

DESARROLLO Y EVALUACIÓN DE UN PROTOTIPO DESCASCARADOR DE FRUTOS DE *Ricinus communis* L.

DEVELOPMENT AND EVALUATION OF A SHELLING PROTOTYPE OF *Ricinus communis* L. FRUITS

Pablo R. Cabral-de França^{1*}, Odilon R. Ribeiro-Ferreira da Silva¹, Francisco de A. Cardoso-Almeida², Jeane Ferreira-Jerônimo³, Nelson Cárdenas-Olivier⁴

¹Universidade Federal da Paraíba, Centro de Ciências Agrárias, Campus II, Rodovia BR 079, Km 12, Areia, Paraíba, Brasil, CEP 58397-000. (pabloradames@hotmail.com). ²Embrapa Algodão, Rua Oswaldo Cruz, 1143, Caixa Postal 174, Centenário, Campina Grande, Paraíba, Brasil, CEP 58428-095. (odilon@cnpa.com.br). ³Univesidade Federal de Campina Grande, Av. Aprígio Veloso, 882, Bodocongó, Campina Grande, Paraíba, Brasil, CEP 58429-140. (almeida@deag.ufcg.edu.br). ⁴Universidade Federal do Vale do São Francisco, Campus Juazeiro, Av. Antonio Carlos Magalhães, 510, Santo Antônio, Juazeiro, Bahia, Brasil, CEP 48902-300. (nolivier@univasf.edu.br).

RESUMEN

La higuera o ricino (*Ricinus communis* L.) es cultivada abundantemente en el nordeste de Brasil, la mayoría por pequeños agricultores. Sin embargo, la falta de máquinas específicas para ayudar en el procesamiento y que sean accesibles a los productores con poder adquisitivo menor, es un obstáculo para la expansión del cultivo. El desarrollo de máquinas pequeñas beneficiaría en gran medida a los agricultores de este sistema de producción e incrementaría el valor agregado al producto final. Así, el objetivo de este estudio fue desarrollar y evaluar el desempeño de una máquina para descascarar los frutos de la higuera, variedad BRS Energía, y establecer una metodología para su operación. El descascarado fue realizado con dos discos de acero revestidos uno con goma tipo lonada y otro con goma tipo etileno vinil acetato (EVA). El disco en movimiento promueve el descascarado por fricción entre los discos y el fruto. La eficiencia del prototipo se evaluó con los porcentajes de semillas descascaradas (intactas), con cáscara (marineros) y dañadas; se obtuvo 98.9 % de semillas intactas, equivalente al exigido por las industrias de extracción de aceite. La capacidad de trabajo cercana a 275 kg h⁻¹ se calificó como excelente.

Palabras clave: mecanización, agricultura familiar, procesamiento.

ABSTRACT

The castor bean (*Ricinus communis* L.) is grown abundantly in the northeast of Brazil, mostly by small farmers. However, the lack of specific machines to help in the processing and also accessible for low income producers is an obstacle to the expansion of the crop. The development of small machines would benefit, largely, to farmers of this production system, increasing the value added to the final product. Thus, the aim of this study was to develop and evaluate the performance of a machine to shell the fruits of castor bean, variety BRS Energy, and establish an operation methodology. The shelling was carried out with two steel discs coated, one with rubber canvas type and other with rubber ethylene vinyl acetate (EVA) type. The rotating disk promotes shelling by friction between the discs and the fruit. The efficiency of the prototype was evaluated with the percentages of shelled seeds (intact), seeds with capsule (marineros) and damaged seeds; 98.9 % of intact seeds was obtained equivalent to that required by the oil extraction industries. The working capacity close to 275 kg h⁻¹ was rated as excellent.

Key words: mechanization, family agriculture, processing.

INTRODUCTION

The castor bean (*Ricinus communis* L.) used for biodiesel production is increasing in Brazil, but the shortage and low quality of seeds limit the expansion of the crop, as in the northeastern

*Autor responsable ❖ Author for correspondence.

Recibido: septiembre, 2012. Aprobado: marzo, 2013.

Publicado como ARTÍCULO en *Agrociencia* 47: 361-371. 2013.

INTRODUCCIÓN

La higuierilla (*Ricinus communis* L.) para la producción de biodiesel aumenta en Brasil; sin embargo, la escasez y calidad baja de las semillas limitan la expansión del cultivo, pues en el nordeste se siembra semilla altamente heterogénea (Silva *et al.*, 2009a; Carvalho *et al.*, 2010).

Las condiciones climáticas de Brasil son adecuadas para el cultivo de la higuierilla y es muy importante para la economía de la región semiárida del nordeste pues favorece la generación de empleos y el suministro de materias primas para la industria (Azevedo *et al.*, 1997; Beltrão *et al.*, 2002; Silva *et al.*, 2009b). La producción de semillas de higuierilla es cada vez más tecnificada, con participación de grandes empresas, generación de híbridos y valorización en el precio (Oliveira *et al.*, 2009).

El aceite de higuierilla o aceite de ricino, principal producto del cultivo usado en la agroindustria, tiene aplicaciones en la producción de lubricantes y plásticos (Carvalho *et al.*, 2008; Lopes *et al.*, 2008) y en la industria farmacológica y cosmética; el principal derivado comercializado en el mercado internacional es el aceite hidrogenado. El segmento mayor de la cadena productiva de este cultivo en Brasil lo realizan pequeños agricultores que generan la mitad de la producción y su participación aumenta (Lima, 2005; Rodrigues *et al.*, 2009). Para ellos uno de los obstáculos en el cultivo de la higuierilla es el procesamiento, porque exige cantidad elevada de mano de obra y limita el área plantada. Por tanto, es necesario desarrollar máquinas accesibles para los agricultores.

El objetivo de este estudio fue desarrollar y evaluar el desempeño de una máquina descascadora de frutos de higuierilla, variedad BRS Energía, y determinar una metodología para su operación.

