

La flexión en el proceso de extracción de semillas de *Prosopis flexuosa* en relación a las características anatómicas del fruto

Cosiansi, J.F.; E. Milanesi, D. Da Riva y S. Hayipanteli

RESUMEN

Las semillas de *Prosopis* se extraen por medio de un sistema de trilla con púas, cuyas acciones físicas sobre los frutos se observan en un pericarpio pulverizado y un endocarpio desgarrado. Este sistema tiene una trilla eficaz pero su calidad está afectada por el tamaño del artejo y el espesor del endocarpio del fruto. El objetivo de este trabajo fue verificar si la flexión es una de las acciones físicas que intervienen en el proceso de trilla del sistema con púas y si afecta la calidad de la semilla obtenida en relación a las características del fruto. Para ello se construyeron mecanismos específicos para realizar la flexión pura, se caracterizó la parte más resistente del fruto, se midió la magnitud del esfuerzo de flexión durante el proceso y se cuantificó su eficacia y calidad. Los resultados muestran que con el sistema de flexión pura, se extrae la semilla de forma similar al que utiliza las púas, y que la calidad de trilla y la magnitud de los esfuerzos están afectados por el espesor del endocarpio.

Palabras clave: trilla, flexión, semilla, *Prosopis*.

Cosiansi, J.F.; E. Milanesi, D. Da Riva y S. Hayipanteli, 2002. Flexion on the process of extraction of the *Prosopis flexuosa* seeds in relation to the anatomical characteristics of the fruit. Agriscientia XIX: 55-62

SUMMARY

The seeds of *Prosopis* are removed by means of a thrashing system with prongs, whose physical actions on the fruits are observed as a pulverized pericarp and a torn endocarp. This system has efficient thrashing but its quality is affected by knuckle size and endocarp thickness. The aim of this work was to verify if flexion is one of the physical actions that mediates in the thrashing system with prongs and whether it influences the quality of the seeds obtained, in relation to the characteristics of the fruit. For this purpose, specific devices were built, and the most resistant part of the fruit was determined; then, the magnitude of the flexion effort during the trial was measured and its efficacy and quality were quantified. The results show that, with pure flexion systems, the seed was removed in a way similar to that using the prongs and

that the quality of the threshing and the magnitude of the efforts are affected by endocarp thickness.

Key words: threshing, flexion, seed, *Prosopis*.

J.F. Cosiansi, E. Milanesi, D. Da Riva y S. Hayipanteli. Facultad de Ciencias Agropecuarias UNC, Av. Valparaíso s/n, Ciudad Universitaria, Córdoba, Argentina. E-mail: jocosian@agro.uncor.edu

INTRODUCCIÓN

La disponibilidad de semillas de especies autóctonas, como las de *Prosopis* arbóreas, permite implementar tecnología alternativa para mantener la estabilidad del sistema ecológico de nuestras zonas áridas y semiáridas, dado que favorecen el desarrollo de pasturas y ofrecen productos tanto para el consumo humano como para los animales (Forbes, 1985; Karlin, 1988).

Para la obtención de semillas de algarrobo (*Prosopis alba*, *P. flexuosa*, *P. nigra* y *P. chilensis*) se dispone de un sistema cilindro cóncavo con púas alternadas cuya eficacia y calidad es variable (Cosiansi *et al.*, 2000). Por ello se hace necesario conocer cuáles son las acciones físicas que intervienen durante el proceso de trilla, que expliquen dicha variación.

Las especies cultivadas en forma extensiva cuentan, para la obtención de granos, con sistemas de trilla de los que se conoce en detalle sus acciones físicas (fricción, compresión y choque) y los factores que las afectan (velocidad de tratamiento y características del material) (Kepner *et al.*, 1972; Huynt *et al.*, 1982). Por tal motivo, sus parámetros constructivos están ajustados a las características del fruto y la planta, al punto de haber generado modelos matemáticos de su comportamiento de trilla a fin de obtener su máxima eficacia y calidad. (De Simone *et al.*, 2000)

Para la obtención de semillas de *Prosopis* y de algunas otras leguminosas con fruto indehisciente, coriáceo y de notable resistencia en el endocarpio que envuelve en forma independiente las semillas, el uso de estos sistemas tradicionales fue ineficaz. Por esto se desarrolló un sistema específico compuesto de púas alternadas, montadas en un mecanismo cilindro cóncavo, que actúan directamente sobre el artejo (Cosiansi *et al.*, 1998). En él se determinó que los parámetros velocidad y separación entre cilindro y cóncavo y el espesor de la capa de material a trillar, no

tienen ningún efecto sobre la eficacia y calidad de la trilla, tomando relevancia la separación entre las púas y su longitud, junto con el espesor del endocarpio y el tamaño del artejo (Cosiansi *et al.*, 2000). Esto ocurre como consecuencia de que las púas producen aparentemente punzado, corte, flexión y tracción de los tejidos que conforman el fruto.

