

**UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA
FACULTAD DE AGRONOMÍA**

**APLICACIONES SELECTIVAS DE HERBICIDAS PARA
EL CONTROL DE MALEZAS EN EL BARBECHO**

por

**Nicolás Alfredo BERRETTA FREITAS
Juan Diego FERBER BOVE**

**Trabajo final de grado
presentado como uno de los
requisitos para obtener el
título de Ingeniero Agrónomo**

**PAYSANDÚ
URUGUAY
2025**

Trabajo final de grado aprobado por:

Director/a:

Ing. Agr. Dra. Juana Villalba

Tribunal:

Ing. Agr. Dra. Juana Villalba

Ing. Agr. MSc Jorge Volpi

Ing. Agr. Winnona Saracho

Fecha:

14 de Marzo de 2025

Estudiante:

Nicolás Alfredo Berretta Freitas

Juan Diego Ferber Bove

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, deseamos expresar nuestro más sincero agradecimiento a nuestra tutora, la Ing. Agr. Dra. Juana Villalba, y a sus colaboradores, por su invaluable apoyo, orientación y dedicación a lo largo del desarrollo de este trabajo de investigación.

Asimismo, extendemos nuestro reconocimiento a los responsables y encargados del predio de la Estación Experimental Mario Alberto Cassinoni (EEMAC) de la Facultad de Agronomía, Universidad de la República, por su generosa disposición para facilitarnos el acceso al área de experimentación y por su colaboración durante todo el proceso de investigación.

De igual manera, agradecemos a la empresa Marco Natural por el préstamo de la maquinaria necesaria para la realización de la experimentación, lo que permitió llevar a cabo el estudio de manera adecuada.

Finalmente, queremos manifestar nuestro profundo agradecimiento a nuestros familiares y amigos, quienes nos brindaron su apoyo incondicional, comprensión y motivación, acompañándonos durante todo el trayecto de nuestra carrera.

TABLA DE CONTENIDO

PÁGINA DE APROBACIÓN.....	2
AGRADECIMIENTOS	3
LISTA DE TABLAS Y FIGURAS	6
RESUMEN	7
SUMMARY	8
1. INTRODUCCIÓN	9
2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	11
2.1 IMPLICANCIAS DE LA SIEMBRA DIRECTA SOBRE EL USO DE HERBICIDAS EN URUGUAY	11
2.2 TIPOS DE BARBECHO	14
2.3 TIPOS DE CONTROL - APLICACIÓN TOTAL.....	14
2.4 APLICACIÓN SELECTIVA, CARACTERÍSTICAS Y BENEFICIOS.....	15
2.4.1 <i>Weed-it</i>	16
2.4.2 <i>Otros sistemas de aplicación selectiva</i>	18
3. MATERIALES Y MÉTODOS	22
3.1 LOCALIZACIÓN	22
3.2 DISEÑO EXPERIMENTAL Y TRATAMIENTOS.....	22
3.3 EQUIPO DE APLICACIÓN UTILIZADO.....	23
3.4 EXPERIMENTO 1.....	24
3.4.1 <i>Caracterización</i>	24
3.4.2 <i>Metodología experimental</i>	24
3.4.3 <i>Determinación de control</i>	26
3.5 EXPERIMENTO 2.....	26
3.5.1 <i>Caracterización</i>	26
3.5.2 <i>Metodología experimental</i>	27
3.6 EXPERIMENTO 3.....	27
3.6.1 <i>Caracterización</i>	27

3.6.2 Metodología del experimento.....	28
3.6.3 Determinación de deposición del caldo.....	29
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	32
4.1 EXPERIMENTO 1. CONTROL DE MALEZAS	32
4.2 EXPERIMENTO 2. GASTO DE CALDO.....	39
4.3 EXPERIMENTO 3. EVALUACIÓN DE DEPOSICIÓN SOBRE PLANTAS ...	40
5. CONCLUSIONES.....	43
6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	44

LISTA DE TABLAS Y FIGURAS

Tabla No.	Página
1. Descripción de los tratamientos evaluados.....	22
2. Máximos, mínimos y promedios de Temperatura (°C), Humedad Relativa (%) y Velocidad del viento (m/s).....	25
3. Promedios de velocidad de viento (m/s) y Coeficiente de Variación (%) para cada tratamiento.	32
4. Control (%) <i>Lolium multiflorum</i> según tratamientos y fechas de evaluación.....	33
5. Control (%) de <i>Acicarpa tribuloides</i> y <i>Bowlesia incana</i> según tratamientos y fechas de evaluación.....	37
6. Evaluación de gasto (L) y ahorro (%) de caldo.	39

Figura No.	Página
1. Croquis de la aleatorización de los tratamientos.....	24
2. Fotos tomadas durante experimento 3.....	28
3. Curva de calibración para absorbancia de cantidades conocidas del trazador.....	30
4. Fotos de procesamiento en laboratorio del experimento 3.....	30
5. Control (%) de <i>Acicarpa tribuloides</i> en función de los días post aplicación (DPA).	35
6. Control (%) de <i>Bowlesia incana</i> en función de los días post aplicación.....	36
7. Fotos tomadas en experimento 1	38
8. Evaluación de deposición de trazador en función de muestras sin diferenciar por tipo de planta	41
9. Fotos tomadas durante experimento 3.....	42

