

ASOCIACIÓN MEXICANA DE INGENIEROS AGRÍCOLAS, A. C.

CONVOCA AL:

XXV CONGRESO NACIONAL DE INGENIERÍA AGRÍCOLA

EL 11, 12 Y 13 DE OCTUBRE DEL 2017

Con el propósito de dar a conocer los avances en investigación e innovaciones de las diversas ramas del sector agrícola, convoca a estudiantes y profesionistas del área a enviar sus trabajos bajo las siguientes temáticas:

1. Mecanización y Maquinaria Agrícola
2. Ingeniería de Suelo y Agua
3. Tecnología de Postcosecha y Agroindustria
4. Construcciones Rurales y Medio Ambiente
5. Ingeniería en Biosistemas y Energía en la Agricultura
6. Tecnología de Información, Comunicación, Automatización y Agricultura de Precisión y Nuevas Tecnologías
7. Educación en Ingeniería Agrícola
8. Economía y Desarrollo Rural

Los trabajos recibidos deben ser in-extenso con un máximo de 10 cuartillas y los aceptados serán presentados durante el congreso en forma oral.

Fecha límite de envío de trabajos: el 31 de agosto de 2017.

El envío de los trabajos y solicitud de informes al correo: congresoamia2017@gmail.com

Lugar del Congreso: Campo Experimental "Pabellón" INIFAP km. 32.5 Carretera Aguascalientes-Zacatecas, Pabellón de Arteaga, Ags. C.P. 20660.

LA ASOCIACIÓN MEXICANA DE INGENIEROS AGRÍCOLAS, A.C.

Convocan al:

XXV CONGRESO NACIONAL DE INGENIERÍA AGRÍCOLA

Que se llevará a cabo los días 11, 12 y 13 de
Octubre de 2017 con sede en:

CAMPO EXPERIMENTAL “PABELLÓN” INIFAP

km 32.5 Carretera Aguascalientes-Zacatecas

Pabellón de Arteaga, Ags. C.P. 20660

OBJETIVO GENERAL

Dar a conocer los avances en investigación e innovaciones de las diversas ramas del Sector Agrícola y proponer alternativas que permitan su mejoramiento como parte importante en el desarrollo agrícola y sustentable en México.

TEMÁTICAS DEL CONGRESO NACIONAL

Se abordaran las siguientes temáticas, todas enfocadas a la investigación en el ramo agrícola, pecuario, forestal, agroindustrial y desarrollo rural:

1. Mecanización y Maquinaria Agrícola.
2. Ingeniería de Suelo y Agua.
3. Tecnología de Postcosecha y Agroindustria.
4. Construcciones Rurales y Medio Ambiente.
5. Ingeniería en Biosistemas y Energía en la Agricultura.
6. Tecnología de Información, Comunicación, Automatización y Agricultura de Precisión y Nuevas Tecnologías
7. Educación en Ingeniería Agrícola.
8. Economía y Desarrollo Rural

BASES DE PARTICIPACIÓN

Los interesados en participar en el Congreso, deberán enviar al siguiente correo electrónico sus artículos en extenso a más tardar el 31 de agosto de 2017, indicando la mesa en la cual desean presentar sus trabajos:

congresoamia2017@gmail.com

cervantes.osornio@gmail.com

Una vez recibida la contribución, el Comité Científico evaluará la pertinencia, además del cumplimiento del formato requerido, considerando tanto la temática propuesta como el enfoque disciplinario. Derivado de esto se emitirá un dictamen, el cual se informará a los autores por medio de correo electrónico, considerando las siguientes alternativas:

- ☛ Aceptada como está
- ☛ Aceptada condicionada a la atención de las observaciones
- ☛ Rechazada

Cabe hacer mención que no habrá prorroga en la recepción de trabajos después de la fecha citada en la presente convocatoria

CUOTAS DE RECUPERACIÓN

Categoría	Costo
Ponente	\$2,500.00
Estudiante ponente (Credencial vigente)	\$500.00
Estudiantes y público en general asistente (no ponentes)	Entrada libre

La cuota incluye entrada a las conferencias magistrales y técnicas, memoria digital con los artículos en extenso, material didáctico y servicio de cafetería.

REGISTRO Y NÚMERO DE PONENCIAS POR CONGRESISTA

Los participantes y asistentes deberán registrarse al inicio del mismo para recibir el material del Congreso y material informativo sobre las actividades del evento.

Para el registro, se requiere presentar el comprobante de pago de inscripción, el cual debe ser el original del depósito bancario

Cada autor o congresista registrado podrá participar como ponente con dos trabajos como máximo (dos ponencias orales) a reserva que sean aceptados.

Los autores son responsables de verificar en el programa general, la fecha, hora y lugar de su presentación. Las constancias de participación se entregarán al final de cada ponencia (se requerirá comprobante de pago).

Al enviar el trabajo vía e-mail él o los autores responsables debe(n) indicar en cuál de las ocho temáticas de trabajo propone(n) quede su trabajo in extenso o ponencia.

PRESENTACIONES ORALES

Las presentaciones orales se realizaran en 20 minutos, incluyendo la proyección del material visual (15 min) y la fase de preguntas y respuestas (5 min). Deberán ser preparadas en el programa Microsoft PowerPoint® 97, 2000, y versiones posteriores a estas, con una capacidad de memoria máxima de 5 MB. La ponencia deberá ser entregada al personal de apoyo logístico en una USB al inicio de la mesa de trabajo la cual deberá estar identificada con el título correcto. Como apoyo visual se contará con proyector digital y un señalador para apoyo a las exposiciones.

NORMAS PARA LA PREPARACIÓN DEL TRABAJO EN EXTENSO

El trabajo completo, de un máximo de 10 páginas, debe incluir: Título, Autor(es), Datos del autor de correspondencia, Resumen, Palabras clave, Abstract, Keywords, Introducción, Materiales y Métodos, Resultados y Discusión, Conclusiones, Agradecimientos (opcional) y Literatura Citada.

