

UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA PLATA
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS Y FORESTALES
TRABAJO FINAL DE CARRERA



Definición de la densidad de impactos en el control de malezas con herbicida total sistémico

Modalidad elegida: investigación aplicada en campos de las ciencias agrarias y forestales.

Área temática: Calidad de aplicación de fitosanitarios

Estudiante: Pereira Esteban Iván

Legajo: 26968/1

Email: pereiraestebanivan@gmail.com

Directora: Ing. Ftal. Tatiana Cinquetti

Codirectora: Ing. Agr. María Clara Donadelli

Tutor: Dr. Ing. Agr. Daniel A. Ferro

Fecha: 24 de marzo de 2025

RESUMEN

El control químico de malezas es una técnica ampliamente difundida en la producción extensiva, en la cual intervienen múltiples variables. Las variables son operativas como ambientales e intervienen en la eficiencia de aplicación (EA), entendiéndose a la misma como la cantidad de gotas depositadas en el objeto de tratamiento por unidad de superficie en relación al total de gotas pulverizadas. La densidad de impactos (DI) está íntimamente relacionada a la EA. FAO (organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación) recomienda una DI de 20-30 imp.cm⁻² en el caso de herbicidas de acción sistémica. Dicha recomendación es de principios de la década del '80 y podría estar desactualizada debido a los avances tecnológicos, tanto en los productos fitosanitarios como en los sistemas de aplicación. El objetivo de este trabajo fue evaluar la eficiencia del control biológico de herbicidas totales sistémicos según DI en aplicaciones hidráulicas de fitosanitarios. Se determinaron dos tratamientos: <20 imp.cm⁻² y >70 imp.cm⁻², determinando el estado de daño sobre especies monocotiledóneas y dicotiledóneas de diferente tamaño a los 3, 7, 11, 21 y 33 días luego de la aplicación. Los resultados demostraron que la aplicación de herbicidas sistémicos totales con diferente DI no presentó un control diferencial para monocotiledóneas y dicotiledóneas, ni en los distintos rangos de tamaños de las malezas.

INTRODUCCIÓN

La producción de cultivos agropecuarios se ve afectada negativamente por la presencia de malezas ya que son consideradas especies vegetales no deseadas puesto que compiten con los cultivos de interés por recursos escasos como la luz, el agua, el espacio, los nutrientes y el dióxido de carbono (Korav et al., 2018). Según DiMauro et al. (2022), los cultivos de cosecha pueden incrementar el rendimiento si se reduce la presencia de malezas, reduciendo la brecha entre el rendimiento actual y el rendimiento potencial.

Las malezas pueden clasificarse según distintos criterios. En general, se diferencian en dos grandes grupos según su taxonomía: monocotiledóneas y dicotiledóneas. Las monocotiledóneas son conocidas como de hoja angosta, donde está el importante grupo gramíneas y ciperáceas, y las dicotiledóneas son conocidas como de hoja ancha o latifoliadas. Otra clasificación según su ciclo de vida y más útil desde el manejo, es en malezas anuales y perennes. Las anuales son fáciles de eliminar ya que basta con controlarlas en estados iniciales y no son capaces de reiniciar su crecimiento, en especial las de hoja ancha o latifoliadas. Las malezas perennes poseen puntos de crecimientos, tales como rizomas y estolones, por lo cual pueden vivir por muchos años brotando desde dichos puntos. La clasificación de malezas es importante ya que permite definir la mejor estrategia de control.

El control de malezas en cultivos agropecuarios extensivos se realiza principalmente en forma mecánica y/o química y con el uso de maquinaria agrícola. El control mecánico se basa en la utilización de implementos de labranza para desanclar las raíces de las malezas del suelo y generar su deshidratación, mientras que el control químico se basa en la aplicación de productos químicos (herbicidas), cuya absorción genera una alteración metabólica que desencadena la necrosis de los tejidos. El tipo de tecnología utilizada para el control de malezas dependerá de cada sistema productivo.

Los herbicidas disponibles en el mercado se pueden clasificar según su forma de uso, modo de acción, momento de aplicación, selectividad y sitio de acción (Caseley, 1996):

- Forma de uso: los herbicidas se pueden aplicar al follaje de la maleza o al suelo. Los herbicidas que se aplican al follaje ingresan a través de los tejidos. En cambio, los herbicidas de aplicación al suelo generalmente afectan la

germinación de las malezas y tienen que persistir por algún tiempo para ser efectivos. Estos últimos se denominan también herbicidas residuales.

- Modo de acción: los herbicidas pueden ser de contacto o sistémicos. Los herbicidas de contacto afectan solamente la parte de la planta donde alcanzó el producto, mientras que los herbicidas sistémicos afectan a la totalidad de la planta puesto que el producto se moviliza dentro de la misma por los vasos conductores.
- Momento de aplicación: se describen en función del momento de aplicación y del desarrollo del cultivo. Los tratamientos de pre-siembra se aplican antes de la siembra del cultivo, en barbecho. Los tratamientos de pre-emergencia se realizan antes de la emergencia de las malezas, y pueden realizarse antes o después de la emergencia del cultivo. Los tratamientos de post-emergencia se aplican después que las malezas y, generalmente también el cultivo, han emergido.
- Selectividad: los herbicidas pueden ser totales o selectivos. Los herbicidas totales afectan el crecimiento de la mayoría de las especies, mientras que los herbicidas selectivos afectan a un grupo de especies como por ejemplo gramíneas o latifoliadas (hoja ancha).
- Sitio de acción: clasificados en grupos según la ruta metabólica que afecten. En términos generales, se pueden agrupar según intervengan en el proceso de fotosíntesis o en los mecanismos necesarios para el crecimiento o división celular.

