

## EVALUACIÓN DE LA VELOCIDAD DE AVANCE OPTIMA EN EL PROCESO DE COSECHA DE GIRASOL CON EL MÉTODO ESTADÍSTICO ANOVA Y MODELO DE DECISIÓN AHP.

Carro, Cielo Dalilia; Moro Hector Javier; Ford Carlos Maria; Mavolo Luca

Facultad Regional Trenque Lauquen, Universidad Tecnológica Nacional  
[lucamavolo@gmail.com](mailto:lucamavolo@gmail.com)

### RESUMEN

El girasol (*Helianthus Annuus L.*) es uno de los principales cultivos de la región noroeste de la Provincia de Buenos Aires y por lo tanto es importante analizar el proceso de cosecha donde sucede la mayor pérdida de grano. El trabajo se realiza específicamente sobre el híbrido confitero, donde las pérdidas son directamente proporcionales a la velocidad de avance de la cosechadora y las características del grano (humedad y tamaño) lo hace más susceptible al desgrane. Objetivo: Determinar una jerarquía mediante el uso del método estadístico ANOVA (Análisis de la Varianza) y el modelo de decisión jerárquico AHP (Analytic Hierarchy Process), una velocidad optima de avance de la cosechadora, en el girasol confitero entre las tres velocidades ensayadas. Materiales y Métodos: Se utilizó la base de datos obtenida mediante ensayos a campo, en la evaluación del desgrane del cultivo en la utilización de escudos de distintos materiales y estructura en el establecimiento Nueva Castilla sobre un híbrido confitero NTC 99 Argensun, con una maquina cosechadora Jhon Deere S670 y un cabezal Mainero 1040. Las velocidades ensayadas fueron 5km/h, 5,5km/h y 6km/h. Resultados: se obtuvo la misma diferencia y jerarquía de los tratamientos con ambos modelos de evaluaciones AHP y ANOVA. Conclusión: se recomienda una velocidad de avance de 6km/h dado que las pérdidas se encuentran muy similares a la velocidad de 5km/h y no se encuentra una diferencia significativa. Por lo tanto, permite al contratista aumentar la capacidad de trabajo manteniendo perdidas tolerables.

**Palabras claves:** ANOVA; AHP; Girasol; Cosecha.

### ABSTRACT

Sunflower (*Helianthus Annuus L.*) is one of the main crops in the northwest region of the Province of Buenos Aires and therefore it is important to analyze the harvest process where the greatest grain loss occurs. The work is carried out specifically on the confectionery hybrid, where the losses are directly proportional to the forward speed of the combine and the characteristics of the grain (humidity and size) make it more susceptible to shelling. Objective: Determine a hierarchy by using the ANOVA statistical method and the AHP hierarchical decision model, an optimal advance speed of the harvester, in the confectioner's sunflower among the three speeds tested. Materials and Methods: The database obtained through field trials was used in the evaluation of the shattering of the crop in the use of shields of different materials and structure in the Nueva Castilla establishment on a hybrid confectioner NTC 99 Argensun, with a harvesting machine Jhon Deere S670 and a Mainero 1040 header. The speeds tested were 5km/h, 5.5km/h and 6km/h. Results: the same difference and hierarchy of treatments was obtained with both AHP and ANOVA evaluation models. Conclusion: a forward speed of 6km/h is recommended since the losses are very similar to the speed of 5km/h and no significant difference is found. Therefore, it allows the contractor to increase work capacity while maintaining tolerable losses.

**Keywords:** ANOVA; AHP; Sunflower; Harvest.

## 1. Introducción:

El girasol (*Helianthus annuus L.*) es el cuarto cultivo más importante de Sudamérica con una superficie total dedicada al mismo de, aproximadamente, 1.56 millones de hectáreas, siendo los principales productores Argentina y Paraguay, que juntos produjeron 3.77 millones de toneladas en la temporada 2015/2016 [1]. En la última campaña se sembraron 2 MHa, que representan 17,6 % más que la campaña 2021/22 y un 24,5 % por encima del promedio de la superficie sembrada en los últimos 10 años (2012-2022) [2].