RESUMEN

Los cambios más recientes de la agricultura han estado estrechamente ligados al desarrollo tecnológico con el fin de aumentar la eficiencia. En la aplicación de fitosanitarios han surgido tecnologías innovadoras como las aplicaciones selectivas, las mismas buscan minimizar los costos de producción, así como el impacto ambiental del uso de fitosanitarios. El objetivo de este trabajo fue evaluar la aplicación selectiva de herbicidas mediante la tecnología Weed-it, comparándola con métodos tradicionales en términos de su efecto sobre la deposición y el control de malezas, los costos y la reducción en la cantidad de herbicida aplicado por unidad de superficie. Para alcanzar este objetivo, se desarrollaron tres experimentos con fines específicos en la Estación Experimental Mario Alberto Cassinoni (EEMAC), perteneciente a la Facultad de Agronomía de la Universidad de la República (Udelar). Los tratamientos fueron la combinación de configuraciones del equipo, dos sensibilidades en la detección de malezas (1 y 3) y dos aperturas de boquillas (100 y 200 mm) comparado a la aplicación en área total. En el primer experimento se evaluó el control de malezas. El segundo se centró en analizar el consumo de herbicida para cada configuración utilizada. El tercero se enfocó en cuantificar la deposición del producto en las malezas objetivo utilizando las mismas configuraciones. El control de las malezas gramíneas presentes no fue diferente estadísticamente para los tratamientos 3 (apertura de 200 mm y sensibilidad máxima) y 4 (apertura de 200 mm y sensibilidad media) respecto al testigo. Para malezas de hoja ancha, no se encontraron diferencias significativas en el control entre los tratamientos evaluados, aunque el tratamiento 3 (apertura de 200 mm y sensibilidad máxima) mostró una tendencia a un mejor desempeño. Esto sugiere que para el desarrollo de las malezas marcadas la sensibilidad del equipo no afectó el resultado de control. Por otra parte, el aumento en la sensibilidad del equipo condujo a un mayor gasto de caldo y a una reducción en los ahorros obtenidos. En relación a la deposición no se identificaron interacciones al analizar la deposición en malezas gramíneas y hojas anchas. Sin embargo, al evaluar de forma agrupada, la mayor deposición se obtuvo para el tratamiento de aplicación total y sin diferencias con los tratamientos de Weed-it con la configuración correspondiente a la mayor amplitud.

Palabras clave: aplicación selectiva, Weed-it, malezas

SUMMARY

Recent developments in agriculture have been closely linked to technological advancements aimed at increasing efficiency. In the application of pesticides, innovative technologies such as selective applications have emerged, aiming to minimize production costs as well as the environmental impact of pesticide use. The objective of this study was to evaluate the selective application of herbicides using Weed-it technology, comparing it with traditional methods in terms of its effects on deposition, weed control, costs, and the reduction in herbicide quantity applied per unit area. To achieve this, three experiments with specific objectives were conducted at the Mario Alberto Cassinoni Experimental Station (EEMAC), Faculty of Agronomy, Udelar. The treatments combined different equipment configurations, including two sensitivity levels for weed detection (1 and 3) and two nozzle spacings (100 and 200 mm), in comparison with total area application. In the first experiment, weed control was evaluated. The second focused on analyzing herbicide consumption for each configuration used. The third aimed to quantify product deposition on target weeds under the same configurations. The control of grass weeds did not show statistically significant differences between treatments 3 (200 mm nozzle spacing with maximum sensitivity) and 4 (200 mm nozzle spacing with medium sensitivity) compared to the control treatment. For broadleaf weeds, no significant differences in control were observed among the treatments evaluated, although treatment 3 (200 mm nozzle spacing with maximum sensitivity) showed a trend toward better performance. This suggests that, for the development of the weeds studied, the sensitivity of the equipment did not affect the control outcome. On the other hand, increasing the sensitivity of the equipment resulted in higher herbicide consumption and reduced economic savings. Regarding deposition, no interactions were identified when analyzing deposition in grass weeds and broadleaf weeds separately. However, when analyzed collectively, the highest deposition was observed in the total area application treatment, with no significant differences compared to Weed-it treatments using the widest nozzle spacing configuration.

Keywords: selective application, Weed-it, weeds

1.INTRODUCCIÓN

La agricultura de secano en Uruguay ha estado en continuo crecimiento tanto en área ocupada como en su relevancia en la economía. Este crecimiento se fundamenta en la aparición del cultivo de soja a partir de los años 2000 como una interesante alternativa en lo que a cultivos de verano respecta por sus márgenes y su adaptabilidad al sistema de rotaciones agrícolas del país.

Hoy en día esta abarca un área de 1.740.620 hectáreas (Instituto Nacional de Estadística, 2023), lo que significa, a modo de comparación, 5 veces más área que en la década del 2000 donde se explotaban en torno a 350.000 ha (Ernst & Siri-Prieto, 2011).

El aumento de área trae aparejado la necesidad de incorporación de tecnologías para aumentar la eficiencia y sumado a ello la necesidad de mejorar los rendimientos para satisfacer la demanda mundial.

Si bien son varias las tecnologías que han llegado para solucionar los desafíos antes planteados, es importante mencionar algunas que han impactado fuertemente en el crecimiento de la agricultura. Entre ellas la reducción de laboreo y la siembra directa, que redundan en un aumento sustantivo en el uso de fitosanitarios y por tanto en los costos.

Este aumento en su uso ha sido motivo de debate considerando que los fitosanitarios contribuyen a la degradación ambiental y tienen efectos sobre la salud de la población (*Plaguicidas en Uruguay*, 2020).

Es por ello que la investigación en este sector se ha volcado a la búsqueda de nuevas tecnologías que sin perder la eficiencia de control disminuyan el uso y también reduzcan los costos.

Tradicionalmente, en la agricultura uruguaya para el control de malezas se utilizaron pulverizadoras autopropulsadas o de acople a tractores que pulverizan el área de manera uniforme. No obstante, en una chacra podemos encontrar desde zonas con altos niveles de enmalezamiento, niveles medios e incluso sin enmalezamiento (Moltoni et al., 2007).