El uso indiscriminado e irracional de herbicidas ha causado problemáticas productivas y ambientales. Uno de los principales problemas productivos se asocia a la generación de resistencia de las malezas a los principios activos de los herbicidas. Según AAPRESID (2024), en la actualidad se han confirmado 46 biotipos resistentes de malezas, englobando 28 especies, a 5 sitios de acción de herbicidas y en 18 casos con resistencias múltiples, es decir, presencia de malezas resistentes a más de un herbicida con diferente sitio de acción (Figura 1). Por otro lado, Molpeceres et al. (2023) realizaron una revisión bibliográfica y reportaron consecuencias negativas para la producción, el ambiente y la salud humana debido al uso de agroquímicos en la

producción agropecuaria. Por tales motivos, resulta importante generar conciencia y herramientas que permitan utilizar las tecnologías disponibles en forma racional, haciendo principal foco en la calidad de aplicación de productos para lograr los objetivos buscados, reduciendo los daños colaterales.



Figura 1. Reporte de biotipos resistentes de malezas en Argentina acumulado según año diferenciados por sitios de acción de herbicidas (AAPRESID, 2024)

La aplicación de herbicidas en los planteos agropecuarios extensivos de Argentina se realiza principalmente con maquinaria agrícola mediante el fenómeno conocido como pulverización. La pulverización consiste en dosificar y distribuir un líquido en forma de gotas, y el método de formación de gotas más difundido se basa en la utilización de la energía hidráulica (Merani, 2021). Este proceso consiste en la reducción de la sección de salida hacia la atmósfera de un caudal de líquido confinado, generando un incremento de presión dentro del sistema, y la ruptura de la vena líquida a la salida del orificio debido a la brusca reducción de presión en ese punto (Makhnenko et al., 2021; Merani, 2021). La resistencia en la salida se genera por las boquillas de pulverización, cuyo orificio varía en forma y tamaño. La población de gotas generada mediante este fenómeno se caracteriza por ser desuniforme en tamaño y sus características varían, entre los principales aspectos, según la pastilla utilizada, la presión del sistema, la

viscosidad y tensión superficial del líquido y las condiciones ambientales (Makhnenko et al., 2021). La población de gotas generada a la salida de las boquillas, luego de su formación, debe transportarse a través de la atmósfera hacia el objetivo (malezas) donde sufren alteraciones en tamaño y trayectoria debido a condiciones ambientales y operativas (Larrieu et al., 2024). Una vez que alcanzan el objetivo, el herbicida sistémico debe adherirse a la superficie del follaje, ingresar a la maleza vía cutánea e intervenir en los procesos metabólicos para generar su necrosis. En consecuencia, la efectividad de los principios activos de los herbicidas dependerá de la dosis de herbicida que ingrese a la maleza y su distribución dentro de ella, condicionada por el ambiente y por la actividad metabólica de la maleza (Magdalena et al., 2010). En base a lo expresado anteriormente acerca de la heterogeneidad de la población de gotas generada por el sistema hidráulico, las alteraciones que sufren las gotas durante su transporte e ingreso a la maleza por parámetros ambientales y la actividad metabólica de la planta, se destaca que el control químico de malezas mediante pulverización hidráulica terrestre es una práctica compleja.

Dentro de las condiciones ambientales que alteran el tamaño y trayectoria de la gota, se destacan: la temperatura (T), la humedad relativa (HR), la velocidad del viento a la altura del tractor, siendo importante tanto la velocidad media de viento (V_{Vm}) como la velocidad de las ráfagas de viento (V_{Vr}) y la estabilidad atmosférica. En relación con HR y T, se ha generado un indicador denominado “Delta T” (ΔT) según la diferencia de temperatura entre un bulbo húmedo y un bulbo seco y establece el estado del ambiente para realizar las aplicaciones de fitosanitarios (Carrancio y Massaro, 2019). En relación con la V_{Vm}, se ha establecido valores recomendados de aplicación entre 5 y 15 km.h⁻¹, evitando las aplicaciones en valores superiores o con V_{Vr} mayores; como así también garantizar una atmósfera inestable, evitando la denominada “inversión térmica”, durante la aplicación de productos (Magdalena et al., 2010). Por otro lado, respecto a las variables operativas, se mencionan como las más importantes a la velocidad de trabajo y a la altura del botalón respecto al objetivo (Leiva, 2007; Bogliani et al., 2010; Magdalena et al., 2010). La complejidad de las variables intervinientes en el momento de aplicación debe ser considerada, para garantizar aplicaciones de calidad que generen un control efectivo de malezas y que eviten la pérdida de producto. Esta

pérdida, incrementa los costos de producción y genera problemáticas de índole productiva y ambientales.

En Argentina se ha subestimado la complejidad subyacente en el control químico de malezas y, en la actualidad, se han generado problemáticas productivas y ambientales debido a su utilización. Los principales problemas podrían deberse al uso indiscriminado de productos, a la mala calidad de aplicación y a la utilización de dosis de aplicación diferentes a las recomendadas por las empresas fabricantes del producto. El uso indiscriminado de productos podría relacionarse con el consumo creciente de herbicidas para el control de malezas, donde se ha priorizado el éxito de la práctica por sobre la calidad de aplicación, incluso incrementado la dosis de aplicación y simplificando los principios activos de los herbicidas. Este comportamiento no es inofensivo, puesto que la utilización de dosis de herbicidas diferentes a las recomendadas por el fabricante genera una presión de selección indeseada en el ambiente y promueve la aparición de resistencia y/o tolerancia de las malezas a estos productos (Sarandón y Flores, 2014). Ante esta situación, resulta relevante generar conciencia respecto al uso de estos productos y tomar decisiones acertadas respecto a la dosis de producto que se utilice y a las tecnologías implementadas durante la operación para que garanticen una adecuada calidad de aplicación del producto.

