

**Alternativas de control cultural y su influencia en la
determinación del periodo crítico libre de malezas para el cultivo
de soja (*Glycine max*).**

Trabajo Final de Grado
de la alumna

María Cecilia Fioravanti

Este trabajo ha sido presentado como requisito
para la obtención del título de

Ingeniera Agrónoma

Carrera

Ingeniería Agronómica

**Escuela de Ciencias Agrarias, Naturales y Ambientales.
Universidad Nacional del Noroeste de la Provincia de Buenos Aires.**

Pergamino, 12 de agosto de 2025

**Alternativas de control cultural y su influencia en la
determinación del periodo crítico libre de malezas para el cultivo
de soja (*Glycine max*).**

Trabajo Final de Grado

de la alumna

María Cecilia Fioravanti

Aprobada por el Tribunal Evaluador

(Nombre y Apellido)
Evaluador/a

(Nombre y Apellido)
Evaluador/a

(Nombre y Apellido)
Evaluador/a

Dr. (MSc.) Ing. Agr. Acciaresi Horacio
Co-Director/a

Dr. Ing. Agr. Picapietra Gabriel
Director/a

**Escuela de Ciencias Agrarias, Naturales y Ambientales,
Universidad Nacional del Noroeste de la Provincia de Buenos Aires**

Pergamino, 12 de agosto de 2025

Agradecimientos

Para culminar todos estos años de formación profesional, quiero agradecer profundamente a quienes formaron parte de este proceso cumpliendo un rol fundamental para mí.

En primer lugar, a la Universidad Nacional del Noroeste de la Provincia de Buenos Aires (UNNOBA), por brindarme la posibilidad de formarme académicamente y por haber sido el espacio donde transité gran parte de mi crecimiento personal y profesional.

Agradezco también al INTA Pergamino, en especial al sector Malezas, por abrirme las puertas y brindarme las condiciones para llevar adelante este trabajo de investigación. A mi director, Gabriel Picapietra, gracias por tu acompañamiento constante, tu paciencia, dedicación y por compartir tu experiencia con tanta generosidad.

A mis padres, Hernán y Doris, y a mis hermanos y su familia, gracias por su apoyo incondicional, por estar siempre, en cada paso. A mi familia política, por motivarme y alentarme en este camino.

A cada uno de mis amigos, los de toda la vida y ese grupito tan lindo que me regaló la universidad, gracias por acompañarme con palabras, abrazos, charlas y risas.

Agradezco con todo mi corazón a Ignacio, mi compañero de vida, quien camina a mi lado hace muchos años, siendo mi sostén, mi motivación y mi lugar seguro. Gracias por tu amor constante.

Y, por último, a mi compañerito más pequeño, Toribio, que estuvo presente en cada latido durante estos últimos meses. Gracias, hijito mío, por llegar en este momento y potenciar aún más esta felicidad.

Dios mediante, ¡muchas gracias!

INDICE

Resumen.....	1
Introducción	3
El control y manejo de malezas en soja	3
Periodo crítico libre de malezas	4
El aporte del control cultural de malezas.....	5
Hipótesis	7
Objetivo general.....	7
Objetivos específicos	7
Materiales y métodos.....	9
Ubicación geográfica.....	9
Diseño experimental.....	9
Siembra de la soja y ajuste de los tiempos de enmalezamiento	11
Toma de datos	11
Análisis estadístico	12
Resultados y discusión	14
Biomasa aérea de malezas	14
Efectos del espaciamiento y la densidad sobre componentes agronómicas..	15
Determinación del período crítico libre de malezas	17
Conclusión	23
Bibliografía.....	25
Anexos	28

RESUMEN

La interferencia de malezas es uno de los principales factores que afectan el rendimiento del cultivo de soja. En este contexto, el control cultural constituye una herramienta fundamental dentro del manejo de esta adversidad. El objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto del distanciamiento entre hileras y la densidad de siembra del cultivo de soja en siembra directa sobre las componentes agronómicas del rendimiento y la determinación del período crítico libre de malezas (PCLM).

El experimento se llevó a cabo en la Estación Experimental Agropecuaria del INTA Pergamino durante la campaña 2023/24. Se utilizó un diseño de parcelas divididas, donde la parcela mayor fue el factor “distancia entre hileras” con dos niveles (35 y 52,5 cm) y la parcela menor el factor “densidad” con dos niveles (35 y 45 plantas/m²). Sobre estas cuatro combinaciones, se aleatorizaron nueve tratamientos de periodo de control tardío (PCTA) y nueve de periodo de control temprano (PCTE), determinados como “enmalezados desde la siembra hasta” y “libre de malezas desde la siembra hasta”, respectivamente, con cuatro repeticiones cada uno.

Se evaluaron los datos de productividad y componentes de rendimiento del cultivo, número de tallos y vainas por planta y peso de mil granos (P1000) en las parcelas que crecieron libres de malezas. Además, se evaluó la materia seca aérea (MSA) de las malezas en las parcelas enmalezadas desde la siembra. Los datos se analizaron mediante modelos generales lineales (MLG) y la comparación de medias a través del test DCG ($\alpha=0,05$). Para la definición del periodo crítico libre de malezas se realizó el ajuste de la variable de productividad de granos a las funciones logística y de Gompertz, respectivamente, considerando un umbral de pérdida del 5%.

Los resultados mostraron que la densidad de siembra tuvo un efecto significativo sobre las componentes de rendimiento, siendo mayor el número de tallos y vainas por planta en la densidad de 35 plantas/m², mientras que el distanciamiento entre hileras y la interacción con la densidad no presentaron efectos estadísticamente significativos. En cuanto a la acumulación de la MSA de las parcelas enmalezadas todo el ciclo, no se observaron diferencias significativas bajo las variables culturales

analizadas. Respecto al PCLM, su inicio y duración se vieron influenciados por las diferentes combinaciones de siembra. Una elevada densidad y un menor distanciamiento entre hileras tendieron a acortar o impedir su determinación, mientras que aquellas con mayor distanciamiento permitieron identificar períodos críticos más prolongados.

La densidad de siembra fue el factor con mayor influencia sobre las componentes de rendimiento, con variaciones morfológicas detectadas a nivel individual, pero que se diluyeron al analizarlas a una escala superficial. La densidad de siembra y la distancia entre hileras influyeron en la determinación del PCLM. Estos resultados refuerzan la importancia del control cultural como complemento en el manejo de malezas y destacan la necesidad de continuar evaluando la interacción entre diseño de siembra, presión de malezas y condiciones ambientales, con el fin de generar estrategias más sostenibles y adaptadas a los sistemas de producción actuales.

INTRODUCCIÓN

El cultivo de soja (*Glycine max*) es uno de los más importantes en Argentina, para el cual en la campaña 2023/24 se sembraron 16,6 millones de has (SAGYP, 2025). En la producción del cultivo, las malezas representan la adversidad biótica con mayor impacto negativo en el rendimiento, tanto por competencia por recursos, como luz, agua y nutrientes, por la liberación de compuestos químicos (alelopatía) (Oerke, 2006), además de poder ser hospederos de insectos plagas y patógenos. Debido a las potenciales pérdidas, tanto de cantidad como de calidad, es importante tomar decisiones de control para alcanzar rentabilidad económica en la actividad productiva.

El control y manejo de malezas en soja

Los herbicidas son utilizados como principal método de control de malezas debido a su simplicidad de uso, efectividad y accesibilidad. Estas características, mayormente, condujeron a eludir los aspectos de la biología y ecología de las malezas, como así también la inclusión de otros métodos, resumiendo al control de malezas con reiteradas aplicaciones de herbicidas.

El uso ininterrumpido de herbicidas ha provocado la pérdida de eficacia por el incremento de los casos de resistencia, como así también un severo impacto negativo sobre los ecosistemas y la salud humana (Zhu *et al.*, 2020). En Argentina, se han reportado más de 45 biotipos resistentes pertenecientes a 25 especies de malezas, lo cual ubica al país entre los más afectados a nivel global por esta problemática (RAREF, 2024).