MATERIALES Y MÉTODOS

Etapa I - Desarrollo del prototipo descascador de frutos de higuierilla

Esta etapa se llevó a cabo en la Metalúrgica Barros en Campina Grande; ahí el descascador se desarrolló, con base en el equipo de Weiss (1983), un descascador de frutos de higuierilla usado por agricultores de África. El descascador tiene un costo

region highly heterogeneous seed is sown (Silva *et al.*, 2009a; Carvalho *et al.*, 2010).

The climatic conditions in Brazil are suitable for the cultivation of castor bean; it is of great importance for the economy of the semi-arid northeast, favoring the creation of jobs and the supply of raw materials for industry (Azevedo *et al.*, 1997; Beltrão *et al.*, 2002; Silva *et al.*, 2009b). The castor seed production increasingly proves to be more technical, with the participation of large companies, hybrid generation and recovery in the price (Oliveira *et al.*, 2009).

Castor oil or ricinus oil, main product of the crop used in agribusiness, has various applications, such as production of lubricants and plastics (Carvalho *et al.*, 2008, Lopes *et al.*, 2008) and in the pharmaceutical industry and cosmetics; the main derivative traded on the international market is hydrogenated oil. The largest segment of the production chain of this crop in Brazil is done by small farmers, who generate half of production and their participation is increasing (Lima, 2005; Rodrigues *et al.*, 2009). For them one of the obstacles to cultivate castor bean is the processing, because it requires huge amounts of manpower and limits the area planted. Therefore, there is need to develop machines accessible to farmers.

The aim of this study was to develop and evaluate the performance of a shelling machine of castor beans, variety BRS Energía, and determine a methodology for operation.

MATERIALS AND METHODS

Phase I - Development of the shelling prototype of castor beans

This phase took place in the Metallurgical Barros in Campina Grande, there the sheller was developed based on the Weiss equipment (1983) which is a fruit sheller of castor beans used by farmers in Africa. The sheller has a low cost due to a manual operation system and instead of a wooden rubber-covered cylinder as a shelling system two rubber-coated disks were used, according to the system proposed by Mialhe (1971). The used materials were: two steel disks of 0.4 m in diameter (0.5" and 0.25" thick) a steel plate of 0.125" and a 16 gauge sheet, both of 1.0×0.20 m; three steel bars of 1.375", 2.25" and 1.25", canvas rubber and EVA (ethylene vinyl acetate) rubber of 0.4×0.4 m, four bearings with 1" bearings, a rod of 0.625", a steel shaft of 1", a rectangular steel tube of 0.25" (0.5×0.3 m), screws of 0.2"

bajo por su sistema de accionamiento manual y como sistema de descascarado se usaron dos discos revestidos con goma, en lugar de un cilindro de madera cubierto con goma según el sistema propuesto por Mialhe (1971). Los materiales usados fueron: dos discos de acero de 0.4 m de diámetro (de 0.5" y 0.25" de espesor), una placa de acero de 0.125" y una lámina calibre 16, ambas de 1.0×0.20 m; tres barras de acero de 1.375", 2.25" y 1.25", goma lonada y goma EVA (etileno vinil acetato) de 0.4×0.4 m, cuatro chumaceras con rodamientos de 1", una varilla de 0.625", un eje de acero de 1", un tubo rectangular de acero de 0.25" (0.5×0.3 m), tornillos de 0.2" (100 y 60 mm), una cadena de rodillos, una estrella y dos piñones fijos de bicicleta, dos cónicos (engranaje) y una bicicleta completa.

El descascarador de higuera consistió en un chasis para soporte de los siguientes componentes: tolva alimentadora, dispositivo de descascarado, sistema de accionamiento y descarga del material descascarado. La tolva alimentadora es el dispositivo de recepción de los frutos, tiene una compuerta en la parte inferior para regular el flujo del material conducido al sistema de descascarado constituido por dos discos metálicos superpuestos y axialmente coincidentes, uno fijo y otro móvil.

El disco superior tiene 0.4 m de diámetro, está fijo, tiene un orificio central de 90 mm de diámetro, para que pasen los frutos aún con cáscara, y la superficie inferior fue revestida con un anillo de goma con el mismo diámetro que el disco. El otro disco de igual diámetro, localizado debajo del primero, revestido en la superficie superior con un anillo de goma, y con un ángulo interno en bisel (45°) con el mismo diámetro que el disco, fue acoplado a un eje vertical con movimiento giratorio. Ambos discos fueron revestidos con combinaciones diferentes de gomas para determinar el mejor arreglo.

La tolva alimentadora fue llenada constantemente con frutos, de ahí fluyeron hacia los discos de goma y al pasar por la abertura entre ellos, bajo la acción de la fuerza centrífuga producida por el disco inferior y la fricción entre las gomas y el fruto, se separó la cáscara de las semillas de higuera que después fueron conducidas a la descarga. Esta máquina no tiene un sistema de separación entre las semillas y las cáscaras desprendidas, y esta operación se realiza en un tamiz fuera de la máquina.

La operación del descascarador semi-mecanizado, con el mismo principio de funcionamiento de una bicicleta, que accionó un eje a través de una transmisión constituida por dos engranajes, la estrella y el piñón. Este último se localiza en el eje acoplado al disco inferior.

El criterio para establecer la velocidad de rotación ideal del disco se basa en las velocidades usadas por Mialhe *et al.* (1992), en una máquina con sistema de procesamiento similar al del prototipo evaluado en este estudio. Por

(100 and 60 mm), a roller chain, a star and two bicycle fixed sprockets, two conical (gear) and a complete bike.

The castor bean sheller consisted of a chassis for supporting the following components: feeding hopper, shelling device, drive system and discharge of shelling material. The feeding hopper is the receiving device of the fruit; it has a gate at the bottom for regulating the flow of the material that is led to the shelling system, constituted by two superimposed metallic disks and axially coincident, one stationary and one rotating.