Si suponemos que en este proceso se logra la flexión del artejo y a éste lo asemejamos a una viga simplemente apoyada, como propusieron Timoshenko y Young en 1962, tendremos que las fibras inferiores sufrirán un estiramiento y las superiores un acortamiento, y que la magnitud del momento flector se verá afectado por la distancia entre los apoyos. Si además en el estiramiento se cumple la Ley de Hooke, como también expresaron Timoshenko y Young en 1962, la resistencia va a depender del espesor de la pared y del tipo de tejido que la constituye.

Con el objeto de determinar si interviene la flexión en el proceso de trilla del sistema de púas, se propuso:

- Determinar la variación del tamaño del artejo y de la semilla y el espesor del endocarpio en la población de frutos dentro y entre los árboles.
- Diseñar y construir un mecanismo para estudiar la acción pura de la flexión;
- Determinar si se abre el artejo, se cumple la trilla y si el espesor del endocarpio, el tamaño de los artejos y la semilla modifican estos resultados;
- Observar el comportamiento mecánico del proceso, medir la magnitud del esfuerzo y cuantificar la eficacia y la calidad de la trilla y
- Comparar los efectos de este mecanismo con el de púas.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se diseñó y construyó un mecanismo específico de flexión pura tomando como referencia el ancho del

artejo (a) y de la semilla (b) (Figura 1). La diferencia entre estos dos dio lugar al diámetro de los apoyos (C) y el ancho de la semilla a la separación entre ellos (d). El prototipo quedó constituido por tres trozos de alambre acerado de 2,5 mm colocados paralelos entre sí (Figura 2 a y b), de los cuales dos de ellos funcionan como apoyos (a) y el tercero (b) produce la flexión cuando se desplaza entre los anteriores.

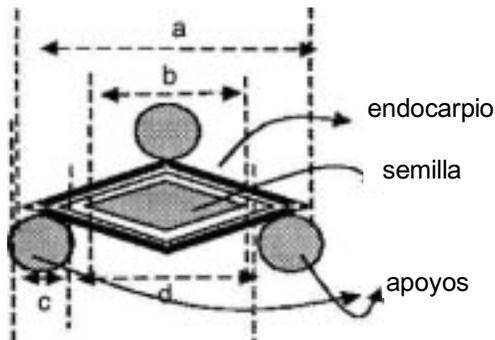


Figura 1: Representación del artejo y los apoyos con sus dimensiones

Los apoyos se encuentran formando parte de sendas placas (d) con correderas continuas que permiten variar la luz libre entre ellos, manteniendo a la vez su paralelismo, con el fin de ajustarlos al tamaño de la semilla y asegurar que los apoyos no actúen directamente sobre ésta.

El tercer trozo, montado en dos vástagos (c) paralelos, perpendiculares a las placas, se desplaza longitudinalmente pasando entre los apoyos, como ya se indicó, actuando sobre la parte media del artejo.

Se adaptó el prototipo a un equipo Instron de tracción, donde los vástagos son arrastrados por el puente del equipo.

Para estudiar la parte más resistente de la vaina se trabajó con artejos (segmento de endocarpio con la semilla) de frutos de *Prosopis flexuosa* proveniente de distintos sitios de provincias argentinas: Chancaní (Córdoba), Santa Elena (Catamarca) y Patquía y Guandacol (La Rioja).