- Tamaño del papel: Carta (215.9 x 279.4 mm), con orientación vertical, y el margen superior, inferior, izquierdo y derecho de 25 mm
- Interlineado: Sencillo
- Separación entre párrafos (Espaciado): 6 puntos
- Tipo de letra: Times New Roman, tamaño 11, para los autores y el texto, y el tamaño 9 para la identificación de los autores, superíndice y subíndice
- Numerar las paginas en la parte inferior izquierda
- No utilizar notas al pie de página
- El nombre del (de los) autor(es) debe(n) estar separado(s) del título por dos espacios
- Las secciones deben estar separadas del final del texto anterior por dos espacios
- Todas las secciones (RESUMEN, PALABRAS CLAVE, etc.) deben ser escritos en letras mayúsculas y negritas.
- Imágenes (dibujos y fotografías): deben estar centradas y, preferentemente, en formato “jpg” antes de ser insertadas en el texto
- Gráficos: deben ser insertados en el texto de Word como figuras y estar centrados. El título de las figuras, se escribe con mayúsculas y minúsculas, en negritas; en la parte inferior de la Figura, en gráfica de barras y pastel usar texturas de relleno claramente, contrastantes; para gráficas de líneas, usar símbolos diferentes.
- Cuadros: El título de los cuadros, se escribe con mayúsculas y minúsculas, en negritas; los cuadros no deben exceder de una cuartilla, ni cerrarse con líneas verticales; sólo se aceptan tres líneas horizontales, las cabezas de columnas van entre las dos primeras líneas y la tercera sirve para terminar el cuadro; además, deben numerarse en forma progresiva conforme se citan en el texto y contener la información necesaria para que sean fáciles de interpretar. La información contenida en los cuadros no debe duplicarse en las figuras y viceversa, y en ambos casos incluir comparaciones estadísticas.
- Ecuaciones: centradas y numeradas en el extremo derecho de la hoja

TÍTULO – En letras mayúsculas, negrita y centrado, debe ser claro y conciso, lo que permite la identificación inmediata de los contenidos del trabajo, no sobrepasar 13 palabras.

AUTOR(ES) – Solo las personas que tienen una participación efectiva en el trabajo, capaz de responder por el mismo en su totalidad o en partes esenciales. Los nombres de los autores deben estar dos espacios debajo del título, centrado, en mayúsculas, abreviándose únicamente los nombre(s) intermedios(s), si los hay. El autor por correspondencia debe indicarse con un asterisco (*) en superíndice. En caso de más de un autor, sus nombres serán separados por comas.

DATOS DEL AUTOR DE CORRESPONDENCIA – Debajo del nombre del (de los) autor(es) se debe colocar los identificadores de la siguiente manera: Para el autor por correspondencia: título profesional o grado académico, lugar de trabajo y/o afiliación, dirección postal, teléfono y email, de la siguiente manera: Doctor en Ingeniería Agrícola y Uso Integral del Agua, Universidad Autónoma Chapingo, km 38.5 Carretera México-Texcoco, Chapingo, Estado de México, México. Teléfono: (0052) 595 952 16 80, email: gonzalez@gmail.com.

RESUMEN – El texto debe comenzar en la misma línea de la sección, ser claro, conciso y procurando justificar su importancia (no incluir referencias), los principales procedimientos adoptados, los resultados más significativos y las conclusiones, con un máximo de 250 palabras. Posteriormente, deben aparecer las PALABRAS CLAVE (seis como máximo, tratando de no repetir el título), escritas en minúsculas. Una versión completa del resumen en Inglés, debe presentar la siguiente disposición: TITLE, ABSTRACT y KEYWORDS.

INTRODUCCIÓN – Se debe evitar divagar sobre el tema, incluir el planteamiento del problema, una breve revisión de literatura de trabajos anteriores y se debe definir el alcance y el propósito de la investigación, así como también plantear con claridad los objetivos.

MATERIALES Y MÉTODOS – Dependiendo de la naturaleza del trabajo, debe insertarse una caracterización de la zona experimental, dejando en claro las condiciones en las que se realizó el estudio. En esta sección debe incluirse la descripción de los experimentos, los materiales, las técnicas y los métodos utilizados, al igual que los diseños experimentales. Cuando los métodos se utilizan frecuentemente es suficiente con la referencia bibliográfica de lo contrario, es necesario presentar una descripción de los procedimientos, adaptaciones realizadas, etc. Los símbolos de las dimensiones y las unidades deben seguir el Sistema Internacional de Unidades.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN – Esta es la sección principal del manuscrito, que podrá presentarse como una sección general donde se describan los resultados experimentales y su interpretación. Al final del manuscrito incluya la respuesta a la pregunta formulada en la introducción y concluya con un resumen de resultados y una evaluación de investigaciones futuras y potenciales. Las figuras y gráficos deben presentarse con el tamaño y el detalle suficiente para la composición gráfica final, preferentemente en la misma posición del texto. Gráficos: deben presentarse sin bordes, solo con los ejes X e Y, tamaño de letra 12 puntos, y el título en la parte inferior del mismo. Deben ser numerados con números arábigos consecutivos. Cuadros. Evitar cuadros extensos y datos superfluos, utilizar datos promedio; adecuar sus tamaños a la superficie útil del papel y la ubicación, utilizar únicamente líneas horizontales, sus títulos deben colocarse antes del cuadro, ser concisos y fáciles de entender. En la discusión, confrontar los datos obtenidos con la literatura.

CONCLUSIONES – Deben basarse únicamente en los resultados del trabajo. Evitar la repetición de los resultados mencionados con anterioridad, buscando, confrontar lo que se obtuvo con los objetivos establecidos inicialmente.

AGRADECIMIENTOS – Insertarlos, si los hubiera, después de las conclusiones, deben ser concisos. Esta sección está reservada para identificar el manuscrito de acuerdo al número interno asignado en cada institución, mencionar el financiamiento y nombre del proyecto, si así se requiere. Agradecimientos a colegas y profesionales asociados que contribuyeron en la investigación.