The upper disk is 0.4 m in diameter, is stationary, has a central hole of 90 mm diameter to pass the fruit still with shell, and the lower surface was coated with a rubber ring with the same diameter as the disk. The other disk of the same diameter, located below the first one, coated in the upper surface with a rubber ring, and an internal angle in bevel (45°), also with the same diameter as the disk, was attached to a vertical shaft provided with rotating motion. Both disks were coated with different combinations of rubbers to determine the best arrangement.

The feeding hopper was constantly filled with fruits, from there they flowed into the rubber disks and, passing through the opening between them, under the action of the centrifugal force produced by the lower disk and the friction between the rubbers and the fruit, the shell was removed from of the castor seeds which were then taken to the download. This machine does not have a system of separation between the seeds and shells removed; this operation is performed on a screen, outside the machine.

Operation of the sheller was a semi-mechanized drive, with the same operating principle of a bicycle that powered a shaft through a transmission constituted by two gears, the star and the pinion, The latter is located in the lower disk coupled to the shaft.

The criteria used to establish the ideal rotation speed of the disk is based on the speeds used by Mialhe *et al.* (1992), in a machine with processing system similar to that of the prototype studied in this study. Therefore, a preliminary test was performed in which the fruits were subjected to processing in a speed range between 52.56 and 73.30 s⁻¹, to determine the most favorable speed for the shelling process and thus define the set of gears.

Phase II - Development of a methodology for shelling and evaluation of the efficiency of the prototype

This phase was carried out in the facilities of EMBRAPA–Algodão, in Campina Grande - PB, Brazil. *Ricinus communis* L. seeds var. BRS Energy were obtained from the experimental field of EMBRAPA in Barbalha–CE crop 2009. To evaluate

tanto, se realizó un ensayo preliminar para someter los frutos al procesamiento en un intervalo de velocidad de 52.56 a 73.30 s⁻¹, y determinar la velocidad más favorable para el proceso de descascarado para definir el conjunto de engranajes.

Etapa II - Desarrollo de una metodología para el descascarado y evaluación de la eficiencia del prototipo

Esta etapa se realizó en las instalaciones de EMBRAPA - Algodão, Campina Grande – PB, Brasil. Las semillas de *R. communis* L., variedad BRS Energía se obtuvieron del campo experimental de EMBRAPA en Barbalha - CE, cosecha 2009. Para evaluar el prototipo se realizó un análisis biométrico de las cápsulas de los frutos y de las semillas, para determinar las distancias para la prueba. La longitud, anchura y espesor de 100 cápsulas y 100 semillas se determinó con un vernier. Con la media de los datos (Cuadro 1) se establecieron los procedimientos de prueba con distancias de separación entre los discos de 5, 10 y 15 mm y con cuatro combinaciones de gomas (Cuadro 2): goma lonada, con dureza 63 Shore y goma EVA con dureza 22 Shore.

Para cada prueba se usaron 5 kg de frutos, secados al sol, con humedad alrededor de 4 %. Los frutos fueron colocados en la tolva del prototipo y el tiempo fue cronometrado, para determinar la capacidad efectiva del descascarado. La eficacia fue evaluada por los porcentajes de semillas descascaradas (intactas), con cáscara (marineros) y dañadas. Las semillas descascaradas, con cáscara, dañadas y las cáscaras fueron separadas manualmente; cada grupo se pesó y comparó con el peso inicial, y se calculó el porcentaje de eficacia del prototipo y su capacidad de trabajo.

Cuadro 1. Valores medios de la biometría de las cápsulas de frutos y de semillas de *R. communis* L. variedad BRS Energía.

Table 1. Mean values of biometrics of fruit and seed capsules of *R. communis* L. variety BRS Energy.

	Tamaño (mm)		
	Longitud	Anchura	Espesor
Cápsulas	15	10	5
Semilla	12	8	3

the prototype it was necessary to do a biometric analysis of the fruit capsules and seeds, in order to determine the distances to the test. Length, width and thickness of 100 capsules and 100 seeds were determined with a vernier. The data mean (Table 1) was used to establish test procedures with separation distances between disks: 5, 10 and 15 mm and with four combinations of rubbers (Table 2): canvas rubber with hardness of 63 Shore and EVA rubber with hardness 22 Shore.

For each test 5 kg of sun-dried fruits were used, with moisture of around 4 %. The fruits were placed in the hopper of the prototype and the time spent was determined to evaluate the effective capacity of the shelling. Effectiveness was assessed from the percentages of shelled seeds (intact), seeds with capsule (marineros) and damaged seeds. Shelled seeds, seeds with shell, damaged seeds and shells were separated manually, each group was weighed and compared with the initial weight, and so the percentage of effectiveness and the work capacity of the prototype were calculated.

Cuadro 2. Tratamientos para evaluar de la eficacia del descascarado del prototipo con sus respectivas distancias y combinaciones del tipo de goma.

Table 2. Treatments for evaluating the effectiveness of shelling of the prototype with its respective distances and combinations of rubber type.

Tratamiento	Distancia (mm)	Combinación de goma
T ₁	5	Goma lonada (disco superior) + goma EVA (disco inferior)
T ₂	10	Goma lonada (disco superior) + goma EVA (disco inferior)
T ₃	15	Goma lonada (disco superior) + goma EVA (disco inferior)
T ₄	5	Goma lonada (disco superior) + goma lonada (disco inferior)
T ₅	10	Goma lonada (disco superior) + goma lonada (disco inferior)
T ₆	15	Goma lonada (disco superior) + goma lonada (disco inferior)
T ₇	5	Goma EVA (disco superior) + goma lonada (disco inferior)
T ₈	10	Goma EVA (disco superior) + goma lonada (disco inferior)
T ₉	15	Goma EVA (disco superior) + goma lonada (disco inferior)
T ₁₀	5	Goma EVA (disco superior) + goma EVA (disco inferior)
T ₁₁	10	Goma EVA (disco superior) + goma EVA (disco inferior)
T ₁₂	15	Goma EVA (disco superior) + goma EVA (disco inferior)

La pureza fue evaluada con las semillas puras e impurezas de cinco muestras. Las impurezas, (MAPA, 2009), son semillas con o sin tegumento, con o sin carúncula y pedazos de semilla (mayores a la mitad de su tamaño original, con o sin tegumento). El porcentaje de pureza se determinó con la relación:

$$P_z = 100 \left(1 - \frac{M_i}{M_a} \right)$$

donde P_z =pureza física (%), M_i =masa de impureza (kg) y M_a =masa de la muestra (kg).