La región semiárida pampeana presenta zonas con gran potencial productivo para el cultivo de girasol. Junto a la región sudeste de Buenos Aires y noreste argentino constituyen las 3 principales zonas de producción de girasol de Argentina. Una de las herramientas que disponen los productores para el éxito del cultivo de girasol es la elección de cultivares. En esta decisión influyen objetivos y necesidades variables asociadas a cada productor. No obstante, el conocimiento de la adaptación de los híbridos a las condiciones locales es el insumo imprescindible para realizar una adecuada elección. Esta adaptación tiene que incluir tanto aspectos edafoclimáticos como aquellos relativos a las plagas que afectan el cultivo [7]. La elección del híbrido de girasol adecuado para un determinado sitio requiere conocer previamente las condiciones ambientales, las características de los cultivares disponibles y el efecto, que producen sobre los mismos, las prácticas de manejo del cultivo. Dentro de los caracteres del cultivar a tener en cuenta, podemos mencionar, el ciclo, resistencia al vuelco, comportamiento sanitario, tolerancia a pájaros, rendimiento, materia grasa, calibre, etc. Considerando lo que expone el autor, es importante considerar las características del híbrido para establecer la metodología de cosecha a llevar adelante, evitando pérdidas en el proceso de cosecha como el resto.

Las características del cabezal girasolero determinan la capacidad de trabajo de la máquina, no solo por el ancho del cabezal, sino también el tamaño de las bandejas, su disposición entre surcos, tipo de escudo utilizado entre otras. En la medida que el cabezal avanza sobre el cultivo, las plantas de girasol quedan entre medio de las bandejas (A) hasta que son topadas por el escudo que las empuja hacia delante inclinando el cultivo (B). Al inclinarse la planta va a ser tomada por el destroncador que la tracciona hacia abajo, pero además el destroncador y el escudo dan dos puntos de apoyo al tallo que evitan que sea cortado por las cuchillas antes de que el capítulo baje hasta la bandeja (C). Hasta este punto de operación es importante la velocidad de avance, dado que la misma debe ser coordinada con la velocidad del destroncador y la velocidad de corte de las cuchillas. Cuando el capítulo queda por debajo del escudo, va a ser tomado por el molinete que lo dirige hacia atrás, permitiendo que las cuchillas corten el tallo en la base del capítulo (D). De esta forma se evita que ingresen un exceso de tallos y hojas, recargando los diferentes sistemas de la cosechadora [12].

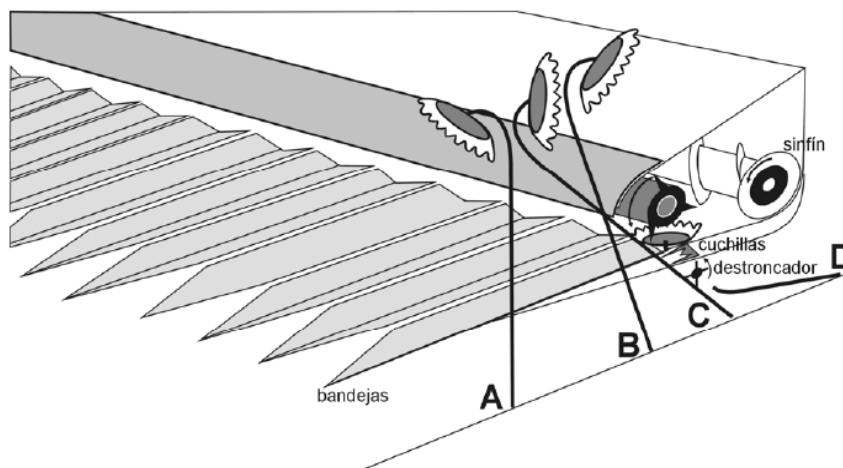


Figura 1 – Funcionamiento del cabezal girasolero. Fuente: [12]

Con los rendimientos históricos y los obtenidos en la última campaña es muy importante reducir las pérdidas de cultivo al momento de la cosecha, considerando, que durante la labor de cosecha el mayor porcentaje de pérdidas de granos se produce en el cabezal de la cosechadora, siendo las mismas, según PROPECO-INTA, superiores al 80% del total de las pérdidas que se produce en la cosechadora.