Las vainas se secaron en una estufa con circulación de aire forzado a una temperatura de 40° C durante 24 h, con lo cual se logró deshidratar el endocarpio (altamente higroscópico), hasta que tuvo el comportamiento de un sólido frágil que facilitó su triturado. Posteriormente se trituraron con un cilindro cóncavo sin dañar los artejos ni las semillas. De la mezcla obtenida se separaron mediante un tamiz los artejos del resto de la harina, y se pusieron a macerar en agua

durante 24 h; luego se lavaron para quitarles el pericarpio restante frotándolos entre sí, aprovechando que el endocarpio y el tegumento de la semilla permanecen invariables en sus características mecánicas dado que son impermeables (Burkart, 1940; Martín *et al.*, 1962). El secado de éstos se hizo al sol, esparcidos en capas finas sobre mallas durante dos o tres días, a fin de no alterar la viabilidad de la semilla. Finalmente se desecharon los artejos que visualmente estaban atacados por brúquidos.

De los frutos se caracterizaron los siguientes parámetros:

a) *Espesor del endocarpio en las distintas regiones.* Las accesiones provenientes de las zonas de Chancaní, Santa Elena y Guandacol, se agruparon de acuerdo al espesor del endocarpio con rangos de 0,1 mm. Se midieron los artejos de 4 ó 5 vainas de cada una de ellas.

b) *Tamaño más frecuente de los artejos.* Se tomaron los artejos libres que resultaron de la clasificación con zarandas de los siguientes rangos de tamaños: 6 - 6,5; 6,5-7; 7-7,5; 7,5-8; 8-8,5 y 8,5-9, de una parte de la producción de cinco accesiones de *P. flexuosa*.

c) *Relación entre espesor del endocarpio y tamaño de los artejos.* De las distintas muestras de artejo de igual tamaño pertenecientes a 5 accesiones, se tomaron al azar en cada una de ellas 5 artejos y se les midió el espesor del endocarpio.

d) *Relación entre el ancho de la semilla y el artejo.* Se tomó al azar una muestra de 250 artejos de una mezcla homogénea proveniente de 8 árboles, los cuales una vez medidos con calibre se agruparon por el ancho en intervalos de 0,2 mm. Luego de trillados se midió el ancho de las respectivas semillas.

e) *Tipo de tejido del endocarpio.* Se tomaron artejos del mismo tamaño (6,5-7 mm.) en cada uno de los espesores y se realizaron cortes, con una hoja de afeitar, de la sección del endocarpio, transversales y longitudinales al artejo.

Al material se le realizaron los siguientes tratamientos:

a) *Resistencia a la flexión según el espesor del endocarpio.* Se tomaron muestras de artejos del tamaño que mejor se ajustó a los apoyos y se dispuso de todos los espesores (7,5 - 8,0 mm.) provenientes de árboles de Santa Elena.

A una submuestra se le extrajo la semilla con tijera, y se le midió el ancho para determinar la luz libre de los apoyos del prototipo, la que se ajustó a 4,5 mm y a 5 mm. Se procesaron 5 artejos de cada espesor en cada una, registrándose las fluctuaciones de los esfuerzos.

b) *Resistencia a la flexión longitudinal y transversal.* De dos árboles de características simi-

lares se tomaron 10 artejos de 9 mm y de 7 mm de ancho cuyo espesor de pared estaba comprendido entre 0,30 y 0,35 mm. Éstos se colocaron en forma longitudinal y transversal a los apoyos, y se registró el esfuerzo en cada tratamiento. Los apoyos se regularon a 5,5 mm de luz.

c) *Eficacia y calidad de trilla a la flexión.* Se determinó con el prototipo adaptado al sistema de palanca (figura 2), procesando una muestra de 100 artejos de 7 a 9 mm en cada una de las accesiones, a excepción de una de ellas donde sólo se dispuso de 32 artejos. Se contaron los artejos abiertos, las semillas sanas obtenidas y las apollilladas y se dedujo el número de artejos abiertos útiles (eficacia) y la proporción de semillas trilladas (calidad). Para esto se definió como semilla a aquella completa y sin fisuras visibles en el tegumento.

Los resultados obtenidos se compararon mediante un análisis de varianza y el test de Duncan.

El comportamiento del artejo durante el proceso de flexión y extracción de la semilla, en cuanto a desplazamiento de la semilla entre los apoyos y la variación del esfuerzo requerido, se registró y analizó con la ayuda de un Equipo de Medición Universal Instron, y la forma de la rotura del endocarpio se comparó con una muestra de artejos rotos trillados con el prototipo de púas.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Características de los frutos

a) El espesor del endocarpio varía entre y dentro de las zonas, con valores que oscilan entre 0,1 y 0,7 mm. En Chancaní el grosor de endocarpio más frecuente es de 0,1 mm, 0,3 mm en Santa Elena y 0,4 mm en Guandacol (Figura 3).