Además del uso casi exclusivo de herbicidas como método de control, sumado a que no tienen en consideración umbrales y períodos críticos, y persiste una limitada rotación entre unos pocos mecanismos de acción (Principiano y Acciaresi, 2017), crea ambientes predecibles para las malezas, favoreciendo el establecimiento de especies resistentes y/o preadaptadas (Leguizamon *et al.* 2006; Vitta *et al.* 2004).

En estas últimas décadas, las malezas eran vistas como un problema a resolver mediante prácticas curativas, enfocadas en mayor medida en el empleo de

herbicidas. Por esto es necesario pensar que el control de malezas debe estar incluido en el marco de un sistema de manejo, como un planteo proactivo (Fernández *et al.*, 2014). Para ello, es necesario comprender, entre otras cuestiones, en qué momento del ciclo el cultivo se ve afectado en mayor medida por la interferencia de las malezas.

Periodo crítico libre de malezas

En un principio, el término “período crítico de control” se introdujo por primera vez en 1968 (Nieto *et al.*) para definir el momento del ciclo del cultivo en que las malezas reducen el rendimiento. Posteriormente, se ha discutido su interpretación (Leguizamón y Acciaresi, 2014) porque muchas estrategias de control pueden y/o deben aplicarse antes del inicio del cultivo, como así también las pérdidas pueden no ser atribuidas a la competencia, por lo que se ha propuesto la denominación de “periodo crítico libre de malezas” (PCLM).

El PCLM refleja la etapa del ciclo del cultivo que debería permanecer libre de malezas para evitar pérdidas significativas en el rendimiento, y se define mediante dos componentes: i) el tiempo máximo que puede convivir con malezas, conocido como período de control tardío (PCTA) y ii) el tiempo mínimo que debe permanecer libre de malezas, como período de control temprano (PCTE).

El PCTA es el período máximo que el cultivo puede permanecer con malezas sin que se vea afectada la productividad y se evalúa al cultivo creciendo enmalezado desde la siembra hasta diferentes momentos de su ciclo. Por su parte, el PCTE es el período mínimo que el cultivo debe permanecer sin malezas para que no se vea afectada la productividad y se evalúa al cultivo creciendo libre de malezas desde la siembra hasta diferentes momentos.

Los rangos o momentos establecidos desde la siembra pueden asignarse a una unidad de tiempo, como días desde la siembra o grados días acumulados, o estados fenológicos. Los datos de productividad de grano (o biomasa) se analizan en función de los distintos periodos de convivencia maleza-cultivo para ambos componentes PCTA y PCTE (Leguizamón y Acciaresi, 2014).

El PCLM puede estar condicionado por diversos factores, como el tamaño del banco de semillas del suelo y el patrón de emergencia de las malezas, las especies que intervienen, la disponibilidad de recursos, la densidad y la arquitectura del cultivo que inciden en la captura de recursos y modifica las condiciones del ambiente para las malezas, como así también las prácticas de manejo del cultivo (Leguizamón y Acciaresi, 2014).

Un enfoque funcional de la determinación del PCLM sugiere el ajuste de funciones matemáticas para el cálculo de los umbrales del período. En este sentido, se calculan los rendimientos relativos y se ajustan los datos del PCTA y PCTE a las funciones logística y de Gompertz, respectivamente. Para determinar el umbral, puede establecerse un margen de 5% de pérdida de rendimiento, o bien, el costo relativo de control.

Algunos autores determinaron que el período crítico de competencia de malezas en soja se extendía entre 50 a 61 días desde la emergencia correspondientes a las etapas de crecimiento V2 y V4 hasta V8 a R3, con mermas de rendimiento mayores al 20% en convivencias tempranas de maleza-cultivo y del 30 a 40% en convivencia en estadios más avanzados de la soja (Eyherabide y Cendoya, 2002; Absy y Yacoub, 2020). Otros autores señalaron el periodo crítico entre 21 y 30 días después de la emergencia considerando el uso de herbicidas pre-emergentes (Roncatto *et al.*, 2023)

El aporte del control cultural de malezas

Tal como se planteó que el PCLM está vinculado a las prácticas de manejo, el control cultural puede tener un impacto significativo en la convivencia con las malezas (Leguizamón y Acciaresi, 2014). El control cultural incluye cualquier práctica de manejo que aumente la capacidad de los cultivos para competir con las malezas. Es básicamente la habilidad de manejar la vegetación por medio de una correcta elección de fecha de siembra, densidades de siembra, distanciamiento de surcos, elección de variedades competitivas, entre otras (Burrill y Shenk, 1986).

Si bien se ha detallado que el efecto negativo de las malezas usualmente se reduce con el aumento de la densidad de un cultivo, hay evidencias de que la reducción de la distancia entre hileras contribuiría a aumentar la habilidad competitiva contra las malezas (Aldrich, 1987). Así, la biomasa de las malezas en soja sembrada a 50 cm entre hileras fue un 72% inferior que a 100 cm (Harper, 1977). Por su parte, Bodrero *et al.* (2003) observaron que, a un distanciamiento de 35 cm, el cultivo cubre el entresurco y logra una mayor intercepción de la radiación, obteniendo un rendimiento 30 % superior con respecto a un distanciamiento de 70 cm.

En el contexto productivo actual, basado en el uso de herbicidas como principal método de control, se proponen alternativas culturales, aunque la información disponible es escasa, asociada principalmente a sistemas de labranza convencional. De esta manera, el ajuste de densidades de siembra o distanciamientos entre hileras podrían mejorar la competitividad del cultivo y modificar el período de interferencia con las malezas.

La combinación de estas prácticas culturales brindaría, por un lado, un beneficio para el cultivo, puesto que se lograría una mayor competitividad sin un costo específico. Por otro lado, si se reduce el período crítico podría simplificarse la cantidad de ingresos al lote para el control de malezas, lo que lo hace más accesible y rentable.

HIPÓTESIS

- El acortamiento de la distancia entre hileras y el aumento de la densidad de siembra reducen el periodo crítico libre de malezas en el cultivo de soja bajo un sistema de siembra directa.
- Esta variación de prácticas culturales, que favorecen a cubrir el entresurco rápidamente, incide en la determinación de las componentes agronómicas asociadas al rendimiento.

OBJETIVO GENERAL

- Determinar el inicio y la extensión del período crítico libre de malezas en soja en siembra directa con la combinación de dos densidades y dos distanciamientos entre hileras como diferentes alternativas culturales.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Ajustar los procesos de enmalezamiento en campo para determinar períodos de convivencia con las malezas desde la siembra del cultivo hasta nueve momentos (semanas) diferentes, en cada una de las cuatro combinaciones.
- Ajustar los procesos de enmalezamiento en campo para determinar los períodos libres de malezas desde la siembra del cultivo hasta nueve momentos (semanas) diferentes, en cada una de las cuatro combinaciones.
- Cuantificar el número de tallos y vainas por planta y el peso de mil granos en las parcelas que crecieron libres de malezas.
- Cuantificar la materia seca aérea de las malezas que crecieron en las parcelas con mayor tiempo de enmalezamiento.
- Determinar los rendimientos relativos de cada una de las parcelas.
- Ajustar las funciones, logística y de Gompertz para las parcelas enmalezadas y libres de malezas hasta el momento determinado, respectivamente, para cada una de las cuatro combinaciones.

- Determinar el inicio y la duración del PCLM para el cultivo de soja en cada una de las cuatro combinaciones culturales.
- Evaluar los efectos del espaciamiento y la densidad sobre componentes agronómicas del cultivo, tales como número de tallos, número de vainas y peso de mil granos.

MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación geográfica

El experimento se llevó a cabo en la campaña 2023/24, en la Estación Experimental Agropecuaria del INTA Pergamino, Buenos Aires, Argentina (33° 56' S y 60° 33' O), en un lote con antecesor soja, con más de 20 años bajo siembra directa, con un suelo Argiudol típico, serie Pergamino, de textura franco-limosa.

