

Calidad y eficacia de la trilla de vainas de *Prosopis flexuosa* con el mecanismo de púas

Cosiansi, J.F., A.B. Irico, S. Hayipanteli, D.P. Da Riva y V. Álvarez

RESUMEN

La extracción de semillas de *Prosopis* se realiza actualmente con un sistema de púas que tiene poca eficacia y baja calidad. El objetivo de este trabajo fue mejorar la calidad y la eficacia de la trilla del mecanismo de púas al variar los factores que componen el área de la sección de trilla que conforman las púas. Para ello se clasificaron los artejos de los frutos por tamaño y espesor de endocarpio y se los trilló con dicho mecanismo. En el procedimiento del proceso de trilla se fue modificando la longitud y la distribución de las púas y la separación entre cilindro y cóncavo. Los resultados muestran que se puede mejorar la calidad y la eficacia de trilla del mecanismo si se guarda una relación estrecha entre el tamaño de la sección de trilla con el tamaño del artejo y el espesor del endocarpio.

Palabras clave: trilla, mecanismo de púas, semilla, *Prosopis*.

Cosiansi, J.F., A.B. Irico, S. Hayipanteli, D.P. Da Riva y V. Álvarez, 2000. Quality and efficiency poods thrashes of *Prosopis flexuosa* with the prongs mechanism. Agriscientia XVII : 49-57

SUMMARY

The extraction of seeds of *Prosopis* is at present made with a prongs system which is not efficient enough to produce good quality seeds. The objective of this work was to improve quality and efficiency of the prongs mechanism by varying the factors that make up the area of the threshing section composed by the prongs. For this, the artejos of the fruits were classified by size and thickness of the endocarp and they were thrashed in the prongs mechanism As the threshing process proceeded, the length and distribution of the prongs and the separation between the drum and the concave were being modified to determine the most suitable area for the various artejos. The results show that the quality and efficiency of the threshing can be improved if the size of the threshing section closely fits the size of the artejos and the thickness of the endocarp.

Key words: Threshing, prongs mechanism, seed, *Prosopis*.

Cosiansi, J.F., A.B. Irico, S. Hayipanteli, D.P. Da Riva y V. Álvarez, Facultad de Ciencias Agropecuarias (UNC), Av Valparaíso s/n, Ciudad Universitaria, Córdoba, Argentina. E-mail: jocosian@agro.uncor.edu

INTRODUCCIÓN

En las zonas áridas y semiáridas de la Argentina el algarrobo (*Prosopis* spp.) es una planta de reconocidas aptitudes, como alimento para el ser humano y animales, leña, madera, postes, etc. (Karlin, 1988), por lo cual se la tiene en cuenta como un recurso.

La reproducción natural es dificultosa, aun en zonas con clausuras, dado que tanto los frutos, sus semillas y las plántulas son apetezadas por diferentes insectos, aves y mamíferos. Por esto la inmediata recolección de los frutos, trilla y almacenamiento de las semillas permitirían garantizar su reposición y facilitar su estudio.

El fruto de *Prosopis* es una vaina coriácea e indehisciente (Burkart, 1940) En la mayoría de las especies de este género presentan un pericarpio frágil y un endocarpio conformado por fibras y esclereidas, de notable resistencia mecánica y flexibilidad, que envuelve individualmente las semillas, cuyas dimensiones varían según la especie, el árbol y la ubicación en la vaina (Cosiansi, 1991).

De las especies de *Prosopis* que se denominan algarrobos, *P. flexuosa* es el que presenta vainas con mayor resistencia mecánica de endocarpio y, por lo tanto, con mayores dificultades para su trilla.

Para la extracción de las semillas del fruto, se ha desarrollado un mecanismo de púas alternadas montadas sobre un sistema cilindro-cóncavo que puede abrir el fruto y liberar la semilla. Se ha determinado hasta el momento que sólo la separación entre el cilindro y el cóncavo es el factor que afecta este tratamiento (Cosiansi *et al.*, 1998), y no así la velocidad, como ocurre en los sistemas tradicionales de trilla de especies para grano (Kepner *et al.*, 1972), ni tampoco el grosor de la capa de material (Huynh *et al.*, 1982), porque en este nuevo sistema debe haber un contacto íntimo entre los órganos de trilla y el artejo.

Si se define la eficacia de trilla como el grado de efectividad que tiene el sistema de abrir el fruto y liberar las semillas y como calidad de trilla la proporción de semillas sanas logradas, tenemos que la eficacia y la calidad de trilla del sistema de púas es incierto, de acuerdo a las conclusiones arribadas por Cosiansi *et al.* (1998).