La calidad de aplicación de un herbicida podría asociarse al éxito en el control de malezas y a la reducción de los daños ambientales. Según Leiva (2007), los procesos que se debieran considerar al realizar una pulverización de calidad, que considere el éxito en la aplicación de productos sobre las malezas y la reducción de los daños sobre el ambiente, son: a) el proceso de formación de gotas, b) la deriva de gotas hacia otros sitios, c) la capacidad de esas gotas para depositarse sobre el blanco alcanzado y d) la cobertura, medida como la densidad de impactos (DI) expresada en número de impactos por centímetro cuadrado (imp.cm^{-2}). Estas variables se relacionan fuertemente con el parámetro de eficiencia de aplicación (EA), entendiéndose a la misma como la cantidad de gotas depositadas en el objeto de tratamiento por unidad de superficie en relación al total de gotas pulverizadas (Courshee, 1960; Graham-Bryce, 1977). Merani (2021) evaluó la EA de pulverizaciones terrestres por sistemas hidráulicos de generación de gota en condiciones controladas (sin viento) sobre un

suelo de asfalto y reportó valores entre 50 % y 75 %. Estos resultados evidencian que es posible que la mitad del caldo de herbicida pulverizado no llegue al objetivo, incluso en condiciones ideales de aplicación.

Según lo expuesto, para evaluar y garantizar una buena calidad de aplicación, es obligatorio realizar mediciones en el campo durante la realización de la aplicación.

Según Leiva (2007), la DI actúa como un parámetro conjunto entre la uniformidad de distribución del producto y la dosis de principio activo que se deposita sobre el blanco, siendo uno de los principales parámetros que determinan la efectividad de los herbicidas. Varios autores concuerdan que el la DI correcta para realizar un control efectivo de las malezas depende del tipo de herbicida que se utilice, pero existe discrepancia entre los valores (Tabla 1). En este sentido, es necesario seguir estudiando este parámetro para lograr recomendaciones más acertadas.

Tabla 1. Densidad de Impactos (imp.cm^{-2}) recomendada para aplicaciones de herbicidas sistémicos sobre el follaje de las malezas.

Cita	Herbicida Sistémico
Bogliani et al. (2010)	30-40
FAO (Weber, 1982)	20-30
Massaro y García (2021)	20-60
Leiva (2007)	20-30
Teixeira (2010)	30-40
Massaro y García (2021)	20-60

La aplicación de una correcta DI, además del efecto sobre las malezas, determina las condiciones de trabajo y los riesgos a la deriva del producto. El porcentaje de cobertura es un parámetro que se puede definir como el porcentaje de superficie mojada de la tarjeta hidrosensible. A partir del tamaño de las improntas medidas se calcula el tamaño de las gotas, la cobertura está estrechamente relacionada a la DI, aunque no siempre las modificaciones de DI arrojan valores de variación lineal en porcentaje de cobertura (Merani, 2021). La DI está íntimamente relacionada con el tamaño de las gotas y la dosis de caldo aplicado (Teixeira, 2010). En la medida que se desee incrementar DI con la misma dosis, es necesario reducir el tamaño de las gotas, ya sea cambiando la pastilla que se utilice o incrementando la presión en el sistema (Teejet,

2024). La reducción del tamaño de las gotas en pulverización implica un mayor riesgo de exoderiva (Zimdahl, 2018). En este sentido, es importante determinar certeramente la DI necesaria para el control de malezas para realizar aplicaciones con los mayores tamaños de gotas posibles, respetando la dosis recomendada por los fabricantes. Esta forma de trabajo permitirá reducir la pérdida de producto por deriva y alcanzar mayores valores de EA, reduciendo significativamente los costos operativos y los daños sobre la producción y el ambiente.

OBJETIVOS

General

Generar conocimiento fiable sobre la relación entre eficiencia de aplicación de fitosanitarios y eficiencia biológica

Específico

Evaluar la eficiencia del control biológico de herbicidas totales sistémicos con $<20 \text{ imp.cm}^{-2}$ y $>70 \text{ imp.cm}^{-2}$ en aplicaciones hidráulicas de fitosanitarios

HIPÓTESIS

General

Los datos de calibración de aplicaciones hidráulicas de fitosanitarios se encuentran desactualizados y no se relacionan con los productos utilizados en la actualidad

Específica

La densidad de impactos recomendada para el realizar el control de malezas con herbicidas totales sistémico no está ajustada a los productos utilizados en la actualidad, como así tampoco diferenciados según familia maleza.

MATERIALES Y MÉTODOS

Sitio de estudio

El ensayo se realizó en la Estación Experimental Julio Hirschhorn (EEJH), perteneciente a la Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales (FCAyF) de la Universidad Nacional de La Plata (UNLP), ubicada en la Avenida 66 y 167, en el barrio de Los Hornos, La Plata, Buenos Aires, Argentina (S 34° 58' 58"; O 57° 59' 48") Imagen 1.



Imagen 1: Vista satelital de la Estación Experimental Julio Hirschhorn (EEJH), en color azul.
Lote seleccionado para realizar el ensayo, en color rojo.

Tareas previas

En el área donde se llevó a cabo el ensayo, 25 días antes de su inicio, se eliminó la vegetación presente y se realizó una nivelación inicial mediante el uso de rastras de casquetes, seguida por pasadas con rastra de dientes. Esta preparación tuvo como finalidad uniformar las condiciones del suelo, garantizando así el crecimiento homogéneo de las malezas.

Maquinaria utilizada

El ensayo consistió en la aplicación de un herbicida para el control de malezas. Para ello se utilizó una pulverizadora de tipo montada, marca Hatsuta® modelo HS400 de 400 L de capacidad, con bomba de pistón membrana de 3 cuerpos, transmisión de potencia por barra cardánica a la TPP categoría I (540 rpm). Se trabajó con un botalón de aluminio, con portapicos múltiples, con sistema de revólver para tres boquillas, utilizándose 6 portapicos separadas a 0,52 m entre sí con una altura de 0,9 m y un ancho de trabajo de 3 m. La pulverizadora se montó en un tractor de diseño doble tracción asistida (FWD) John Deere 6300 de 100 CV.

