

PERDIDAS de COSECHA de SOJA en RELACION al DISEÑO del CABEZAL UNA APROXIMACION MATEMATICA

Mario Eduardo De Simone (¹) Roberto Raúl Filgueira (²)

(¹) Ingeniero Agrónomo - Equipo de Legumbres Secas - Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria - Casilla de Correos 228 - 4400 Salta - ARGENTINA.

(²) Doctor en Física - Profesor Titular de Física Biológica e Investigador del CONICET - Fac. Cs Agr. y Forestales (U.N.L.P.) - Casilla de Correos 31 - 1900 La Plata - ARGENTINA.

1. INTRODUCCION

1. Introduction

La pérdida principal durante la cosecha de la soja (*Glycine max* L.) ocurre en la plataforma de la cosechadora. La magnitud se relaciona con su diseño y regulación Bragachini (1992), Gubiani, Lazzari, Pergher (1986) y Mesquita, Hanna (1993).

Los fabricantes han trabajado para mejorar la barra de corte, el molinete, el sinfín embocador y la mesa de la plataforma. Sobre esta última, se modificó la longitud y la pendiente.

En el parque Argentino de cosechadoras se aprecian dos alternativas de diseño: a) el "*triguero modificado*" presenta una pendiente de **35-40°** y un largo de 40-45 cm.; y b) el "*sojero integral*" una pendiente de **0-20°** y un largo 35 cm.

La pendiente define la dificultad ofrecida al material cosechado, para ascender. Conforme se incrementa, la acción del molinete debe ser más intensa.

Los estudios de los componentes de la pérdidas por plataforma sólo contemplan como causas el molinete, el sinfín embocador y la barra de corte (Dunn, Nave y Butler 1972).

En el mercado argentino de cosechadoras se ofrecen dos diseños de la mesa de la plataforma: el cabezal sojero integral y el triguero modificado. Sin embargo no se dispone de información local sobre las ventajas de uno con respecto al otro.

Se elaboró un modelo matemático, con el objetivo de analizar la influencia del diseño de la mesa de la plataforma sobre las pérdidas por cabezal en la cosecha de soja.

2. ANTECEDENTES

2. Literature review

DUNN, W.E.-NAVE, W.R.-BUTLER, B.J. (1972) consideran sólo 3 componentes de la pérdida por cabezal en la cosecha de soja y miden su participación: el molinete 5.8 %, el sinfín embocador 13 % y la barra de corte 81.1 %.

GUBIANI, R.-LAZZARI, M.-PERGHER, G. (1986) evalúan en soja: 9 cosechadoras con cabezal flexible-flotante, 12 con plataforma triguera standard y 7 con cabezal triguero modificado. No consideran el efecto del diseño de la mesa de la plataforma sobre las pérdidas, a pesar de mencionar su importancia.

PERGHER, G. y GUBIANI, R. (1987) trabajan con 40 cosechadoras: 23 con cabezal rígido para trigo, 15 con cabezal flexible-flotante integral y 2 con cabezal triguero modificado. Coinciden con investigaciones previas cuando concluyen que la plataforma produce el 76 % de la pérdida total. Se considera un amplio número de variables, pero no a la mesa del cabezal.

Los mismos autores en un dossier sobre la plataforma para la cosecha de soja (1988) entre las soluciones constructivas para reducir las pérdidas por dehiscencia,

hacen referencia al diseño de la mesa sin profundizar en la importancia y fundamento de sus variantes.

HOAG, D.L. (1972) encuentra que una pequeña cantidad de energía fue necesaria para abrir las vainas de soja a velocidades de impacto similares a las del molinete de la cosechadora y de la barra de corte. Ello coincide con los resultados obtenidos por MESQUITA, C.M. - HANNA, M.A. (1993).

TUNNELL, J.C.-NAVE, W.R.-YOERGER, R.R. (1973) Hacen referencia a la influencia negativa de la inclinación en la mesa sobre el desgrane, pero intentan reducir las pérdidas con una corriente de aire que fluye desde la barra de corte.