Este sistema basa su principio de extracción en clavar la púa en el fruto, moler el pericarpio seco y desgarrar el tejido que conforma el endocarpio. La fuerza necesaria para el desgarramiento se hace efectiva cuando interactúan la púas del cilindro con las del cóncavo sobre el artejo, proceso en el cual también se puede ver afectada la integridad de la semilla.

El área de la sección de trilla por donde debe pasar el fruto depende de una serie de parámetros entre los cuales está la separación entre el cilindro y el cóncavo, junto con el largo, grosor, forma y separación de las púas.

Por lo tanto se propone como objetivo estudiar el efecto del ajuste de los parámetros mencionados, que definen la forma y el tamaño de la sección de trilla, sobre la calidad y eficacia del proceso, y determinar en qué caso la semilla tiene la menor probabilidad de ser dañada por las púas durante la extracción, cuando el fruto presenta distintas características morfológicas.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se utilizó para el ensayo un prototipo compuesto por un cilindro de 200 mm de diámetro, construido con un tubo de hierro de 3 mm de pared, en el cual se montaron cuatro hileras de púas radiales paralelas al eje de rotación y un cóncavo ciego de 90° de abrace con una sola hilera.

El área de la sección de trilla se determinó como aquella encerrada entre las púas, el cilindro y el cóncavo, como lo indica la superficie sombreada "A" en

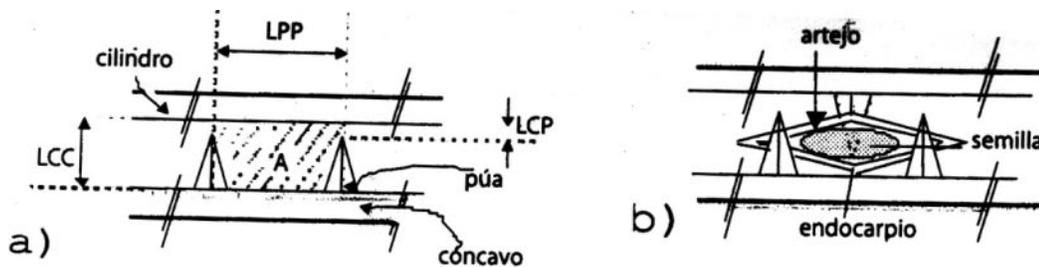


Figura 1. a) Área de la sección de trilla; b) Interacción entre las púas y el artejo.

Tabla 1. Superficie de las secciones de trilla según los parámetros LCC; LPP; LCC.

| Tratamiento | | | Área | Tratamiento | | | Área |
|-------------|-----|------|--------------------|-------------|-----|------|--------------------|
| LCC | LPP | LCP | (mm ²) | LCC | LPP | LCP | (mm ²) |
| 4,0 | 4,0 | 1,25 | 22,250 | 5,0 | 4,5 | 0,50 | 26,875 |
| 4,5 | 4,0 | 0,50 | 22,375 | 5,0 | 4,0 | 2,00 | 28,000 |
| 4,0 | 4,5 | 0,50 | 22,375 | 4,0 | 5,0 | 2,00 | 28,375 |
| 4,0 | 4,0 | 2,00 | 24,000 | 4,5 | 4,5 | 2,00 | 28,375 |
| 4,0 | 4,0 | 0,50 | 20,375 | 4,5 | 4,5 | 1,25 | 26,500 |
| 4,5 | 4,0 | 1,25 | 24,250 | 5,0 | 4,5 | 1,25 | 28,750 |
| 4,0 | 4,5 | 1,25 | 24,250 | 4,5 | 5,0 | 1,25 | 28,750 |
| 5,0 | 4,0 | 0,50 | 24,375 | 4,5 | 5,0 | 0,50 | 28,875 |
| 4,0 | 5,0 | 0,50 | 24,375 | 5,0 | 5,0 | 0,50 | 29,375 |
| 4,5 | 4,5 | 0,50 | 26,625 | 5,0 | 4,5 | 2,00 | 30,625 |
| 4,5 | 4,0 | 2,00 | 26,000 | 4,5 | 5,0 | 2,00 | 30,625 |
| 4,0 | 4,5 | 2,00 | 26,125 | 5,0 | 5,0 | 1,25 | 31,250 |
| 5,0 | 4,0 | 0,50 | 26,250 | 5,0 | 5,0 | 2,00 | 33,125 |
| 4,0 | 5,0 | 1,25 | 26,250 | | | | |

la figura 1 (a), siendo los parámetros que la determinan: la separación entre cilindro y cóncavo [LCC], la luz entre las púas [LPP] y la luz entre la punta de la púa del cilindro con el cóncavo y la del cóncavo con el cilindro [LCP].