La dureza de las gomas se evaluó con el método ASTM D 2240, con un durómetro Woltest de Shore A, con carga de 9.8 N. El indentador fue presionado sobre la muestra de cada tipo de goma (EVA y lonada) por 10 s en cuatro puntos aleatorios (Cuadro 3).

El diseño experimental fue completamente al azar, con los procedimientos distribuidos en arreglo factorial 3×4 (tres distancias entre discos y cuatro combinaciones de goma) y cuatro repeticiones. Con los datos se realizó ANDEVA con la prueba F, y para las medias se usó la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$). Para estos análisis se usó el programa ASSISTAT Versión 7.5 beta, 2010.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La máquina tiene los siguientes componentes (Figura 1): alimentador, sistema de descascarado (discos), sistema de accionamiento (bicicleta) y descarga del material descascarado. El alimentador (Figura 1A) es el mecanismo de recepción de los frutos de higuera para el proceso de descascarado. La parte superior del alimentador mide aproximadamente 0.4 m de diámetro y 70 mm en la parte inferior; de ahí los frutos se conducen a los discos. Tiene un peine fijo con dientes espaciados a 8 mm; el pedúnculo de los frutos, cuando esté presente, debe removerse para mejorar el descascarado. Para eso el operador encaja el racimo entre los dientes del peine, jala hacia arriba, separa el fruto que no pase entre los dientes y que caerá dentro del alimentador.

El sistema de descascarado tiene dos discos (Figura 1B). El disco superior es fijo y está revestido con goma tipo lonada de 10 mm de espesor, el otro está en la parte inferior, es móvil, está revestido con goma tipo EVA de 10 mm de espesor, y está directamente unido al eje motriz en la parte inferior de la máquina. Cuando los frutos pasan por la abertura entre los discos, bajo la acción de la fuerza centrífuga producida por el movimiento

Purity was evaluated with pure seeds and impurities of five samples. Impurities (MAPA, 2009), are seeds with or without tegument, with or without caruncle and pieces of seed (greater than half its original size, with or without tegument). Purity percentage was determined with the following relationship:

$$P_z = 100 \left(1 - \frac{M_i}{M_a} \right)$$

where P_z =physical purity (%), M_i =impurity mass (kg) and M_a =sample mass (kg).

Rubber hardness was evaluated by the ASTM D2240 method, with a Shore A Woltest durometer with load 9.8 N. The indenter was pressed on the sample of each type of rubber (EVA and canvas) by 10 s in four randomized points (Table 3).

The experimental design was completely randomized, with procedures distributed in a 3×4 factorial arrangement (three distances between disks and four rubber combinations) and four replications. Data obtained was used to perform ANOVA, with F-test and means were compared using Tukey test ($p \leq 0.05$). For this analysis the ASSISTAT program, Version 7.5 beta, 2010 was used.

RESULTS AND DISCUSSION

The machine has the following components (Figure 1): feeder, shelling system (disks), drive system (bicycle) and download of shelled material. The feeder (Figure 1A) is the mechanism for receiving the castor bean fruits to be subjected to the shelling process. The top of the feeder is about 0.4 m in diameter and 70 mm at the bottom; from there the fruits are conducted to the disks. It has a fixed comb with teeth spaced at 8 mm, the fruit stalk, when present, should be removed to improve the shelling, for this the operator fits the cluster between the teeth of the comb, pulls up, separating the fruit that does not pass between the teeth and will fall into the feeder.

Cuadro 3. Valores de la prueba de dureza (Shore) de las gomas EVA (etileno vinil acetato) y Lonada.

Table 3. Test values of hardness (Shore) of the EVA (ethylene vinyl acetate) and canvas rubbers.

Gomas	Valor medio (Shore)	Desviación estándar
EVA	22	0.5
Lonada	63	1.0



Figura 1. Componentes del descascarador de frutos de *R. communis* L.: alimentador (A); sistema de descascarado - discos (B); sistema de accionamiento - pedal de bicicleta (C); y descarga del material descascarado (D).

Figure 1. Components of the sheller of fruits of *R. communis* L.: feeder (A); shelling system - disks (B); drive system - bicycle pedal (C); and shelled material unload (D).

de rotación del disco inferior y la fricción entre las gomas y el fruto, ocurre la separación de la cáscara de la semilla.

El sistema de accionamiento (Figura 2) es un conjunto de engranajes accionados por pedales. El movimiento de los pedales acciona la corona que simultáneamente transmite el movimiento en secuencia a un piñón, una corona, un piñón y finalmente al conjunto de engranes cónicos. Uno de estos cónicos está fijado en el eje del disco inferior, que promueve el movimiento giratorio del disco. Este movimiento corresponde a una velocidad angular de 53.87 s^{-1} , ideal para el descascarado, de acuerdo con la prueba preliminar, al permitir un mayor porcentaje de semillas sin cáscara y el trabajo con un esfuerzo físico aceptable para el operador con velocidad angular promedio de 13.51 s^{-1} (2.15 revoluciones del pedal por segundo) y variable en función de la intervención del operador.

La descarga (Figura 1D) del material presenta una abertura de $70 \times 80 \text{ mm}$ y está a 0.1 m del suelo. El compartimiento donde el material es almacenado después de ser sometido a la fricción de los discos, presenta una inclinación de 30° según la máquina descrita por Mialhe (1971), en la parte inferior para

The shelling system comprises two disks (Figure 1B). The upper disk is fixed and is coated with canvas type rubber 10 mm thick, the other is in the lower part is mobile, is coated with EVA type rubber, 10 mm thickness, and is directly attached to the drive shaft in the bottom of the machine. When fruits pass through the opening between the disks, under the action of the centrifugal force produced by the rotation motion of the lower disk and the friction between the rubbers and the fruit, the remove of the seed shell occurs.