LITERATURA CITADA – Incluir preferentemente citas bibliográficas recientes de artículos científicos de revistas reconocidas, evite incluir informes internos, páginas web y comunicaciones personales. Todas las citas mencionadas en el texto deberán aparecer en la literatura citada. De preferencia incluir al menos 20 citas.

INFORMES

- En las instalaciones del Campo Experimental Pabellón del INIFAP ubicado en km 32.5 Carretera Aguascalientes-Zacatecas, Pabellón de Arteaga, Ags. C.P. 20660 ó con:

M.C. Francisco Garibaldi Marquez	garibaldi.francisco@inifap.gob.mx	01800 0088 2222 Ext. 82507
----------------------------------	-----------------------------------	----------------------------

- En el correo del Congreso: congresoamia2017@gmail.com

Para recepción de trabajos:

CENEMA

Dra. Rocio Cervantes Osornio	cervantes.osornio@gmail.com ó congresoamia2017@gmail.com
------------------------------	---

Teléfonos	
01 800 088 2222 EXT. IP	85565
01 800 088 2222 EXT. IP	85571

EJEMPLO DE TRABAJO COMPLETO

MODELO MATEMÁTICO DE UN DESCASCARADOR DE HIGUERILLA PARA PREDECIR LA EFICIENCIA DEL DESCASCARADO

MATHEMATICAL MODEL OF A DEHULLING PROTOTYPE FOR PREDICTING THE HULLING EFFICIENCY OF CASTOR (*Ricinus communis L.*)

Pedro Cruz Meza^{1,*}, Gilberto de Jesús López Canteñs¹, Samuel García Silva¹ y Conrado Márquez Rosado¹

¹Departamento de Ingeniería Mecánica Agrícola. Universidad Autónoma Chapingo. Carretera México-Texcoco, km 38.5, C.P. 56230, alelopez10@hotmail.com, samuelmx57@yahoo.com, cmar_ros59@yahoo.com. *Doctor en Ingeniería Agrícola y Uso Integral del Agua, autor para correspondencia: pcruzmeza@yahoo.com.mx, Tel: 01 (595) 95 2 15 00.

RESUMEN

Los modelos matemáticos contribuyen a una mayor comprensión del problema a resolver en este caso, el proceso de descascarado de los productos agrícolas y el cálculo de los principales parámetros de diseño y explotación de las máquinas agrícolas. El comportamiento de éstas, se simula en diferentes condiciones de funcionamiento antes de que entre en la producción en serie, se reducen los costos, el tiempo necesario en el desarrollo, el número de prototipos que se construyen, las pruebas y evaluaciones experimentales por realizar. Por lo tanto, se pueden desarrollar y luego optimizar, equipos más eficientes técnicamente y a menor costo. En el presente trabajo se desarrollaron tres modelos matemáticos para describir: la eficiencia del descascarado, la cantidad de grano no descascarado y el grano dañado de una maqueta experimental para descascarar las cápsulas de higuierilla (*Ricinus communis L.*). El modelo fue validado con los datos experimentales. La variable del modelo fue la holgura del disco y el cóncavo. Se determinó además el contenido de humedad de la cápsula, con una media de 6.27%. Un alto coeficiente de correlación entre los valores estimados y experimentales ($R^2 = 0.9297$) a un nivel de significancia del 5% indicó que la combinación de las ecuaciones mediante la suma de los componentes es apropiada para los modelos de eficiencia del descascarado y grano no dañado, mientras que para el caso del grano dañado fue muy cercano a $R^2 = 0.95$.

Palabras clave: *Ricinus communis*, simulación, modelación, maquinaria agrícola.

ABSTRACT

Mathematical models contribute to a better understanding of the problem to solve in this case, the shucking process of agricultural products and the calculation of the main design parameters and operation of agricultural machines. The latter behavior is simulated in different operating conditions before entering mass production, reducing costs, the time required to develop, the number of prototypes are built, testing and experimental evaluations done. Therefore, can be developed and then optimized, technically more efficient and less costly equipment. Shelling efficiency, the amount of grain and not shelling damaged in an experimental model to shell capsules of castor (*Ricinus communis L.*) grain: In this paper we describe three mathematical models were developed. The model was validated with experimental data. The variable model was clearance of the disk and the concave. The moisture content of the capsule, with a mean of 6.27 % was also determined. A high correlation coefficient between estimated and experimental values ($R^2 = 0.9297$) to a level of significance of 5% indicated that he combination of equations using the sum of the components is appropriate for efficiency models shelling and grain undamaged, whereas in the case of damaged grain was very close to $R^2=0.95$.

Key words: *Ricinus communis*, simulation, modeling, agricultural machinery.

INTRODUCCIÓN

La higuierilla (*Ricinus communis* L.) es un cultivo industrial, cuyo aceite (45-50%) de las semillas se utiliza para producir biocombustibles a nivel internacional. En México, se cultiva desde la época colonial en la región de los Valles Centrales de Oaxaca. El cultivo tiene un bajo rendimiento de 500 a 650 kg ha⁻¹, se necesitan anualmente para la pizca y el descascarado 10.5 y 6 jornales ha⁻¹ respectivamente.

En los últimos años la producción de biodiesel cobra importancia, pues se está en la búsqueda de nuevas fuentes de energía y donde el cultivo de la higuierilla parece ser una opción viable en términos económicos. Para abatir los costos de producción es necesario mecanizar el sistema de cosecha y postcosecha, ya que demanda mucha mano de obra (Duraismy y Manian, 1990; Cruz *et al.*, 2012; Cabral-de Franca *et al.*, 2013). Específicamente en la labor del descascarado de las cápsulas de higuierilla. Según Shyeh *et al.* (1980) el descascarado se refiere a la eliminación de la cubierta exterior o la cáscara de las semillas. También es sinónimo de la trilla, es decir la separación de las semillas de las vainas y cápsulas secas, de algunos cultivos como soya, cacahuate, nuez e higuierilla. De acuerdo con Mieszkalski (1997) en el diseño conceptual de un descascarador deberán tomarse en cuenta las características morfológicas y físicas de las semillas a descascarar, así como el órgano de trabajo de la máquina que estará en contacto con éstas.