Bajo estas circunstancias, la tecnología de aplicación selectiva de herbicidas emerge como una solución prometedora para reducir el gasto de herbicida asociados a su uso en la agricultura. Esta tecnología permite a los agricultores aplicar herbicidas de manera más precisa y dirigida, lo que reduce la cantidad total de su uso y minimiza los costos del control de malezas.

Asociado a lo anterior, los beneficios adicionales de reducir el impacto ambiental por depositar menor cantidad de herbicida en el suelo y únicamente donde la situación amerita, disminuyendo las probabilidades de contaminación de aguas.

Estas tecnologías han tenido un uso extendido ante la necesidad de controlar manchones de malezas, que permanecen luego de una aplicación por presentar resistencia al tratamiento utilizado. El resultado de ello es una disminución de aumento de resistencia por frenar la propagación de las plantas que presentan estos genes.

En este contexto, se planteó como objetivo de este trabajo evaluar la aplicación selectiva de herbicidas mediante la tecnología Weed-it en la combinación de configuraciones, dos amplitudes de boquilla (100 y 200 mm) y dos sensibilidades en la detección de malezas (sensibilidad media y máxima) en comparación con aplicación en área total para las variables deposición, control de malezas y cantidad de herbicida usado por superficie. Para ello se plantearon 3 experimentos independientes, el primer experimento tuvo como objetivo evaluar el control de las malezas seleccionadas para cada configuración del equipo Weed-it. El segundo experimento se centró en analizar el gasto de herbicida para esas configuraciones. Finalmente, en el tercer experimento, se cuantificó la deposición del producto en los organismos blanco para las mismas configuraciones utilizadas.

2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1 IMPLICANCIAS DE LA SIEMBRA DIRECTA SOBRE EL USO DE HERBICIDAS EN URUGUAY

El ingreso de la siembra directa en nuestro país revolucionó la agricultura en todos sus sentidos. Sin lugar a duda uno de ellos fue el cambio en los métodos de preparación de los barbechos, etapa que de no ser realizada con éxito puede tener consecuencias variables sobre el cultivo que se instala (Fernández, 2011).

Para Martino (1997) se vuelve un aspecto central el control de malezas cuando se trata de sistemas que implementan siembra directa. La razón por la cual lo argumenta así se debe a que esta técnica inhibe la posibilidad de invertir suelos como solución a la problemática de malezas, o de utilizar herbicidas con necesidad de incorporación al suelo. Se señala también que la existencia de restos en el suelo podría afectar el rendimiento de herbicidas que no requieren ser integrados al suelo.

Para intentar satisfacer la demanda corriente de estos productos y problemáticas originadas por dichas transformaciones, las empresas de herbicidas han acompañado la evolución. En la actualidad existen en torno a 400 formulaciones con más de 100 principios activos comercialmente distribuidos por el mundo, con una amplia gama de soluciones. Esto genera un nivel de dependencia que los posiciona como estrategia casi exclusiva para resolver la problemática de enmalezamiento (Fernández, 1982).

Nuestro país ha sido testigo del aumento en la dependencia de herbicidas. Estos incrementos en su uso aluden fundamentalmente al aumento de las dosis/ha/año de glifosato, el herbicida más utilizado. Lo mencionado previamente estaría explicado por varios tratamientos/año como consecuencia de re-aplicaciones en el intento de solucionar fallas anteriores (Fernández, 2011).

Como es ampliamente reconocido, las malezas compiten con los cultivos por recursos como el espacio, los nutrientes, la luz y el agua. Por consiguiente, como se ha señalado con anterioridad, resulta crucial implementar un eficaz control para minimizar el riesgo de pérdidas en el rendimiento.

La mayoría de los cultivos estivales realizados en el país, se desempeñan bajo régimen de secano, por lo tanto, durante el barbecho se vuelve imprescindible acumular la mayor cantidad de agua posible para el cultivo a instalar.

Diferente es el caso de los nutrientes que pueden incorporarse mediante fuentes externas, o del acceso a la luz, donde la competencia estaría determinada por el tamaño de las plantas.

Según Leguizamón (2009), la cantidad de agua almacenada en el perfil dependerá de varios factores que se encuentran interrelacionados:

- 1- La composición florística de malezas y su tipo fotosintético;
- 2- Su nivel de infestación (abundancia);
- 3- El balance hídrico del sistema (capacidad de almacenaje del suelo, precipitación y evapotranspiración);
- 4- El momento de inicio y finalización del barbecho.

La competencia entre maleza y cultivo genera pérdidas que son ocultas, contrario a lo que serían pérdidas causadas por insectos o enfermedades, lo cual ha ocasionado que no se le dé la suficiente importancia al problema por parte de los agricultores (Doll, 1993).

Basándose en datos de la Organización de las Naciones Unidas, las pérdidas causadas por enfermedades y malezas se sitúan entre el 20% y el 40% de la producción agrícola mundial anual, incluso con el uso de 2 millones de toneladas de pesticidas (Redolfi et al., 2020).

Sin lugar a duda, se sobreentiende la ventaja que han significado los herbicidas con la implementación de estos nuevos sistemas. A pesar de ello, debe reconocerse que el problema de las malezas está latente, y en casos particulares en lugar de disminuir, se ha agravado. En este sentido, algunas malezas que o son tolerantes o han desarrollado niveles de resistencia se han convertido en un desafío para los agricultores.

Para el caso de tolerancia, entendemos por su concepto, como la capacidad de algunas plantas de subsistir y reproducirse luego de haber sido sometidas a tratamientos con herbicidas, esto como característica innata de la especie y solo puede adquirirse de manera natural (*Herbicide Resistance*, s.f.).