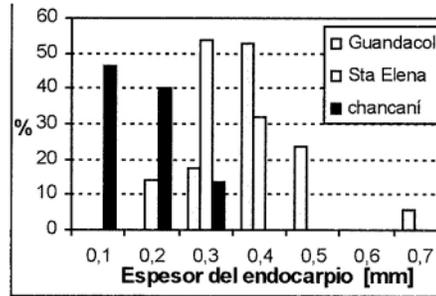


Figura 3: Distribución poblacional de los árboles según el espesor del endocarpio en tres zonas

b) El tamaño de los artejos en las accesiones es muy variado, con tendencia a una distribución normal en la mayoría de los casos (Figura 4).

c) Entre y dentro de los árboles de la misma especie existe diferencia en tamaño de los artejos, mientras que el espesor del endocarpio solo es diferente entre los árboles (Figura 5).

d) El tamaño de la semilla, en general, guarda relación directa con el tamaño del artejo, con una diferencia de tamaño que oscila entre 2 y 4 mm. Esto permitió definir el grosor de 2,5 mm de los apoyos (Figura 6).

e) En cuanto a la estructura histológica de los artejos, los distintos árboles presentan un tejido celular similar en su composición. Los tipos de células identificadas son fibras y esclereidas. Las fibras se ubican transversal y longitudinalmente en capas entrelazadas, como se ve en la figura 7. En el borde del artejo aparece un engrosamiento del endocarpio, formando un anillo periférico.

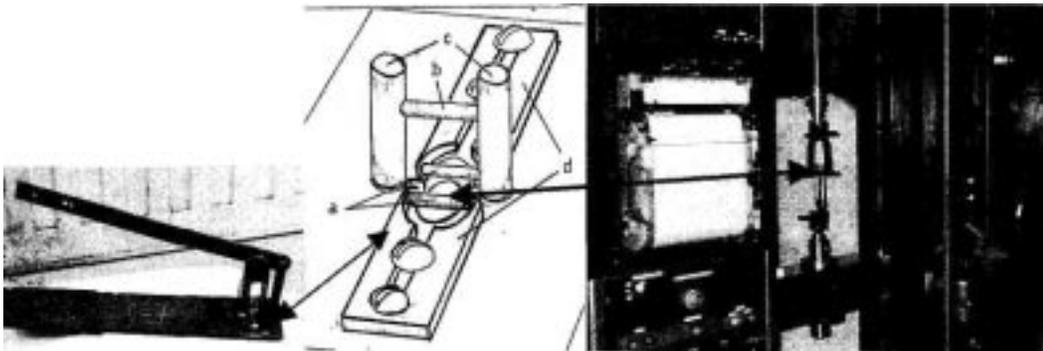


Figura 2: Mecanismo de flexión montado en un equipo a palanca y en un Instron

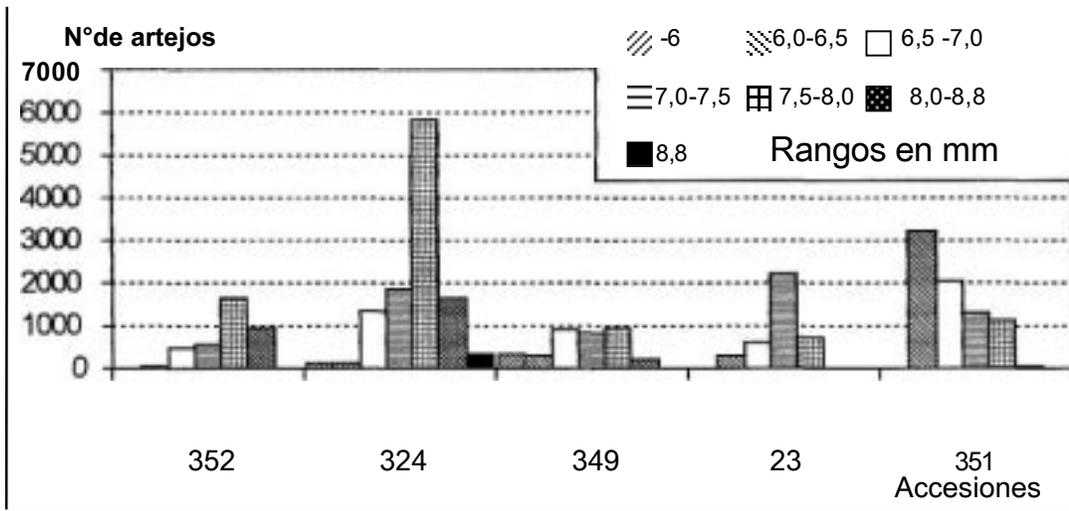


Figura 4: Distribución de la población de arceos según su tamaño, en cinco accesiones de *P. flexuosa*