Las luces se establecieron tomando como referencia el tamaño medio del artejo, para que la punta de la púa impacte en tres sectores diferentes, a 1/4, a 1/2 y a 3/4 del espesor de aquél según los tratamientos, de modo que en los artejos más grandes la punta de la púa pase por debajo de la semilla, en los medianos en su parte media y en los más pequeños por encima (figura 1 b).

La regulación de la LCP se logró modificando la longitud de la púa con relación a la separación entre cilindro y cóncavo. Las púas se colocaron a presión tanto en el cilindro como en el cóncavo, con un sostén en su parte basal para asegurar que queden fijas luego de cada regulación de su longitud. Para la variación de la LPP se realizaron tres hileras de perforaciones apareadas para cambiar los peines portapúas de lugar.

La hilera de púas del cóncavo se ubicó en su parte media para controlar la luz de la cabeza de las púas con una sonda, como así también evitar que las semillas que se extraen durante el trabajo escapen por la boca de entrada cuando salen despedidas en sentido opuesto al de rotación del cilindro. La luz (LCC) se reguló con un tornillo en el extremo por donde ingresan los artejos.

El movimiento de rotación del cilindro se obtuvo acoplado su eje a las mordazas de un tomo de me-

canizado. De las velocidades de rotación que provee éste con sus diferentes relaciones de transmisión, se seleccionó la de 665 rev/ min que da como resultado una velocidad tangencial de las púas próxima a la velocidad periférica crítica de rotura en porotos de 7 m/s tomada como referencia. Esta velocidad garantiza, además, que las semillas extraídas no se queden sobre el cóncavo. El número de pasadas se estandarizó en 5, para asegurar la trilla completa en los tratamientos más agresivos.

Para el ensayo se secaron los frutos de 7 árboles en una estufa de aire forzado durante 48 h a 40 °C; luego se les trituro el pericarpio y se tamizó la harina. Los artejos obtenidos se sumergieron en agua durante 48 h, se lavaron y secaron al sol, se seleccionaron por sanidad manualmente y por tamaño con zarandas cuyo diámetro varió cada 0,5 mm y finalmente se agruparon de a 100 unidades.

El diseño experimental utilizado fue un factorial para combinar los distintos niveles de los factores del sistema de trilla (LCC, LPP, LCP) con los del fruto (tamaño del artejo, espesor del endocarpio). Cada uno de los 27 tratamientos en cada una de las 13 combinaciones obtenidas de los árboles se repitieron 4 veces.

La técnica consistió en hacer pasar 5 veces consecutivas la misma muestra por la máquina, separando y contando en cada una de ellas las semillas sanas extraídas, los artejos apollillados y el número de artejos trillados.

Finalizado cada tratamiento se liberaron manualmente con alicates las semillas de los artejos que

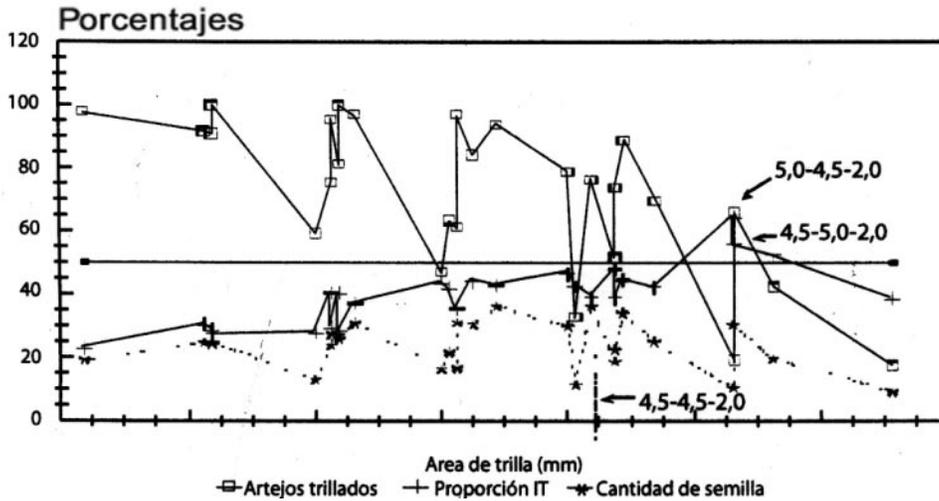


Figura 2. Respuesta de los artejos trillados, semillas sanas y de la relación proporcional de éstos, al incremento de la sección de trilla.

aparentemente estaban sin trillar, con el fin de verificar su estado (entera, rota o apollada), contarlas e incorporarlas a las fracciones ya determinadas, considerando las semillas enteras como artejos sin trillar y las rotas como trilladas.