Por otra parte, resistencia, es una capacidad heredable que adquieren las plantas de sobrevivir a dosis de herbicidas que serían letales para el genotipo silvestre, ya sea naturalmente, por el uso repetitivo de los mismos herbicidas, o también por ingeniería genética (*Herbicide Resistance*, s.f.).

Aunque los aspectos mencionados son tal vez los principales desafíos que enfrenta actualmente el sector, las malezas exhiben otras características que, en su conjunto, dificultan aún más la toma de decisiones respecto a las medidas de control.

En este sentido, Velini (2011) nombra 6 características de importancia que se exponen a continuación:

- 1- Son plantas con gran habilidad para reproducirse. Las características de los propágulos (grandes o pequeños, diferentes tipos de dormancia y longevidad) se ajustan a las diferentes condiciones y presiones ambientales;
- 2- Distribuyen su germinación y su descendencia en el espacio (dispersión) y en el tiempo (dormancia, longevidad y control de germinación);
- 3- Son poco exigentes para crecer y reproducirse;
- 4- Utilizan varias técnicas para colonizar los ambientes disponibles (ejemplo: producción de compuestos alelopáticos o parasitismo de plantas cultivadas);
- 5- Las poblaciones y comunidades de malezas presentan elevada diversidad genética, se adaptan al ambiente y a modificaciones en los sistemas de producción (ejemplo: presencia de rastrojo y preparación o no de suelo);
- 6- Resisten al control. No solamente a los herbicidas, sino también a cualquier práctica de control desarrollada y utilizada.

El control de malezas y especialmente en condiciones de siembra directa se basó por muchos años casi exclusivamente al uso del herbicida glifosato, se trata de un ingrediente activo que fue introducido al mercado en la década del 70, siendo no selectivo por lo que cuenta con la capacidad de eliminar a cualquier planta sobre la cual sea aplicado (*Agroquímicos a base*, 2022). Este ingresa a las plantas por la epidermis de las hojas, desplazándose por el sistema vascular para llegar a las partes subterráneas (Marchesi & Pauletti, 2011). A pesar de mostrarse como un producto bastante certero, en los últimos años algunas malezas como *Conyza* spp., *Lolium multiflorum*, *Bowlesia incana* y *Sida rhombifolia*, entre otras han demostrado cierta tolerancia y/o niveles de resistencia al escapar de los tratamientos corrientes (Fernández, 2011).

Las malezas que tienen confirmada su resistencia a glifosato en Uruguay son: *Amaranthus tuberculatus* (*A. rudis*), *Amaranthus palmeri*, *Amaranthus hybridus* (syn: *quitensis*), *Conyza bonariensis*. (T. Kaspary, comunicación personal, 8 de enero, 2025).

Más allá de la resistencia a glifosato, muchos otros activos no presentan control, por la resistencia que ha generado su uso excesivo y repetitivo.

Esto ha llevado al uso de más herbicidas en mezclas o rotación de activos en sucesivas aplicaciones para lograr un control efectivo (Fernández, 2011). A la problemática de resistencia se le suma el hecho de que comienza a generar repercusión y preocupación el

impacto de los productos químicos sobre el medio ambiente ante su desmedido uso (Fernández, 1982).

Esta preocupación nos interpela como actores en el sector. Nos obliga a idear soluciones para reducir en la medida de lo posible la utilización de químicos, pero sobre todo a concientizar a quienes los aplican sobre la importancia de dichas prácticas y su impacto en el ecosistema.

2.2 TIPOS DE BARBECHO

Uruguay se ubica en una latitud y altitud donde, debido a la temperatura, el fotoperiodo y el régimen hídrico, el crecimiento vegetal ocurre durante todo el año. Por estas mismas razones, se produce una superposición de las estaciones de crecimiento de cultivos de invierno y verano. En el sistema de producción, los cultivos de verano pueden ser incluidos como cultivos simples (un cultivo por año) o como doble cultivo anual (un cultivo de invierno seguido por la siembra inmediata de un cultivo de verano en el mismo año). Un cultivo de estación completa se refiere a un cultivo de primera, mientras que el doble cultivo anual es equivalente a un cultivo de segunda (G. Siri-Prieto, comunicación personal, 10 de mayo, 2024).

Según la Real Academia Española (s.f.) período de barbecho son los días transcurridos entre la aplicación del primer herbicida total (sin labranza) o laboreo primario y la siembra del cultivo.

El barbecho va a estar condicionado entre otros factores por la cercanía con el cultivo siguiente, la cantidad de rastrojo, su dificultad de descomposición y el nivel de infestación de malezas.

2.3 TIPOS DE CONTROL - APLICACIÓN TOTAL

A lo largo del tiempo, se han implementado gran cantidad de formas de aplicación de los productos. Sin embargo, la más tradicional y que aún perdura por la exactitud del método, es la aplicación total. Este término se refiere a aquellas aplicaciones que tienen una cobertura uniforme y no hacen una diferenciación de zonas dentro de la superficie total.

La explicación a la continuidad de utilización del método se puede explicar por dos factores, por un lado, la simplicidad de su ejecución ya que no requiere de identificación de zonas específicas u otro trabajo previo. Por otra parte, asegura la homogeneidad del tratamiento, puesto que, si el mismo es ejecutado de manera precisa,

todas las zonas de la parcela reciben exactamente el mismo tratamiento, la misma cantidad de activo.