3. HIPOTESIS

3. Hypothesis

La energía comunicada al material cosechado por los órganos de la plataforma, se relaciona con la magnitud del desgrane y con el nivel de pérdida que ocurre durante la recolección de la soja.

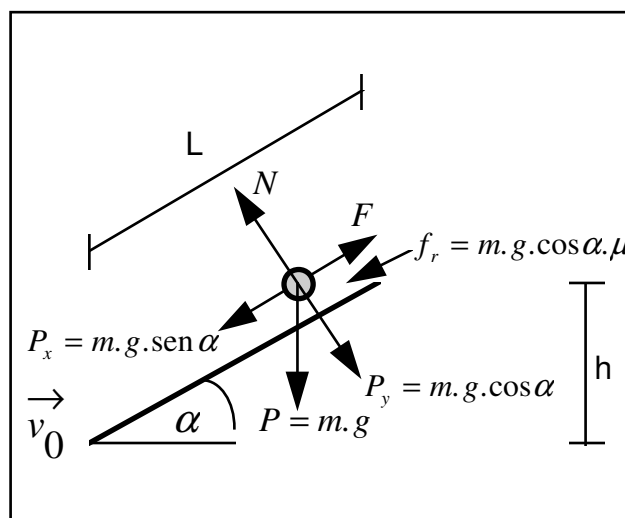
4. MODELO TEORICO

4. Theoretical Model

Se elabora un modelo teórico para interpretar los resultados registrados en campo. Se supone:

- Las plantas recogidas ingresan a la plataforma, a la velocidad con que avanza la cosechadora en el campo; y no es afectada por el proceso de corte.
- La superficie de la mesa es plana y lisa.
- Ocurren dos eventos diferentes: 1) las plantas luego de ser cortadas e ingresar a la plataforma, toman contacto con el molinete cuando su velocidad es nula; 2) las plantas toman contacto con el molinete, cuando ingresan a la plataforma.

El análisis teórico sostenido en la mecánica clásica newtoniana se representa en el gráfico n° 1:



Graf. 1 - diagrama de fuerzas

Graf. 1 - diagram of forces

Evento: Si: $v_x \neq k$ $a_x \neq 0$ $v_0 \equiv v_{x_0}$

$$\sum F_x = -P_x - f_r = -(P.\text{sen}\alpha) - (P.\text{cos}\alpha.\mu) = m.a_x \quad (1)$$

$$a_x = g.[-(\text{sen}\alpha) - (\text{cos}\alpha.\mu)] \quad (2)$$

μ : coeficiente dinámico de roce

a) Las palas del molinete impulsarán al material recogido, en x_i cuando $v_{x_i} = 0$.

$$v_{x_i}^2 = v_{x_0}^2 + 2.(a_x).x_i = 0 \quad (3)$$

$$x_i = \frac{v_{x_0}^2}{-2.a_x} = \frac{v_0^2}{-2.a_x} = \frac{v_0^2}{2.g.[(\text{sen}\alpha) + (\mu.\text{cos}\alpha)]} \quad (4)$$

el tiempo necesario (t_f) para que el material se frene puede calcularse:

$$v_{x_i} = 0 = v_0 - a_x.t_f \quad t_f = \frac{v_0}{a_x} \quad (5)$$

b) Una vez que el material cosechado se ha frenado, el molinete deberá imprimirle la velocidad suficiente (v_{x_f}) para que se desplace sobre la mesa sin que se produzcan atoramientos; la energía cinética comunicada en ese acto será:

$$\Delta E_c = \frac{1}{2}.m.v_{x_f}^2 - \frac{1}{2}.m.v_{x_i}^2 = \frac{1}{2}.m.\frac{v_0^2}{\text{cos}^2\alpha} \quad (6)$$

Evento 2:

Con el fin de obtener un flujo continuo y parejo, es necesario que el material cosechado se desplace con velocidad constante sobre la mesa de la plataforma. Razón por la cual, el molinete aplicará una fuerza (F) para equilibrar, en el eje "x", la fuerza de roce (f_r) y la componente del peso (P_x).