Se incluyó dentro de las semillas enteras a aquellas que presentaban la falta de un pequeño trozo de tegumento en la parte opuesta al germen, porque son aún viables, y dentro de los artejos trillados a aquellos semiabiertos con la semilla rota.

Los resultados se analizaron en una primer etapa tomando cada tratamiento como una sección de tamaño diferente; para ello se calculó la superficie (tabla 1) correspondiente a cada combinación de LCC, LPP y LCP, llamado arreglo de las púas.

Por otro lado, para hacer comparables los resultados, dado que la cantidad de semillas obtenidas en cada tratamiento puede variar con respecto a la cantidad de artejos trillados, se calculó la proporción de semillas enteras obtenidas de los artejos trillados. A esta relación se la expresó en porcentaje y se la denominó índice de Trilla (IT).

Este IT nos indicaría la calidad de la trilla cuando la eficacia fuese del 100 % o lo que es lo mismo el rendimiento esperado del mecanismo, si el material se continuase pasando por la máquina hasta lograr la trilla total.

En primera instancia los resultados se graficaron (figura 2) de tal modo de observar el efecto del tamaño de la superficie de trilla sobre la cantidad de semillas obtenidas, la cantidad de artejos abiertos y el IT en toda la población de árboles sin distinción.

En segunda instancia sólo los resultados de IT promedios se analizaron (figuras 3, 4 y 5) a fin de diferenciar el efecto de la variación del área sobre los distintos tipos de artejos encontrados dentro de los frutos. En una tercera instancia estos mismos resultados del IT se graficaron (figura 6), para determinar específicamente lo que sucede en el proceso de trilla de cada tipo de artejo (espesor-tamaño) cuando se varían los factores que conforman el área de trilla (LCC, LPP, LPC). Posteriormente se estimó una superficie de respuesta cuadrática a través de una regresión de mínimos cuadrados con el sistema estadístico SAS, con el cual se determinó el ajuste del modelo, la dispersión de los resultados con el cuadrado medio de error, la certeza de los resultados con el R cuadrado, la variación de los tratamientos con el Coeficiente de Variación, si hay diferencia significativa entre los tratamientos en la regresión lineal, cuadrática y de producto cruzado, el análisis canónico de superficie de respuesta para determinar el alejamiento que tuvieron las variables de los factores a partir del centro de la región de ensayo, y finalmente los valores que deben

adoptar los factores para optimizar la respuesta del IT y los de la cresta.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

De los frutos de los 7 árboles se obtuvieron artejos con tamaños que varían entre 5,5 mm y 8 mm, con espesores de paredes de endocarpio entre 0,2 y 0,6 mm.

La población estudiada quedó clasificada en 4 tamaños de artejos y 4 espesores de endocarpio, pero no existen los artejos pequeños con endocarpio grueso y artejos grandes con endocarpio delgado, por lo cual resultaron sólo 13 combinaciones de las 16 esperadas.

Los factores de la máquina y sus niveles quedaron definidos como: LCC (mm): 4,00; 4,50; 5,00; LPP (mm): 4,00; 4,50; 5,00; LCP (mm): 0,50; 1,25; 2,00; y los factores del fruto y sus niveles como: espesor del endocarpio (mm): 0,2-0,3; 0,3-0,4; 0,4-0,5; 0,5-0,6 y tamaño del artejo (mm): 5,5-6,5; 6,5-7,0; 7,0-7,5; 7,5-8,0.

De las distintas combinaciones de los factores que componen el área de trilla, los tamaños en algunos casos resultaron iguales diferenciándose en su forma y posición, vertical u horizontal.

Los resultados generales, graficados en la figura 2, muestran que la cantidad de artejos trillados fue cada vez menor a medida que la sección fue aumentando de tamaño, indicando de qué manera dejaron de interactuar las púas con el artejo.

