

# Evaluación de distintos materiales de construcción en el escudo del cabezal de la cosechadora de girasol (*Helianthus annuus* L.) para la reducción del desgrane del capítulo

Mavolo, L., Rivero, D. y Botta, G

DOI: 10.31047/1668.298x.v39.n2.37537

## RESUMEN

En la cosecha, el mayor porcentaje de pérdidas de granos se produce en el cabezal de la cosechadora. Este supera el 70 % del total de pérdidas en el cultivo de girasol (*Helianthus annuus* L.). Los objetivos de este trabajo fueron ensayar los distintos materiales de fabricación del escudo del cabezal girasolero a distintas velocidades, para disminuir pérdidas por impacto; y proponer distintas velocidades recomendadas para cada material. El ensayo fue realizado sobre girasol confitero (Híbrido NTC 90). Se utilizó un cabezal marca Mainero. Este fue probado con dos velocidades de avance diferentes (6,5 km/h y 8 km/h) con tres escudos construidos con diferentes materiales: un escudo de chapa de 2 mm de espesor, un escudo recubierto de elastómero, y un escudo construido en fibra de vidrio. El parámetro evaluado fue la pérdida de granos en el cabezal de la cosechadora. Los resultados que se obtuvieron indican que el escudo de fibra de vidrio presentó el menor porcentaje de pérdidas de grano y que a 8 km/h las pérdidas de granos superaron los valores recomendados, independientemente del escudo utilizado. Se concluye que la utilización de materiales más elásticos reduce las pérdidas.

**Palabras clave:** cultivo, rendimientos

Mavolo, L., Rivero, D. and Botta, G. (2022). Evaluation of different construction materials in the shield sunflower harvester head (*Helianthus annuus* L.) for the reduction of capitulum shelling. *Agriscientia* 39 (2): 65-73

## SUMMARY

In the harvest, the highest percentage of grain losses occurs in the harvester head. This exceeds 70 % of the total loss in the cultivation of sunflower (*Helianthus annuus* L.). The objectives of this work were to test the different manufacturing materials of the shield of the sunflower head at different speeds

to reduce losses due to impact and to propose different recommended speeds for each material. The test was carried out on confectionery sunflower (Hybrid NTC 90). A Mainero brand head was used. It was tested at two different forward speeds (6.5 km/h and 8 km/h) with three shields made of different materials: a 2 mm thick sheet metal shield, a shield covered with elastomer, and a shield made of fiberglass. The parameter evaluated was the loss of grains in the harvester head. The results obtained show that the fiberglass shield presented the lowest percentage of grain losses and that at 8 km/h grain losses exceeded those recommended regardless of the shield used. It is concluded that the use of more elastic materials reduces grain loss due to impact.

**Keywords:** cultivation, yields

*Mavolo, L. (ORCID: 0000-0001-8304-1016): Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Trenque Lauquen, Trenque Lauquen 6400, Buenos Aires, Argentina. Rivero, D. (ORCID: 0000-0002-8891-0492): Universidad Nacional de La Pampa, Facultad de Agronomía, Santa Rosa L6300, La Pampa, Argentina. Botta, G. (ORCID: 0000-0002-6302-921X): Universidad Nacional de Luján, Departamento de Tecnología, Luján 6700, Buenos Aires, Argentina*

Correspondence to: [lucamavolo@agro.uba.ar](mailto:lucamavolo@agro.uba.ar)

## INTRODUCCIÓN

El girasol (*Helianthus annuus* L.) es el cuarto cultivo más importante de Sudamérica, que le dedica una superficie total de aproximadamente 1,56 millones de hectáreas. Los principales productores son Argentina y Paraguay, que juntos produjeron 3,77 millones de toneladas métricas en la temporada 2015/2016 (Botta et al., 2018).

En la última campaña de girasol 2018/2019, solamente en Argentina se sembraron 1.850.000 has, con una producción de unos 3,85 millones de toneladas (Ministerio de Producción y Trabajo, 2019). Con estos rendimientos, resulta importante reducir las pérdidas de cultivo al momento de la cosecha. A este respecto, debe considerarse que, durante la labor de cosecha, el mayor porcentaje de pérdidas de granos se produce en el cabezal de la cosechadora. Según PROPECO-INTA, el porcentaje es superior al 80 % del total de las pérdidas que se produce en la cosechadora.

Ciertas pérdidas son evitables. Este es el caso de las que se producen por los factores que enumeramos a continuación: golpes del cabezal sobre los capítulos; caída de los capítulos hacia adelante o a los costados; desgrane, antes de ser tomados por la máquina; trozos de capítulos no trillados o no tomados por el cabezal, ya que provienen de plantas caídas; zarandas tapadas o que no corresponden; viento mal dirigido; excesiva velocidad de avance de la cosechadora que sobrecarga la separación (Bragachini et al., 2001).