$$\text{Si:} \quad a_x = 0 \quad \text{y} \quad \bar{v} = \frac{v_0}{\text{cos}\alpha} = \text{cte} \quad (7)$$

$$\sum F_x = F - P_x - f_r = 0 \quad (8)$$

$$F = P_x + f_r \quad (9)$$

$$f_r = m.g.\text{cos}\alpha.\mu \quad (10)$$

el trabajo mecánico neto será:

$$W_n = F.L = (P_x + f_r).L = (L.m.g.\text{sen}\alpha) + (L.m.g.\text{cos}\alpha.\mu) \quad (11)$$

de la ecuación 8 surge:

$$F = (m.g.\text{sen}\alpha) + f_r = m.g.(\text{sen}\alpha + \mu.\text{cos}\alpha) \quad (12)$$

$$\Delta E_p = L.m.g.\text{sen}\alpha \quad (13)$$

$$W_r = L.m.g.\text{cos}\alpha.\mu \quad (14)$$

Como en ambos diseños el trabajo de roce (W_r) es aproximadamente el mismo, el trabajo mecánico realizado por el molinete se utiliza para cambiar la energía cinética del material recogido. Ello ocurre cuando se pasa del plano horizontal (v_0) al

plano inclinado (\bar{v}).

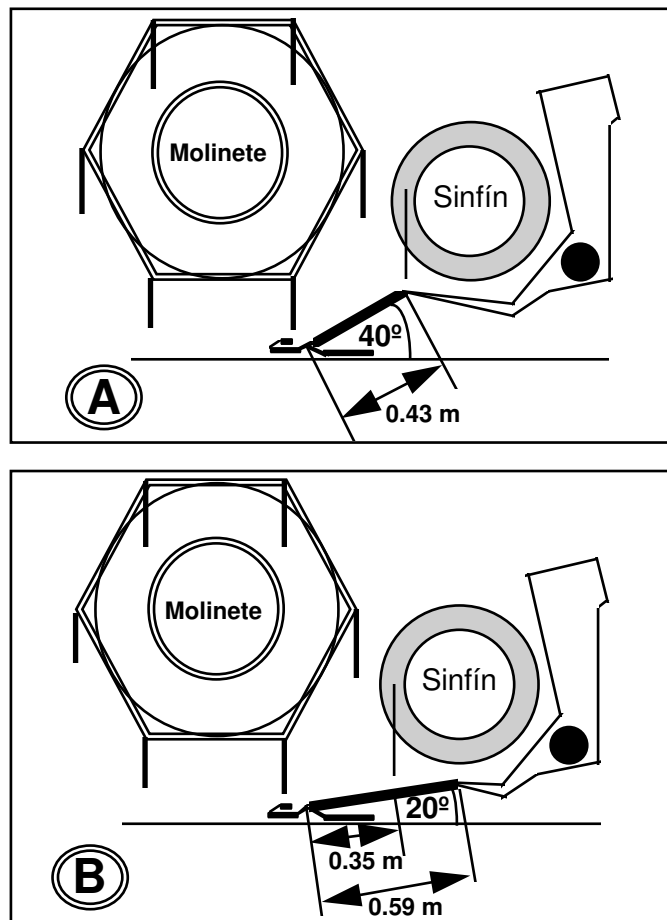
$$\Delta W = \Delta E_c = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^{-2} - \frac{1}{2} \cdot m \cdot v_0^2 = \frac{1}{2} \cdot m \left(\frac{v_0^2}{\cos^2 \alpha} - v_0^2 \right) \quad (15)$$

$$\Delta E_c = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v_0^2 \left(\frac{1}{\cos^2 \alpha} - 1 \right) \quad (16)$$

5. MATERIALES y METODOS

5. Materials and Methods

Sobre un cultivo de soja (variedad UFV 1) se realizó el 08.06.94 un ensayo de campo. Esta actividad se cumplió en la Finca San Andrés, Dpto Anta Pcia de Salta, Argentina.