The drive system (Figure 2) comprises a gear assembly driven by pedals. The movement of the pedals powers the crown wheel that simultaneously transmits movement sequentially to a pinion, a crown wheel, a pinion and finally to a bevel gear set. One of these pinions is fixed on the axis of the lower disk, which promotes the rotating movement of the disk. This movement corresponds to an angular velocity of 53.87 s^{-1} , ideal for the shelling process according with the preliminary test, by allowing a higher percentage of seeds without shell and work with acceptable physical effort for the operator with average angular velocity of 13.51 s^{-1} (2.15 revolutions of the pedal per second) and variable depending on the operator intervention.

The material unloading (Figure 1D) presents a $70 \times 80 \text{ mm}$ opening and is 0.1 m above ground. The compartment in which the material is stored after being subjected to friction of disks has an inclination of 30° , according to the machine described by Mialhe (1971), at the bottom to facilitate the sliding of the material in the unloading direction. Furthermore, loading and unloading are continuous.

The 5 and 10 mm distances between the disks generated a greater shelling, except treatments T_{10} and T_{11} , due to the higher resistance of fruits to the shelling off by the combination of rubber used (EVA in the upper and lower disc) (Table 4).

The fruits were not significantly shelled with a 15 mm distance between the disks. This result is similar to that of Lima *et al.* (2008), obtained with castor seeds variety BRS Energy and a sheller of a similar operation system. They show that with less friction (greater distance between the cylinder and concave) the percentage of shelled seeds was lower.

High values of shelled seeds plus their high quality show the effectiveness of the processing, and

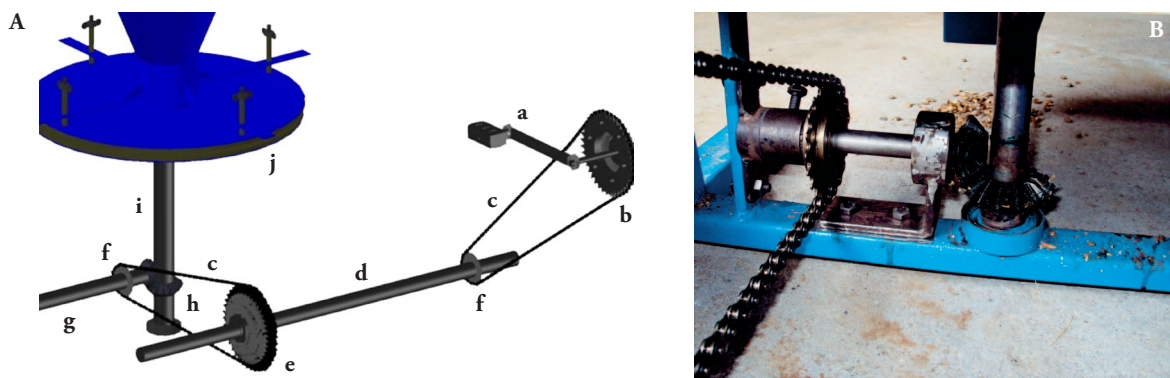


Figura 2. Sistema de accionamiento (A): pedal de bicicleta (a); estrella n° 1 (b); cadenas de rodillos (c); eje principal (d); estrella n° 2 (e); piñón fijo de bicicleta (f); eje secundario (g); cónicos (engranaje) (h); eje terciario (i); discos revestidos con goma (j). (B): imagen detallada de los piñones (engranaje).

Figure 2. Drive system (A): bicycle pedal (a); No. 1-star (b); roller chains (c); main axis (d); No. 2-star (e); bicycle fixed pinion/sprocket (f); secondary axis (g); conical (gear) (h); tertiary axis (i); rubber-coated disks (j). (B): detailed image of the pinions (gear).

facilitar el deslizamiento del material en dirección a la descarga. Además, la carga y descarga son continuas.

Las distancias de 5 y 10 mm entre los discos generaron descascarado mayor, excepto los tratamientos T_{10} y T_{11} , debido a la resistencia mayor de los frutos al descascarado por la combinación de goma utilizada (EVA en el disco superior e inferior) (Cuadro 4).

Los frutos no se descascararon significativamente con 15 mm de distancia entre los discos. Este resultado es similar al de Lima *et al.* (2008), obtenido con semillas de higuerrilla variedad BRS Energía y un descascarador de sistema operacional similar. Ellos muestran que con fricción menor (es la distancia mayor entre el cilindro y el cóncavo) el porcentaje de semillas descascaradas fue menor.

Los valores altos de semillas descascaradas más su calidad muestran la eficacia del procesamiento, y la posibilidad de uniformar la población de plantas en el campo. Este es un factor importante en la producción de un cultivo porque según Carvalho *et al.* (2009), las semillas de alta calidad influyen directamente en el éxito de la agricultura y contribuyen para alcanzar productividad alta en especies cultivadas.

Aunque el valor no fue completamente satisfactorio, si se comparan todas las pruebas, T_6 mostró mejor desempeño con 15 mm de distancia entre los discos, debido a la relación de las gomas (goma lonada \times goma lonada), cuyo grado de dureza más elevado (63 Shore) proporcionó mayor fricción en los frutos y consecuentemente mayor descascarado. Así, los tratamientos con distancia máxima de 10 mm

the possibility of standardizing the plant population in the field. This is an important factor in the production of a crop, because according Carvalho *et al.* (2009), high quality seeds directly affect the success of agriculture and contribute to reach high productivity in cultivated species.

Although the value was not entirely satisfactory, when comparing all trials, T_6 showed better performance with 15 mm distance between disks, due to the relationship of the rubbers (rubber canvas \times rubber canvas), since a higher degree of hardness (63 Shore) provided greater friction on the fruits and consequently more shelling. Thus, treatments with maximum distance of 10 mm between the disks and at least one rubber canvas independent of the position on the disks, allowed a more effective shelling and at least 90 % of intact seeds.