Diseño experimental

Se realizó un diseño de parcelas divididas, donde la parcela mayor correspondió al factor “distancia entre hileras” con dos niveles, 35 y 52,5 cm (H35 y H52) de 3174 m² cada una y la parcela menor estuvo definida por el factor “densidad”, con dos niveles, 35 y 45 plantas/m² (D1 y D2, respectivamente) de 1587 m² cada una.

Se evaluaron los enmalezamientos determinados por nueve momentos, considerados como “semanas desde la siembra”. Para la determinación del período de control tardío se establecieron los tratamientos denominados “enmalezados hasta” cero, una, dos, tres, cuatro, cinco, seis, siete y ocho semanas desde la siembra (figura 1). Complementariamente, para la determinación del período de control temprano se establecieron los tratamientos “libre de malezas hasta” cero, una, dos, tres, cuatro, cinco, seis, siete y ocho semanas desde la siembra (figura 2).

Dentro de cada una de las cuatro combinaciones determinadas por el distanciamiento entre hileras y la densidad, se aleatorizaron los 9 tratamientos de PCTA y PCTE (ver anexo, fotografías 7 a 14). A su vez, estos 18 tratamientos tuvieron 4 repeticiones, lo que definieron 72 parcelas, determinando así un total de 288 unidades muestrales (Figura 3) de 22 m² cada una.

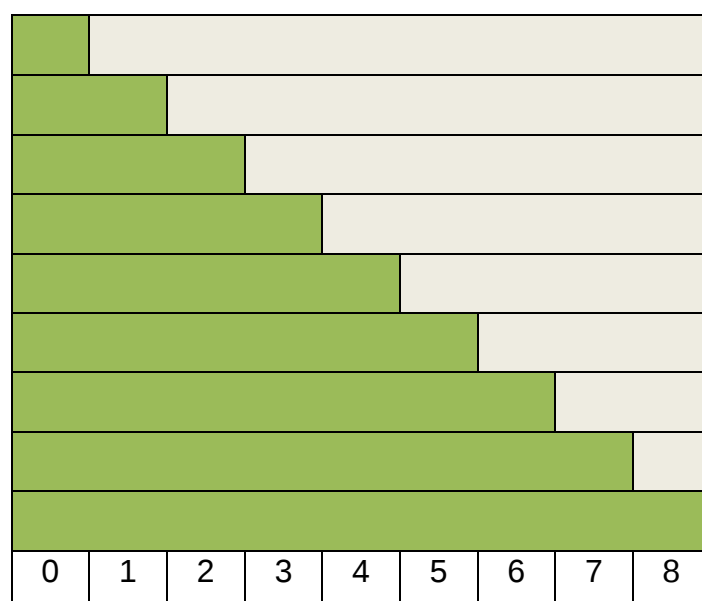


Figura 1. Esquema de enmalezamiento en las parcelas, que se mantuvieron “enmalezadas hasta” cero, uno, dos, tres, cuatro, cinco, seis, siete y ocho semanas desde la siembra. El color blanco representa el tiempo libre de malezas y el color verde representa el período que las parcelas permanecieron enmalezadas.

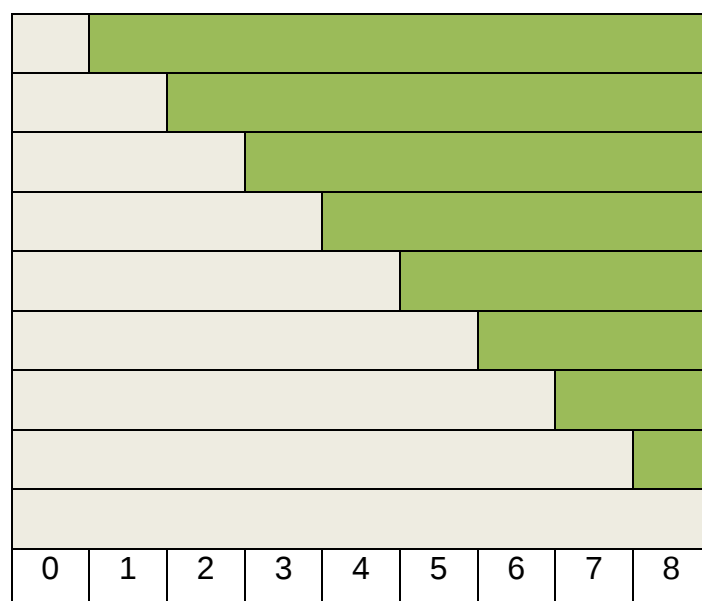


Figura 2. Esquema de enmalezamiento en las parcelas, que se mantuvieron “libre de malezas hasta” cero, uno, dos, tres, cuatro, cinco, seis, siete y ocho semanas desde la siembra. El color blanco representa el tiempo libre de malezas y el color verde representa el período que las parcelas permanecieron enmalezadas.



Figura 3. de distribución de tratamientos, siendo LH “libre de malezas hasta” cero, uno, dos, tres, cuatro, cinco, seis, siete y ocho semanas desde la siembra y LD “libre de malezas desde” cero, uno, dos, tres, cuatro, cinco, seis, siete y ocho semanas desde la siembra.

Siembra de la soja y ajuste de los tiempos de enmalezamiento

Se realizó un barbecho químico el 8/11 con glifosato a 1350 g e.a/ha. El día 23/11 se sembró el cultivar de soja DM46R21, con una sembradora Crucianelli de 14 surcos a 35 cm y una sembradora experimental Semina de 4 surcos a 52,5 cm. Junto a la siembra se fertilizó con 120 kg/ha de MAP (Anexos, fotografía 1, 2, 3 y 4).

Para mantener las parcelas libres de malezas, se aplicó glifosato con una mochila experimental, con campana antideriva, aplicando solamente en el entresurco, (ver anexos, fotografía 5 y 6). Los escapes de malezas al tratamiento químico se controlaron mediante la extracción de la parte aérea de la planta por corte a nivel superficial con un cuchillo.

Las aplicaciones fueron semanales, con glifosato a la dosis de 1350 g e.a./ha, a partir de la siembra, los días 23/11, 30/11, 7/12, 14/12, 21/12, 28/12, 4/1, 11/1 y 18/1. La aplicación se efectuó de a un entresurco por vez, siempre que se hayan encontrado malezas emergidas.

Toma de datos

Semanalmente se realizó un relevamiento de las especies de malezas presentes en el lote. Previo al momento de la cosecha del cultivo se realizó un muestreo de la

biomasa aérea de malezas en las parcelas enmalezadas desde la siembra. Para ello se cortaron las malezas a nivel del suelo, sobre una superficie de 0,25 m², delimitada por un marco metálico, se las colocaron en sobres de papel y fueron llevadas a la estufa a 52°C por 48 horas. Posteriormente se pesaron con una balanza de precisión (d=0,1g) y se determinó la materia seca aérea (MSA, g/m²).

Se cuantificaron las componentes agronómicas de rendimiento N° de tallos y N° de vainas, en 3 plantas al azar sobre 1m² central en cada parcela (Iznaga *et al.*, 2009).

Posteriormente, en todas las parcelas se realizó una cosecha manual la primera quincena de mayo equivalente a un metro cuadrado. Se cortaron las plantas de soja desde la superficie del suelo, de 2 y 3 surcos de 95 cm de largo, para los distanciamientos de 52,5 cm y 35 cm, respectivamente. Las plantas se colocaron en bolsas de polipropileno y se llevaron al laboratorio, donde se obtuvieron los granos mediante una trilladora eléctrica estática, (ver anexos, fotografía 15 y 16).

Cada muestra de granos se colocó en sobres de papel, identificados con etiquetas correspondientes a cada parcela, se eliminaron las impurezas y se midió la humedad con un higrómetro digital John Deere SW08120. Con una balanza digital se pesaron las muestras para así determinar la productividad de granos (g/m²), (ver anexos, fotografía 17 a 20).