La calidad de trabajo de los órganos descascaradores se evalúa por el número de granos sin descascarar y por los daños mecánicos que éstos sufren en el proceso de descascarado. Finalmente, y de gran importancia resulta el tener en consideración algunos aspectos relacionados con la capacidad de procesamiento del órgano descascarador y con la energía que el proceso consume, la cual debe estar en correspondencia con el punto crítico de menor costo del descascarado para orientarse a lograr la productividad deseada. El grano dañado durante el descascarado está relacionado con la energía absorbida por este durante su impacto con el órgano de trabajo (Huynh *et al.*, 1982). Hay pocas investigaciones sobre el modelado matemático del descascarado de los granos, como en el caso del arroz mediante dos rodillos y disco centrífugo (Shitanda *et al.*, 2001a; Shitanda *et al.*, 2001b), la palma africana con discos centrífugos con salientes (Ndukwu y Asoegwu, 2010), el cártamo y el girasol con discos centrífugos (Nolasco *et al.*, 2002; Bäumlér *et al.*, 2004).

El modelado matemático es una herramienta necesaria en el desarrollo de una máquina agrícola. El comportamiento de ésta se simula en diferentes condiciones de funcionamiento antes de que entre en la línea de producción, se reducen los costos, el tiempo necesario en el diseño, el número de prototipos que se construyen y las pruebas experimentales por realizar. Por lo tanto, se pueden desarrollar y luego optimizar equipos más eficientes técnicamente y a menor costo (Alves *et al.*, 2005., Magalhães, *et al.*, 2006). Un modelo matemático es una descripción aproximada, expresada en lenguaje numérico, de alguna clase de fenómenos del mundo exterior (Singh, 2008). La simulación matemática es un método de conocimiento, pronóstico y control (Tarasiévich, 2004). La construcción de un modelo matemático consta de cuatro etapas: 1) la formulación de las leyes que relacionan a los objetos principales del modelo; 2) la investigación del problema matemático; 3) la comprobación de la coherencia del modelo con la realidad; y 4) el análisis del modelo y su modificación.

El presente trabajo tuvo como objetivo desarrollar y evaluar un modelo, para predecir la eficiencia del descascarado, la cantidad de cápsulas no descascaradas y el daño mecánico del grano en un prototipo de máquina descascaradora de higuierilla (*Ricinus communis* L.).

MATERIALES Y MÉTODOS

Los modelos matemáticos se desarrollaron en el Laboratorio de Cómputo del Posgrado de Ingeniería Agrícola y Uso Integral del Agua (IAUIA) de la Universidad Autónoma Chapingo y la evaluación se realizó en las instalaciones del Centro Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (INIFAP).

Desarrollo teórico de los modelos

El descascarado de granos y semillas implica toda acción y ocurrencia en el tránsito del material biológico desde la entrada por la tolva, hacia la cámara de descascarado, dentro de ella y hasta la salida (Figura 1). Los parámetros físicos que afectan el proceso de descascarado incluyen las propiedades físicas de la cápsula, las cuales son: la variedad, la edad, el contenido de humedad, la densidad aparente y el diámetro geométrico medio del fruto; los parámetros de la máquina: el diámetro de la cámara de descascarado, la velocidad del disco y la holgura entre el disco y el cóncavo.

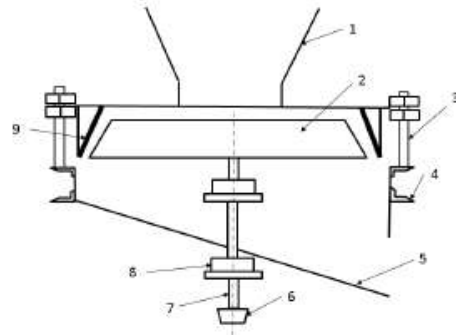


Figura 1. Diagrama esquemático de los componentes principales de la descascaradora. 1- tolva de alimentación, 2- disco giratorio liso, recubierto de caucho, 3- tornillo de regulación del disco y cóncavo, 4- Estructura de soporte, 5- tolva de salida del material, 6- piñón motriz, 7- flecha motriz, 8- chumacera, 9- cono o cóncavo recubierto de caucho de acabado liso.

En el desarrollo del modelo de la máquina se hicieron los siguientes supuestos: 1) el contenido de humedad de la cascara y de la semilla es el mismo; 2) las dimensiones de la capsula son constantes y comparten el mismo contenido de humedad; 3) el grosor de la cascara es constante y su contenido de humedad es uniforme; el diámetro de la cámara de descascarado (cóncavo) es variable; 5) la distancia u holgura entre el disco de descarado y el cóncavo se fija para las dimensiones promedio de las cápsulas; 6) la edad de las cápsulas es la misma; 7) el peso individual y el volumen de la cápsula son constantes con un contenido de humedad particular; 8) la velocidad del órgano de descascarado es la misma que la de su eje motriz; 9) la velocidad del eje es fija; 10) la carga de compresión de los frutos es uniforme en toda la superficie del órgano de descascarado.

A partir de los supuestos anteriores las principales variables de importancia son: el contenido de humedad de la cápsula, la densidad aparente del fruto, al densidad de la cáscara, la velocidad de descascarado y la separación u holgura entre el disco y el cóncavo. En el modelo únicamente se consideró la holgura del disco y el cóncavo como el parámetro más importante, para el estudio.