Las principales causas de las pérdidas en la cosecha de girasol suelen ser, demoras en el inicio de la cosecha, excesiva velocidad de avance de la cosechadora por insuficiente ancho de los cabezales para el índice de alimentación de las cosechadoras modernas, cultivo desperejados tanto en altura, diámetro del capítulo, humedad del grano y del capítulo (desuniformidad de la distribución de la semilla por escasa utilización de sembradoras neumáticas), inadecuado equipamiento y regulación del cabezal y del sistema de trilla, separación y limpieza y ausencia de regulaciones automatizadas que permitan adaptar el mismo a las diferentes situaciones de los cultivos [3].

Es importante destacar que, para Bragachini [3] en el año 2001, las evaluaciones de pérdidas todavía indicaban valores de más de, 135 kg/ha en promedio (pre cosecha + cosechadora), fundamentalmente provocado por desgrane en el cabezal, cifra que multiplicada por el área de siembra y precio actual del girasol asciende a 83 millones de dólares de pérdidas.

Sin embargo, es necesario considerar que cada año se registran pérdidas significativas en cantidad y calidad, ocasionadas por condiciones climáticas adversas y por el mal manejo de los granos, tanto en la etapa de cosecha como en la de pos cosecha. Reducir estas pérdidas significaría para el país mayores divisas, mejores márgenes para el producto agropecuario y generación de puestos de trabajo en la industria rural [6].

En relación con la velocidad de avance de la cosechadora, [10] el autor 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.

También se investigó el efecto de la velocidad combinada en el progreso del proceso de cosecha de girasol [4]. Estos autores, han demostrado 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 a este antecedente se puede ver que tiene aproximadamente 45 años pero ajusta perfectamente a nuestra actualidad en cuanto a la cosecha de girasol confitero que se realiza, generalmente cuando las semillas tienen muy baja humedad, siendo frágil el capítulo para el desgrane comparado a un girasol aceitero cuya cosecha se realiza a un contenido de humedad mayor.

En el girasol confitero según [11] el aumento de la velocidad de avance a 8 km/h en cosecha de girasol implica una potencial pérdida por desgrane que no es compatible con una producción agrícola sustentable, por lo tanto para disminuir la potencial pérdida por cabezal no se debe superar la velocidad de 6,5 km/h.

Para la evaluación de distintas velocidades de avance, en la cosecha de girasol confitero se utiliza un método estadístico de comparación de tratamientos y un método cualitativo adaptado a la evaluación de los datos de ensayos para obtener una jerarquía de las velocidades ensayadas. El método ANOVA (Análisis de la Varianza) es una técnica estadística utilizada para analizar las diferencias significativas entre las medias de tres o más grupos o poblaciones. Esta técnica compara la varianza dentro de cada grupo con la varianza entre los grupos, permitiendo determinar si las diferencias observadas son estadísticamente significativas. Por otro lado, el método AHP (Analytic Hierarchy Process, por sus siglas en inglés) Este método se utiliza para resolver problemas de decisión complejos que implican múltiples criterios y alternativas. AHP descompone un problema en una jerarquía de criterios y subcriterios, luego utiliza la opinión subjetiva de los expertos para asignar valores relativos a la importancia de cada criterio y para comparar alternativas en relación con cada criterio. Finalmente, este modelo realiza cálculos matemáticos para determinar la mejor alternativa en función de las ponderaciones proporcionadas por los expertos.