Análisis estadístico

La variable de productividad de granos de las parcelas “enmalezadas hasta” y “libre de malezas hasta” se ajustaron a las funciones logística (Ecuación 1) y de Gompertz (Ecuación 2), respectivamente.

$$\text{Ecuación 1} \quad y = \left[\frac{c}{1 + e^{-g+bt}} + 1 - c \right]$$

donde y es la productividad de grano de soja (g/m²), c es el rendimiento máximo del cultivo en ausencia de malezas, g es la tasa de cambio de la función y bt es el punto de inflexión.

$$\text{Ecuación 2} \quad y = Ae^{-Be^{-kt}}$$

donde y es la productividad de grano de soja (g/m²), A es el valor máximo de

rendimiento posible cuando no hay interferencia por malezas. B es el rendimiento mínimo bajo competencia total desde la siembra y kt es la tasa de recuperación del cultivo.

Con las funciones ajustadas de los modelos logísticos y Gompertz se definieron el inicio y el fin del periodo crítico libre de malezas, considerando un umbral de pérdida del 5%.

Los datos de productividad y componentes de rendimiento fueron analizados en el software estadístico InfoStat (Di Rienzo *et al.*, 2020), mediante un diseño factorial (Ecuación 3):

$$\text{Ecuación 3} \quad y_{ij} = \mu + \tau_i + \gamma_j + \tau\gamma_{ij} + \varepsilon_i$$

donde y_{ij} es la variable respuesta (productividad de granos de soja (g/m^2) y componentes de rendimiento), μ es la media general, τ_i es el efecto del i-ésimo nivel de distancia entre hileras, γ_j es el efecto del j-ésimo nivel de densidad de siembra, $\tau\gamma_{ij}$ es el efecto de la interacción y ε_i es el error experimental.

Tanto la productividad como las componentes de rendimiento fueron analizadas mediante el ajuste de modelos lineales generales (MLG) y las comparaciones de medias se realizaron mediante la prueba DGC ($\alpha=0,05$).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Biomasa aérea de malezas

La densidad y el distanciamiento entre hileras, así como su interacción, no generaron efectos significativos ($p>0,05$) sobre la acumulación de MSA de malezas en las parcelas enmalezadas desde la siembra (Figura 4). Si bien es esperable que la arquitectura del cultivo incida en la captura de recursos y modifique las condiciones del ambiente para las malezas (Leguizamón y Acciaresi, 2014), los resultados obtenidos podrían haber estado condicionados por diversos factores, como el tamaño y la distribución del banco de semillas del suelo, las especies de la maleza intervinientes y las condiciones de sequía de la campaña 2023/24, caracterizada por una baja acumulación de precipitaciones (ver anexo 1). Las especies relevadas durante la realización del experimento se detallan a continuación (Tabla 1):

Tabla 1. Relevamiento de malezas.

Nombre Científico	Nombre vulgar
<i>Amaranthus hybridus</i>	Yuyo colorado
<i>Anoda cristata</i>	Malva cimarrona
<i>Bidens subalternans</i>	Amor seco
<i>Citrullus amarus</i>	Sandía silvestre
<i>Cyperus</i> spp.	Cebollín
<i>Digitaria sanguinalis</i>	Pasto cuaresma
<i>Echinochloa colona</i>	Capín
<i>Eleusine indica</i>	Gramma carraspera
<i>Ipomoea</i> sp.	Campanilla
<i>Parietaria debilis</i>	Yuyito de la pared
<i>Sorghum halepense</i>	Sorgo de Alepo

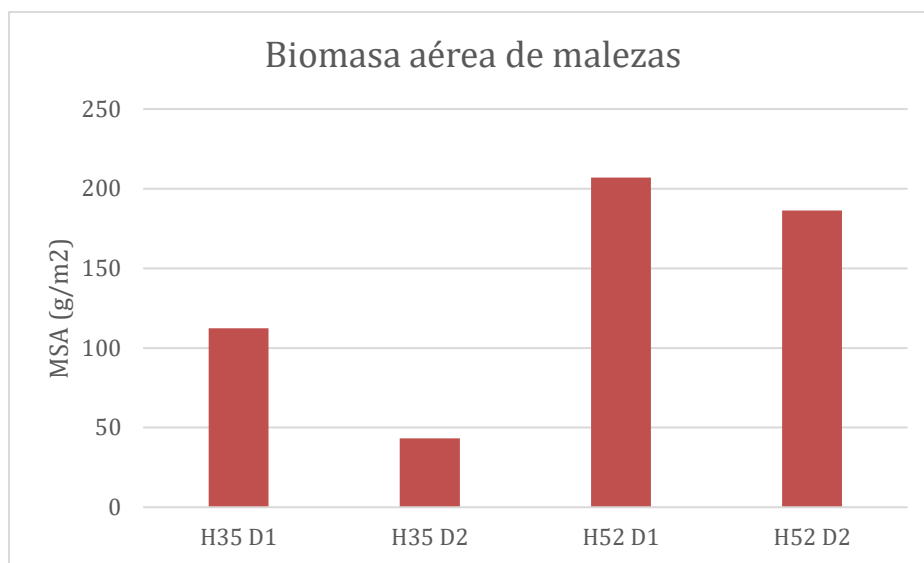


Figura 4. Biomasa aérea de malezas en las parcelas enmalezadas desde la siembra medido en materia seca aérea (MSA) en g/m².

Efectos del espaciamiento y la densidad sobre componentes agronómicas de rendimiento

La densidad del cultivo de soja tuvo un efecto significativo ($p < 0,05$) en la determinación del número de tallos y número de vainas por planta. Para la variable número de tallos se observó un promedio de 4,7 y 3,5 tallos/planta en D1 y D2, respectivamente (Figura 5). Aunque D1 favoreció una mayor ramificación por planta, al comparar el N° de tallos/m² no se encontraron diferencias significativas ($p > 0,05$). Esta diferencia contribuye a la compensación en el número de tallos/m², pero las diferencias detectadas reflejan cambios a escala individual y no a nivel de superficie.

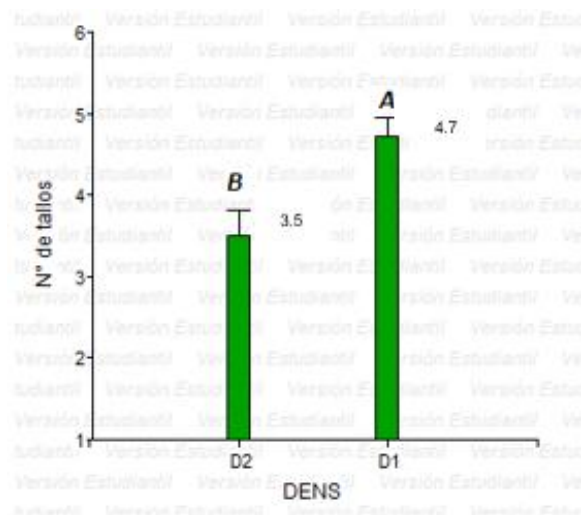


Figura 5. N° de tallos por planta de soja en función de las densidades de 35 plantas/m² y 45 plantas/m² (D1 y D2, respectivamente). Letras distintas indican diferencias significativas ($p < 0,05$).

La ramificación compensatoria en condiciones de baja densidad se alinea con lo descrito por Iznaga *et al.* (2009), quienes asocian a esta capacidad ante una menor competencia intraespecífica. Con el mismo criterio, Leguizamón y Acciaresi (2014) destacan que la arquitectura del cultivo se adapta a la densidad de siembra, favoreciendo la formación de estructuras vegetativas en escenarios de baja competencia.