Graf. 2 - Cabezal Standard (A) y Modificado (B).

Graf. 2 - Standard Head (A) and Modified (B)

Se emplearon dos máquinas combinadas marca Vassalli modelo 1200, una de ellas equipada con el cabezal standard y la otra con una plataforma modificada (gráf. 2).

La velocidad de trabajo fue $1.53 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ ($5.5 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$). Para su cálculo, se tomó el tiempo con cronómetro sobre una distancia conocida. El índice de molinete fue 1:30 y se registró con un cuentavuelvas de accionamiento manual.

Ambas fueron provistas de un dispositivo mecánico-hidráulico copiador del terreno, secciones de cuchilla y puntoneas de 76,2 mm.

Se escogió un sector del campo caracterizado por: estar libre de malezas, la uniformidad en el desarrollo del cultivo y en la maduración. La altura de las plantas fue 0,67 m., la humedad de los granos 16 % y la producción de grano fue 0,2 kg/m².

Antes del pasaje de cada máquina por el lugar de muestreo, se recogieron 30 muestras a fin de evaluar las pérdidas naturales de precosecha. Cada una de ellas tuvo una superficie de 0,5 m² (2,8 m. de ancho por 0,18 m. de largo) y abarcaron exactamente la mitad izquierda del ancho de la plataforma en el sentido del avance.

Cada cuadro de 0,5 m². fue delimitado sobre el piso con cal blanca y luego del pasaje de las máquinas se registró en el mismo sitio, sólo las pérdidas provocadas por el cabezal. Para ello fue necesario detener las cosechadoras y en cada caso recoger del piso manualmente los granos de soja, antes de que fuera descargado el material proveniente de zarandas y sacapajas.

Los resultados fueron analizados estadísticamente según un diseño completamente aleatorizado para 2 tratamientos con 30 repeticiones y se empleó el test de tukey para comparar las medias de los tratamientos.

6. RESULTADOS y DISCUSION

6. Results and Discussion

Se operó con las ecuaciones propuestas en el apartado 4 y los datos siguientes:

velocidad de trabajo (v_0): 1,53 m.s⁻¹. ang. de la mesa (α): 20° y 40°

coef. de roce dinámico (μ): 0,2 veloc. angular del molinete (rpm): 34,58

Largo de la mesa (L): 0,43 m. y 0,35 m (graf. 2)

Los resultados obtenidos fueron:

ecuación número	mesa standard	mesa modificada
(4)	0,15 m	0,22 m.
(6)	1,99 (J/kg)	1,32 (J/kg)
(7)	1,99 m.s ⁻¹ .	1,32 m.s ⁻¹ .
(10)	1,50 (J/kg)	1,84 (J/kg)
(12)	7,80 (N/kg)	5,19 (N/kg)
(13)	2,71 (J/kg)	1,17 (J/kg)
(14)	0,64 (J/kg)	0,64 (J/kg)
(16)	0,824 (J/kg)	0,155 (J/kg)

Con respecto a las pérdidas registradas en el campo, se observó una diferencia significativa al 5 % entre la media del cabezal standard (**93,3 kg/ha**) y la producida por el cabezal modificado (**74,1 kg/ha**), que significa una reducción del 26 %.

La pendiente mayor del cabezal standard con respecto al modificado, resulta en: mayor aceleración negativa (ec.2), el molinete aplica una fuerza (F) de mayor magnitud (ec. 12) y comunica más energía al material recogido (ec. 6 y 16).

Hoag (1972) estima la energía por impacto requerida para desgranar soja en 0.018 J/vaina (con 10-15% de humedad). Mesquita y Hanna (1993) registran 0.013 J/vaina (con 10 % de humedad).

Si se considera que por unidad de masa en un cultivo de soja hay más de 1000 vainas, de acuerdo con estos autores y las ec. 6 ó 16 la energía comunicada por el

molinete al material cosechado por ambos cabezales, no sería suficiente para producir desgrane.