Modelo de la eficiencia del descascarado

La principal función del órgano de descascarado es separar la cascara del grano, esta magnitud del trillado se calcula con:

$$ED = -a \cdot x + b \quad (1)$$

donde ED - eficiencia del descascarado, %; a, b – coeficientes de la ecuación para la alimentación de los granos aleatoriamente, adim; x - holgura entre el disco y el cóncavo, mm

Para el descascarado del grano sin que el órgano de trabajo le provoque daño mecánico, se debe cumplir la condición:

$$C \geq A_{max} \quad (2)$$

donde: C -holgura entre el disco y el cóncavo, mm; y A_{max} -anchura máxima del grano de higuierilla, mm

En la Figura 2 se esquematiza el proceso de descascarado del fruto entre la periferia del disco y la holgura del cóncavo variable

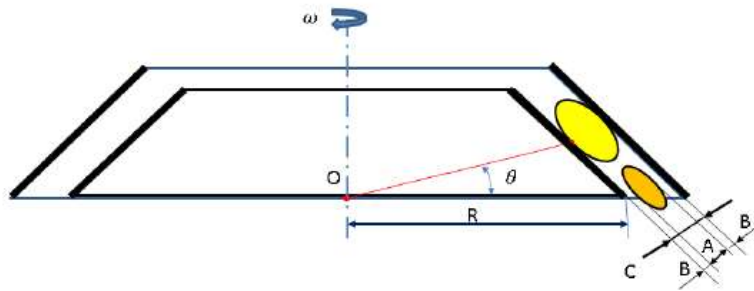


Figura 2. Descripción del modelo del descascarado del carpelo de higuierilla entre el disco y el cóncavo. R -radio mayor del disco, C -holgura entre el disco y el cóncavo, A - anchura del grano de higuierilla, y B -espesor de la cáscara del carpelo de la higuierilla.

Modelo del grano no descascarado

Debido a la deficiente calibración del órgano de trabajo o bien a la variabilidad en las dimensiones de la cápsula no todo el material se descascara. Según Cabral – de França *et al.* (2013), el límite máximo permitido de grano no descascarado de higuierilla es del 10%.

El modelo de grano no descascarado propuesto:

$$GN = a \cdot x - b \quad (3)$$

donde GN - grano no descascarado, %; a, b – coeficiente de la ecuación para la alimentación de los granos aleatoriamente, adim; x -holgura entre el disco y el cóncavo, mm.

Modelo del grano dañado

La presencia del daño mecánico en los granos cosechados mecánicamente es inevitable. Según Cabral – de França *et al.* (2013) el rango permisible de grano quebrado o dañado de higuierilla es de hasta 3%. Si los porcentajes superan estos límites, la calidad del aceite es baja, debido a que aumenta su acidez, sobre todo si se almacena por un largo periodo.

El modelo de grano dañado propuesto es:

$$GD = A \cdot x^{-n} \quad (4)$$

donde GD - grano dañado, %; A - coeficiente de la ecuación de potencia, adimensional; n - exponente de la ecuación, adimensional; x – holgura entre el disco y el cóncavo, mm.

Calibración y validación del modelo

Los modelos de la eficiencia del descascarado y grano dañado se verificaron con el fin de confirmar su coherencia con los resultados experimentales de una descascaradora. El estudio se llevó a cabo en una maqueta experimental descascaradora de higuierilla (Figura 3) y los valores, obtenidos con el modelo, se compararon con los datos experimentales.



Figura 3. Maqueta experimental para el descascarado de cápsulas de higuierilla (*Ricinus communis L.*).

Determinación de los parámetros de validación

Para la validación del modelo se tomaron en cuenta los siguientes parámetros:

Contenido de humedad: La validación del modelo se realizó con un solo contenido de humedad de la cápsula de higuierilla, debido a la dificultad de conseguir el material con los productores, con diferentes humedades. El contenido de humedad del grano se determinó en una estufa a una temperatura de 75°C durante 24 h, el contenido de humedad se calculó en base húmeda.

$$CH = \frac{w_1 - w_2}{w_1} \cdot 100 \quad (5)$$

donde CH - contenido de humedad, %; w_1 – masa de la muestra húmeda, g; w_2 – masa de la muestra seca, g.

Eficiencia del descascarado: Es la relación de la masa de cápsulas completamente descascaradas, y de las no descascaradas, entre la masa total de las cápsulas introducidas en la tolva. Se calcula como:

$$ED = \frac{WT - x}{WT} \cdot 100 \quad (6)$$

donde ED -eficiencia del descascarado, %; WT -masa total de las cápsulas de higuierilla que se introducen en la tolva, kg; x – masa de las cápsulas de higuierilla parcialmente descascaradas y no descascaradas recibidas. Se calcula así:

$$RGD = \frac{GD}{GD + GN} \quad (7)$$

donde: RGD -relación de granos dañados, adimensional; GD - grano descascarado y dañado; GN -grano descascarado y no dañado.

Instrumentación y equipo de medición

Los datos generados a partir de la maqueta experimental utilizada para la verificación del modelo, fueron medidos o evaluados por los siguientes métodos:

Medición de la masa: Una balanza de precisión marca Ohaus con aproximación a centésimas de gramo (± 0.01 g) se utilizó en el pesaje del material de estudio (capsulas, granos y cáscaras).

Determinación del contenido de humedad: Se tomaron muestras de cápsulas, granos y cáscaras de aproximadamente 100 ml. La masa del material de estudio se cuantificó en húmedo y en seco. El contenido de humedad se determinó por diferencia de peso, luego de 24 h de secado en una estufa marca Lab-Line Instruments a una temperatura de 75°C.

Medición de la velocidad: Un contador de revoluciones (tacómetro) marca Lutron modelo DT-2230 se utilizó para calibrar la velocidad de funcionamiento del órgano descascarador. Mediante un variador de frecuencia marca Danfoss modelo VLT se reguló la velocidad del motor trifásico de 3 hp marca ABB.

Medición de la holgura: Un calibrador de linternas marca Truper y un vernier Mitutoyo se utilizó para medir el claro entre el cilindro y el cóncavo. La calibración de la holgura se realizó de 8 a 14 mm con variaciones de un mm en el órgano de trabajo. El mecanismo de ajuste (Figura 1) se reguló de manera manual.

Medición de la eficiencia del descascarado, no descascarado y grano dañado: Una muestra total de 42 kg de cápsulas de higuera se utilizó en el ensayo. Se realizaron siete tratamientos (separación disco cóncavo), con dos replicas. Cada tratamiento consistió de 3 kg de cápsulas de higuera. El material se depositó en la tolva de alimentación para el descascarado, previa calibración de la holgura disco – cóncavo y la velocidad de rotación del órgano de trabajo. La mezcla de los materiales se colectó en la salida de la máquina. El material descascarado, el no descascarado y el dañado se separan y pesan. La eficiencia del descascarado y el grano no dañado se calculan mediante las ecuaciones (5) y (6). Un juego de datos se utilizó para la calibración y otro para la validación del modelo.