De manera similar a la cantidad de tallos, el número de vainas promedio por planta fue mayor ($p < 0,05$) en D1, 67 vainas/planta, que en D2, 52 vainas/planta (Figura 6). De la misma manera, al proyectar estos valores a la escala de superficie, las diferencias entre tratamientos tienden a atenuarse. Esto refleja una notable compensación estructural del cultivo en condiciones de menor densidad, donde no se observaron diferencias estadísticas a escala superficial ($p > 0,05$).

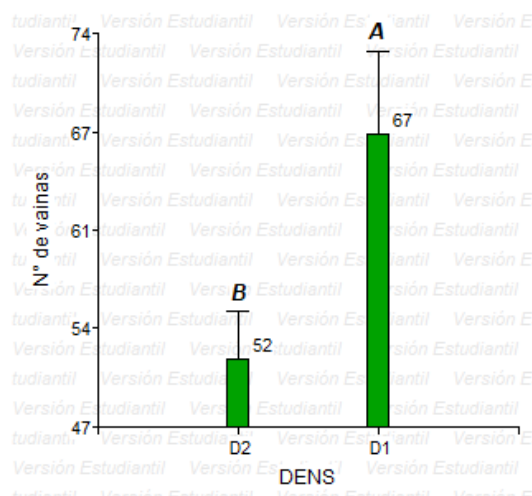


Figura 6. N° de vainas por planta de soja en función de las densidades de 35 plantas/m² y 45 plantas/m² (D1 y D2, respectivamente). Letras distintas indican diferencias significativas ($p < 0,05$).

De las componentes analizadas, el P1000 no fue afectado por la densidad de siembra, la distancia entre hileras ni su interacción ($p > 0,05$). Esto coincide con las observaciones de varios autores (Kruk y Satorre, 2003; Iznaga et al. 2009), quienes han resaltado que el peso de los granos en soja es uno de los componentes del rendimiento menos sensibles a las variaciones en la densidad y distanciamiento y tiende a mantenerse constante frente a estos cambios.

Visto que la variación en el N° de tallos y vainas difiere a nivel individual, pero no así a nivel área, esto podría tener un impacto directo en la capacidad de cada planta para generar estructuras vegetativas. Si bien en este trabajo no se observaron efectos sobre las variables agronómicas del cultivo, es posible que el distanciamiento influya en la dinámica de emergencia y desarrollo de malezas por cierre anticipado de entresurco y captación de luz, como han señalado diversos autores (Guglielmini, Satorre y Benech Arnold, 2003; Leguizamón y Acciaresi 2014), por lo que su impacto podría manifestarse más claramente en términos de competencia cultivo-maleza que en las componentes de rendimiento del cultivo.

Determinación del período crítico libre de malezas

Tratamiento H35 D1: Soja a 35 cm entre hileras y 35 plantas/m²

En este tratamiento, ninguna de las funciones ajustadas (logística y Gompertz) interceptó el umbral de pérdida del 5% de rendimiento (Figura 7), con un promedio de 427 g/m². Ambas curvas permanecieron por encima de ese umbral a lo largo de todo el periodo evaluado, indicando que, en las condiciones experimentales evaluadas, el cultivo no experimentó pérdidas significativas por interferencia con malezas. Por lo tanto, no fue posible el establecimiento del PCLM para esta condición.

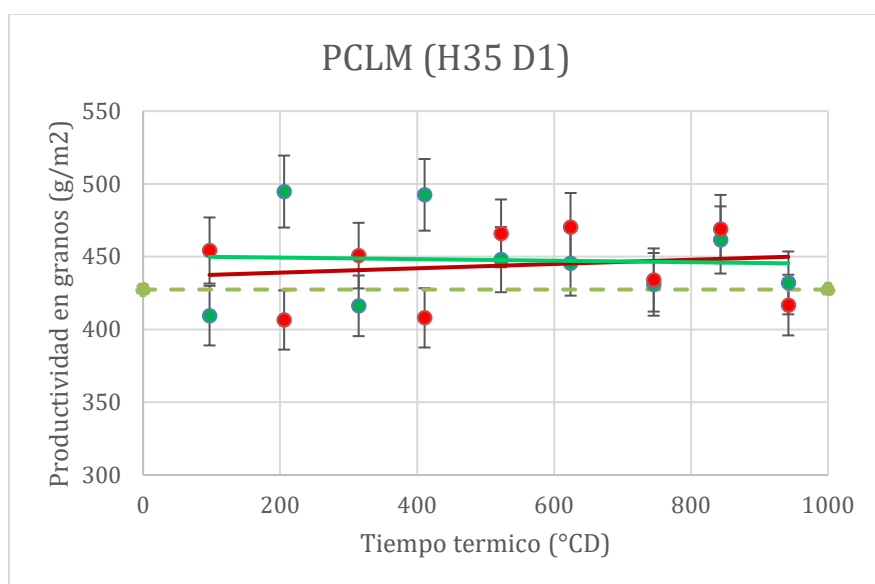


Figura 7. Productividad de granos de soja (g/m²), sembrada a la densidad de 35 pl/m² y a una distancia entre surcos de 35 cm, en función de los tiempos de enmalezamiento: con malezas desde la siembra hasta distintos momentos (círculos verdes) y libre de malezas desde la siembra hasta distintos momentos (círculos rojos), con el ajuste de las funciones logística (línea verde) y Gompertz (línea roja), respectivamente. La línea horizontal partida representa la productividad relativa determinada por el umbral de control (5%). Cada círculo representa el valor promedio y su error estándar.

Este comportamiento sugiere que el cultivo pudo sobrevivir en convivencia con las malezas sin afectar la productividad en grano, posiblemente por un rápido cierre del

entresurco, favorecido por el menor distanciamiento entre hileras. Además, en estas parcelas se pudo observar un efecto *carry over* de herbicidas que se hayan utilizado en campañas anteriores, lo que pudo limitar la emergencia y desarrollo de malezas. Si bien no se registraron daños generalizados, se observaron síntomas aislados en los microrrelieves del terreno, como contracción de los ápices foliares, que, en una escala visual de fitotoxicidad, estos efectos no implicarían pérdidas de rendimiento.

Tratamiento H35 D2: Soja a 35 cm entre hileras y 45 plantas/m²

En esta situación, mediante la función de Gompertz se interceptó el umbral del 5%, definiendo el fin del PCLM alrededor de los 520 °CD, coincidiendo con el estadio fenológico V3–V4 (Figura 8). No obstante, la función logística se ajustó por encima del umbral, por lo que no se pudo identificar el inicio del PCLM.

Esta respuesta indica que la combinación de distanciamiento estrecho y alta densidad pudo haber generado un cierre rápido del entresurco, reduciendo la interferencia de malezas en estadios tempranos. A diferencia de la densidad evaluada en el punto anterior, en estas parcelas no se observaron mayores efectos de *carry over* de herbicidas previos, por lo que la diferencia en la determinación del PCLM podría asociarse a este efecto.

Diversas investigaciones han documentado que la aplicación de herbicidas residuales al momento de la siembra puede retrasar la emergencia de malezas. Este efecto le permite al cultivo anticipar un cierre del entresurco y limita la convivencia con malezas en etapas tempranas (Roncatto et al., 2023; Silva et al., 2011). En consecuencia, es razonable considerar que el efecto *carry-over* observado en H35 D1 pudo haber contribuido a la ausencia de un PCLM, mientras que en H35 D2 dicho efecto no se detectó, favoreciendo la convivencia con malezas y facilitando la determinación del fin del periodo crítico.