De acuerdo a la revisión bibliográfica sobre el cabezal girasolero y las pérdidas que se ocasionan en el proceso de cosecha, el objetivo que se propone en el presente trabajo es:

Determinar una jerarquía mediante el uso del método estadístico ANOVA y el modelo de decisión jerárquico AHP, una velocidad óptima de avance de la cosechadora, en el girasol confitero entre las tres velocidades ensayadas.

## 2. Materiales y Métodos:

### 2.1. El Lugar y el Cultivo:

Se realizaron 3 ensayos, dos se llevaron a cabo en el año 2023 y otro en el 2022, todos en el Establecimiento “Nueva Castilla”, situado en el Paraje Mari Lauquen Partido de Trenque Lauquen (Buenos Aires) S36°08'38.6" W62°58'22.1", sembrado con Girasol Confitero, implantado durante la campaña 2022/2023. El Híbrido de Girasol era un NTC 99 de la firma Argensun. El ensayo fue realizado el 3 y el 17 de marzo a las 10 pm para los ensayos 2023 y 2 de marzo a las 15hs para el 2022.

## 2.2. Cosechadora y cabezal:

La cosechadora utilizada en el ensayo del establecimiento Nueva Castilla fue una John Deere S670 (Figura 2). La misma se desplazó a 6km/h, 5,5km/h y 5 km/h durante los ensayos. El cabezal utilizado en los ensayos a campo fue un Mainero Modelo: 51739 Serie 21.



Figura 2 - Cosechadora John Deere S670 y cabezal Mainero 104. Fuente: Elaboración propia.

## 2.3. Diseño Experimental:

Las regulaciones de la máquina en los ensayos fueron realizadas por el maquinista y la metodología del ensayo fue la utilizada en el trabajo (Mavolo, et al 2022), pero en esta oportunidad se realizaron 7 pasadas en cada ensayo.

Se realizaron 3 tratamientos:

- V5: Velocidad de avance a 5km/h.
- V55: Velocidad de avance a 5,5km/h.
- V6: Velocidad de avance a 6 km/h.

### 2.3.1. Modelo estadístico e hipótesis planteadas:

El diseño experimental es un DBCA (1). (Diseño en bloques completamente aleatorizado):

$$Y_{ijk} = \mu + t_i + B_j + e_{ij} \quad (1)$$

$Y_{ijk}$ : Desgrane del capítulo medido en gramos, producto del impacto del cabezal.

$\mu$ : Media general de desgrane del capítulo

$t_i$ : Efecto en el desgrane al i-esimo de la velocidad  $i=1-2-3$ .

$B_j$ : Efecto de la variabilidad de cada pasada de 50 metros de la cosechadora, a la j-esima  $j=1-7$ .

$e_{ij}$ : Error experimental aleatorio  $N(0; \sigma^2)$  al i-esimo tratamiento de la j-esima repetición.  $J=1-3$ .

**Hipótesis del modelo:**

Con respecto al efecto del tratamiento:

$H_0=t_1=t_2=t_3=0$  vs.  $H_1=$ al menos un tratamiento difiere de 0.

**3. Resultados y discusión:**

El desgrane en la tabla 1 (gramos de semilla en bandejas) obtenido en las 7 repeticiones de cada tratamiento es el siguiente:

Tabla 1 *Desgrane de cada uno de los tratamientos y bloques.*

		Bloques	Tratamiento	Desgrane
<b>2022</b>	3-mar	1	V6	178,33
		2	V6	137,55
		3	V6	123,69
		4	V6	146,45
		5	V6	115,17
		6	V6	125,97
		7	V6	167,46
<b>2023</b>	2-mar	1	V55	166,9
		2	V55	173,9
		3	V55	219,1
		4	V55	177,4
		5	V55	151,3
		6	V55	187,4
		7	V55	202,8
	17-mar	1	V5	63,7
		2	V5	79,9
		3	V5	51,8
		4	V5	86,8
		5	V5	146,1
		6	V5	164,9
		7	V5	134,6