Evaluación del modelo

El modelo se evaluó mediante dos criterios uno gráfico y otro estadístico. Para este último se utilizaron:

Error relativo (ER):

$$ER = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{x_i - y_i}{x_i} \cdot 100 \quad (8)$$

Error estándar (ES):

$$ES = \frac{\sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}}{\sqrt{n}} \quad (9)$$

Desviación absoluta (DA):

$$DA = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |x_i - y_i| \quad (10)$$

Desviación de la media (DM):

$$DM = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |x_i - \bar{x}| \quad (11)$$

donde x_i - valores observados; y_i – valores estimados con el modelo; n - número de holguras disco-cóncavo evaluadas, adimensional.

Los datos experimentales obtenidos fueron procesados estadísticamente en los paquetes profesionales de Microsoft Excel 2010 y MATLAB versión 7.12.0.635 (R2011a) desarrollado por la empresa The Mathworks, Inc. Además se realizó el análisis descriptivo de las muestras y la varianza simple mediante la prueba t de Student para muestras apareadas.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el Cuadro 1 se muestran los principales estadígrafos tales como los valores medios (X) y la desviación estándar (S) de los materiales de estudio. La humedad promedio de la capsula, el grano y la cascara fueron 6.27 ± 0.30 , 4.64 ± 0.26 y 7.40 ± 0.24 respectivamente.

Cuadro 1. Propiedades físicas de la capsula, el grano y la cascara de la higuera roja.

Material	Longitud, mm		Anchura, mm		Espesor, mm		Masa, g	
	X	S	X	S	X	S	X	S
Cápsula	20.01	3.22	11.64	1.59	8.99	1.23	0.67	0.25
Grano	14.80	2.42	9.12	1.66	6.38	1.06	0.44	0.20
Cáscara	19.95	3.26	8.14	2.27	5.96	1.61	0.13	0.05

En el Cuadro 2 se muestran los parámetros geométricos principales de la descascaradora de granos de higuierilla.

Para la calibración y la validación de los modelos se realizaron algunas pruebas preliminares a 120 y 130 revoluciones por minuto del órgano de trabajo. El equipo tuvo un mejor desempeño a 120 rev·min⁻¹.

Cuadro 2. Datos del disco y cóncavo de la descascaradora de granos de higuierilla

Parámetro	Dimensión
Diámetro mayor del disco, D	0.4836 m
Diámetro menor del disco, d	0.4445 m
Espesor del disco, e	0.05 m
Ángulo de inclinación, α	21°
Holgura entre el cilindro y cóncavo, C	8 – 14 mm

Calibración de los modelos

Calibración del modelo de la eficiencia del descascarado

Para el grano descascarado los coeficientes de la regresión lineal fueron $a = -7.5156$ y $b = 161.57$ con $R^2 = 0.93$ y 5.02 de error estándar (Figura 4). A medida que se disminuye la separación entre el disco y el cóncavo aumenta la eficiencia de descascarado, la cual debe de estar en función de las dimensiones de los carpelos de las cápsulas de higuierilla.

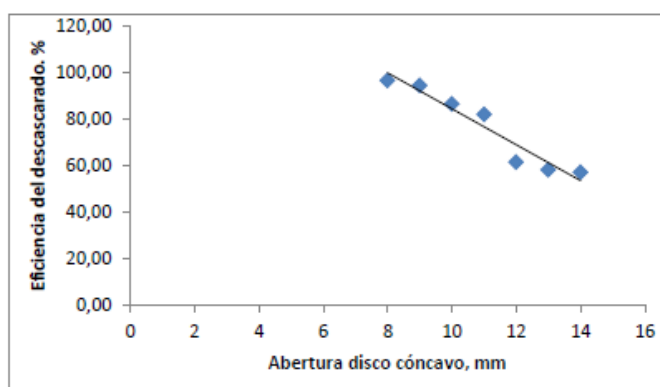


Figura 4. Eficiencia del proceso de descascarado a 120 rev·min⁻¹

Calibración del modelo de grano no descascarado

Para el grano descascarado se obtuvo $a = 7.5156$ y $b = -61.567$ con $R^2 = 0.93$ y 5.02 de error estándar (Figura 5). Por el contrario, al aumentar la holgura disminuye la eficiencia del descascarado y aumenta la cantidad de carpelos sin descascarar por el órgano de trabajo.

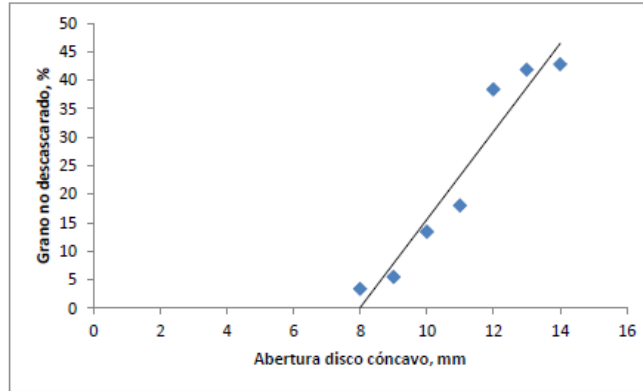


Figura 5. Grano no descascarado en el órgano descascarador a $120 \text{ rev}\cdot\text{min}^{-1}$

Calibración del modelo de grano dañado

Los coeficientes de la ecuación fueron $A = 35425$ y $n = -4.192$, $R^2 = 0.95$ y 0.95 de error estándar (Figura 6). El grano dañado aumenta al disminuir la holgura entre el disco y el cóncavo. El mayor daño del grano se encuentra de 8 a 10 mm de holgura entre el disco y el cóncavo.