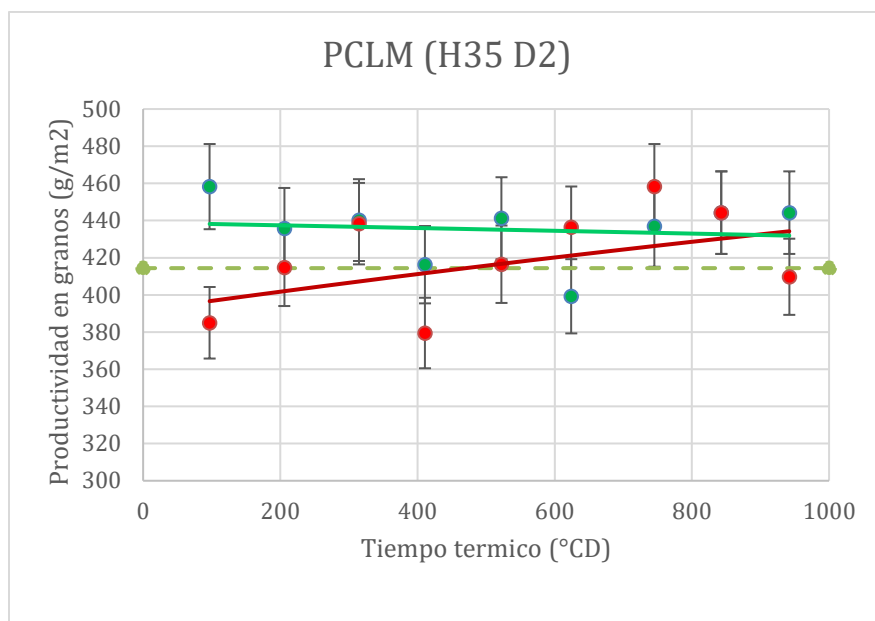


Figura 8. Productividad de granos de soja (g/m^2), sembrada a la densidad de 45 pl/m^2 y a una distancia entre surcos de 35 cm, en función de los tiempos de enmalezamiento: con malezas desde la siembra hasta distintos momentos (círculos verdes) y libre de malezas desde la siembra hasta distintos momentos (círculos rojos), con el ajuste de las funciones logística (línea verde) y Gompertz (línea roja), respectivamente. La línea horizontal partida representa la productividad relativa determinada por el umbral de control (5%). Cada círculo representa el valor promedio y su error estándar.

Tratamiento H52 D1: Soja a 52,5 cm entre hileras y 35 plantas/ m^2

En estos valores de densidad y distanciamiento, el PCLM se extendió desde los 520 °CD hasta los 790 °CD, con una duración de 270 °CD (Figura 9). Este intervalo coincide con los estadios fenológicos V3–V4 hasta R1, lo que indica que la convivencia con malezas produce su mayor impacto negativo en etapas más avanzadas del desarrollo vegetativo.

A pesar de la mayor distancia entre hileras y baja densidad, condiciones que generalmente reducen la competitividad del cultivo, el PCLM no comenzó en etapas más tempranas, sugiriendo un establecimiento inicial favorable. La emergencia uniforme, desarrollo inicial vigoroso y cierre temprano del entresurco, explicarían

una menor intercepción de recursos por parte de las malezas (Sattin et al., 1996; Pike et al., 1990), siendo clave la cobertura temprana del cultivo para limitar la emergencia y el desarrollo de estas, incluso en condiciones menos favorables de distancia y densidad de siembra.

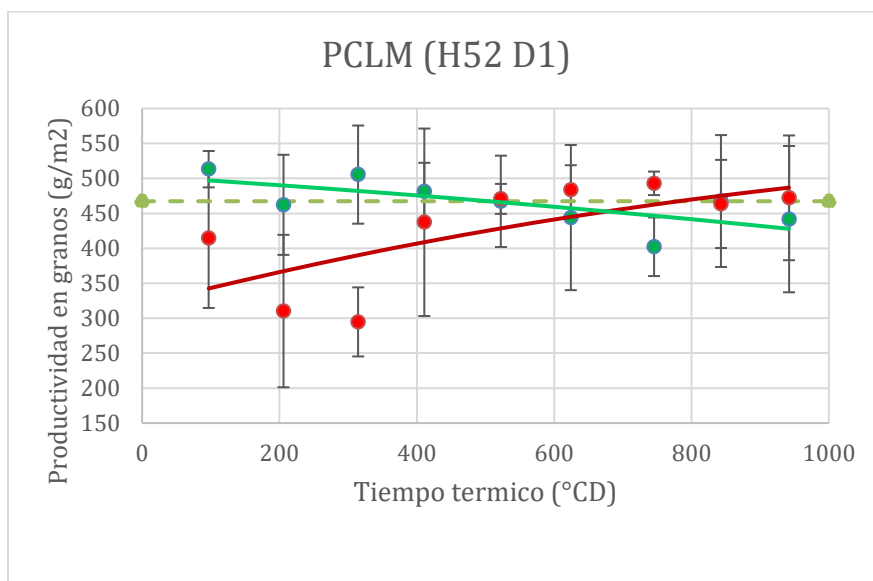


Figura 9. Productividad de granos de soja (g/m^2), sembrada a la densidad de 35 pl/m^2 y a una distancia entre surcos de 52,5 cm, en función de los tiempos de enmalezamiento: con malezas desde la siembra hasta distintos momentos (círculos verdes) y libre de malezas desde la siembra hasta distintos momentos (círculos rojos), con el ajuste de las funciones logística (línea verde) y Gompertz (línea roja), respectivamente. La línea horizontal partida representa la productividad relativa determinada por el umbral de control (5%). Cada círculo representa el valor promedio y su error estándar.

Tratamiento H52 D2: Soja a 52,5 cm entre hileras y 45 plantas/ m^2

En esta interacción de distanciamiento y densidad de siembra se observó el mayor PCLM, extendiéndose desde los 300 °CD hasta 770 °CD, con una duración del periodo de 470 °CD acumulados (Figura 10). Este intervalo abarcó desde los estadios fenológicos V1–V2 hasta R1.

La mayor duración del PCLM puede explicarse por la mayor distancia entre hileras, que dificultó el cierre del entresurco, sumado a una alta presión de sorgo de Alepo (*Sorghum halepense*) registrada en estas parcelas. A pesar de ser la mayor densidad evaluada, la convivencia con malezas posiblemente fue la responsable de la reducción significativa de la productividad.

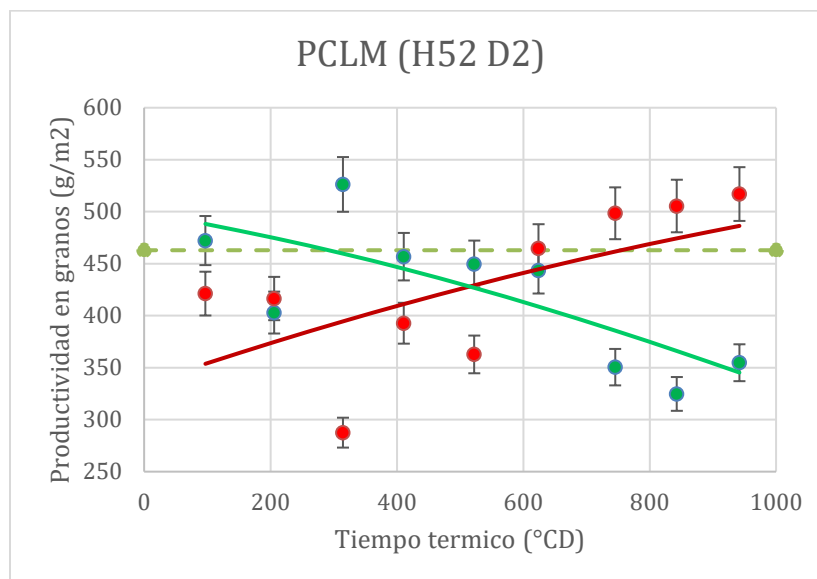


Figura 10. Productividad de granos de soja (g/m^2), sembrada a la densidad de 45 pl/m^2 y a una distancia entre surcos de 52,5 cm, en función de los tiempos de enmalezamiento: con malezas desde la siembra hasta distintos momentos (círculos verdes) y libre de malezas desde la siembra hasta distintos momentos (círculos rojos), con el ajuste de las funciones logística (línea verde) y Gompertz (línea roja), respectivamente. La línea horizontal partida representa la productividad relativa determinada por el umbral de control (5%). Cada círculo representa el valor promedio y su error estándar.

