc. Agropec. 40(1).
- Souza, A. C. M.; Pinto, de C. F. de A.; Mantovani, Ch. E. e Queiroz, M. D. 1998. Simulação e análise do processo de trilha e separação mecânica do milho-pipoca. Rev. Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental. 2(2):212-218.
- Scholz, V. e Da Silva Nogueira, J. 2007. Óleo de mamona como combustível: fatos, perspectivas e riscos. Engenharia na Agricultura, Viçosa, MG. 15(2):168-172.
- Schoenleber, L. G. and Bouse, L. F. 1964. Mechanized Harvesting of Castor Beans. Transactions of the ASAE. 97-99 pp.
- Tobar, H. J. R. 1981. Evaluación de tres densidades de siembra en variedades guatemaltecas e híbridos sur africanos del cultivo de higuerillo (*Ricinus communis* L.). Tesis profesional. Universidad de San Carlos de Guatemala. Facultad de Agronomía. Guatemala 152 p.
- Valdés, H. P. A.; González, C. D. y Martínez, R. A. 2008. Determinación experimental de propiedades físicomecánicas de la caña de azúcar para su procesamiento en picadoras de forraje. Rev. Cienc. Téc. Agropec. 17(2):1-6.
- Vázquez, G. F. 1993. El cultivo de la higuerilla (*Ricinus communis* L.) en México. Tesis profesional. Chapingo, Estado de México. 165 p.