Otro factor que contribuye a la durabilidad de este método en el tiempo fue la necesidad de reducir los métodos mecánicos de labranza debido a la presión de disminuir el impacto sobre el recurso suelo. En consecuencia, surgió la siembra directa, como se explicó previamente. Asociado a esta técnica, se desarrollaron métodos que permitieron la preparación del suelo mediante la remoción de biomasa superficial sin alterarlo, motivo por el cual los productos químicos se incorporaron como una solución para el tratamiento de toda el área.

A pesar de las ventajas antes mencionadas, este método presenta algunas desventajas. Este análisis puede realizarse desde dos perspectivas, la ambiental y la económica. Abordando el tema desde una mirada ambiental, el aplicar herbicidas en lugares donde no existe la necesidad puede afectar negativamente a la biodiversidad y al medio ambiente (*El uso seguro*, 2020).

Además de las repercusiones ambientales, estas aplicaciones pueden derivar en costos innecesarios para los productores al estar aplicando productos en zonas donde no se experimentarán cambios que afecten a la producción.

Para hacer frente a dichas desventajas es que se han ido desarrollando alternativas tecnológicas que se exponen en la siguiente sección.

2.4 APLICACIÓN SELECTIVA, CARACTERÍSTICAS Y BENEFICIOS

Tal como se explicó anteriormente es fundamental eliminar las malezas durante los períodos de barbecho, ya que esto mejora la preparación del suelo para la instalación de los cultivos. No obstante, es importante controlar la cantidad de herbicidas utilizados, dado que el impacto ambiental asociado puede ser significativamente negativo. Ante esta situación, es necesario implementar soluciones que permitan utilizar herbicidas de manera más precisa y económica, con el fin de reducir el impacto ambiental causado por la eliminación de malezas durante estos períodos (Miretti et al., 2018).

La aplicación selectiva cumple exactamente con los requisitos citados anteriormente. Se trata de un método que económicamente trae consigo una reducción en los costos, por la reducción en el gasto de fitosanitarios, es más amigable ambientalmente al reducir la cantidad de herbicidas que se utilizan en el sistema y socialmente más aceptado ya que responde de mejor manera a las demandas de los actores de la sociedad, como son, productores, operarios, vecinos y consumidores (Bello et al., 2022).

2.4.1 *Weed-it*

La tecnología Weed-it surge como una solución innovadora dentro del campo de la agricultura de precisión. Ofrece un sistema de detección y tratamiento selectivo que maximiza la efectividad de los herbicidas y minimiza su impacto ecológico (Timmermann et al., 2003).

El sistema de detección de Weed-it se basa en la emisión y recepción de luz infrarroja cercana (NIR). La clorofila en las plantas absorbe parte de esta luz, permitiendo que los sensores diferencien entre el suelo y la vegetación. Esto se conoce como principio de contraste óptico, donde los sensores detectan la diferencia entre las longitudes de onda reflejadas por el suelo y las malezas, activando las boquillas sólo en las áreas con vegetación no deseada (McCarthy, 2016).

Estos sensores permiten la detección de malezas incluso en fases tempranas de crecimiento, así como también ajustar la sensibilidad del sensor en cuanto al tamaño de planta objetivo. Cada sensor cubre una amplia franja del terreno y opera a distintas velocidades en campo lo que permite versatilidad a la hora de realizar las aplicaciones (Geosistemas SRL., 2020).

Las boquillas del sistema Weed-it se activan automáticamente en respuesta a la detección de malezas. Este mecanismo, denominado pulverización sobre demanda, asegura que el herbicida se aplique únicamente en los lugares donde es necesario.

El sistema de boquillas está diseñado para reaccionar en milisegundos, lo que mantiene la precisión incluso cuando el equipo agrícola está en movimiento.

La disposición del equipo en el varal consiste en sensores espaciados a intervalos de 1 metro en la barra del pulverizador, que operan a alturas variables según la población objetivo. Cada sensor individual controla 5 solenoides. Cuando se detecta una maleza, se envía una señal desde el sensor al solenoide, permitiendo que el líquido se descargue a través de la boquilla (McCarthy, 2016).

Así cómo es posible establecer una altura de trabajo, dependiendo del equipo empleado, se puede modificar la distancia entre boquillas.

Además de la precisión del sistema en las boquillas, Weed-It permite ajustar la tasa de aplicación de herbicida en función de la densidad de malezas. Esto es especialmente útil en áreas donde la concentración de malezas varía considerablemente. La capacidad de ajustar la dosis garantiza una mayor optimización de los recursos y una reducción del impacto ambiental (Allmendinger et al., 2022).

Estos equipos, pueden ser empleados en pulverizaciones convencionales, con la capacidad de realizar compensaciones en curvas para asegurar una dosis consistente en todo el ancho de trabajo, evitando tanto la sobreaplicación como la subaplicación. Esta funcionalidad se logra mediante el control de la dosis a nivel de cada boquilla, sin necesidad de modificar la presión (Bello et al., 2022).

El sistema puede operar tanto de día como de noche, lo que brinda flexibilidad para programar operaciones sin depender de las condiciones de luz. Además, Weed-it funciona en una amplia gama de condiciones climáticas, asociado a variaciones en temperatura, humedad y viento, lo que lo hace adecuado para su uso en diferentes ambientes agrícolas (*Weed-it una tecnología*, 2021)

Además de los beneficios nombrados anteriormente asociados a la aplicación selectiva, como son la disminución en el impacto ambiental causado por los químicos que llegan al suelo y las implicancias económicas que ello conlleva, el uso localizado de herbicidas permite proteger la estructura del suelo y la microbiota benéfica. A diferencia de las aplicaciones convencionales, que pueden ser más perjudiciales para el suelo por las cantidades empleadas, la pulverización dirigida del Weed-it ayuda a conservar un ecosistema de suelo menos degradado y más apto para la producción (*Weed-it precision spraying*, s.f.).