Calibración de la maquinaria

En forma previa a la aplicación del herbicida se realizó la calibración de la maquinaria con el fin de asegurar diferentes DI de aplicación de caldo a iguales tasas. En primera instancia, se verificó que todas las boquillas eroguen el caudal requerido a la presión de trabajo indicada en la Tabla 2, la correspondiente al caudal esperado de acuerdo a la información del fabricante. Para ello, se puso en funcionamiento el sistema pulverizador hasta que mantuvo la presión buscada medida con un manómetro, luego se colocaron probetas graduadas a la salida de las boquillas y se determinó el volumen pulverizado durante 60 segundos. Se estableció una tolerancia del 10% por encima y por debajo del caudal indicado por el fabricante. En una segunda instancia se controló la DI con tarjetas hidrosensibles Syngenta® analizadas posteriormente con el programa CIR 1.5.

Tabla 2: Boquillas seleccionadas y condiciones de trabajo utilizados en el ensayo

Boquilla	Presión (bar)	Caudal (L.min ⁻¹)	Velocidad (m.s ⁻¹)	Tasa (L. ha ⁻¹)	DI (imp.cm ⁻²)
TXA80015VK	2	0,47	3,33	44,3	>70
AITXA80015VK	2	0,47	3,33	44,3	<20

Caldo herbicida

El caldo utilizado para el ensayo estuvo conformado por 3 productos herbicidas totales post emergentes de acción sistémica. La mezcla estaba constituida por Glifosato al 48% (sal isopropilamina del N-fosfometil glicina) en dosis equivalente a 4 L ha^{-1} , 2,4 D-amina (sal mezcla de aminas del ácido 2,4 diclorofenoxiacético) en dosis equivalente a $1,2 \text{ L ha}^{-1}$ y Cletodim al 24 % ((E)-2-[1-[(3-cloro-2-propenyl)oxy]imino]propil]-5-[2-(etiltio)propil]-3-hidroxi-2-ciclohexen-1-ona) en dosis equivalente a $1,2 \text{ L ha}^{-1}$. La aplicación de los caldos de herbicidas en ambos tratamientos se realizó en dosis de 50 L ha^{-1} .

Diseño experimental

Se utilizó un diseño en bloques completamente aleatorizado (DBCA) con un factor (herbicida) y dos niveles (densidad de impactos). En el lote en barbecho de aproximadamente 0,5 ha con presencia de malezas en activo crecimiento, se delimitaron tres bloques y se realizaron dos parcelas paralelas por bloque de 5 m de ancho y aproximadamente 50 m de largo (tratamientos), separadas por calles de 4 m entre sí. Los tratamientos consistieron en la aplicación de diferentes DI: $< 20 \text{ imp.cm}^{-2}$ y $> 70 \text{ imp.cm}^{-2}$.

Realización del ensayo

Se seleccionó un lote al reparo con la finalidad de reducir la incidencia de la velocidad del viento. En cada parcela se delimitó una superficie representativa de 1 m^2 que fue cubierta con nylon durante la aplicación de los restantes tratamientos para impedir que alcance producto por efecto de la deriva. Durante la aplicación de los herbicidas en los tratamientos se colocaron tarjetas hidrosensibles para monitorear el cumplimiento de la DI deseada, como así también se midieron las condiciones ambientales durante la aplicación: T, HR, VMv con una estación meteorológica portátil Kestrel 3500 DT.

Sitio de muestreo, variables analizadas y duración del ensayo

En cada superficie delimitada en las parcelas se realizó el seguimiento de las malezas mediante una grilla de 1 m² compuesta por 25 separaciones de 400 cm². En cada una de las grillas se identificó el tipo de maleza (dicotiledóneas y monocotiledóneas), el tamaño (Tabla 3) y el grado de daño causado por el herbicida (Tabla 4).

Tabla 3. Clasificación de tamaños de malezas según altura y diámetro (ambas condiciones deben cumplirse para pertenecer a una categoría).

Clasificación	Altura (cm)	Diámetro (cm)
Muy chico	< 3	< 3
Chico	< 6	< 6
Mediano	< 10	< 10
Grande	> 10	> 10

Tabla 4. Clasificación del grado de daño del tejido de las malezas.

Clasificación	Daño
1	Sin daño en tejido vegetal
2	Vivo con menos del 50% del tejido dañado
3	Vivo con más del 50% del tejido dañado
4	Muerto

El día 9 de diciembre de 2024 se realizó la identificación y caracterización de malezas y comenzó el ensayo. Posteriormente, se registraron los grados de daño causado en 5 fechas posteriores a la aplicación del herbicida: 12 de diciembre del 2024 (3 días), 16 de diciembre del 2024 (7 días), 21 diciembre de 2024 (11 días); 30 de diciembre de 2024 (21 días) y 11 de enero de 2025 (33 días). Finalmente, en el periodo de duración del ensayo se registraron los datos climáticos con el modelo Davis Advantage Pro2 publicados en el Boletín Agrometeorológico Mensual de la EEJH.

Análisis estadístico

Se realizó el análisis estadístico de las tarjetas hidrosensibles colocadas durante la realización del ensayo (Imagen 2) para caracterizar y garantizar las diferencias en la DI

entre tratamientos ($p < 0,05$). En la tarjeta hidrosensible se analizó la DI, $DV_{0,5}$, AR, eficiencia.