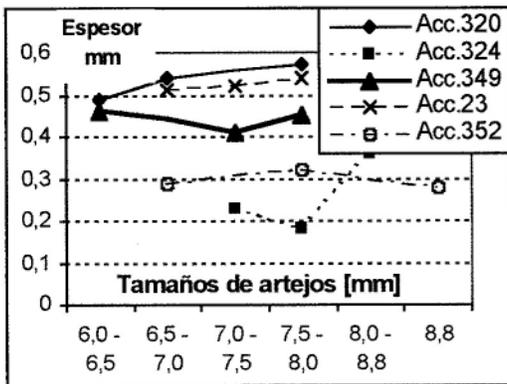


Figura 5: Variación del espesor del endocarpio en los distintos tamaños de arceos encontrados en cinco accesiones

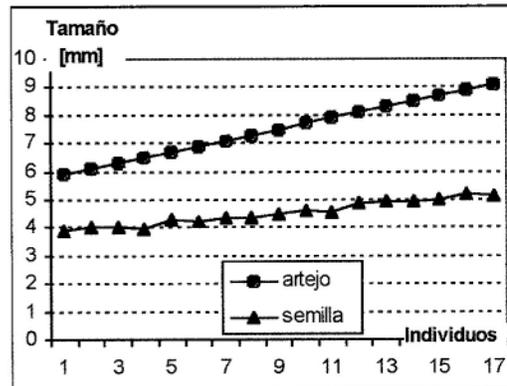


Figura 6: Variación del tamaño de los arceos y el de su correspondiente semilla

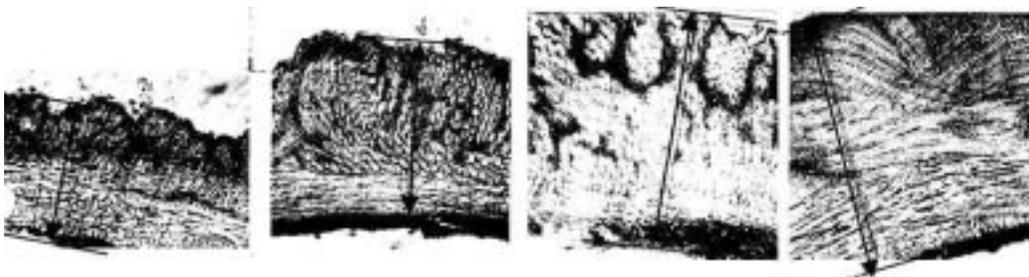


Figura 7: Corte histológico del endocarpio de diferentes espesores

Tratamiento

a) Si bien se manifiesta en la figura 8 una tendencia creciente del esfuerzo necesario para flexionar los artejos, cuando el espesor de la pared aumenta, el test de Duncan mostró que en ambos tratamientos (4,5 mm y 5,0 mm de luz entre los apoyos) la diferencia es significativa ($p < 0,0001$) entre los espesores de endocarpio de 0,2; 0,3 y 0,4, pero no entre este último con el de 0,5 mm.