Dentro de los factores que componen el rendimiento final que obtiene el productor, la eficiencia de la cosecha sigue siendo clave, ya que incide directamente en la rentabilidad. Es aún una materia pendiente para los sistemas productivos argentinos. Es importante destacar que para Bragachini et al. (2001) las evaluaciones de pérdidas indicaban valores de más de 135 kg/ha en promedio (precosecha + cosechadora), fundamentalmente provocadas por desgrane en el cabezal; cifra que, multiplicada por el área de siembra y precio actual del girasol, asciende a 57 millones de dólares de pérdidas.

Según Chancellor y Cervinka (1975), Nyborg et al. (1981) y Hunt (2001), el éxito en la cosecha de cualquier cultivo de granos se basa en lograr la menor pérdida posible, así como la mayor calidad del grano cosechado. Esto no escapa al cultivo de girasol (*Helianthus annuus* L.). Se trata de un cultivo muy particular, ya que las pérdidas de granos se estiman por el tamaño de las pérdidas de los capítulos sin cortar, los capítulos cortados (que quedaron en suelo) y las semillas. Todo esto es afectado no solo por el diseño de los cabezales, sino también por los parámetros cinemáticos, en particular, el de la velocidad de la cosechadora.

En relación con la velocidad de avance de la cosechadora, Hunt (2001) demostró la importancia de este parámetro. El autor encuentra que las pérdidas generales de granos en el cultivo de girasol aumentan a medida que aumenta la velocidad. El

crecimiento de las pérdidas es directamente proporcional a la velocidad, y puede alcanzar el 4 % del rendimiento total del cultivo de girasol, con un aumento de velocidad de avance de la máquina de 3,2 km/h hasta 5,6 km/h.

Chancellor y Cervinka (1975) también investigaron el efecto de la velocidad combinada en el progreso del proceso de cosecha de girasol. Estos autores demostraron que la velocidad normal o racional para la cosecha de girasol es de 5 a 7 km/h, con valores más bajos recomendados para semillas secas. Respecto al antecedente citado, resulta relevante considerar su vigencia en la actualidad con relación a la cosecha de girasol confitero. Tal es el caso de las semillas de muy baja humedad, ya que el capítulo sigue siendo frágil para el desgrane, en comparación con un girasol aceitero, que tiene un contenido de humedad mayor.

Según los autores mencionados, los principales factores y variables de las pérdidas son: a) la velocidad de avance de la cosechadora; y b) el impacto del escudo sobre el capítulo. Estas variables están vinculadas de forma directa con la energía cinética y la resiliencia del material del escudo del cabezal.

González y Palazon (1960) explican que, en los ensayos industriales, para conocer la resiliencia o la capacidad de los materiales para absorber cargas dinámicas (impacto) se realiza lo que se denomina "ensayo de choque". Este ensayo determina la fragilidad o capacidad de un material para absorber cargas instantáneas, por el trabajo necesario para producir la fractura de la probeta de un solo golpe y de este modo, obtener lo que se denomina "resiliencia". La resiliencia de un material se mide en  $\text{kgm/cm}^2$ .

El módulo de elasticidad (directamente relacionado con la resiliencia de cada material) de la chapa, que se utiliza en los escudos de los cabezales, equivale a 199,94 GPa; mientras que el de un material más elástico, como un polímero termo rígido reforzado con fibra de vidrio tipo E (PTFV), equivale a 84,5 GPa.

Para entender esto e identificar las variables críticas que determinan las hipótesis del trabajo a formular, se procede a la demostración matemática de la simulación del impacto de un capítulo de girasol, con el escudo de la plataforma que desarrolla Guzmán (1976). Así, se presenta un paralelismo con la caída de un cuerpo de peso "Q", desde una altura "h", hacia una barra con dos puntos de apoyo que, por efecto del choque, aparecen tensiones. El planteo es de carácter dinámico y se resuelve por aplicación de trabajo de deformación, suponiendo que todo trabajo mecánico externo

se transforma sin pérdida en energía de deformación y despreciando la energía de deformación del cuerpo que cae. En nuestro caso, el choque del capítulo con el escudo.