Al implementar este tipo de tecnologías no solo se tiene impacto positivo en la vida útil del suelo, sino también contribuye a la disminución de la probabilidad de contaminación de cuerpos de agua y el riesgo de lixiviación de herbicidas en el suelo. Este enfoque más controlado también contribuye a preservar la biodiversidad en las áreas agrícolas.

Según Timmermann et al. (2003), así como su incorporación es beneficiosa en términos de preservación del ecosistema, la tecnología ha demostrado ser un método más para el combate de las resistencias, problema creciente en la agricultura mundial. Esta deducción se fundamenta en tres ventajas sobre la aplicación convencional.

Una de las principales ventajas, desde el enfoque de la rotación de productos químicos, es que la disminución en el uso total de herbicidas permite una mayor flexibilidad para alternar entre diferentes principios químicos. Esta rotación, utilizando herbicidas con modos de acción distintos, es una estrategia esencial para prevenir y gestionar la resistencia en malezas (Martins, s.f.).

Por otra parte, este sistema de aplicación selectiva permite que cada maleza detectada reciba la cantidad precisa de herbicida, reduciendo la posibilidad de exposición a dosis subletales que podrían fortalecer a las malezas sobrevivientes.

Tomando en cuenta la capacidad de Weed-it de detectar y pulverizar solo en zonas con presencia de enmalezamiento se abre un abanico de herbicidas cuya aplicación no es recomendable en grandes extensiones. De esta manera no solo se reducen costos y el impacto ambiental, sino que también disminuye la probabilidad de que las malezas desarrollen resistencia a un único tipo de herbicida (Baillie et al., 2013).

La tecnología Weed-it ha revolucionado la forma en que se maneja el control de malezas, proporcionando un sistema eficiente y preciso que reduce significativamente el uso de herbicidas y protege el medio ambiente. La suma de los beneficios anteriormente mencionados, hacen de Weed-it una tecnología clave para la agricultura del futuro.

2.4.2 Otros sistemas de aplicación selectiva

Además de Weed-it existen otras alternativas para la pulverización selectiva en la agricultura. Entre ellas, WeedSeeker un sistema de pulverización selectiva diseñado para identificar y eliminar malezas de manera eficiente y precisa, diseñado en la década de 1990. Utiliza sensores ópticos y tecnología de procesamiento para detectar la presencia de vegetación verde en los campos y activar las boquillas de pulverización solo cuando una maleza se encuentra en su campo de visión.

La vía por la cual los sensores detectan dicha vegetación verde es a través del Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI).

A partir de la luz reflejada tanto en espectro visible como en el infrarrojo, este índice permite distinguir entre varios estados de vegetación, así como también diferenciar a los mismos de lo que es suelo y rastrojo (Bello et al., 2022).

El cálculo del NDVI se expresa mediante la siguiente fórmula matemática:

$$NDVI = (NIR - RED) / (NIR + RED)$$

Los componentes de esta ecuación son NIR (Near-Infrared), la radiación en el espectro cercano al infrarrojo. Las plantas sanas reflejan fuertemente la luz en esta longitud de onda debido a su estructura celular. Si una planta está estresada, enferma o muerta, la cantidad de luz NIR que refleja disminuye. Por otra parte, RED (Red Light), refiere a la luz visible en el espectro rojo. Las plantas sanas absorben la mayor parte de esta luz para la fotosíntesis. Por lo tanto, un valor alto de absorción de luz roja indica una vegetación vigorosa y en crecimiento. Si el NDVI es alto (cercano a 1), significa que la vegetación es densa y vigorosa, ya que las plantas absorben mucha luz roja y reflejan una

gran cantidad de luz infrarroja. Si el valor de NDVI es bajo (cercano a cero o negativo), indica la ausencia de vegetación (*NDVI and its Practical*, 2021).

El funcionamiento de los sensores de la tecnología tiene como elemento principal a los diodos emisores de luz (LEDs), al generar una combinación de luz infrarroja invisible y luz roja visible, que se proyecta sobre el objetivo a aproximadamente 750 mm por debajo del sensor. Esta configuración permite una detección eficiente de las plantas verdes en el campo. La luz reflejada del objetivo es capturada por un detector en la parte frontal del sensor, el cual está diseñado para identificar diferencias en la reflectancia entre la vegetación y el suelo. A través de circuitos electrónicos sofisticados, el sensor analiza la luz reflejada y determina cuándo coincide con las características espectrales de las plantas verdes, lo que indica la presencia de una maleza o un cultivo objetivo.

Una vez que se identifica la reflectancia de la planta verde, el sensor espera a que esta se encuentre directamente debajo de la boquilla de pulverización. En ese momento, activa una válvula solenoide de disparo rápido, que rocía la planta identificada con precisión, asegurando que los herbicidas o nutrientes se apliquen sólo donde son necesarios.

Según McCarthy (2016) este enfoque no solo mejora la eficacia del tratamiento, sino que también minimiza el uso de productos químicos y reduce el impacto ambiental.

La integración de LEDs en sistemas de pulverización representa un avance significativo en la agricultura de precisión, permitiendo una gestión más eficiente y sostenible de los cultivos.

Si bien los sensores de NDVI de los equipos Weedseeker son una parte clave para el funcionamiento de la herramienta, estos equipos deben contar con algunos implementos adicionales.

Estos son sensores de velocidad colocados en ruedas de pulverizadora y tractor, sensores de presión del circuito del caldo, medidores de caudal, los cuales juntos permitirán una mejor ejecución de la labor a través de una simultaneidad entre el momento que se accionan los sensores y la pulverizadora pasa sobre el objetivo (Bello et al., 2022).