En el ensayo V6, no se pudo recolectar la muestra N°7, por lo que se procede a estimar el valor de la muestra con el siguiente procedimiento (2) para poder realizar los modelos de comparación con los tratamientos restantes:

$$\hat{y}_{ij} = \frac{b \times B_s + T * T_s - T O_s}{(T - 1) \times (b - 1)} \quad (2)$$

$Y_{ij} = 167,46g$

Antes de continuar con los resultados del modelo, se verifican los supuestos de normalidad y homocedasticidad:



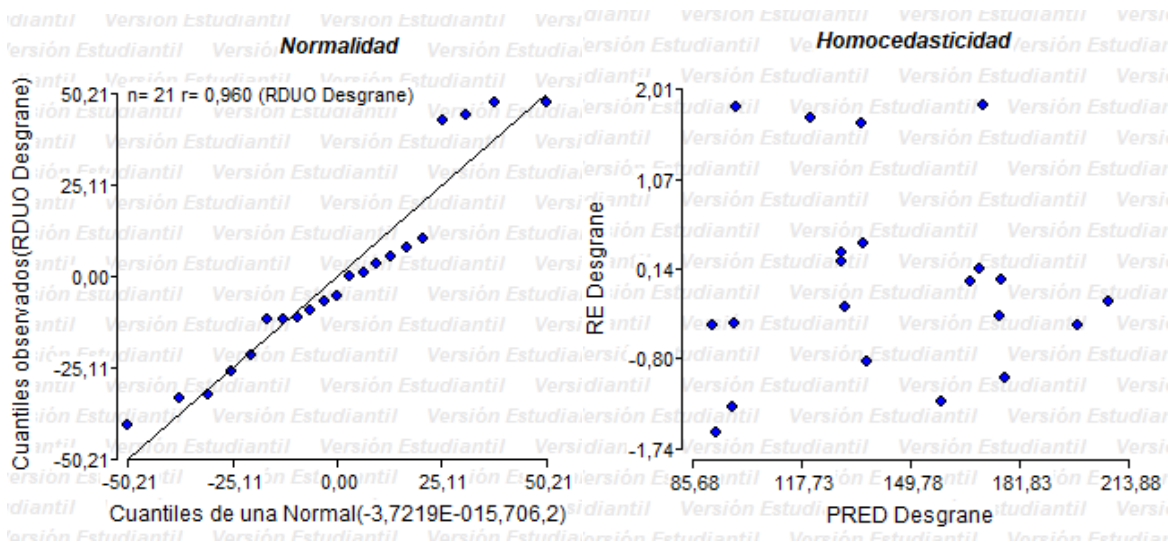


Gráfico 1 Gráfico de Normalidad y Homocedasticidad. Fuente: Infostat (2020)

**3.1. Resultados obtenidos del modelo ANOVA:**

Los datos fueron analizados con el programa Infostat versión 2020 (Di Rienzo, 2020).

Tabla 2 Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
<b>Modelo</b>	25623,92	8	3202,99	2,72	0,0576
<b>Tratamiento</b>	21692,96	2	10846,48	9,22	0,0038
<b>Bloques</b>	3930,95	6	655,16	0,56	0,7567
<b>Error</b>	14124,09	12	1177,01		
<b>Total</b>	39748	20			

Tabla 3 Test: LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=39,95539

Escudo	Medias	n	E.E.	
<b>V5</b>	103,97	7	12,97	A
<b>V6</b>	142,09	7	12,97	A
<b>V5,5</b>	182,69	7	12,97	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ )

**3.2. Análisis de los datos con el modelo AHP:**

Para obtener una jerarquía entre los tratamientos se utilizó las 7 pasadas para cada velocidad como criterio y alternativas de decisión las velocidades. Y en lugar de utilizar la escala de Saaty como metodología de comparación se utilizó la proporción de desgrane entre cada una de las pasadas, con el objetivo de cuantificar la proporción de potencial perdida en cada una de estas.