El escudo de los cabezales posee dos puntos de apoyo sobre los brazos hidráulicos del cabezal, permitiendo la similitud de cálculo barra-caída del objeto. A continuación, se presenta la demostración matemática de tracción por choque:

- El peso "Q" (girasol) deformará elásticamente la barra (escudo) en una cantidad  $\pm$  de manera que el trabajo realizado será:

$$T_e = Q * (h + \delta)$$

- Este trabajo externo, realizado por el impacto del peso, se transforma o gasta en provocar la deformación  $\pm$  que se convierte en un trabajo interno de deformación (escudo); es decir, una deformación elástica.

$$T_i = \frac{1}{2} * \sigma * \varepsilon$$

Donde:  $\sigma$  = tensión

$\varepsilon$  = deformación

- El trabajo total será:

$$T_i = \frac{1}{2} * \sigma * \varepsilon * V$$

$$T_i = \frac{1}{2} * \sigma * \varepsilon * A * l$$

Donde: V = volumen de la barra; A = área; l = largo de la barra.

- Sabiendo que la tensión es igual al módulo elástico multiplicado por la deformación.

$$\sigma = E * \varepsilon = E * \delta / l$$

- Quedando el trabajo interno:

$$T_i = \frac{1}{2} * \sigma * E * (\delta^2 / l) * A$$

- Aplicando el principio de igualdad de los trabajos:

$$T_e = T_i$$

$$Q * (h + \delta) = \frac{1}{2} * \sigma * E * (\delta^2 / l) * A$$

- Igualando a "0" y dividiendo por el coeficiente ( $\delta^2$ ):

$$\delta^2 = [(2 * l * Q) / (E * A)] * \delta - [(2 * l * Q) / (E * A)] * h = 0$$

- Si se supone Q como una fuerza concentrada estática, por la Ley de Hooke, la deformación que produce es  $[(l * Q) / (E * A)]$  y se identifica con ( $\delta_{st}$ ) esta deformación estática:

$$[(l * Q) / (E * A)] = (\delta_{st})$$

- Reemplazando en la expresión anterior:

$$\delta^2 - 2 * (\delta_{st}) * \delta - 2 * (\delta_{st}) * h = 0$$

- La solución de esta ecuación da dos valores de  $\delta$ . De esta manera, se toma el mayor, pues a mayor deformación corresponde una mayor tensión, y el objetivo es conocer el valor de la

tensión máxima.

$$\delta = \delta_{st} + [\delta^2 + 2^*(\delta_{st})^* h]^{1/2}$$

- Los valores de  $\delta_{st}$  en general son de fracciones de milímetros, es decir, son valores muy pequeños frente a  $h$ , con suficiente aproximación se pueden despreciar el  $\delta_{st}$  y  $\delta_{st}^2$  quedando:

$$\delta = [2^*(\delta_{st})^* h]^{1/2}$$

- Transformando esta expresión para poder discutir los distintos factores que intervienen y reemplazando el valor de  $\delta_{st}$  y teniendo en cuenta que:

$h = v^2/2g$  donde:  $v$  velocidad de impacto.

- Resulta:

$$\delta = [2^*[(I^*Q)/(E^*A)]^* v^2/2g]^{1/2}$$

$$\delta = [(2^*I)/(E^*A)]^* (Q^*v^2/2g)]^{1/2}$$

- El cociente  $Q/g$  es la masa del cuerpo (girasol). Por lo tanto, la segunda expresión es la energía cinética. Y considerando la tensión:

$$\sigma = E * \varepsilon = E * \delta/l$$

- Reemplazando el valor de deformación de  $\delta$  con la ecuación anterior y simplificando, la expresión queda:

$$\delta = [(2^*E)/(A^*I)]^* (Q^*v^2/2g)]^{1/2}$$

Guzmán (1976), en la última expresión, muestra que la tensión producida por el choque, en el caso de tracción simple, es directamente proporcional a la raíz cuadrada de la energía cinética y del módulo de elasticidad.

Por otra parte, la expresión indica que  $\delta$  es proporcional al módulo elástico, explicando por qué ciertos materiales, como la goma o el corcho, absorben sin ruptura las tensiones producidas por choques.

En la demostración, la variable “ $h$ ” está considerada en caída libre. Sin embargo, teniendo en cuenta esa distancia en función de la velocidad de avance de la cosechadora, la expresión queda en función de la velocidad por el tiempo. Así, la expresión final queda en función de  $(m^*v)$  en lugar de la energía cinética, siendo la variación de la “cantidad de movimiento”; es decir, el impulso provocado sobre el capítulo por el escudo.

De la demostración se obtiene que los materiales de menor módulo elástico poseen mayor capacidad de absorción de tensiones. También se destaca que la distancia entre soportes, a mayor largo de la barra en el caso del cabezal del escudo, disminuye las tensiones. Y, como factor clave, se destaca la velocidad de cosecha, dado que es directamente proporcional al aumento de tensiones, provocando mayor energía cinética e impulso sobre el capítulo.