Actualmente y con la evolución de la tecnología en el sector, se han diseñado nuevas herramientas que con su desarrollo prometen ser de mucha utilidad para el control de malezas. Es uno de los ejemplos, la visión artificial.

La visión artificial, proporciona una herramienta para la detección y control de malezas que optimiza el uso de herbicidas y reduce su impacto ambiental (Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca, 2021).

Esta tecnología utiliza algoritmos para identificar malezas en tiempo real. A través de cámaras montadas en tractores o drones, el sistema captura imágenes del cultivo y utiliza dichos algoritmos para analizar estas imágenes.

La inteligencia artificial procesa los datos, permitiendo la diferenciación entre cultivos y malezas en función de características como la forma, el color y la textura (Junior & Ulson, 2021). Estos algoritmos, entrenados con grandes conjuntos de datos de imágenes de cultivos y malezas, mejoran continuamente su precisión en la identificación de especies no deseadas. Este enfoque adaptativo permite a los agricultores gestionar malezas emergentes y resistentes de manera más efectiva, incluso durante la etapa de cultivo.

Por otra parte, se integra con sistemas de pulverización que permiten un pulverizado selectivo. Esto significa que el herbicida solo se aplica donde se detectan malezas, minimizando el uso de químicos y reduciendo costos. El sistema activa las boquillas de pulverización de manera instantánea al identificar una maleza, optimizando la cobertura y la eficiencia (McCarthy, 2016).

Además del pulverizado selectivo, la tecnología también permite el control de tasa variable de aplicación, ajustando la cantidad de herbicida en función de la densidad de malezas detectadas. Esto es especialmente útil en campos donde las infestaciones de malezas varían significativamente (G. Roth, comunicación personal, 10 de septiembre, 2024).

El sistema permite una alta precisión en la detección y aplicación de herbicidas, asociado a ello la capacidad de operar a altas velocidades de trabajo, lo que se traduce en un aumento de la productividad de la maquinaria en campo (DeepAgro, s.f.).

El uso de tecnología de visión artificial contribuye a la mitigación de la resistencia a herbicidas, ya que permite una aplicación más controlada y precisa. Esto ayuda a evitar el uso excesivo de un solo tipo de herbicida y fomenta la rotación de productos, lo cual es esencial para la sostenibilidad en el manejo de malezas (Bello et al., 2022).

Al minimizar el uso de herbicidas y aplicar productos químicos solo en áreas necesarias, este mecanismo ayuda a reducir la contaminación del suelo y el agua, así como se promueve un uso más responsable de los productos químicos. Esto es fundamental

para fomentar prácticas agrícolas más sostenibles y proteger la biodiversidad del ecosistema.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 LOCALIZACIÓN

El trabajo de campo fue conducido en la Estación Experimental Mario Alberto Cassinoni (EEMAC), Facultad de Agronomía, Udelar. Esta se ubica en el departamento de Paysandú, Uruguay, en el kilómetro 363 de la ruta nacional N°3.

Se llevaron a cabo tres experimentos independientes, en los cuales se evaluaron los mismos tratamientos pero con diferentes objetivos y variables de estudio.

3.2 DISEÑO EXPERIMENTAL Y TRATAMIENTOS

El diseño experimental utilizado fue para el experimento 1 de Bloques Completos al Azar, con arreglo factorial de tratamientos más un tratamiento adicional de aplicación convencional. El experimento 2 fue de tipo demostrativo, considerándose un experimento sin repeticiones. Mientras que el experimento 3 fue un diseño completo al azar. Los factores de estudio en los 3 experimentos fueron 2 niveles de apertura de boquillas y 2 niveles de sensibilidad de detección de área verde, cada uno con 2 repeticiones y un tratamiento testigo (Tabla 1).

Tabla 1

Descripción de los tratamientos evaluados

Tratamientos	Apertura (mm)	Sensibilidad	Velocidad de avance (km/h)
1	100	1 (Máxima)	6,2
2	100	3 (Media)	6,2
3	200	1 (Máxima)	6,2
4	200	3 (Media)	6,2
Testigo	Apertura total	--	8

El objetivo de los tratamientos fue combinar niveles de sensibilidad con niveles de apertura de boquillas, frente al resultado de una aplicación total.

Si bien la tecnología cuenta con 5 niveles de sensibilidad y a efectos de mostrar resultados lo más contrastantes posible, se decidió tomar para esta instancia, 2 niveles, siendo 1 un nivel de máxima sensibilidad y por lo tanto máximo nivel de detección y 3

un nivel intermedio de detección, con menor sensibilidad. A estos niveles de sensibilidad se le combinó la variable de apertura de boquillas, concepto el cual refiere a cuanta distancia antes y después de detectar al objetivo el sistema permanece con la boquilla abierta. Para esta ocasión los niveles de apertura comparados fueron 100 milímetros y 200 milímetros.

3.3 EQUIPO DE APLICACIÓN UTILIZADO

El equipo de pulverización utilizado fue un prototipo experimental tecnología Weed- it, propiedad de la empresa “Marco Natural”, en colaboración con la Facultad de Agronomía, el cual fue acoplado a un tractor marca CASE IH 100. Esta unidad demostrativa fue diseñada exclusivamente como unidad de experimentación, por parte de la empresa que apoyó este proyecto, con una capacidad de tanque de 140 litros. Este equipo cuenta con un ancho operativo de 4 metros, con boquillas distribuidas cada 25 centímetros lo que determina un total de 16 boquillas. Las mismas pertenecen a la marca HYPRO, modelo 03E30, se caracteriza por un caudal de 0.3 galones por minuto y un ángulo de apertura de 30°, ángulo relativamente estrecho, ideal para aplicaciones de precisión. En cuanto a la letra E, comprendida en su nombre, la misma refiere a que es una boquilla de pulverización uniforme o "Even Spray", lo que significa que distribuye el líquido de manera uniforme a lo largo del ancho de aplicación. La presión de trabajo utilizada fue de 3 bares.