Tabla 4 Ponderación de las pasadas de las maquinas según porcentaje de desgrane.

	Pasada 1	Pasada 2	Pasada 3	Pasada 4	Pasada 5	Pasada 6	Pasada 7	Vector
<b>Pasada 1</b>	1,0000	1,0449	1,0363	0,9958	0,9912	0,8550	0,8100	0,1363
<b>Pasada 2</b>	0,9570	1,0000	0,9918	0,9530	0,9486	0,8183	0,7752	0,1304
<b>Pasada 3</b>	0,9649	1,0083	1,0000	0,9609	0,9564	0,8250	0,7816	0,1315
<b>Pasada 4</b>	1,0042	1,0493	1,0407	1,0000	0,9953	0,8586	0,8134	0,1368
<b>Pasada 5</b>	1,0089	1,0542	1,0456	1,0047	1,0000	0,8626	0,8172	0,1375

<b>Pasada 6</b>	1,1696	1,2221	1,2121	1,1647	1,1592	1,0000	0,9473	0,1594
<b>Pasada 7</b>	1,2346	1,2900	1,2795	1,2294	1,2237	1,0556	1,0000	0,1682
<b>Suma</b>	7,34	7,67	7,61	7,31	7,27	6,28	5,94	1

En este paso del modelo AHP, se ponderan los criterios, en este caso se consideraron las pasadas de cada una de las maquinas a distinta velocidad. Se observa baja variabilidad (columna vector) entre las distintas pasadas, lo que refleja que el diseño experimental mantuvo las condiciones a lo largo del ensayo (distancia recorrida, humedad, altura de impacto al cultivo, etc.).

Tabla 5 Comparación (para la pasada 1) de las distintas velocidades.

Pasada 1	V5	V55	V6	Matriz normalizada			Vector
<b>V5</b>	1,0000	0,3817	0,3572	0,1558	0,1558	0,1558	0,1558
<b>V55</b>	2,6201	1,0000	0,9359	0,4081	0,4081	0,4081	0,4081
<b>V6</b>	2,7995	1,0685	1,0000	0,4361	0,4361	0,4361	0,4361

En este último paso se comparó el desgrane obtenido en cada velocidad para la pasada N°1 de la maquina (este paso se repitió para las 7 pasadas). Se permite observar una primera jerarquía en el desgrane para la primera pasada, siendo la que mayor desgrane provoco la velocidad de 6km/h, seguida por 5,5km/h y por último 5km/h.

Tabla 6 Jerarquía final de las velocidades en las 7 pasadas de la máquina.

	Pasada 1	Pasada 2	Pasada 3	Pasada 4	Pasada 5	Pasada 6	Pasada 7	TOTAL
<b>V5</b>	0,1558	0,2042	0,1313	0,2114	0,3247	0,3448	0,2666	0,2385
<b>V55</b>	0,4081	0,4444	0,5553	0,4320	0,3682	0,3918	0,4017	<b>0,4263</b>
<b>V6</b>	0,4361	0,3515	0,3135	0,3566	0,3071	0,2634	0,3317	0,3352
<b>Ponderación</b>	0,1363	0,1304	0,1315	0,1368	0,1375	0,1594	0,1682	1,0000

Por último, se obtiene que la velocidad que mayor desgrane provoco, fue el tratamiento V55 con 43%, seguido del V6 con 33% y por último el V5 con un 24%.