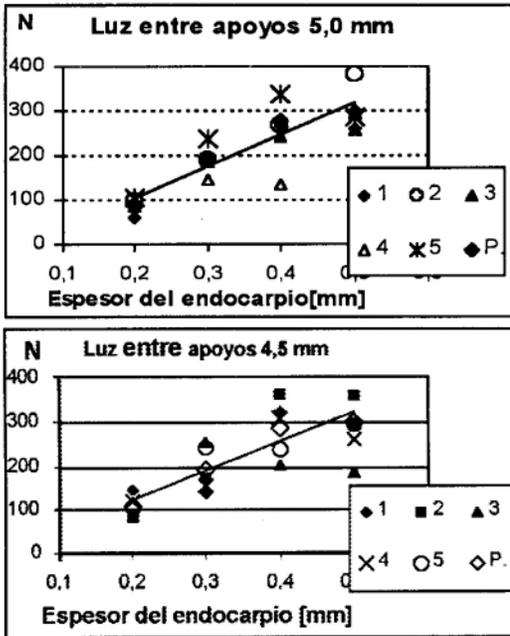


Figura 8: Variación del esfuerzo según el espesor del endocarpio

De igual manera, se observa que el promedio de los esfuerzos de flexión necesarios para cada uno de los espesores aumenta cuando disminuye la luz entre los apoyos (Timoshenko y Young, 1962), pero no son significativos ($p < 0,234$; $p < 0,9314$; $p < 0,748$) (Figura 9).

Hay artejos de pared delgada que no se abren debido a la falta de rigidez del borde periférico que adopta la forma de la semilla.

b) La resistencia a la flexión no muestra diferencias significativas entre los artejos de características similares de distintos árboles, como tampoco si se orientan transversal o longitudinalmente a los apoyos, lo que corroboraría que sus tejidos de resistencia se orientan en ambos sentidos (Figura 10).

El mecanismo es capaz de extraer semillas, siempre que se respete la ubicación longitudinal de los artejos

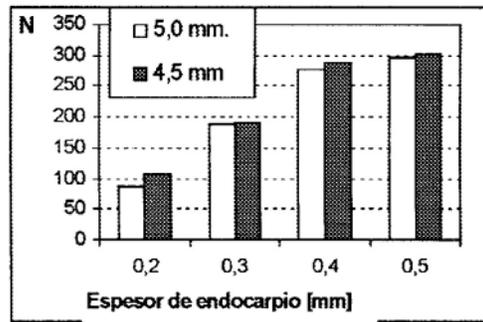


Figura 9: Efecto de la variación de la distancia entre los apoyos sobre el esfuerzo de flexión.

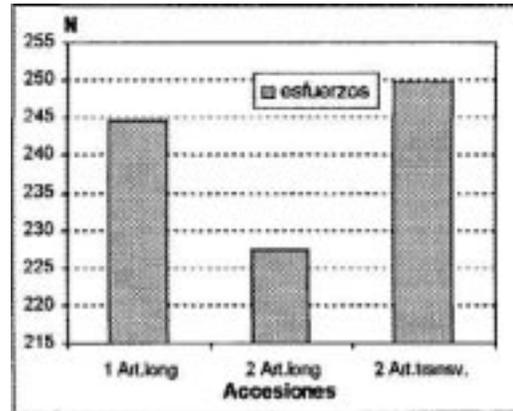


Figura 10: Variación de los esfuerzos de flexión al cambiar la posición del artejo

con respecto a los apoyos; de no ser así las semillas se rompen y la calidad de la trilla se hace cero.

c) La eficacia en todos los casos fue del 100%, mientras que la calidad se vio disminuida por dos causas: primero a valor cero, si la posición del artejo es transversal, y segundo hasta un 55 %, si es longitudinal y el espesor del endocarpio aumenta (Figura 11). A partir de observar el estado de las semillas y del endocarpio de los artejos trillados, se deduce que la calidad podría quedar definida no por el aumento de la resistencia en sí, sino porque la luz libre entre los apoyos restringe el paso de las semillas encapsuladas en un endocarpio cada vez mas grueso y sin libertad de moverse lateralmente.

Esto se justificaría por la presencia de semillas con un ancho igual o mayor a la luz libre de los apoyos, que no se rompieron como otras, observándose además en estos casos una rotura lateral del endocarpio, y no central como es habitual.

A partir del proceso de flexión registrado en la faja del Instron se dedujo la ubicación de la semilla en el

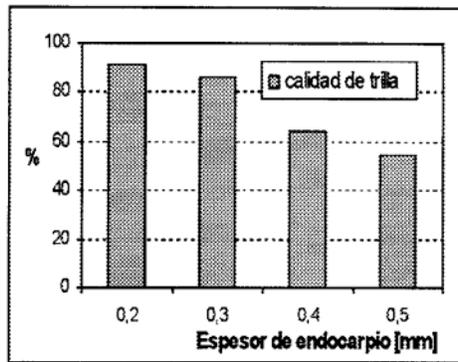


Figura 11: Efecto del espesor sobre la calidad de trilla (porcentaje de semilla).

mecanismo flexor.