Si bien las secciones pequeñas lograron una gran eficacia en la apertura del endocarpio por su agresividad, ésta se vio reflejada también en la rotura de las semillas, efecto que fue disminuyendo con el uso de secciones cada vez más grandes. Así la máxima extracción, de casi 40 semillas en promedio, se alcanzó con el área 28,375 mm², del arreglo LPP 4,5 - LCC 4,5 - LCP 2,0. Mientras el área que mostró el mejor rendimiento promedio (60 %) fue la de 30,625 mm² del arreglo LPP 5,0 - LCC 4,5 - LCP 2,0 y a partir de las cuales disminuyeron nuevamente por lo ya mencionado.

Del análisis de las figuras 3, 4 y 5 (que muestran el efecto de la variación del tamaño de la sección sobre el Índice de Trilla, cuando varía el espesor del endocarpio y el tamaño del artejo) se desprende que sólo quedan definidas las secciones óptimas para aquellos artejos de pequeño tamaño o los de endocarpio delgado, porque para el resto de las combinaciones el IT se muestra con una tendencia creciente hacia un máximo. Esto haría predecir que secciones aun más grandes lograrían aumentar la

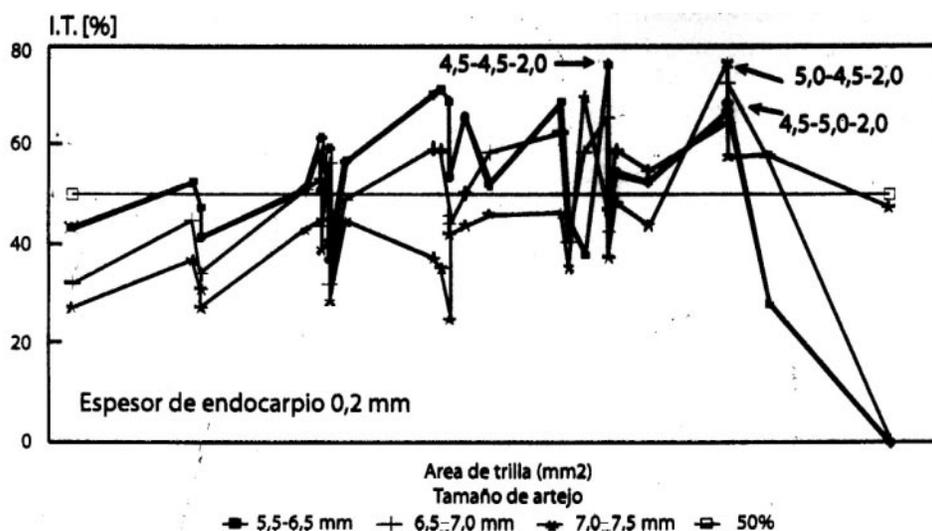


Figura 3. Respuesta del I.T. la sección de trilla y a la diferencia de tamaño de artejo con un espesor de endocarpio de 0,2 mm.

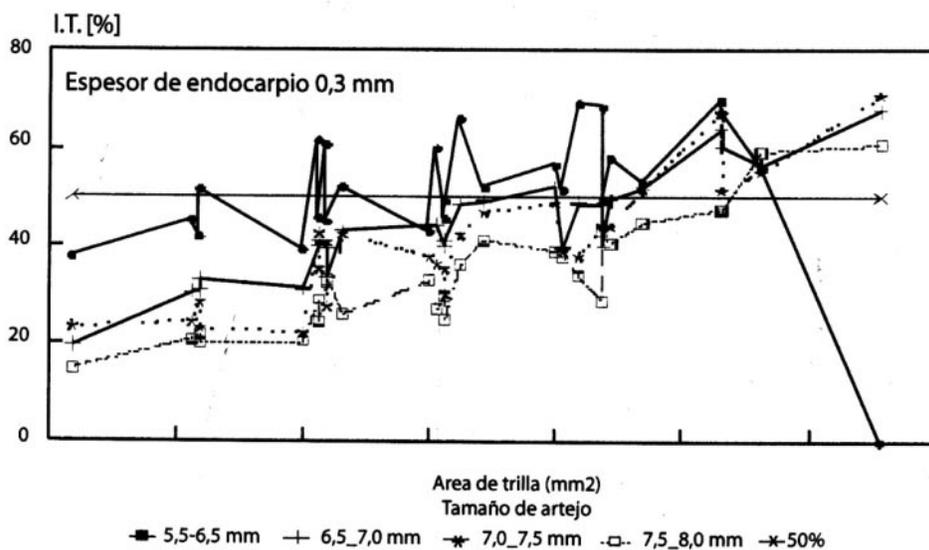


Fig.4. Respuesta del I.T. a la sección de trilla y la diferencia de tamaño de artejo con un espesor de 0,3 mm