En la mesa standard se observó que el material recogido se frenaba de *manera intermitente*. Para subir requería una acción más enérgica del molinete y como consecuencia era golpeado un número mayor de veces. Esto provocaba la compresión del material ubicado sobre la mesa y la velocidad de flujo disminuía. Por ello fue necesario llevar el molinete hacia atrás. Como consecuencia aumentó el desgrane pues, las plantas colisionaban con el sinfín a mayor velocidad que en el cabezal modificado y se producía interacción entre molinete y sinfín.

Ello concuerda con lo propuesto en las ecuaciones 4 y 5, pues en el cabezal standard el material se frenaría a los 0,15 m. de la barra de corte y volvería a frenarse luego de 0,25 m., por lo tanto debe ser impulsado dos veces. Mientras que en el cabezal integral se frenaría una vez a 0,225 m. del ingreso a la mesa y sólo sería necesario impulsarlo en una oportunidad.

Por ello, si en el experimento de campo se hubiese determinado la velocidad tangencial del molinete con la ecuación 7, en el cabezal modificado las plantas hubiesen colisionado con el sinfín, aún con menor velocidad.

Concuerda con lo propuesto en el modelo teórico y coincide con Pergher y Gubiani (1986-87-88) cuando sugieren, en este sentido, que el cabezal integral para soja ofrece mejor rendimiento.

En los trabajos realizados por Dunn et al (1972) se miden las pérdidas que separadamente provocan: la barra de corte, el molinete y el sinfín embocador. El desgrane provocado por la colisión, puede haber sido adjudicado al sinfín.

6. CONCLUSIONES

6. Conclusions

La pendiente de la mesa de la plataforma influye sobre el nivel de pérdidas de cosecha de soja.

Para que el material fluya parejo, en el cabezal standard el molinete debe trabajar con mayor velocidad angular y más cerca del sinfín. Se comunica más energía a las plantas de soja, se produce interacción entre ambos dispositivos lo resulta en: más desgrane y una proporción mayor de granos cae al piso o rueda desde la plataforma.

El índice del molinete (I.M.) o avance cinemático, depende de la pendiente de la mesa de la plataforma. Su magnitud será aproximadamente: $I.M. = \frac{1}{\cos \alpha}$

7. REFERENCIAS

7. References

- (1) BRAGACHINI, M. et al , *Uso de Molinete Neumático y de Sistema de Corte de Paso Angosto para Reducir las Pérdidas por Cabezal en la Cosecha de Soja* - 24^o Conf. Inter. de Mec. Agr. - España (1992) 423-428.
- (2) DUNN, W.E. - NAVE, W.R. - BUTLER, B.J., *Combine Header Component Losses in Soybean* - ASAE Paper 72-623 (1972) - pp 8
- (3) GUBIANI, R. - LAZZARI, M. - PERGHER, G. , *Inadagine sulle Perdite di Raccolta della Soia* - Riv. di Ing. Agr. (1986), (4): 217-226.
- (4) HOAG, D.L. , *Properties Related to Soybean Shatter*. Trans. of the ASAE (1972) 15 (3): 494-497.
- (5) MESQUITA, C.M. - HANNA, M.A. , *Soybean Threshing Mechanics: II. Impact*. Trans. of the ASAE (1993) 36 (2): 281-284.

- (6) PERGHER, G. - GUBIANI, R. - *Indagine sulle Caratteristiche di Lavoro delle Macchine per la Raccolta della Soia* - Riv. di Ing. Agr. (1987), (3):183-192.
- (7) PERGHER, G. - GUBIANI, R. - *Le Testate per la Raccolta della Soia* - Macch.Mot.Agr. (1988), (2): 33-39.
- (8) TUNNELL, J.C. - NAVE, W.R. - YOERGER, R.R. , *Reducing Soybean Header Losses with Air* - Trans. of the ASAE (1973) 16 (6): 1020-1023.