Sabiendo que el avance de 1mm/min del puente corresponde a 5 cm/ min de la faja, y partiendo del punto 1 con el artejo simplemente apoyado, vemos en la figura 12 que en el primer tramo de la curva (1 -2) el esfuerzo crece y luego se mantiene constante; se puede pensar que la semilla se centra entre los apoyos y el endocarpio se deforma hasta que se apoya su anillo periférico.

A partir de allí el esfuerzo crece linealmente hasta el punto 3, como si se cumpliera la ley de Hooke en el

estiramiento de las fibras inferiores hasta que se cortan. En este momento la semilla se ubica a la altura de los ejes de los apoyos, presionándose sus bordes entre los alambres y la pared de endocarpio.

Luego el esfuerzo cede bruscamente hasta aproximadamente la mitad de su valor máximo, continuando con una disminución progresiva con el avance del puente. Es de pensar que, como la forma del artejo no es prismática sino que se adelgaza hacia los bordes, el tejido comienza a romperse en la parte central y continua hacia los bordes a medida que la semilla se va apoyando paulatinamente en toda su longitud hasta que sale. Finalmente el esfuerzo vuelve a crecer levemente hasta pasar el engrosamiento periférico del endocarpio entre los apoyos.

La forma de la rotura del endocarpio producida por el mecanismo de flexión, comparada con aquella que producen las púas en el cilindro cóncavo, presentan una gran similitud en algunos casos, como se muestra en la figura 13, por lo cual permitiría asegurar que la flexión puede ser una de las acciones físicas producidas por las púas, y que además si el artejo se orienta trasversal a éstas las semillas se rompen. De este modo sería imposible garantizar una calidad de 100 % si no se pueden orientar mecánicamente los artejos en forma longitudinal.

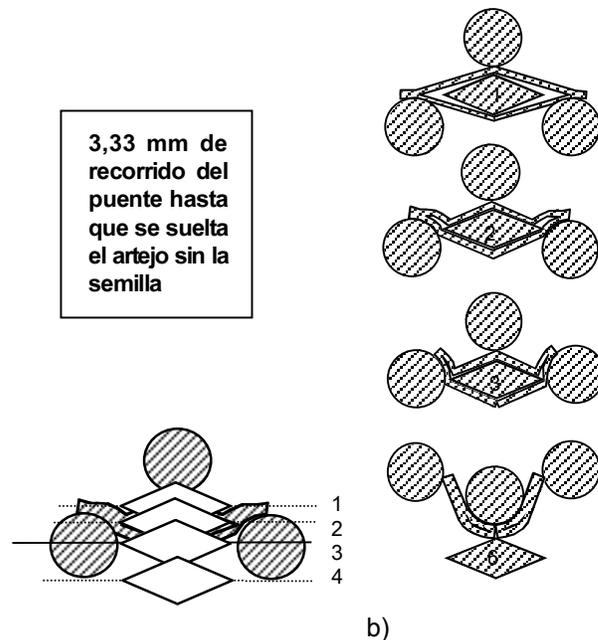
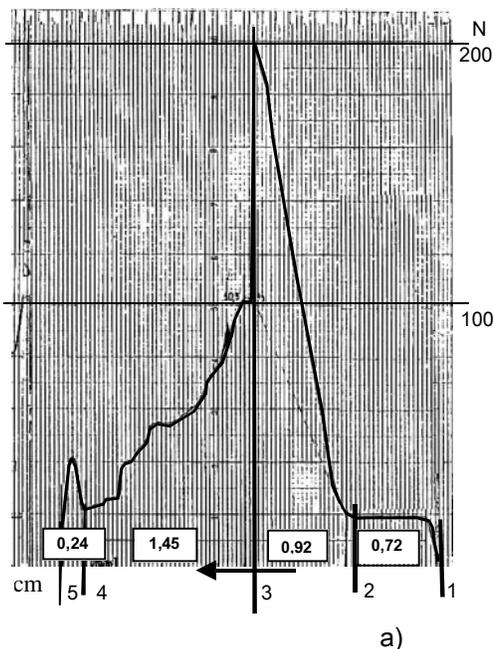


Figura 12: a) Registro del esfuerzo de Flexión, b) Posición del artejo durante las distintas etapas del proceso.