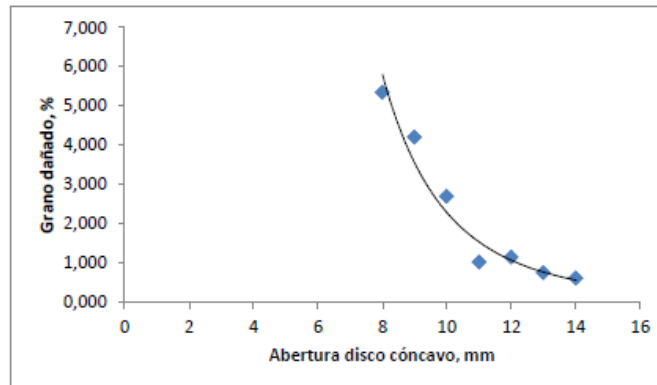


Figura 6. Grano dañado del proceso de descascarado

Validación del modelo

Validación del modelo de la eficiencia del descascarado

El modelo de predicción de la eficiencia del descascarado se simuló en el software de MATLAB y se comparó con los valores de las pruebas experimentales realizadas a la máquina descascaradora. De la Figura 7 se observa, que los valores predichos por el modelo se ajustaron apropiadamente al valor experimental ($R^2 = 0.930$) y un error estándar de 4.74.

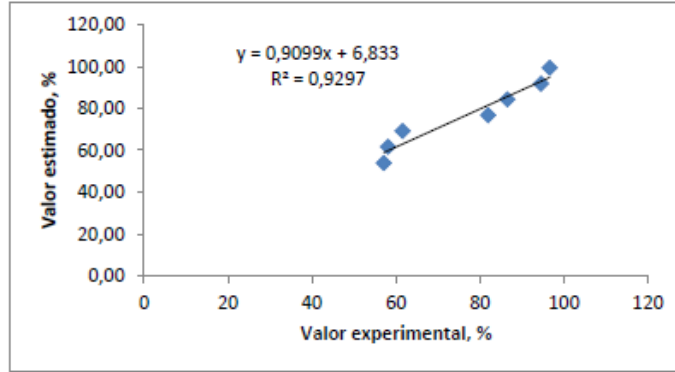


Figura 7. Eficiencia del descascarado estimado y experimental

Al comparar las variaciones de la eficiencia del descascarado medido y simulado (Cuadro 3) se obtuvo una amplitud de la desviación absoluta del 3.90%, con un error estándar y relativo de 4.26 % y -0.34 % respectivamente.

Cuadro 3. Eficiencia del descascarado estimada y experimental

Abertura disco cóncavo, mm	Eficiencia del descascarado, %	
	Experimental	Estimada
8	96.65	99.27
9	94.57	91.72
10	86.59	84.17
11	82.01	76.62
12	61.64	69.07
13	58.18	61.52
14	57.22	53.96

La desviación de la media tiene un rango de 0.0779%, lo que indica que el modelo tiende a una ligera variación en la eficiencia del descascarado.

Validación del modelo de grano no descascarado

El modelo de predicción de grano no descascarado se simuló en el software de MATLAB y se comparó con los valores de las pruebas experimentales de la máquina descascaradora. El valor estimado y el experimental para las cápsulas no descascaradas tienen un ajuste adecuado ($R^2 = 0.930$) con un error estándar de 4.74 (Figura 8).

La desviación absoluta de 3.98%, con un error estándar y relativo de 4.26% y -0.41% (Cuadro 4) indican una variación ligera en la cantidad de cápsulas no descascaradas, debido a la no uniformidad en las dimensiones del material de estudio. La desviación de la media tuvo un intervalo de -0.0785%, lo que muestra que el modelo tiene variación en el grano no descascarado por el órgano de trabajo.

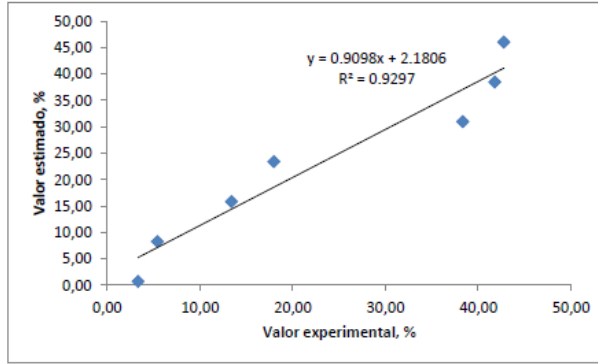


Figura 8. Grano no descascarado estimado y experimental

Cuadro 4. Grano no descascarado estimado y experimental

Abertura disco cóncavo, mm	Grano no descascarado, %	
	Experimental	Estimado
8	3.35	0.73
9	5.43	8.28
10	13.41	15.83
11	17.99	23.38
12	38.36	30.93
13	41.82	38.48
14	42.78	46.04

Validación del modelo de grano dañado

El modelo de predicción del grano dañado se simuló en el software de MATLAB y se comparó con los valores de las pruebas experimentales de la máquina descascaradora. De la Figura 9 se observa, que los valores estimados por el modelo se ajustaron adecuadamente a los experimentales ($R^2 = 0.950$) con un error estándar de 0.39. De la comparación de la variación del grano dañado mecánicamente observado y simulado (Cuadro 5) se obtuvo la desviación absoluta de 0.27%, con un error estándar y relativo de 0.36% y -3.98% respectivamente. La desviación de la media tiene un rango de 0.0697%, lo que muestra que el modelo tiene una ligera variación en cuanto al grano dañado por el órgano de trabajo.