El segundo concepto físico que influye, dada la demostración matemática, es el movimiento lineal o cantidad de movimiento, donde se puede estudiar el impacto recibido en el girasol por el escudo. Considerando que, como se mencionó en el párrafo anterior, el movimiento lineal es clave en el aumento de tensiones provocado por cargas dinámicas. Esto se debe a que “el cambio del momento lineal de una partícula durante un intervalo de tiempo es igual al impulso de la fuerza neta que actúa sobre la partícula durante ese intervalo” (Sears y Zemansky, 2009).

Según Farrel (2005), en Argentina, los valores de pérdidas de girasol, en las distintas zonas de cosecha, se deben a excesos de velocidad de avance de las cosechadoras relevadas. En este sentido, es importante mantener la capacidad de trabajo. Para ello, se recomienda maximizar el ancho de corte de los cabezales (según grupo de potencia) y, así, mantener la velocidad de avance en valores cercanos a 7,5 km/h.

Como objetivo principal, lo que se pretende de un cabezal girasolero es que sea liviano, y posea un ancho de labor de 10 a 24 surcos. Sin embargo, lo más importante es captar los capítulos de girasol con una mínima proporción de tallo y una mínima pérdida de semillas. Esto se puede lograr elevando el cabezal de la cosechadora, lo suficientemente alto como para absorber las cabezas, mientras reduce la cantidad de tallo y mantiene la cabeza intacta. De este modo, pasa a través de la cosechadora, completa o en algunas piezas grandes. Finalmente, además de la regulación del cabezal, se debe agregar que un capítulo de girasol contiene muchas semillas, por lo que asegurarse de que todas pasen por la cosechadora será el principal objetivo para reducir las pérdidas de grano (Nalobina et al., 2019).

A partir del relevamiento y análisis realizado, la investigación actual se orientó en dos direcciones:

- Investigación destinada a optimizar los parámetros cinemáticos; en particular, la velocidad de avance de la cosechadora.
- Investigación dirigida a mejorar el diseño del cabezal para mejorar la calidad del proceso de cosecha, al reducir el daño a las semillas y sus pérdidas en la labor de campo.

Entonces, frente a una situación productiva específica como la nuestra, en el marco de una economía debilitada, que implica márgenes bajos para el productor y el contratista junto a la situación de empresas de maquinarias agrícolas y repuestos, este trabajo tratará, orientado por los objetivos mencionados, de hacer un aporte para reducir las pérdidas de granos de girasol en la cosecha y,

de esa manera, alivianar el margen productivo de dicho cultivo.

El presente trabajo analiza el desempeño de tres tipos de materiales de fabricación del escudo del cabezal girasolero, para lograr el menor desgrane al momento de la cosecha. Además, evalúa el desgrane del girasol a dos velocidades de avance diferentes, muy comunes en la zona de estudio, y propone una combinación armónica entre los materiales de construcción del escudo del cabezal, con las velocidades de avance ensayadas. Así, se espera producir una reducción en el desgrane de girasol, que permita mayor rentabilidad para los actores involucrados.

De los antecedentes recopilados, surgen dos hipótesis de trabajo: Hipótesis 1: El uso de materiales más elásticos en la construcción del escudo del cabezal girasolero produce una reducción del desgrane al momento de la cosecha.

Hipótesis 2: El desgrane del girasol, debido al impacto contra el escudo del cabezal girasolero, está vinculado directamente con la velocidad de avance de la máquina.

## MATERIALES Y MÉTODOS

El ensayo se llevó a cabo en el Establecimiento "Nueva Castilla", situado en el Paraje Mari Lauquen, Partido de Trenque Lauquen (Buenos Aires) 36° 08' 38,6" S, 62° 58' 22,1" O. Se realizó sobre un lote de 190 ha, sembrado con girasol confitero, implantado durante la campaña 2019/2020. El híbrido de girasol era un NTC 90 de la firma Argensun, cuya fecha de siembra fue el 23/10/2019, a una densidad de 38.000 semillas/ha, con una separación entre líneas de 0,7, obteniéndose 32.000 plantas/ha logradas. El ensayo fue realizado el jueves 5 de marzo a las 10 am, con una humedad en grano del 8 %.

La cosechadora utilizada en el ensayo de campo fue una John Deere S670. Esta se desplazó a dos velocidades diferentes: 6,5 km/h y 8 km/h. El cabezal utilizado fue un Mainero Modelo 51739, serie 21, año 2009, N° 10985, de 40 pies.

Para emular las tres alternativas de construcción del escudo, se realizaron las modificaciones pertinentes en el cabezal para mantener una dimensión equitativa para cada uno de ellos.