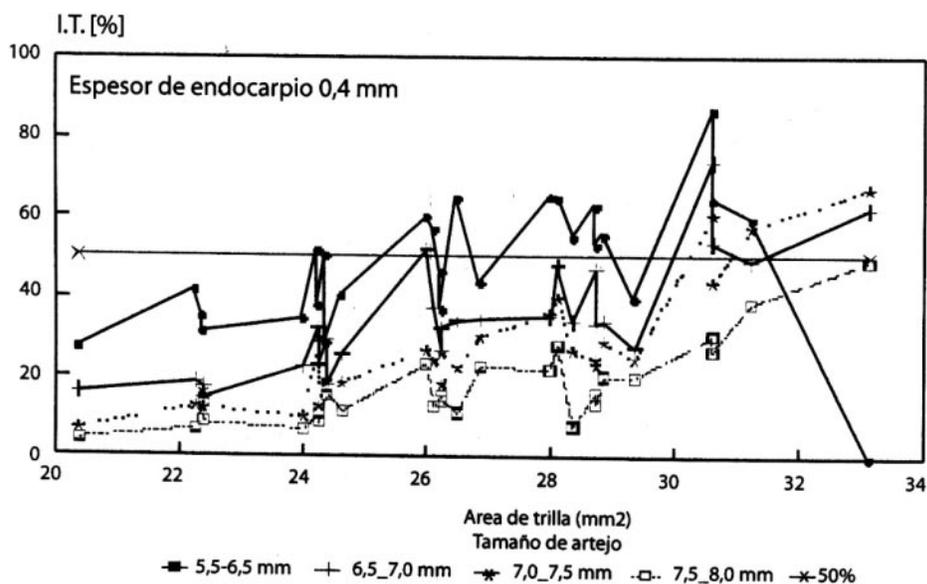


Figura. 5. Respuesta del I.T. a la sección de trilla y a la diferencia de tamaño de artejo con un espesor de 0,4 mm

cantidad de semillas cuando se trillen los artejos más grandes o de espesor del endocarpio más grueso. Por lo tanto habría que realizar un ajuste del tamaño de la sección de trilla, en razón de la variación del tamaño del artejo que aparece dentro de los frutos.

Los factores como la resistencia mecánica del endocarpio, la forma, tamaño y la ubicación del artejo frente a las púas, podrían ser los que determinan la diferencia de los resultados cuando las secciones son iguales.

De los parámetros que componen las distintas secciones encontradas como óptimas, para cualquier tamaño de artejo y espesor de endocarpio, la luz de la cabeza de las púas (LCP) resultó ser la misma, 2,00 mm (tabla 1), aun cuando se genera el mismo tamaño de la sección, en la posición horizontal con la combinación LPP: 5,0 - LCC: 4,5 mm o vertical con LPP: 4,5 - LCC: 5,0 mm. Por lo cual se tomó este valor (2,00 mm) y se dejó fija dicha variable del factor LCP, estudiándose sólo los resultados de la combinación de los otros dos (luz entre púas y luz entre cilindro y cóncavo).

Los resultados se ajustaron a un modelo polinómico cuadrático que se muestra a continuación.

$$y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \beta_3 x_1^2 + \beta_4 x_2^2 + \beta_5 x_1 x_2 + \varepsilon_i$$

Donde y es la variable independiente; x_1 , la luz entre clavos; x_2 la luz entre cilindro y cóncavo; ε el error aleatorio y β los parámetros estimados.

Para el caso específico en que el tamaño de artejo es de 5,5-6,5 mm y espesor de endocarpio 0,2 mm,

los distintos beta resultaron ser: $\beta_0 = -4389,1757$; $\beta_1 = 1013,3708$; $\beta_2 = 1011,1125$; $\beta_3 = -81,6833$; $\beta_4 = -79,8333$; $\beta_5 = -67,425$, con los cuales se encontró que los valores críticos debían ser: la separación entre cilindro y cóncavo de 4,347 mm y la luz entre púas de 4,497 mm para obtener el máximo rendimiento de la trilla 86,87%. Del mismo modo se encontraron los valores particulares para las otras combinaciones.

De los resultados obtenidos con este modelo, se seleccionaron en la tabla 2 solamente aquellos que están dentro de los rangos propuestos en el ensayo o muy próximos a ellos. Se detallan en ella, el valor crítico de los factores LCC, LPP y sus valores ajustados correspondientes, el valor predicho de semillas obtenidas y la dispersión de los valores (cuadrado medio), para cada una de las combinaciones de los parámetros de los artejos.