Se calculó el factor de dispersión (FD), que es la relación entre los diámetros $DV_{0,5}$ y DMN. Posteriormente, se realizó el análisis estadístico de los grados de daño generados en cada tratamiento en las diferentes fechas para cada tipo de maleza y tamaño utilizando Análisis de la varianza no paramétrico de Kruskal-Wallis ($p < 0,05$) dado que no se cumplieron los supuestos para realizar el ANOVA. Posteriormente, se realizaron comparaciones múltiples y los contrastes postulados según lo descrito por Conover (1999). Se utilizó el software estadístico Infostat (Di Rienzo et al, 2014) y el software Excel® del paquete de Microsoft Office 365 para la confección de los gráficos (Microsoft, 2024).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

1. Condiciones ambientales durante la aplicación

Durante la aplicación de fitosanitarios, se registraron las condiciones ambientales que se detallan en la Tabla 5.

Tabla 5. Condiciones ambientales para cada tratamiento durante la aplicación de fitosanitarios

Tratamiento (imp.cm ⁻²)	Velocidad viento (km.h ⁻¹)	Humedad relativa (%)	Temperatura ambiente (°C)
< 20	3,2	47,3	25,5
>70	2	44,7	27,7

La temperatura ambiente al momento de realizar el ensayo fue mayor a 25°C, con una humedad relativa menor al 50%. Según el DeltaT propuesto por Carrancio y Massaro (2019), estas variables ambientales sitúan a la aplicación en condiciones preferenciales de pulverización para <20 imp.cm⁻² y levemente marginales para >70 imp.cm⁻². En este sentido, Leiva (2007) recomienda no realizar la aplicación de plaguicidas líquidos a temperaturas mayores a 25°C, humedad relativa inferior al 60% y velocidad del viento no superior a 10 km.h⁻¹. Sin embargo, la presencia de viento es deseable cuando se presenta transversal a la aplicación dentro de las velocidades recomendadas permitiendo una deposición uniforme del líquido asperjado.

2. Caracterización de la población de gotas durante la aplicación

En la Imagen 2 se visualizan los resultados sobre las tarjetas hidrosensibles utilizadas en el ensayo

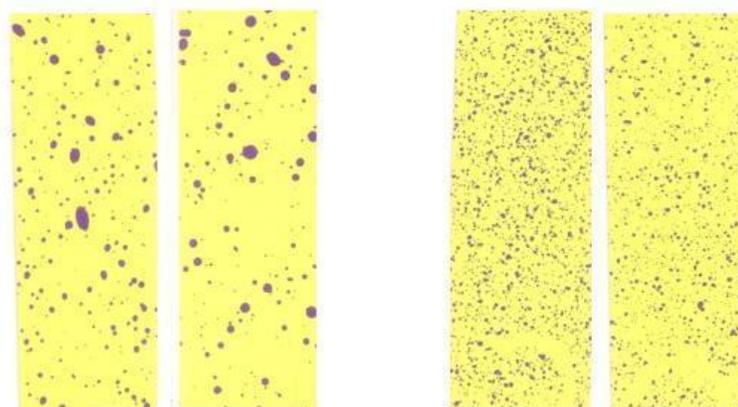


Imagen 2: Tarjetas hidrosensibles utilizadas durante el ensayo, luego evaluadas por CIR 1.5.
Lado izquierdo < 20 imp.cm⁻²; lado derecho > de 70 imp.cm⁻²

En la Tabla 6 se presentan los resultados del análisis de las tarjetas con el programa CIR 1.5.

Tabla 6. Caracterización de la familia de gotas de las pulverizaciones utilizadas.

Trat	DI (imp.cm ⁻²)	Ef (%)	FD	Cob (%)	D.V0.5 (µm)	D.V0.1 (µm)	D.V0.9 (µm)	D.M.N	AR.
<20	17	61 a	7,5	3,5	658	313	887	95,4	0,89
>70	106	35 b	2,3	5,0	207	117	310	95,0	0,99

En este estudio, los valores de FD fueron menores en el tratamiento >70 imp.cm⁻², respecto al tratamiento de < 20 imp.cm⁻². Estos resultados indican que la distribución de la familia de gotas fue más uniforme en el tratamiento > 70 imp.cm⁻² dado que un valor de FD cercano a 1 indica una población de gotas más homogénea. Por otro lado, el tratamiento <20 imp.cm⁻² mostró una población menos homogénea de gotas con una mayor eficiencia en comparación con el tratamiento de > 70 imp.cm⁻²

La mayor eficiencia del tratamiento <20 imp.cm⁻² (Tabla 6) se la puede adjudicar a que se generaron gotas de mayor tamaño y podría haber sufrido una menor evaporación

dado su menor superficie expuesta en relación al volumen (Leiva, 2007). Adicionalmente, la mayor eficiencia en la boquilla de aire inducido podría deberse a una sobreestimación dada la mayor impronta que se genera en la tarjeta hidrosensible debido al aire y las gotas satélites producidas al impactar, efecto demostrado por Domper (2015).

3. Condiciones ambientales durante el ensayo

En la Tabla 7 y Tabla 8 se observan los datos climáticos registrados en el mes de diciembre 2024 y el mes de enero 2025, respectivamente.

Tabla 7. Datos climáticos registrados en el mes de diciembre de 2024. Fuente: Boletín Agrometeorológico Mensual de la EEJH.