The action of shelling devices was more drastic with smaller distance between the disks and allowed better operation of the machine. This result was similar to that found by Silva *et al.* (1998) with a peanut sheller (*Arachis hypogaea*), because by reducing the distance of the half cylinder, with respect to the concave surface, higher friction is promoted with fruits and consequently higher amount of damaged seeds.

The percentage of seeds with shell was higher (76.20 %) in T_{12} , it was characterized as ineffective shelling, and was significantly different than the rest. T_3 was similar ($p > 0.05$) to T_{11} and both maintained

Cuadro 4. Porcentaje de semillas intactas, semillas con cáscara y semillas dañadas de *R. communis* L. originado por el proceso de descascarado del prototipo.
Table 4. Percentage of intact seeds, seeds with shell and damaged seeds of *R. communis* L. caused by the shelling process of the prototype.

Tratamientos	Porcentaje (%)		
	Semillas intactas	Semillas con cáscara	Semillas dañadas
T ₁	98.91 ± 0.1 a	0.18 ± 0.1 f	0.91 ± 0.1 cde
T ₂	90.01 ± 1.4 b	9.39 ± 1.5 e	0.59 ± 0.1 cde
T ₃	43.96 ± 2.5 e	55.73 ± 2.5 b	0.31 ± 0.04 de
T ₄	93.43 ± 0.4 ab	1.26 ± 0.1 ef	5.31 ± 0.4 a
T ₅	92.28 ± 0.4 ab	3.21 ± 0.3 ef	4.51 ± 0.4 b
T ₆	75.27 ± 3.9 c	23.78 ± 4.0 d	0.95 ± 0.1 cd
T ₇	97.37 ± 0.3 ab	1.76 ± 0.3 ef	0.87 ± 0.04 cde
T ₈	94.28 ± 0.5 ab	4.61 ± 0.5 ef	1.11 ± 0.1 c
T ₉	59.71 ± 1.0 d	39.69 ± 1.0 c	0.61 ± 0.03 cde
T ₁₀	52.64 ± 3.5 d	47.04 ± 3.5 c	0.32 ± 0.1 de
T ₁₁	41.15 ± 2.4 e	58.55 ± 2.5 b	0.29 ± 0.04 de
T ₁₂	23.62 ± 1.1 f	76.20 ± 1.1 a	0.18 ± 0.03 e
Media General (%)	71.89	26.78	1.33
DMS	8.27	8.38	0.77
CV (%)	4.66	12.68	23.44

a, b, c, d, e, f: Medias con diferente letra son estadísticamente diferentes ($p \leq 0.05$). DMS: diferencia mínima significativa * a, b, c, d, e, f: Means with different letter are significantly different ($p \leq 0.05$). DMS: least significant difference.

entre los discos y con al menos una goma lonada, independiente de la posición en los discos, permitieron un descascarado más eficaz y al menos 90 % de semillas intactas.

La acción de los dispositivos de descascarado fue más drástica con distancia menor entre los discos y permitió el funcionamiento mejor de la máquina. Este resultado fue similar al encontrado por Silva *et al.* (1998) con un descascarador de maní (*Arachis hypogaea*), ya que al reducir la distancia del semicilindro, respecto a la superficie cóncava, se promueve fricción mayor con los frutos y, por tanto, mayor cantidad de semillas dañadas.

El porcentaje de semillas con cáscara fue mayor (76.20 %) en T₁₂, se caracterizó como descascarado ineficaz, y fue significativamente diferente que el resto. T₃ fue similar ($p > 0.05$) a T₁₁ y ambos mantuvieron porcentajes altos de semillas con cáscara, como T₆, T₉ y T₁₀. Esto mostró que ni el recubrimiento con goma EVA en los dos discos ni la separación de 15 mm entre ellos, generaron fricción adecuada para el descascarado. Los tratamientos con distancia hasta de 10 mm entre los discos fueron los más eficaces, excepto T₁₀ y T₁₁.

high percentages of seeds with shell, as T₆, T₉ and T₁₀. This showed that neither EVA rubber coating on the two disks nor the separation of 15 mm between them generated adequate friction for shelling. Treatments until 10 mm distance between the disks were the most effective, with the exception of T₁₀ and T₁₁.

Thus, treatments T₁, T₂, T₄, T₅, T₇ and T₈ are suitable for oil extraction industry since, according to Silva *et al.* (2007), the maximum limit of seeds with capsules in the industry is 10 % and that was obtained with these treatments.

According to the results, the distance between the disks of the prototype is one of the main factors in the process of shelling of castor bean fruits, after knowing the size of the fruits of the variety that will be extracted.

The percentage of damaged seeds is another important factor in the oil industry. The maximum limit accepted is 3 %, since higher values reduce quality because increased acidity of oil is promoted (Lago *et al.*, 1985; Silva *et al.*, 2007).

Only T₄ and T₅ exceeded the percentage of damage in seeds allowed in the industry (Table 4).

Así, los tratamientos T₁, T₂, T₄, T₅, T₇ y T₈ son adecuados para la industria de extracción de aceite pues, de acuerdo con Silva *et al.* (2007), el límite máximo de semillas con cápsulas en la industria es 10 % y se obtuvo con estos tratamientos.

De acuerdo con los resultados, la distancia entre los discos del prototipo es uno de los factores principales para el proceso de descascarado de los frutos de la higuera, después de conocer el tamaño de los frutos de la variedad que será extraída.

El porcentaje de semillas dañadas es otro factor importante en la industria productora de aceite. El límite máximo aceptado es 3 %, ya que valores mayores reducen la calidad al estimular el aumento de la acidez del aceite (Lago *et al.*, 1985; Silva *et al.*, 2007).