Con el fin de observar la tendencia de crecimiento de la sección para los artejos más robustos, se incluyó en esta tabla, a modo de ejemplo, el resultado de tamaño 6,5 - 7,0 mm y de espesor de endocarpio 0,3 mm, donde el IT alcanzaría 84,34 % de semillas, si el mecanismo se armase con LPP 6,49 mm y LCC 5,95 mm, por lo cual es de esperar buenos resultados con áreas más grandes que las propuestas hasta el momento.

En el análisis de la superficie de respuesta con el SAS, la regresión cuadrática y del producto cruzado dieron diferencias significativas con un $p < 0,05$ y no así la lineal en los tamaños de artejos 5,5 - 6,5, por lo que se infiere que entre los valores estudiados se encontraría el máximo rendimiento, como se muestra en la figura 6. Por el contrario, se mostró significativa sólo la lineal en los artejos más grandes,

Tabla 2. Valores de LCC, LPP, LCP que se deberían tomar para lograr la mayor extracción de semillas de acuerdo a los resultados obtenidos con el modelo polinómico cuadrático.

| Del fruto | | Del mecanismo | | | | Resultados | | |
|-------------------|------------------------|---------------|--------------|-------|--------------|-----------------------|-------------------------|------------|
| Tamaño del artejo | Espesor del endocarpio | LPP | LPP ajustado | LCC | LCC ajustado | Semillas obtenidas IT | Cuadrado medio de error | R cuadrado |
| (mm) | (mm) | (mm) | | (mm) | | (%) | | |
| 5,5-6,5 | 0,2 | 4,347 | -0,30 | 4,497 | -0,006 | 88,87 | 15,04 | 0,6964 |
| 5,5-6,5 | 0,3 | 4,180 | -0,62 | 4,660 | 0,310 | 76,07 | 14,35 | 0,6700 |
| 5,5-6,5 | 0,4 | 4,630 | 0,26 | 4,360 | -0,270 | 78,23 | 15,97 | 0,6400 |
| 6,5-7,0 | 0,2 | 4,390 | -0,22 | 4,510 | 0,035 | 78,35 | 16,15 | 0,5900 |
| 6,5-7,0 | 0,3 | 6,490 | | 5,950 | | 84,34 | | |
| 6,5-7,0 | 0,4 | 5,330 | 1,66 | 4,690 | 0,390 | 69,64 | 9,95 | 0,6800 |
| 7,0-7,5 | 0,2 | 5,100 | 1,20 | 4,650 | 0,290 | 62,88 | 14,68 | 0,4400 |