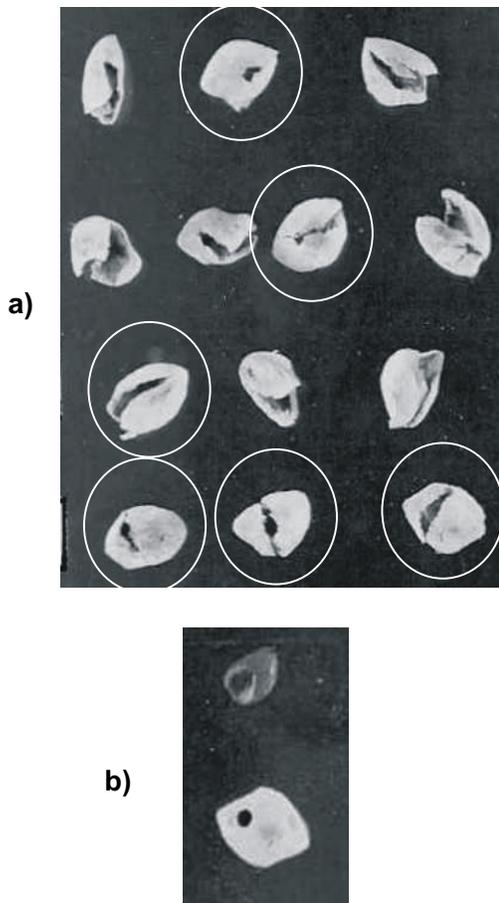


Figura 13: a) Artejos abiertos por la trilla del mecanismo de púas; los encerrados en los círculos son semejantes a aquellos trillados por el mecanismo de flexión, b) Artejo y semilla perforada por brúquidos

CONCLUSIONES

La flexión es una de las acciones físicas que provocan la apertura del artejo.

La apertura del artejo en el sistema de trilla con púas en algunos casos es semejante al efectuado por el

mecanismo de flexión.

La magnitud del esfuerzo de flexión tiene una relación directa con el espesor del endocarpio y éste una relación inversa con la calidad de trilla, y no supera los 400 N.

La posición longitudinal del artejo con respecto a los elementos de trilla asegura buena calidad en el tratamiento, mientras que la transversal rompe el total de las semillas.

La rotura de la semilla se produce cuando el ancho de ésta es igual o superior a la luz de los apoyos y no tiene libertad de correrse.

BIBLIOGRAFÍA

- Burkart, A., 1940. Materiales para una monografía del género *Prosopis*. Darwiniana. 4: 57 - 128.
- Cosiansi, J.F.; A. Irico; S. Hayipanteli y V. Alvarez, 1998. Púas como elemento para la trilla de vainas de *Prosopis flexuosa*. Agrisciencia Vol XV: 19-22
- Cosiansi, J.F.; A. Irico; S. Hayipanteli; D.P. Da Riva y V. Alvarez, 2000. Calidad y eficacia de la trilla de vainas de *Prosopis flexuosa* con el mecanismo de púas. Agrisciencia Vol XVII: 49-57
- De Simone, M.E.; R.R. Filgueira y C. Garcia López. 2000. The parameters of regulation and design in a conventional combine- thresher. Paper N° 006008 - ASAE. Meeting. St. Joseph. Michigan.
- Forbes, R., 1985. The Mesquite tree, its products and uses. Bulletin N° 13. University of Arizona
- Huynh.VM; T. Powell and J.N. Siddall, 1982. Threshing and separation in process- A Mathematical model. Transaction of the ASAE 25(1): 65
- Karlin,U.,1988. Argentina: Diversidad de especies y ambientes en *Prosopis* en Argentina. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Argentina . Material de difusión interna. Pp 2-16
- Kepner, R.A.; R. Bainer and E. Barger, 1972 . Principles of Farm Machinery. John Wiley & Sons, Inc. 376 pp
- Martin, S. Freed, C. y Tschiley 1960. Germination and longevity of velvet mesquite seed in soil. Journal of Tnge management. 13.2
- Martin, S. Freed, C. y Tschiley. 1962. Mesquite seed lived a long time progressive agriculture in Arizona. 14 (1). 15
- Timoshenko, S. y D.H. Young, 1962. Elementos de resistencia de materiales. Montaner y Simón S.A. Barcelona. 401 pp