Únicamente T₄ y T₅ superaron el porcentaje de daño en semillas permitido en la industria (Cuadro 4). Probablemente la fricción en los frutos fue mayor por el revestimiento de ambos discos con la goma lonada pues su dureza fue más elevada (63 Shore) que la de la goma EVA. Estos resultados son similares al 3.8 % obtenido por Lima *et al.* (2008) con frutos de higuera sometidos a fricción intensa. Santiago y Usberti (1983) muestran que el procesamiento mecánico intenso disminuyó la calidad física y fisiológica de las semillas de algodón (*Gossypium hirsutum* L.). La fricción excesiva en los frutos y en las semillas de higuera pudo afectar la calidad fisiológica en los tratamientos T₄ y T₅ pues, según Mondo *et al.* (2009), el impacto negativo de la fricción aumenta con la presión en el fruto y en la semilla.

Los tratamientos T₃, T₁₀, T₁₁ y T₁₂ generaron las cantidades menores de semillas dañadas (<0.33 %); sin embargo, los porcentajes de semillas intactas obtenidos con estos tratamientos no fueron los mejores. Esto se debió a la distancia entre los discos (15 mm en T₃) y al tipo de goma (en T₁₀, T₁₁ y T₁₂), pues en los cuatro casos la fricción sobre los frutos fue baja. Algunas semillas, además de quebraduras y fisuras, presentaron amasamientos superficiales, considerados también daños que pueden causar inviabilidad de la semilla (Souza *et al.*, 2009).

El tratamiento más eficaz fue T1 y su eficacia se probó. Así, este tratamiento permitió el descascarado de 275.33 kg de frutos de *R. communis* L. de la variedad BRS Energía en 1 h de trabajo. Este resultado fue superior al de la máquina usada por Mialhe (1971), con el mismo sistema de descascarado, que permitió

Probablemente la fricción en los frutos fue aumentada por el revestimiento de ambos discos con la goma lonada, porque su dureza fue mayor (63 Shore) que la de la goma EVA. Estos resultados son similares al 3.8 % obtenido por Lima *et al.* (2008) con frutos de castor bajo fricción intensa. Santiago y Usberti (1983) muestran que el procesamiento mecánico intenso disminuyó la calidad física y fisiológica de las semillas de algodón (*Gossypium hirsutum* L.). Excesiva fricción en los frutos de castor y semillas probablemente afectó la calidad fisiológica en los tratamientos T₄ y T₅ pues, según Mondo *et al.* (2009), el impacto negativo de la fricción aumenta con la presión en el fruto y en la semilla.

Los tratamientos T₃, T₁₀, T₁₁ y T₁₂ generaron las cantidades menores de semillas dañadas (<0.33 %), pero el porcentaje de semillas intactas obtenidas con estos tratamientos no fue el mejor. Esto se debió a la distancia entre los discos (15 mm en T₃) y al tipo de goma (T₁₀, T₁₁ y T₁₂), pues en los cuatro casos la fricción sobre los frutos fue baja. Algunas semillas, además de fisuras y grietas, mostraron algunos amasamientos superficiales, considerados también daños que pueden causar inviabilidad de la semilla (Souza *et al.*, 2009).

El tratamiento 1 fue identificado como el más efectivo y su efectividad fue probada. Así, este tratamiento permitió el descascarado de 275.33 kg de frutos de *R. communis* L. variedad BRS Energía en 1 h de trabajo. Este resultado fue superior al de la máquina usada por Mialhe (1971), con el mismo sistema de descascarado, que permitió el descascarado de 230 kg h⁻¹ de frutos de castor. Este resultado fue superior al de la máquina usada por Mialhe (1971), con el mismo sistema de descascarado, que permitió

El tratamiento más eficaz fue T1 y su eficacia se probó. Así, este tratamiento permitió el descascarado de 275.33 kg de frutos de *R. communis* L. de la variedad BRS Energía en 1 h de trabajo. Este resultado fue superior al de la máquina usada por Mialhe (1971), con el mismo sistema de descascarado, que permitió

CONCLUSIONES

El prototipo permite el descascarado eficiente de frutos de *R. communis* L. variedad BRS Energía, con una distancia de 5 mm entre los discos y combinando revestimientos con goma lonada en el disco superior y goma EVA en el disco inferior, porque cumple con los requisitos de la industria de extracción de aceite.

descascarar aproximadamente 70 a 105 kg h⁻¹ de una variedad de *R. communis* L. no identificada. Esto último es relevante porque para el proceso de descascarado debe conocerse el tamaño de la semilla. Lima *et al.* (2008) obtuvieron 230 kg h⁻¹ de frutos descascarados de la variedad BRS Energía.

La pureza física después del proceso de descascarado fue alta (Cuadro 5). En parte se debió a que la recolección de los frutos se realizó manualmente y el material extraño no se incluyó.

CONCLUSIONES

El prototipo permite el descascarado eficiente de los frutos de *R. communis* L. variedad BRS Energía, con distancia a 5 mm entre los discos y combinación de recubrimientos con goma lonada en el disco superior y goma tipo EVA en el disco inferior, pues cumple con la exigencia de la industria de extracción de aceite.

La capacidad de descascarado de semillas de 275 kg h⁻¹ es excelente y superior a la de las otras máquinas con el mismo sistema.

AGRADECIMIENTOS

A la CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior), al PPGA (Programa de Pós-Graduação de Agronomia) de la Universidade Federal da Paraíba y a la Embrapa-Algodão.

LITERATURA CITADA

Azevedo, D. M. P., E. F. Lima, F. A. S. Batista, N. E. M. Beltrão, J. J. Soares, R. M. Vieira, e J. A. N. Moreira. 1997. Recomendaciones técnicas para o cultivo da mamoneira (*Ricinus communis* L.) no Nordeste do Brasil. EMBRAPA/CNPA (Circular Técnica, 25). Campina Grande. 52 p.

The shelling capacity of seeds of 275 kg h⁻¹ is excellent and superior to that of other machines with the same system.