Fecha	Temperatura del aire (°C)			Lluvia (mm)
	Media	Máx.	Mín.	Cantidad
1/12/2024	18,5	21,2	15,9	43
2/12/2024	16,1	21,3	11,1	0,8
3/12/2024	15	22,7	7	0
4/12/2024	20,2	26,3	10,7	0
5/12/2024	23,9	31,4	18,2	0
6/12/2024	21,1	27,6	13,5	6
7/12/2024	14,7	19,8	9,9	0
8/12/2024	14,1	21,3	7,4	0
9/12/2024	16,1	23,7	5,9	0
10/12/2024	21	27,6	11,3	0
11/12/2024	22,8	28,7	15,2	0
12/12/2024	24,5	30,7	19,2	0
13/12/2024	22,5	25,8	16,9	0
14/12/2024	20,7	26,8	16,3	0,2
15/12/2024	19,4	26,6	12,8	0
16/12/2024	17,9	26,2	8,9	0,2
17/12/2024	20,6	26,8	12,9	0,2
18/12/2024	23,5	28,4	19,3	0
19/12/2024	23,1	28,3	17,8	0,8
20/12/2024	23,9	29,7	15,3	0
21/12/2024	16,7	23,9	10	0
22/12/2024	20,6	27,4	12,2	0
23/12/2024	24,3	30,3	18,8	0
24/12/2024	19,2	24,4	16,1	7

25/12/2024	17,2	21,1	14,6	0
26/12/2024	19,8	26,8	13,7	0
27/12/2024	20,1	27,8	11,6	0
28/12/2024	19,8	27,9	12,7	0,2
29/12/2024	19,9	27,4	12,4	0,2
30/12/2024	21,4	27,4	13,7	0
31/12/2024	24,2	30,6	19,4	0
Media	20,1	26,3	13,6	
Total				58,6
Normal del Mes (1964-2020)	22,3			81,3
Ranking (1964-2020)	56			
Ranking (1911-2020)				68

Tabla 8. Datos climáticos registrados en el mes de enero de 2025. Fuente: Boletín Agrometeorológico Mensual.

Fecha	Temperatura del aire (°C)			Lluvia (mm)
	Media	Máx.	Mín.	Cantidad.
1/1/2025	23,7	32,8	18,8	5,4
2/1/2025	22,5	29,9	15,2	0,6
3/1/2025	19,3	27,2	11,4	0
4/1/2025	18,4	26,8	11,6	0
5/1/2025	19,4	26,7	13,4	0
6/1/2025	20	26,9	12	0
7/1/2025	21,6	29,2	13,5	0
8/1/2025	23,1	30,2	16,7	0
9/1/2025	24,5	30,9	18,3	0
10/1/2025	23,1	30,4	15,4	0,2
11/1/2025	22,5	29,3	14,7	0
Media	21,6	29,1	14,6	
Total				6,2
Normal del Mes (1964-2020)	23,7			99,7

Como se observa en los registros climáticos presentados (Tabla 7 y Tabla 8), las temperaturas medias durante diciembre y enero fueron cercanas a las normal del mes y las precipitaciones registradas fueron inferiores a las normal del mes. En este sentido, Alvarez Martinez (2016), comprobó que efectivamente una planta expuesta a una

mayor temperatura, aumenta la absorción de agua y con esta la absorción de nutrientes. Es por ello que podemos deducir que las condiciones ambientales registradas generaron un ambiente propicio para un menor crecimiento en el conjunto de plantas.

4. Eficiencia biológica

4.1 Nivel de daño respecto a tratamiento y fecha

No se encontraron diferencias estadísticas significativas entre tratamientos en ninguna de las fechas analizadas (Figura 2). Esto podría ser consecuencia que la cobertura alcanzada, indistintamente del número de impactos, fue suficiente para generar la concentración de principio activo dentro de la planta como para conseguir eficacia biológica (Imagen 3). Estos resultados podrían discrepar con lo reportado por Márquez Delgado (2008), quien menciona que se requiere un mínimo de 20 a 30 imp.cm⁻² para realizar un control eficaz.

Por otro lado, si observamos el tamaño de gota de cada uno de los tratamientos, la falta de diferencia en la eficacia del control respecto a los diferentes tamaños de gotas generados en los tratamientos concuerda con Prokop (2003) quien tampoco registró diferencias en el control de *Elytrigia repens* (L.) en cultivo de papa utilizando herbicidas con tamaños de gota entre 193 µm a 929 µm de DVM. Martínez y Sarubbi (2015) obtuvieron resultados similares en la eficacia en el control de malezas con un espectro de gotas de 230 µm a 360 µm de DVM, utilizando situaciones con y sin viento.

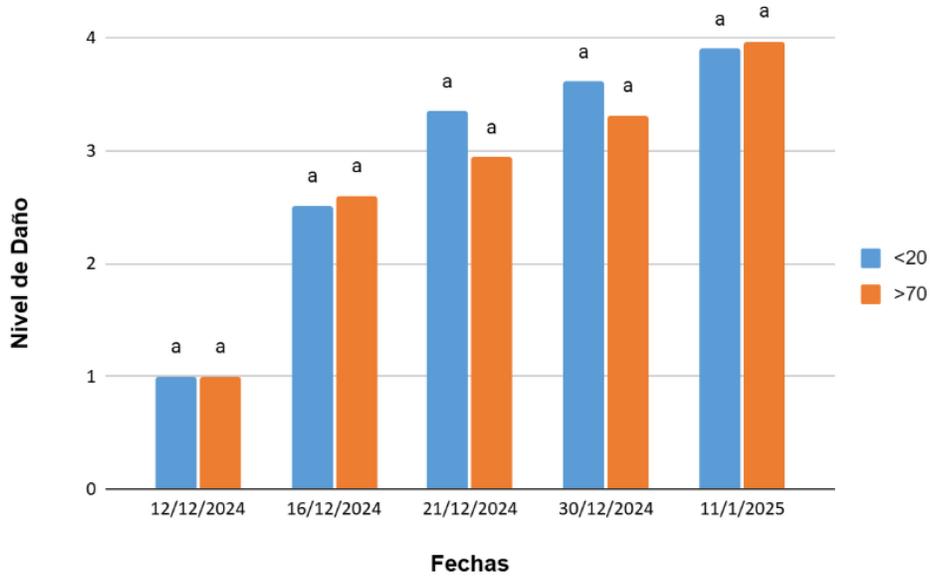


Figura 2. Nivel de daño por tratamiento para todas las malezas en cada fecha evaluada. Letras minúsculas diferentes representan diferencias significativas por Test de Tukey $p < 0,05$.