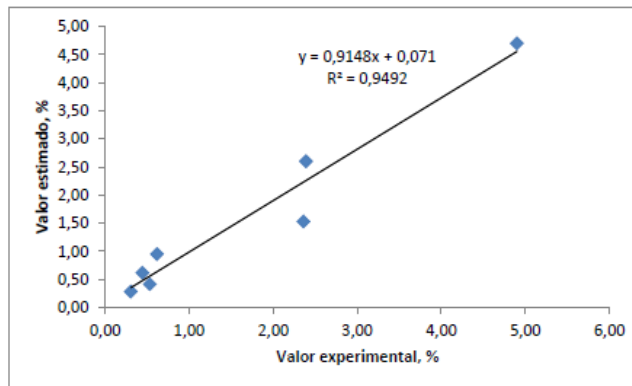


Figura 9. Grano dañado estimado y experimental

Cuadro 5. Grano dañado estimado y experimental

Abertura disco cóncavo, mm	Grano dañado, %	
	Experimental	Estimado
8	4.90	4.70
9	2.39	2.60
10	2.36	1.53
11	0.62	0.95
12	0.45	0.61
13	0.54	0.41
14	0.31	0.28

Los resultados experimentales de los tres modelos están de acuerdo a los obtenidos para el órgano de trabajo de la descascaradora de nuez de higuierilla (Verma *et al.*, 1991; Cabral – de França *et al.*, 2013).

Cuando las medias de la eficiencia del descascarado y cápsula no descascarada estimada y medida se compraron estadísticamente, reveló que no hubo diferencia significativa entre estas al nivel de significancia del 5% (Cuadro 6). De manera análoga para las medias del grano dañado al ser comparadas con una prueba “t”, demostró que no hubo diferencia significativa entre ellas al nivel de significancia del 5% (Cuadro 18).

Cuadro 6. Parámetros de validación de los modelos de la eficiencia del descascarado, grano no descascarado y dañado con los datos experimentales de la descascaradora de higuierilla en el nivel de significación $p \leq 0.05$

Modelo	Parámetros de validación			Significancia
	Valor de R^2	Valor “ t_o ” calculado	Valor “ t ” de tablas	
Eficiencia del descascarado	0.929	0.009	2.1788	No significativa
Grano no descascarado	0.929	-0.009	2.1788	No significativa
Grano dañado	0.9492	0.079	2.1788	No significativa

CONCLUSIONES

Se desarrollaron tres modelos matemáticos para describir la eficiencia del descascarado, la cantidad de grano no descascarado y el grano dañado de una maqueta experimental para descascarar las cápsulas de higuierilla. El modelo fue validado con los datos experimentales obtenidos de la maqueta experimental. La variable del modelo fue la holgura del disco y el cóncavo. El ajuste del modelo ($R^2 = 0.93$) con la probabilidad de error del 5% indicó que las ecuaciones y sus componentes fueron una elección apropiada para modelar la eficiencia del descascarado y la cantidad de cápsulas no descascaradas. El modelo del grano dañado tuvo un ajuste cercano al 95% ($R^2 = 0.9492$).

LITERATURA CITADA

Alves, S. C. M.; Marçal, Q. D.; Roberto, C. P. y Leyva, R. L. Z. 2005. Desarrollo y modelación de una máquina de pre-limpieza de café en el cultivo de montaña. Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias. 14(2): 1-13.

- Bäumler, E. R.; Riccobene, I. C. and Nolasco, S. M. 2004. Effect of different treatments in dehulling ability of safflower seeds (*Carthamus tinctorius* L.). ASAE Paper No 046022, at the 2004 ASAE Annual International Meeting. Ottawa, Ontario, Canada.
- Cabral-de França, P. R.; Riberiro-Ferreria, S. O. R.; Cardoso-Almeida, F. A.; Ferreira-Jerônimo, J. y Cárdenas-Olivier, N. 2013. Desarrollo y evaluación de un prototipo descascarador de frutos de *Ricinus communis* L. *Agrociencia*. 47(4):361-371.
- Cruz, M. P.; García S. S.; Márquez, R. C. y López C. G. 2012. Determinación de las propiedades físico-mecánicas para el descascarado de las cápsulas de la higuera (*Ricinus communis* L.). *Revista Mexicana de Ciencias Agrícola. Especial* (4):644-649.
- Duraisamy, V. M. and Manian, R. 1990. Design, development and evaluation of castor bean sheller. *Agricultural mechanization in Asia, Africa and Latin America*. 21(2):41-45.
- Huynh, V. M., Powerll, T. and Siddall, J. N. 1982. Threshing and separating process-A mathematical model. *Transactions of the American Society of Agricultural Engineers*. 25(1):65-73.
- Magalhães, A. C.; Teixeira, M. M.; Couto, S. M. e Resende, R. C. 2006. Modelagem de máquina pneumática recolhadora de frutos de café em terreiro usando análise por elementos finitos. *Engenharia Agrícola*. 26(2): 483-492.
- Mieszkalski, L. 1997. The role of the physical properties of seeds in the design of hullers. *Int. Agrophysics*. 11(4):283-291.
- Ndukwu, M. C. and Asoegwu, S. N. 2011. A mathematical model for predicting the cracking efficiency of vertical-shaft centrifugal palm nut cracker. *Research in Agricultural Engineering*. 57(3):110-115.
- Nolasco, S. M.; Riccobene, I. C. and Fernández, M. B. 2002. Dehulling of High Oil Sunflower Seed Grown in Argentina. ASAE Paper No 026123, at the 2002 ASAE Annual International Meeting. Chicago, Illinois, USA.
- Shitanda, D; Nishiyama, Y. and Koide, S. 2001a. Performance analysis of an Impeller Husker considering the physical and mechanical properties of paddy rice. *J. Agric. Engng Res*. 79(2):195-203.
- Shitanda, D.; Nishiyama, Y. and Koide, S. 2001b. Performance analysis of impeller and rubber roll husker using different varieties of rice. *Agricultural engineering international: The CIGR Journal of scientific research and Development* 1(3):1-19.
- Shyeh, B. J.; Rodda, E. D. and Nelson, A. I. 1980. Evaluation of new soybean dehuller. *Transactions of the ASABE*. 23(2):532-528.
- Singh, P. 2008. Modeling crop production systems. Principles and application. Science Publishers. Enfield, New Hampshire, U.S.A. 512 p.
- Tarasiévich, I. I. 2004. Simulación matemática y computacional. Curso introductorio. Editorial URSS. 238 pp.
- Verma, B.P.; Heaton, E. K. and Zaltzman, A. 1991. Machine for removing shucks from pecans. *Transactions of the ASABE*. 34(1):38-42.