Tratamiento OR: escudo original del cabezal (chapa de 2mm); tratamiento FV: escudo construido de polímero termo rígido de fibra de vidrio; y tratamiento CS: escudo recubierto con caucho sintético (elastómero). En la Figura 1, se puede observar la distribución de cada uno de los escudos

a ensayar en el cabezal girasolero.

Para la primera alternativa de estudio, identificada como OR, se utilizó el escudo original del cabezal, construido en chapa plegada de 2 mm.

Para la segunda alternativa, identificada como FV, se fabricó un escudo prototipo compuesto por un polímero termo rígido reforzado con fibra de vidrio, con las mismas dimensiones que el escudo de chapa. El objetivo fue buscar un material más elástico que la chapa, capaz de absorber el impacto de los capítulos. La fibra de vidrio se usó como refuerzo de matrices de plástico, para formar compuestos estructurales y compuestos de moldeo. Las características favorables que poseen son: alta relación entre resistencia y peso; buena estabilidad dimensional; buena resistencia al calor, al frío y a la humedad; resistencia a la corrosión; fácil fabricación; bajo costo. El tipo de fibra de vidrio utilizada fue Vidrio E, compuesto de cal, aluminio y borosilicato. El polímero termo rígido utilizado fue resina epoxi, que posee buena resistencia a químicos y solventes, además de buenas propiedades mecánicas. Dadas tales características, se trata de un material viable para el uso agrícola, ya que es resistente al desgaste y a las condiciones ambientales, y de fácil fabricación para grandes dimensiones como la maquinaria agrícola.

La tercera alternativa, identificada como CS, fue un escudo de chapa plegada de 2 mm de espesor, con un recubrimiento de caucho; en este caso, un elastómero sintético. Es similar en dimensiones a los cabezales Mainero. El recubrimiento de caucho sintético se propuso con el objetivo de utilizar un material elástico y dúctil, capaz de absorber el impacto contra el cultivo. Es resistente a las condiciones climáticas externas, a solventes y aceites. El caucho sintético utilizado se compone de copolímero estireno – butadieno (SBR). Los grupos de estireno aportan un 25 % más de rigidez y resistencia a la abrasión y al calor, comparado al elastómero natural. Estas propiedades del recubrimiento son necesarias para su vida útil, dado que se encuentra expuesto a las condiciones ambientales y al uso propio de la cosecha. Frente a las posibilidades de mantenimiento de la maquinaria donde se vuelcan aceites y solventes, debería considerarse un elastómero con un grupo de nitrilo que aporte resistencia a la acción de los solventes.

Las regulaciones de la máquina fueron hechas por el maquinista. A su vez, las velocidades de cosecha fueron establecidas en 6,5 km/h y 8 km/h, para cada material. Todo el ensayo se realizó sobre tres hileras equidistantes, en pasadas de 50 m, medidas desde la máquina con 10 repeticiones, donde, debajo de cada una, se colocó un tope



**Figura 1.** Distribución de los escudos y topes en bandejas en cada uno de los surcos para la evaluación de desgrane por impacto

para evitar que las semillas ingresen al sinfín del cabezal. Luego de cada pasada, se colocaron las semillas que se encontraban en las bandejas en una bolsa codificada con velocidad y tipo de escudo, para su posterior pesaje en una balanza de precisión de laboratorio. De esta forma, se determinó que los distintos materiales a distintas velocidades ejercieron un mayor impacto sobre el capítulo, provocando un mayor desgrane.

El desgrane provocado en el capítulo, producto del impacto de este con el escudo, se midió pesando los granos recolectados en las bandejas del cabezal. Para esto, se colocó un tope en las bandejas de los surcos definidos para la recolección total de semillas.

### Análisis estadístico

El análisis de los datos obtenidos se realizó mediante un modelo de ANOVA, para una vía con el programa InfoStat Versión 2018 (Di Rienzo et al., 2018). El criterio empleado para expresar los resultados de los test de comparación de medias fue el test de diferencia mínima significativa (DMS), con un nivel de significación de ( $p < 0,05$ ).

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos del ensayo para el muestreo y posterior análisis estadístico, se codificaron de la siguiente manera:

- OR65: escudo Original a velocidad de 6,5 km/h.
- FV65: escudo Fibra de Vidrio a velocidad de 6,5 km/h.
- CS65: escudo Caucho Sintético a velocidad

de 6,5 km/h.

- OR8: escudo Original a velocidad de 8 km/h.
- FV8: escudo Fibra de Vidrio a velocidad de 8 km/h.
- CS8: escudo Caucho Sintético a velocidad de 8 km/h.