Imagen 3. Progreso de los tratamientos comparados con el testigo. En el bloque superior se observa el tratamiento $< 20 \text{ imp.cm}^{-2}$ y en el bloque inferior el tratamiento $> 70 \text{ imp.cm}^{-2}$.

4.2 Nivel de daño según tamaño para la última fecha

No se encontraron diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos bajo las condiciones climáticas en las que se realizó el ensayo (Figura 3). En este sentido, Papa (2013) encontró que el control realizado en etapas iniciales de especies que denominaron tolerantes fue muy eficaz, en oposición al control en estadios avanzados.

En particular, Faccini & Puricelli, (2007) hallaron que el estado de desarrollo afecta la eficacia, demostrando que en estado vegetativo es efectivo el control teniendo que aumentar la dosis en estadios reproductivos. Sin embargo, ninguna de las especies pertenecientes al ensayo alcanzó el estadio reproductivo es por ello que se infiere que las pequeñas variaciones presentes en los resultados pueden deberse a la abundancia de especies participantes.

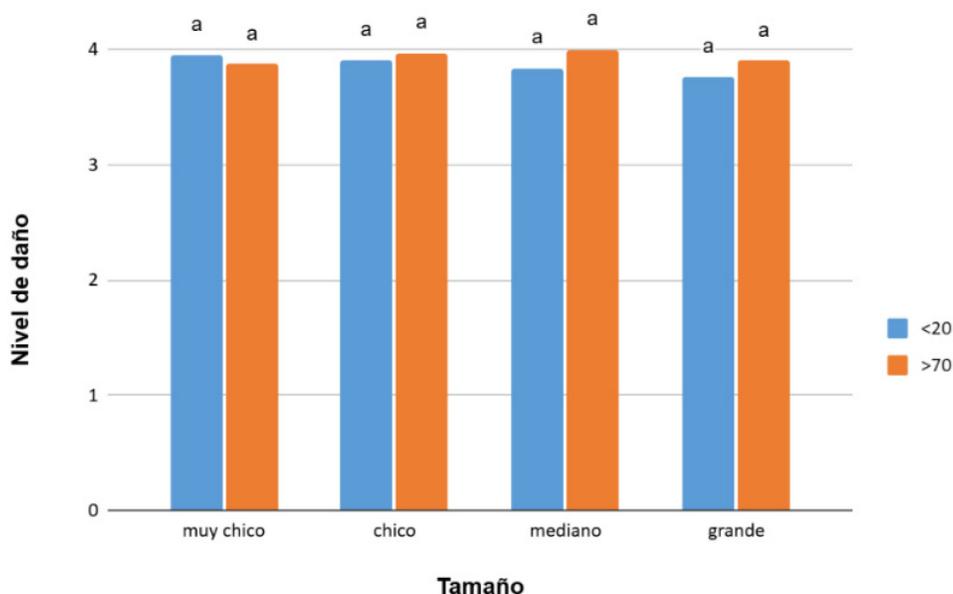


Figura 3. Nivel de daño por tratamiento particionado por tamaño de maleza para la última fecha de evaluación. Letras minúsculas diferentes representan diferencias significativas por Test de Tukey $p < 0,05$.

4.3 Nivel de daño según tipo de maleza en la última fecha

En el presente estudio los resultados mostraron que no existieron diferencias estadísticas significativas en el control de monocotiledóneas y dicotiledóneas (Figura 4) a diferencia de Massaro & Garcia (2021), quienes encontraron que se requirió una DI de 35 imp.cm^{-2} para gramíneas anuales y de 20 imp.cm^{-2} para latifoliadas.

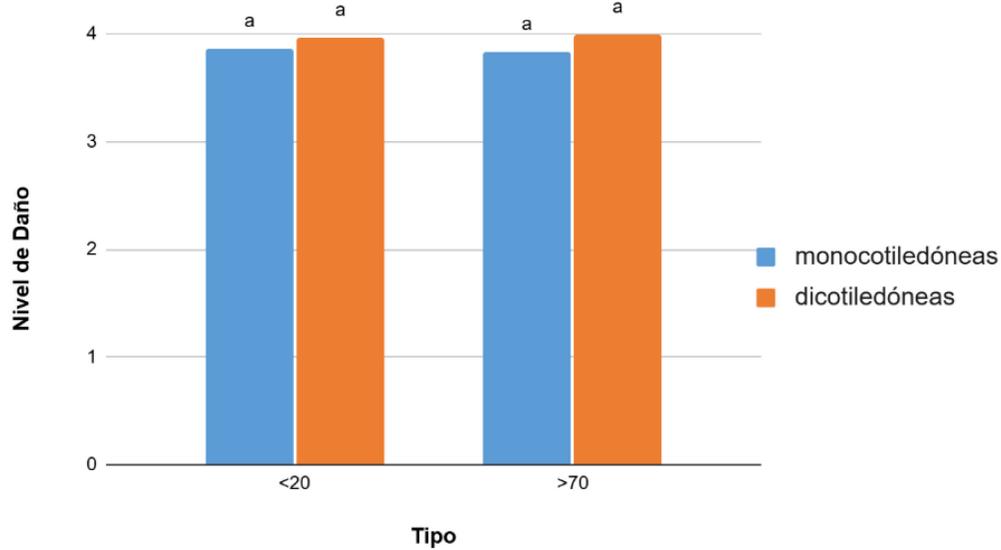


Figura 4. Nivel de daño por tratamiento particionado por tipo de maleza para la última fecha de evaluación. Letras minúsculas diferentes representan diferencias significativas por Test de Tukey $p < 0,05$.

CONCLUSIÓN

La eficiencia sobre el control biológico de malezas con herbicidas totales sistémicos puede realizarse satisfactoriamente con una densidad de impactos menor a la recomendada por la bibliografía actual, incluso en condiciones ambientales marginales en aplicaciones de pulverización.