Se realizo un ensayo con la cosechadora Gleaner R66 y cabezal Maizco (sistema de escudo rolo giratorio) a distintas velocidades regulando el sistema de trilla ante la variación de velocidad de avance, la cual modifica el índice de alimentación de la maquina pudiendo variar las perdidas por cola [9]. Con una regulación acorde del sistema de trilla logro una velocidad de avance de 6km/h con pérdidas dentro de los parámetros de calidad (Resolución 1075/94, Infoleg, 1994). Luego se aumentó la velocidad a 7km/h manteniendo las perdidas dentro de los parámetros, pero al aumentar a 8 km/h se sobrepasaron los parámetros de perdida por cabezal, siendo la velocidad aconsejada de 7km/h.

#### 4. Conclusiones:

Según los resultados obtenidos tanto en el modelo ANOVA como AHP, se recomienda la velocidad de avance de 5km/h, pero su próxima superior, no encontrando una diferencia significativa el modelo estadístico y encontrándose segunda en la jerarquía de desgrane, la velocidad de 6 km/h es la aconsejada para la velocidad de avance de la cosechadora.

Queda pendiente evaluar en futuros ensayos velocidades superiores a 7km/h, dado que con las regulaciones pertinentes a la maquina se podría mejorar la capacidad de trabajo del contratista. También considerar otras variables como lo es la humedad de cultivo y variación de altura del mismo que incide en el desgrane y explica las diferencias en pérdidas por cabezal.

Por último, el modelo ANOVA es la metodología más utilizada para encontrar diferencias significativas entre tratamientos sobre un experimento, pero el modelo AHP, logro identificar las mismas

diferencias dando como resultado una jerarquía cuantificada de los tratamientos, modificando la ponderación del experto por los datos obtenidos del ensayo.

## 5. Referencias:

- [1] Botta G., Tolon A., Bienvenido F., Rivero D., Laureda D., Contessotto E. "Sunflower (*Helianthus Annuus L.*) harvest: Tractor and grain chaser traffic effects on soil compaction and crop yields" DOI:10.1002/ldr.3181wileyonlinelibrary.com/journal/ldr
- [2] Bolsa de Cereales (2023). Informe cierre de Campaña Girasol 2022/23. Departamento de Estimaciones Agrícolas. Instituto de Estudios Economicos. 19 de mayo 2023.
- [3] Bragachini M., Martin A. y A. Mendez, "Eficiencia de cosecha de girasol" INTA PRECOP 2005.-
- [4] Chancellor W.J., Cervinka V. (1975), Potential Harvesting Improvement with Optimum Combine Management. *Tras, World Applied Sciences Journal, ASAE*, Vol. 18(1). pp. 59-65, California / USA.
- [5] Di Rienzo J.A., Casanoves F., Balzarini M.G., Gonzalez L., Tablada M., Robledo C.W. InfoStat versión 2020. Centro de Transferencia InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. URL <http://www.infostat.com.ar>
- [6] Farrel M. (2005). "Relevamiento y análisis de las pérdidas de cosecha en La Pampa", EEA INTA Anguil 2005.
- [7] Gallio Perlo A.; Corro Morlas A.; Ghironi E. (2021). Ensayos Comparativos de Rendimiento de Girasol 2020/21. INTA Anguil AER General Pico.
- [8] Gareis R.; Sanchez E.; Corro Molas A. (2017). Ensayos Comparativos de Rendimiento de Girasol 2016/2017 INTA Anguil AER General Pico
- [9] Giordano, J. M. (2019). Prueba de reformas en una cosechadora Gleaner r66 para girasol. INTA – Estación Experimental Agropecuaria Rafaela. Información Técnica De Cultivos De Verano, Campaña 2018-19 *Publicación Miscelánea - Año VII N° 3*.
- [10] Hunt D. (2001), Farm Power and Machinery Management. 10th Edition. Iowa State University press, 376 p. ISBN-13: 978-1577665731, Iowa / USA.
- [11] Mavolo, L., Rivero, D. ., & Botta, G. (2022). 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. *AgriScientia*, 39(2), 65–73. <https://doi.org/10.31047/1668.298x.v39.n2.37537>
- [2] Vazquez J.M. (2019). Cosecha de granos en el cabezal girasolero pp 23-24.