A continuación, se analizaron los desgranes obtenidos entre los distintos escudos a las dos velocidades propuestas.

Análisis para una velocidad de 6,5 km/h con los tres tipos de escudo:

**Tabla 1.** Análisis de Comparación de Medias con la Prueba LSD Fisher en la velocidad de 6,5 km/h

<b>Desgrane promedio recolectado por bandejas (datos del ensayo)</b>	
<b>FV65</b>	38,91 gramos <b>a</b>
<b>OR65</b>	47,73 gramos <b>b</b>
<b>CS65</b>	53,98 gramos <b>c</b>

Medias con la misma letra indican que no hay diferencias significativas ( $p > 0,05$ ).

Como se puede observar en la Tabla 1, con el test LSD Fisher, las tres medias de cada uno de los tratamientos demuestran diferencias significativas en el desgrane provocado, siendo el de menor proporción el escudo de FV65, seguido por el OR65 y, por último, el CS65. Como la velocidad ha sido la misma para los tres tratamientos, los resultados derivan de una sola variable que afecta en dos aspectos. Como se mencionó en el apartado introductorio (en la demostración matemática), el impacto provocado sobre el capítulo, induciendo cargas dinámicas en el mismo, es directamente proporcional al módulo elástico de cada material y de la energía cinética. El módulo elástico, al ser menor en materiales poliméricos que en los metales, permite una mejor absorción de las cargas instantáneas, tal y como se observa en el resultado del desgrane del girasol. La energía cinética en los tres tratamientos también difiere, y se ve reflejado en la misma jerarquía en los resultados del desgrane, dado que la energía varía de acuerdo a la velocidad que, en este caso, es la misma para los tres, a su vez, también varía en la cantidad de masa, siendo esta mayor en el escudo CS65, seguido por el OR65 y, por último, el FV65, reflejando la misma jerarquía en el desgrane.

En la Tabla 2, a diferencia del ensayo a 6,5 km/h, se observan similitudes entre algunos de sus tratamientos. No se evidencian diferencias significativas entre FV8 y OR8, ni entre OR8 y CS8, pero sí varía entre FV8 y CS8. Esto se debe a que existe una gran diferencia en sus masas entre estos últi-

**Tabla 2.** Análisis de Comparación de Medias con la Prueba LSD Fisher en la velocidad de 8 km/h

<b>Desgrane promedio recolectado por bandejas (datos del ensayo)</b>	
<b>FV8</b>	65,56 gramos <b>a</b>
<b>OR8</b>	99,01 gramos <b>a b</b>
<b>CS8</b>	103,18 gramos <b>b</b>

Medias con la misma letra indican que no hay diferencias significativas ( $p > 0,05$ ).

mos dos, lo que provoca mayor energía cinética aplicada sobre el capítulo.

En los resultados obtenidos, tanto a 6,5 km/h como a 8 km/h, se observa la demostración matemática final de Guzmán (1976). Considerando que la velocidad de avance es igual para los tres tratamientos en ambos ensayos, y también sus dimensiones, la única variable que hace que difieran las tensiones entre ellos es el módulo elástico de cada uno. El módulo del metal equivale a 199,94 GPa, mientras que el de fibra de vidrio equivale a 84,5 GPa y, por último, el caucho sintético que, variando sus aditivos, puede oscilar de 0,01 hasta 0,1 GPa. Como se observa, la jerarquía obtenida en los dos ensayos de velocidades es igual al tamaño del módulo elástico, dado que la de mayor pérdida es un escudo de material metálico con un recubrimiento de caucho (CS), seguido por el escudo OR de metal, siendo su módulo menor, y con mucha más diferencia, el escudo FV. Lo que establece que, a igual velocidad de cosecha, el desgrane varía según las características del material del escudo, dado que se observa mayor desgrane a mayor masa, provocando mayor energía cinética sobre el capítulo; y, a mayor módulo elástico, tendrá menor capacidad de absorción de cargas dinámicas instantáneas.

Por último, la discusión sobre los fenómenos de choque que se producen entre el escudo y el capítulo (respecto a los escudos de distintos materiales ensayados a igual velocidad, tanto a 6,5 km/h como a 8 km/h) podría plantearse como choque elástico y no plástico, dado que no hay deformación o generación de calor al momento del impacto. De manera que, el choque elástico, vinculado a la conservación de la energía cinética producida y el momento lineal, se traduce, por un lado, por la aparición de tensiones en el escudo y, por otro, por el desgrane en el capítulo. Por lo tanto, como se observa en los resultados, la mejor absorción de tensiones se produce en los materiales de menor módulo elástico, provocando menor desgrane en el capítulo, como indica Guzmán (1976).