La duración observada es coherente con lo mencionado por Leguizamón y Acciaresi (2014), quienes indican que el PCLM puede extenderse cuando la arquitectura del cultivo no logra cerrar el entresurco a tiempo, aumentando el período de exposición a la interferencia de malezas, encontrándose dentro del rango reportado (Eyherabide y Cendoya, 2002; y Absy y Yacoub 2020). Aunque en este experimento

el PCLM inicia más tempranamente en comparación con lo reportado, esto puede atribuirse a la mayor frecuencia de sorgo de Alepo.

CONCLUSIÓN

Los resultados obtenidos en este trabajo permiten concluir que la determinación del período crítico libre de malezas responde de manera diferencial ante los cambios en las prácticas culturales combinadas de densidad y distanciamiento. En condiciones de alta densidad y menor espaciamiento, tendieron a reducir la duración del PCLM o incluso a impedir su determinación. Por el contrario, en arreglos de mayor distanciamiento entre hileras, con ambas densidades se detectaron PCLM, abarcando etapas tempranas del desarrollo. De esta manera se acepta la primera hipótesis planteada.

En lo que respecta al ajuste de las componentes agronómicas, se puede concluir que la densidad de siembra fue el factor con mayor influencia sobre la determinación del rendimiento en el cultivo de soja, modificando el número de tallos y vainas por planta. Esta variación morfológica fue observada a nivel individual, mientras que, al extrapolar los resultados a nivel de superficie, la diferencia se diluye, evidenciando la capacidad de compensación estructural del cultivo. Sin embargo, el peso de mil granos no presentó diferencias entre las variaciones culturales evaluadas. De esta manera se acepta parcialmente la segunda hipótesis.

Es evidente que, además del arreglo espacial del cultivo, otras variables como la presión de malezas, las condiciones del lote y la posible presencia de residuos de herbicidas también pudieron ejercer un efecto determinante. En las condiciones evaluadas, estos resultados refuerzan la importancia de la inclusión de las alternativas culturales como una herramienta complementaria en el manejo de malezas en soja bajo siembra directa, no solo por su efecto sobre el desarrollo del cultivo, sino también por su capacidad de modificar el momento y duración del PCLM.

Futuros trabajos podrían evaluar la interacción del diseño de siembra con otras alternativas culturales, evaluar el banco de semillas de malezas y distintas estrategias de rotación, contribuyendo a construir sistemas agrícolas más resilientes y menos dependientes del control químico exclusivo, adaptados a los desafíos actuales de la producción agrícola.

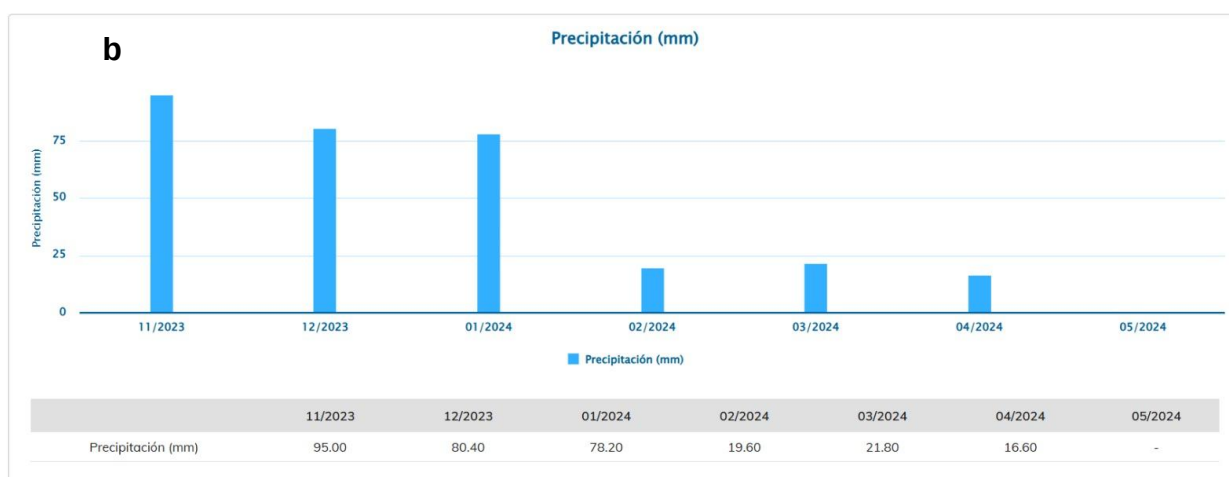
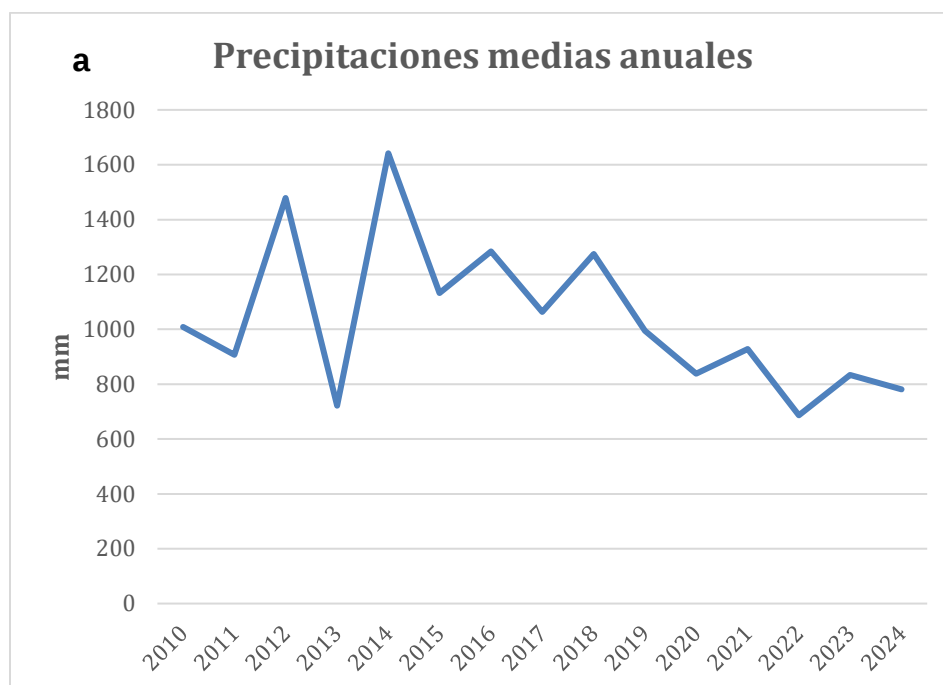
BIBLIOGRAFÍA

- Absy, R., & Yacoub, I. H. (2020). Prediction of Critical Periods for Weed Interference in Soybean. *Journal of Plant Production*, 11(1), 25-34.
- Aldrich, R.J. 1987. Predicting crop yield reductions from weeds. *Weed Technol.* 1: 199-206
- Bodrero, M. L. 2003. Algunos factores genéticos y ambientales que influyen sobre el rendimiento de la soja, In: Jornada Nacional de Soja (2a., 2003, La Estanzuela, Colonia). Memorias. Montevideo, INIA. pp. 1 – 10. (Actividades de Difusión no. 325).
- Burrill L. y M. Shenk 1986. Instructor's Manual for Weed Management. FAO Training Series No. 12. Food and Agriculture Organization of The United Nations, Roma. 149 pp.
- Di Rienzo J.A., Casanoves F., Balzarini M.G., Gonzalez L., Tablada M., Robledo C.W. 2020. InfoStat versión 2020. Grupo InfoStat, FCA, Universidad de Córdoba, Argentina. URL <http://www.infostat.com.ar>
- Eyherabide, J.J., Cendoya, M.G. 2002. Critical periods of weed control in soybean for full field and in-furrow interference. *Weed Science* 50: 162-166
- Fernández, O., Leguizamón, E. y Acciaresi, H. (Eds.) 2014. Malezas e Invasoras de la Argentina. Tomo I: Ecología y Manejo. Fisher, A. 1981. Consideraciones ecológicas para el control de malezas. Conferencia, Univ. Auton. Chapingo. 33 pp
- Guglielmini, A.; Batlla, D.; Benech Arnold, R. 2003. Malezas. Bases para el control y manejo. In Satorre, EH.; BenechArnold, RL.; Slafer, GA; Otegui, ME.; de la Fuente, EB.; Miralles, DJ.; R. Savin, R. eds. Producción de Cultivos de Granos. Bases Funcionales para su manejo. Buenos Aires, Facultad de Agronomía. p. 581-614.
- Harper, J.L. 1977. Population biology of plants. Academic Press, New York.
- Instituto Nacional Tecnología Agropecuaria (INTA). <https://www.argentina.gob.ar/inta>
- Irriga – www.irriga.net