—End of the English version—



- Beltrão, N. E. M., L. C. Silva, e F. B. Melo. 2002. Cultivo da Mamona (*Ricinus communis* L) consorciada com feijão caupi (*Vigna unguiculata* L. Walp) para o semi-árido nordestino em especial do Piauí. EMBRAPA/CNPA (Documentos, 97). Campina Grande. 44 p.
- Carvalho, J. M. F. C., M. M. A. Silva, M. J. L. Medeiros, S. S. Araújo, e M. Milani. 2008. Composição e concentrações do meio de cultivo sobre o superbrotaimento *in vitro* da mamoneira na cultivar BRS Paraguaçu. Rev. Bras. Oleaginosas Fibrosas 12: 119-124.
- Carvalho, M. L. M., R. A. Alves, and L. M. Oliveira. 2010. Radiographic analysis in castor bean seeds (*Ricinus communis* L.). Rev. Bras. Sementes 32: 170-175.
- Carvalho, N. M., J. B. Silva, C. M. Silveira, e R. A. Horvat. 2009. Método alternativo para submeter sementes de amendoim à solução de tetrazólio. Rev. Bras. Sementes 31: 18-22.
- Lago, A. A., E. Zinke, A. Savy Filho, J. P. F. Teixeira, e N. V. Banzatto. 1985. Deterioração de sementes de mamona armazenadas com e sem casca. Bragantia 44: 17-25.
- Lima N., G. R., F. M. O. Silva, O. R. R. F. Silva, V. Sofiatti, W. V. Cartaxo, e I. A. Notaro. 2008. Ajuste e avaliação de um equipamento de acionamento manual para descascamento dos frutos de mamoneira da cultivar BRS Energia. In: Anais do III Congresso Brasileiro de Mamona. 4-7 de agosto. Salvador. Bahia. Brasil. CD-Rom.
- Lima, P. C. R. 2005. Biodiesel: um novo combustível para o Brasil. Consultoria Legislativa. Brasília. 31 p.
- Lopes, F. F. M., N. E. M. Beltrão, J. P. Lopes Neto, e J. P. Pedroza. 2008. Crescimento inicial de genótipos de mamoneira com sementes submetidas ao envelhecimento acelerado. Rev. Bras. Oleaginosas Fibrosas 12: 69-79.
- Mapa. Ministério da Agricultura, Reforma Agrária e Abastecimento. 2009. Regras para análise de sementes. SNDA/DNDV/CLAV. Brasília. 399 p.

Cuadro 5. Valores medios de pureza física de las semillas de higuerrilla (*R. communis* L.) después del proceso de descascarado por el prototipo.
Table 5. Mean values of physical purity of castor seeds (*R. communis* L.) after the shelling process by the prototype.

Muestras	Masa inicial (kg)	Semillas puras (kg)	Material inerte (kg)	Pureza física (%)
1	0.249	0.245	0.003	98.63
2	0.251	0.249	0.002	99.06
3	0.249	0.246	0.003	98.88
4	0.252	0.250	0.002	99.00
5	0.250	0.247	0.003	98.78

- Mialhe, L. G. 1971. Método de avaliação do desempenho de máquinas descascadoras de mamona. *In: Anais do I Encontro Nacional de Mamona*. 29-30 de julho. Cruz das Almas. Bahia. Brasil. pp: 6.
- Mialhe, L. G., T. C. Rípoli, e D. A. Ometto. 1992. Estudo de um mecanismo descascador de mamona. *In: Anais do XVIII Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola*. Recife. Pernambuco. Brasil. pp: 143-158.
- Mondo, V. H. V., F. G. Gomes Junior, T. L. Pupim, e S. M. Cicero. 2009. Avaliação de danos mecânicos em sementes de feijão por meio da análise de imagens. *Rev. Bras. Sementes* 31: 27-35.
- Oliveira, C. M. G., C. C. Martins, e J. Nakagawa. 2009. Concentração da solução de tetrazólio e período de coloração do teste para sementes de mamoneira. *Rev. Bras. Sementes* 31: 38-47.
- Rodrigues, L. N., A. R. Nery, P. D. Fernandes, N. E. M. Beltrão, e H. R. Gheyi. 2009. Crescimento e produção de bagas da mamoneira irrigada com água residuária doméstica. *Rev. Bra. Eng. Agríc. Ambiental* 13: 825-835.
- Santiago, I. M., e R. Usberti. 1983. Deslntamento mecânico e seu efeito na qualidade de sementes de algodoeiro. *Rev. Bras. Sementes* 5: 29-36.
- Silva, L. B., C. C. Martins, C. G. Machado, e J. Nakagawa. 2009a. Estádios de colheita e repouso pós-colheita dos frutos na qualidade de sementes de mamoneira. *Rev. Bras. Sementes* 31: 50-59.
- Silva, O. R. R. F., L. V. Vale, R. C. Santos, R. F. Santos, O. S. Carvalho, W. V. Cartaxo, e I. Alves. 1998. Desenvolvimento e avaliação de um descascador manual de amendoim. *Rev. Bras. Oleaginosas Fibrosas* 2: 79-88.
- Silva, O. R. R. F., W. V. Cartaxo, N. E. M. Beltrão, e V. P. Queiroga. 2007. Colheita e beneficiamento. *In: Severino, L. S., M. Milani, e N. E. M. Beltrão (eds). Mamona: O Produtor Pergunta, a Embrapa Responde*. EMBRAPA/CNPA. Campina Grande. pp: 143-154.
- Silva, S. M. S., H. R. Gheyi, N. E. M. Beltrão, J. W. Santos, e F. A. L. Soares. 2009b. Dotações hídricas em densidades de plantas na cultura da mamoneira cv. BRS Energia. *Rev. Bras. Ciências Agrárias* 4: 338-348.
- Souza, D. C., M. C. F. Albuquerque, M. F. Zorato, e D. C. Carvalho. 2009. Análise de danos mecânicos e qualidade de sementes de algodoeiro. *Rev. Bras. Sementes* 31: 123-131.
- Weiss, E. A. 1983. *Oilseed Crops*. Longman. London. 660 p.