Dado que el análisis es dual, se analiza el mismo tipo de escudo a dos velocidades, observando

si la velocidad afecta de forma directa al desgrane del capítulo.

**Tabla 3.** Análisis de comparación de medias con la prueba LSD Fisher en el escudo original en las dos velocidades ensayadas

<b>Desgrane promedio recolectado por bandejas (datos del ensayo)</b>	
<b>OR65</b>	47,73 gramos <b>a</b>
<b>OR8</b>	99,01 gramos <b>b</b>

Medias con la misma letra indican que no hay diferencias significativas ( $p > 0,05$ ).

**Tabla 4.** Análisis de Comparación de Medias con la Prueba LSD Fisher en el escudo de Fibra de Vidrio en las dos velocidades ensayadas

<b>Desgrane promedio recolectado por bandejas (datos del ensayo)</b>	
<b>FV65</b>	38,91 gramos <b>a</b>
<b>FV8</b>	65,56 gramos <b>b</b>

Medias con la misma letra indican que no hay diferencias significativas ( $p > 0,05$ ).

**Tabla 5.** Análisis de comparación de medias con la prueba LSD Fisher en el escudo de caucho sintético en las dos velocidades ensayadas

<b>Desgrane promedio recolectado por bandejas (datos del ensayo)</b>	
<b>CS65</b>	53,98 gramos <b>a</b>
<b>CS8</b>	103,18 gramos <b>b</b>

Medias con la misma letra indican que no hay diferencias significativas ( $p > 0,05$ ).

Como se observa en las Tablas 3, 4 y 5, independientemente del tipo del material, se destaca una diferencia significativa en cada uno de los escudos, en las dos velocidades ensayadas. Se puede identificar que la variable crítica, como indican Chancellor y Cervinka (1975), es la velocidad de avance de la cosechadora, lo que provoca mayor energía cinética e impulso (diferencial del movimiento lineal) trasladado al capítulo, lo que provoca mayor desgrane. Dado que la energía cinética aplicada al capítulo de girasol aumenta al cuadrado de la velocidad, se observan grandes diferencias de desgrane entre los mismos materiales a distinta velocidad.

Se comparan los resultados entre escudos a igual velocidad y entre el mismo escudo a las dos velocidades ensayadas. Se observa que es importante el tipo de material de menor módulo elástico y menor masa para la reducción del desgrane; sin embargo, la variable que produce grandes variaciones del desgrane es la velocidad. En la Tabla 3, se puede observar que las pérdidas se asemejan al aumentar la velocidad y, luego, al comparar el mismo escudo (CS, FV y OR) en las dos velocidades (Tabla 3, 4 y 5), se produjeron diferencias significativas en las medias entre los mismos escu-

dos, por lo que una reducción importante del módulo elástico y masa del material no alcanzan para asemejar el desgrane al aumentar la velocidad de avance a 1,5 km/h.

Los resultados promedios del desgrane recolectado en bandejas a una velocidad de cosecha de 6,5 km/h (ver Tabla 1) fueron los siguientes: el escudo FV mostró una reducción del desgrane provocado por impacto del 18,47 %, comparado al escudo OR, y una reducción del 27,91 %, comparado al escudo CS. De esta manera, queda demostrado que, a la velocidad ensayada de 6,5 km/h, el escudo FV es el mejor material para la reducción del desgrane, ante las alternativas propuestas. Mientras que, el escudo CS (ver Tabla 1) demostró un aumento del desgrane en un 13,09 %, comparado al OR.

Teniendo en cuenta la Tabla 2, en el desgrane medido a una velocidad de cosecha de 8 km/h, el escudo FV mostró una reducción del desgrane provocado por el impacto del 33,78 %, comparado al escudo OR, y una reducción del 36,46 %, comparado al escudo CS. De esta manera, queda demostrado nuevamente que la fibra de vidrio es el mejor material para la reducción del desgrane, ante las alternativas propuestas. Mientras que, el escudo CS demostró un aumento del desgrane en un 4,21 %, comparado al OR.

Por último, en las Tablas 3, 4 y 5, donde se analizó el aumento del desgrane para los tres tipos de escudos a las dos velocidades ensayadas, el escudo FV a 6,5 km/h, comparado al desgrane provocado a 8 km/h, demostró un aumento del mismo del 40,64 %; mientras que, el escudo OR mostró un aumento del 48,20 % y, por último, el CS un aumento del 47,68 %. Se demuestra que, a pesar de la capacidad de los distintos materiales ensayados en la absorción de impacto, la velocidad de cosecha es un factor clave para disminuir el impacto en el capítulo de girasol, por lo tanto, disminuir el desgrane.