- Iznaga, A. C., Pérez, R. A., Valdés, A. B., Sánchez, A. C., Valdés, G. R., & Romero, S. C. (2009). Influencia de la época de siembra sobre el crecimiento y desarrollo de tres cultivares de soya [*Glycine max* (L.) Merr.]. *Centro Agrícola*, 36(1), 33-39.
- Kruk, B. C., & Satorre, E. H. (2003). Respuestas morfofisiológicas del cultivo a la densidad de plantas. En E. H. Satorre, D. H. Benech-Arnold, G. A. Slafrman, & E. B. de la Fuente (Eds.), *Producción de granos: bases funcionales para su manejo* (pp. 143–159). Editorial Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires.
- Leguizamón, E. S.; Ferrari, G.; Lewis, J. P.; Torres, P. S.; Zorza, E.; Daita, F.; Sayago, F.; Galetti, L.; Tettamanti, N.; Molteni, M.; Ortiz, P.; Agueci, D y Conti, R. 2006. Las comunidades de malezas de soja en la región pampeana Argentina: monitoreo de cambios bajo el sistema de siembra directa. Congreso Mercosoja. Rosario. Sta Fe. pp. 137-141.
- Leguizamón, ES; Acciaresi HA. 2014. Interacción maleza-cultivo II: Relaciones funcionales entre las malezas y los cultivos. In Leguizamón, ES; Fernández, OA; Acciaresi, HA. eds. *Malezas e invasoras de la Argentina: ecología y manejo*. Bahía Blanca, Argentina. Ediuns. t. 1, p. 200-205.
- Nieto, J.H., M.A Brondo y J.T Gonzalez. 1968. Critical periods of the crop growth cycle for competition. *PANS* 14:159-165.
- OERKE E-C. Crop losses to pests. *The Journal of Agricultural Science*. 2006;144(1):31-43. doi:10.1017/S0021859605005708
- Pike, D. R., Wax, L. M., & Stoller, E. W. (1990). Modeling the growth of competing crops and weeds. *Weed Technology*, 4(2), 265–273.
- Principiano, M. A., & Acciaresi, H. A. 2017. Costo financiero e impacto ambiental del control de malezas en diferentes secuencias de cultivos en el NO de la provincia de Buenos Aires. *RTA: Revista de Tecnología Agropecuaria*, 10(34), 37–41.
- RAREF (Red Argentina de Resistencias a Herbicidas). (2024). Situación actual de malezas resistentes en Argentina. Recuperado de <https://www.aapresid.org.ar/rem>

- Roncatto, E., Barroso, A. A., Albrecht, A. J., Novello, B. D., Silva, R. G., & Backes, C. B. (2023). Shortening critical period of weed control at soybean by residual herbicide mixtures. *Advances in Weed Science*, 41, e020220075.
- Secretaría de Agricultura, Ganadería y Pesca. SAGYP. Datos.2025. <https://www.argentina.gob.ar/agricultura>
- Sattin, M., Berti, A., & Zanin, G. (1996). Crop canopy interference in weed-crop interactions. *Weed Research*, 36(4), 411–422.
- Silva, L. B., Velini, E. D., Ferreira, E., & Paz, P. (2011). Selectivity and residual weed control of pre-emergent herbicides in soybean crop. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 46(6), 719–728.
- Vitta, J; Tuesca, D. y Puricelli, E. 2004. Widespread use of glyphosate tolerant soybean and weed community richness in Argentina. *Agriculture, Ecosystems y Environments* 103: 621-624.
- Zhu Y, Wu J, Han L, Wang X, Li W, Guo H, Wei H, 2020. Nanozyme sensor arrays based on heteroatom-doped graphene for detecting pesticides. *Anal. Chem.* 92:7444-52.

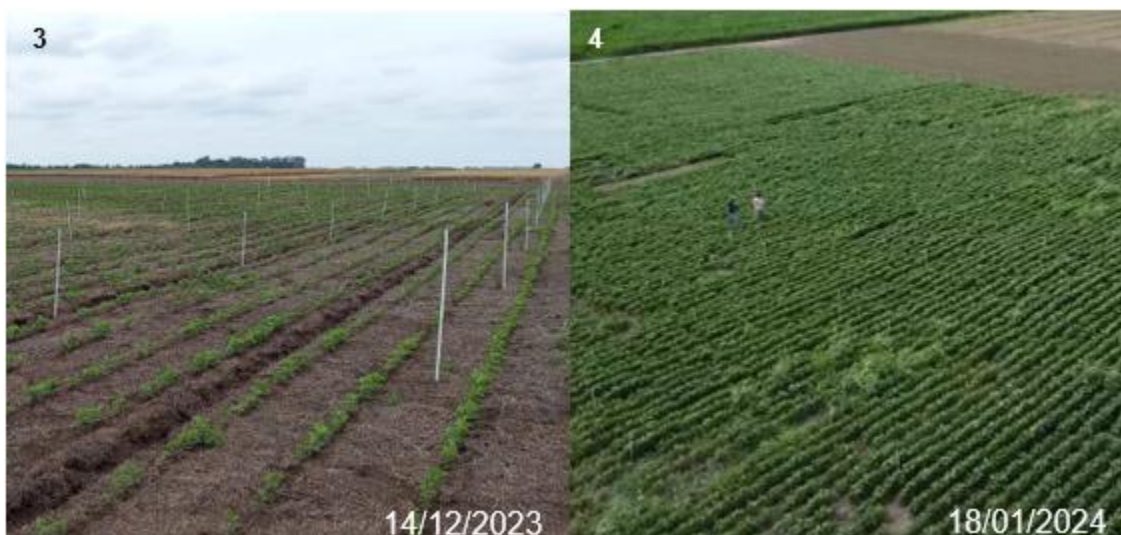
ANEXOS



Anexo 1. Datos históricos de precipitaciones en Pergamino desde 2010 hasta 2024 (a) y registro pluviométrico de la campaña 2023/24 (b)



Fotografía 1 y 2. Siembra y preparación del experimento (23/11/2023).



Fotografía 3 y 4. Cultivo implantado.



Fotografía 5 y 6. Mantenimiento de parcelas libre de malezas (21/12/2023).



Fotografía 7, 8, 9 y 10. Enmalezamiento del cultivo sembrado a 35 cm entre hileras, en baja (35 pl/m^2) y alta (45 pl/m^2) densidad.



Fotografía 11, 12, 13 y 14. Enmalezamiento del cultivo sembrado a 52,5 cm entre hileras, en baja (35 pl/m^2) y alta (45 pl/m^2) densidad.



Fotografía 15 y 16. Cosecha manual de plantas de 2 y 3 surcos de 95 cm de largo, para los distanciamientos de 52,5 cm y 35 cm, respectivamente.



Fotografía 17 y 18. Muestras de granos obtenidas mediante trilladora eléctrica estática, identificadas con etiquetas de cada parcela. Limpieza de impurezas.



Fotografía 19 y 20. Medición de humedad con higrómetro digital John Deere SW08120 y determinación de productividad en (g/m^2) con balanza digital.