La aplicación de herbicidas totales sistémicos con diferente densidad de impactos sobre los objetivos no genera una eficiencia del control biológico diferencial para monocotiledóneas y dicotiledóneas, como así tampoco para diferentes tamaños de malezas.

BIBLIOGRAFÍA

- AAPRESID (2024). <https://www.aapresid.org.ar/rem/malezas>. Ultimo acceso: Septiembre 2024
- Alvarez Martinez, O. (2016). Absorción y transpiración en las plantas. *PublicacionesDidácticas*, 71(1), 355-359.
- Bogliani, M. P., Masiá, G., & Onorato, A. (2010). Pulverizaciones agrícolas terrestres: la exactitud mejora el rendimiento y asegura la protección del medio ambiente. Informe INTA.
- Carrancio, L., & Massaro, R. A. (2019). El Delta T (ΔT) como indicador del ambiente meteorológico para las pulverizaciones. EEA Oliveros, INTA.
- Caseley, J. C. (1996). The progress and development of herbicides for weed management in the tropics.
- Conover, W. J. (1999). *Practical nonparametric statistics* (Vol. 350). John Wiley & Sons.
- Courshee, R. J. (1960). A laboratory applicator for pesticides.
- Di Mauro, G. (2022). Brechas de rendimiento en soja: factores determinantes, mecanismos responsables y manejo agronómico para reducirlas. Tesis doctoral UNR.
- Di Rienzo, J. A., Casanoves, F., Balzarini, M. G., Gonzalez, L., Tablada, M., & Robledo, C. W. (2014). *InfoStat* (No. 2008). Grupo InfoStat. FCA, Universidad Nacional de Córdoba.
- Domper, G. N., Mur, M., & Balbuena, R. H. (2014). Eficiencia de aplicación de pastillas de pulverización con inducción de aire en el cultivo de soja. *Revista de la Facultad de Agronomía*, 113.
- Faccini, D., & Puricelli, E. (2007). Efficacy of herbicide dose and plant growth stage on weeds present in fallow ground. *Agriscientia*, 24(1), 29-35.
- Graham-Bryce, I. J. (1977). Crop protection: a consideration of the effectiveness and disadvantages of current methods and of the scope for improvement. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. B, Biological Sciences*, 281(980), 163-179.

- Korav, S., Dhaka, A. K., Singh, R., Premaradhya, N., & Reddy, G. C. (2018). A study on crop weed competition in field crops. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 7(4), 3235-3240.
- Larrieu, L., Laura Giambelluca, A., Mur, M., Merani, V., Vazquez, J. M., Guilino, F., & Millán, G. J. (2024). Estudio comparativo de programas informáticos para el análisis de calidad de aplicación de productos fitosanitarios. *Ciencias Agronómicas*, (43), e039-e039.
- Leiva, P. D. (2007). "Calidad de aplicación de plaguicidas". Centro Internacional de Capacitación INTA-CIMMYT. I Jornada de Control Químico de enfermedades del trigo. Centro Internacional de Capacitación INTA –CIMMYT. CDRom interactivo Bayer – División Agrícola. 2007
- Magdalena, J. C., Castillo Herrán, B., Di Prinzio, A., Homer Bannister, I., & Villalba, J. (2010). Tecnología de aplicación de agroquímicos. CYTED y EEA Alto Valle, INTA.
- Makhnenko, I., Alonzi, E. R., Fredericks, S. A., Colby, C. M., & Dutcher, C. S. (2021). A review of liquid sheet breakup: Perspectives from agricultural sprays. *Journal of Aerosol Science*, 157, 105805.
- Márquez, L. (2008). Buenas prácticas agrícolas en la aplicación de los fitosanitarios.
- Martínez, J. P., & Sarubbi, C. A. (2015). Influencia de la eficiencia de aplicación, eficacia de control y tamaño de gota en el empleo de herbicidas sistémicos y hormonales. JPM, CASS. XXII Congreso de la ALAM I, Congreso de la ASACIM, Buenos Aires.
- Massaro, R. A., & Garcia, A. V. 2021. Cobertura mínima necesaria (gotas. cm⁻²) para aplicaciones terrestres eficaces.
- Merani, V. H. (2021). Distribución espacial de la pulverización generada por diferentes diseños de pastillas hidráulicas (Doctoral dissertation, Universidad Nacional de La Plata).
- Molpeceres, M. C., Zulaica, M. L., & Tomaino, V. B. (2023). Cuestionamientos al uso de agroquímicos en Argentina y el mundo (2000-2020): una revisión. *Novum Ambiens*, 1(1).

- Papa, J. C., & Tuesca, D. (2013). Los problemas actuales de malezas en la región sojera núcleo argentina: origen y alternativas de manejo. Viabilidad del glifosato en sistemas productivos sustentables, 59-74.
- Prokop, M., & Veverka, K. (2003). Influence of droplet spectra on the efficiency of contact and systemic herbicides. *Plant Soil and Environment*, 49(2), 75-80.
- Sarandón, S. J., & Flores, C. C. (2014). *Agroecología*. Ed. de la Universidad Nacional de La Plata (EDULP).
- Teejet. (2024). *Boquillas de Pulverización*. Catalogo Publicitario, 54.
- Teixeira, M. M., & Magdalena, J. (2010). Estudio de la población de gotas de pulverización. TEIXEIRA, MM Tecnología de aplicación de agroquímicos. Alto Valle: INTA.
- Weber, R. (1982). La quatrième session du panel FAO sur la mécanisation agricole: matériels et méthodes pour l'application de pesticides pour la préparation des sols et la protection des cultures. *Machinisme Agricole Tropical*. 77: 54-63.
- Zimdahl, R. L. (2018). *Integrated weed management for sustainable agriculture* (pp. xxii+-453).