Con referencia al desgrane obtenido en los distintos escudos propuestos, el material de menor módulo elástico (FV) produjo menor desgranamiento. A través de los resultados obtenidos, contamos con suficiente evidencia para considerar válida la hipótesis 1 de este trabajo.

En el desgrane obtenido del mismo escudo ensayado en las dos velocidades propuestas, se observó entre OR65 y OR8, CS65 y CS8, FV65 y FV8 un aumento considerable en el desgranamiento dado por el aumento de la velocidad, comparado al desgrane provocado por el cambio de material entre los escudos. A través de los resultados obtenidos, puede considerarse válida la hipótesis 2 de este trabajo.

## CONCLUSIONES

El presente trabajo concluye que para evitar un aumento del desgrane y, por lo tanto, disminuir la potencial pérdida por cabezal, se recomienda, por un lado, no superar la velocidad de 6,5 km/h; por otro, utilizar el cabezal con el escudo FV en la cosecha de cultivo de girasol, lo que mejoraría el desgrane en un 18,47 %. El aumento de la velocidad de avance en la labor de cosecha de girasol en el orden de 1,5 km/h, implica una potencial pérdida por desgrane, que no es compatible con una producción agrícola sustentable.

Por último, la utilización de materiales de menor módulo elástico (como el escudo FV) posee la mejor absorción de tensiones. Esto provoca menor desgrane del capítulo de girasol al momento de la cosecha. Para una próxima etapa, queda evaluar las morfologías del escudo del cabezal.

## BIBLIOGRAFÍA

- Botta, G. F., Tolón-Becerra, A., Bienvenido, F., Rivero, D., Laureda, D. A. y Contessotto, E. E. (2018). Sunflower (*Helianthus Annuus* L.) harvest: Tractor and grain chaser traffic effects on soil compaction and crop yields. *Land Degradation and Development*, 29(12), 4252-4261. <https://doi.org/10.1002/ldr.3181>
- Bragachini, M., Martín, A. y Méndez, A. (2001). *Eficiencia de cosecha de girasol*. INTA PRECOP.
- Chancellor, W.J. y Cervinka, V. (1975). Potential harvest improvements with optimum combine management. *Transactions of the ASAE*, 18(1), 59-65. <https://doi.org/10.13031/2013.36525>
- Di Rienzo, J., Casanoves, F., Balzarini, M., Gonzalez, L., Tablada, M. y Robledo, C. (2018). InfoStat (versión 2018) [Software]. Córdoba, Argentina: Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba. Farrel, M. (2005). Relevamiento y análisis de las pérdidas de cosecha en La Pampa. Cultivos de cosecha gruesa: Actualización 2005. *Publicación técnica*, 61. EEA Anguil.
- González, A. y Palazon, A. C. (1960). *Ensayos industriales de materiales, combustibles y lubricantes* (3ª Ed.). Mitre.
- Guzmán, A. (1976). *Resistencia de materiales* (7ª Ed.). Centro de Estudiantes de Ingeniería de La Plata.
- Hunt, D. (2001). *Farm Power and Machinery Management* (10ª Ed.). Iowa State University Press.
- Nalobina, O. O., Vasylichuk, N. V., Bundza, O. Z., Holotkiuk, M.V., Veselovska, N. R. y Zoshchuk, N. V. (2019). A new technical solution of a header for sunflower harvesting. *INMATEH Agricultural Engineering*, 58(2), 129-136.

Nyborg, E. O., Thauberger, J. C. y Gregory, R. P.(1981). *Evaluation Report No. E0280B*. Alberta Farm Machinery Research Centre and Prairie Agricultural Machinery Institute. [http://pami.ca/pdfs/reports\\_research\\_updates/\(4c\)%20Grain%20Combines%20and%20Attachments/204.PDF](http://pami.ca/pdfs/reports_research_updates/(4c)%20Grain%20Combines%20and%20Attachments/204.PDF)

Ministerio de Producción y Trabajo (2019). *Estimaciones*

*Agrícolas. Informe Mensual*. Presidencia de la Nación. [https://www.magyp.gob.ar/sitio/areas/estimaciones/archivos/estimaciones/190000\\_2019/190300\\_Marzo/190321\\_Informe%20Mensual%2021%2003%2019.pdf](https://www.magyp.gob.ar/sitio/areas/estimaciones/archivos/estimaciones/190000_2019/190300_Marzo/190321_Informe%20Mensual%2021%2003%2019.pdf)

Sears, F., y Zemansky, M. (2009). *Física Universitaria* (p. 249). Mexico: Pearson. McGraw-Hill.