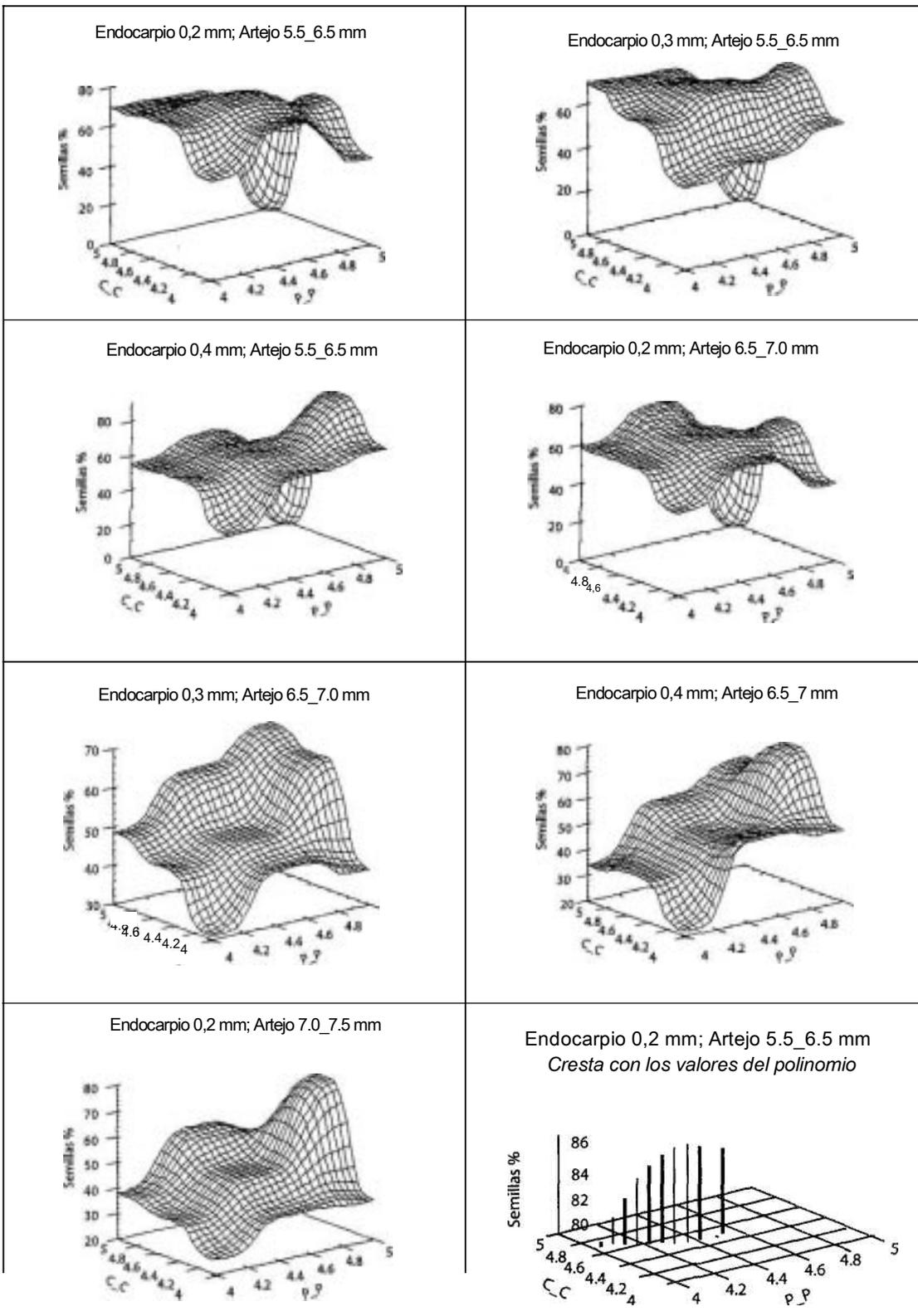


Figura 6. Tendencia de los valores promedio de respuesta del I.T. o % semillas a la variación de los factores que componen la sección de trilla en frutos que tienen artejos cuyo tamaño varía entre 5,5 y 6,0 mm; 6,0 y 7,0, 7,0 y 7,5 y el espesor es de 0,2; 0,3 o 0,4 mm.

inferiendo que el máximo está en la periferia de la superficie de respuesta o fuera de ella, por lo cual habría que seguir investigando con secciones de áreas más grandes.

Los valores de LPP y LCC ajustados menores a 1 indicarían que están dentro de la región propuesta de ensayo, y los que no, muestran hacia donde hay que orientar los próximos.

CONCLUSIONES

El sistema cilindro-cóncavo con púas piramidales colocadas en hileras paralelas al eje en la superficie del cilindro, en forma equidistante y alternadas con las púas de la hilera del cóncavo, es capaz de abrir el endocarpio y liberar las semillas, con una eficacia del 100 % cuando los artejos son pasados más de una vez por la misma área de trilla. Mientras que la máxima calidad de trilla varía entre un 62 % y un 86 %, dependiendo si el artejo es mediano o chico o si el endocarpio es grueso o delgado, acompañados en general por una variación proporcional al tamaño de los artejos, de los parámetros LPP y LCC que oscilaron entre 4,40 y 4,70 para LPP y 4,20 y 5,30 para LCC.

Se debe investigar qué sucedería en el tratamiento de los artejos más grandes con un aumento en el tamaño de los parámetros que conforman el área de trilla.

BIBLIOGRAFÍA

- Burkart, A., 1940. Materiales para una monografía del Género *Prosopis*. Darwiniana. 4:57-128.
- Cosiansi J.F. 1991. Desarrollo de un mecanismo de trilla para vainas de *Prosopis*. Tesis. Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales. U.N. de la Plata
- Cosiansi J.F., A.Irico, S. Hayipanteli y V. Alvarez, 1998. Púas como elementos para la trilla de vainas de *Prosopis flexuosa*. Agriscientia. Vol XV: 19 - 22.
- Huynh, V.M., Powell, T., SiddallJ., N., 1982; Treshing 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. pp2-16.
- Kepner, R. A., Bainer, R., Barger, E., 1972; Principles of Farm Machinery; (John Wiley & Sons, Inc.); 376.