NOMENCLATURA

Nomenclature

L: longitud de la mesa

F: fuerza ejercida por el molinete

P: peso del material

v_0 : velocidad de la cosechadora

m : masa del material

v_x : velocidad media en el eje "x"

v_{x_i} : velocidad en el punto "i"

\bar{v} : velocidad media en el eje "x"

x_i : camino recorrido hasta el punto "i"

W_r : trabajo de roce

E_c : energía cinética

μ : coeficiente dinámico de roce

N: fuerza normal

f_r : fuerza de roce

h: altura de la mesa

α : pendiente de la mesa

g : aceleración de la gravedad

v_{x_0} : velocidad inicial en el eje "x"

v_{x_f} : velocidad final en el eje "x"

a_x : aceleración en el eje "x"

W_n : trabajo mecánico neto

E_p : energía potencial

t_f : tiempo de frenado

RESUMEN**PERDIDAS de COSECHA de SOJA en RELACION al DISEÑO del CABEZAL
UNA APROXIMACION MATEMATICA**

La principal pérdida de cosecha de soja la provoca el cabezal. Se conoce la importancia del molinete, el sinfín, la barra de corte y muy poco sobre el diseño de la mesa de la plataforma. Se trabajó con el objetivo de estudiar la influencia de su diseño sobre la pérdida, causada por la plataforma, durante la recolección de soja. Se elaboró un modelo teórico según la mecánica clásica, para interpretar los resultados registrados en campo. Se emplearon dos combinadas idénticas cuyas plataformas diferían sólo en el diseño de la mesa: a) con 40° de pendiente y 0,43 m de longitud; b) con 20° de pendiente y 0,35 m de largo. Se concluye que: 1) con mayor pendiente se comunica más energía al material cosechado y en consecuencia se incrementa la pérdida por desgrane; 2) el avance cinemático del molinete depende de la pendiente de la mesa de la plataforma.

Palabras clave: soja, cosecha, pérdidas, plataforma.

RIASSUNTO**PERDITE di RACCOLTA della SOIA in RAPPORTO al DISEGNO della TESTATA
UNA APPROSSIMAZIONE MATEMATICA**

Le perdite principali di raccolta della soia, vengono prodotte dalla testata. Si conosce l'importanza dell' aspo, della coclea convogliatrice, della barra falciante, ma quasi nulla sul piano di collegamento. Si è lavorato allo scopo di studiare il rapporto tra il disegno del piano di collegamento e le perdite di testata durante la raccolta della soia. Sulla base della meccanica classica è stato fatto un modello teorico per interpretare più precisamente i risultati registrati in campagna. L'indagine ha interessato due mietitrebbie identiche, che differivano soltanto nel disegno del piano di collegamento: a) 40° di inclinazione e 0,43 m di lunghezza; b) 20° di inclinazione e 0,35 m di lunghezza. Si è concluso che: 1) se la pendenza del piano di collegamento è maggiore, viene comunicata più energia alle piante raccolte, e dunque le perdite per deiscenza salgono; 2) la velocità periferica dell' aspo dipende dell' inclinazione della lamiera di collegamento, fra la barra e la piattaforma.

Parole chiave: soia, raccolta, perdite, testata.

SUMMARY**SOYBEAN COMBINE LOSSES as AFFECTED by the HEADER DESIGN
A MATHEMATICAL APPROACH**

The main component of the soybean combine losses is caused by the header. The effect of the pick-up reel, the auger, the cutterbar are well known but very little is known about the transition plate between the cutterbar and the header platform. The present work was carried out to study the effect of the transition plate design, on soybean header losses. In order to interpret the field experimental data, a theoretical model in the framework of classical mechanics was made. Two identical combines were used with two different designs for the transition plate: a) a slope of 40° and a length of 0,43 m.; b) a slope of 20° and a length of 0,35 m.. The results showed that: 1) with a steeper plate more energy is applied to the material-plants and therefore the shattering loss increases (74,1 kg/ha and 93,3 kg/ha for standard and modified head respectively); 2) the pick-up reel peripheral velocity depends on the transition plate slope.

Keywords: soybean, harvest, losses, header.