A esta unidad, se le integró el sistema Weed-it, el cual fue diseñado para colocar una cámara por metro de ancho operativo, estableciendo así 4 cámaras en este equipamiento. Luego de realizar la calibración necesaria en dicho equipo se determinó que la altura de barra adecuada para ejecutar dicha operación era de 80 centímetros. La elección de esta altura de barra se justifica por ser una distancia segura y estable para la ejecución de maniobras sin que el equipo pueda verse dañado por impactos contra el suelo. Todas las características antes mencionadas se mantuvieron para la realización de las tres fases de experimentación.

3.4 EXPERIMENTO 1

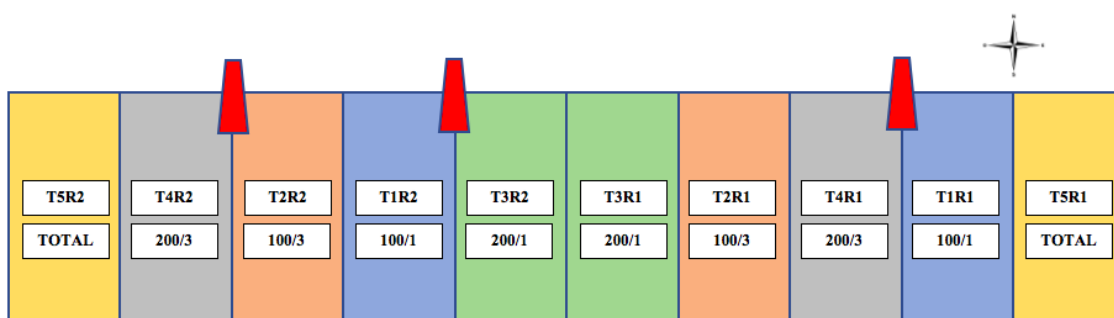
3.4.1 Caracterización

El primer experimento fue desarrollado el 29/07/2024, en el potrero n° 24, el cual se encontraba en una situación de barbecho invernal para una siembra de maíz y como cultivo antecesor Sorgo.

La finalidad de esta primera etapa fue comprobar la eficacia de la tecnología en el control de malezas. Para concretar la etapa en campo, se establecieron parcelas con un área de 50 metros de largo por 20 metros de ancho, se realizaron 2 repeticiones por tratamiento. En cuanto a la velocidad de avance del equipo, se repitió la misma en los tratamientos 1 al 4, mientras que en el testigo se aumentó la misma, por ser el método convencional usado en la operativa de la Estación.

Figura 1

Croquis de la aleatorización de los tratamientos



Nota. T= Tratamiento, R= Repetición, Total= Aplicación convencional, 100/200= Apertura boquillas, 1/3= Nivel de sensibilidad detección.

3.4.2 Metodología experimental

En esta primera etapa de experimentación, se trató de la única instancia en la que se utilizaron herbicidas en el tanque. Previo a ejecución del mismo, se realizó el diagnóstico para definir los herbicidas a utilizar. Se decidió una mezcla de Glifosato, el cual pertenece al grupo químico n° 9: Inhibición de la EPSP sintetasa, de absorción foliar y cuyo espectro abarca especies tanto gramíneas como hoja ancha. Para esta ocasión se utilizó la marca Gliserb Sun (Sal Dimetilamina, 48%) en una dosis de 3 L/ha.

El segundo componente de la mezcla fue Cletodim, que pertenece al grupo n°1: Inhibición de acetil coenzima carboxilasa (ACCase), utilizado en postemergencia de gramíneas, de absorción foliar. La marca utilizada en esta instancia fue Cledim 240 EC (Clethodim 21.1%), en una dosis de 0,75 L/ha. Teniendo en cuenta que la calidad del agua de la Estación Experimental no es la indicada para la realización de aplicaciones, debido a su alta concentración de Calcio y Magnesio, se utilizó agua potabilizada proveniente de Obras Sanitarias del Estado (OSE). El equipo fue seteado para un volumen de aplicación de 100 L/ha.

Con el propósito de conocer las condiciones climáticas durante la experimentación se utilizó una estación meteorológica móvil (transmisor Meteorológico Response ONE™ Modelo 92500), la misma fue instalada próxima al área de aplicación y a una altura de 2 metros sobre el suelo. Esta tecnología permitió el registro de la temperatura (°C), humedad relativa (%), velocidad y dirección del viento (km/h) en 8 datos por segundo, en el momento preciso de la aplicación. La información entregada por esta unidad nos permitió identificar si las condiciones podían afectar de manera diferente los resultados de cada tratamiento (Tabla 2).

Tabla 2

Máximos, mínimos y promedios de Temperatura (°C), Humedad Relativa (%) y Velocidad del viento (m/s)

Tratamientos y repetición	Rango de hora		Temp. (°C)	HR (%)	Vel. Viento (m/s)	Máx	Min
T1 R1	13:31:03:052	13:39:09:954	13,55	33,50	3,55	6,45	1,22
T1 R2	13:50:43:110	13:57:58:038	13,79	33,88	3,65	8,34	1,17
T2 R1	14:14:20:006	14:19:55:122	13,99	33,13	3,77	7,08	1,32
T2 R2	14:24:25:031	14:29:16:082	14,06	33,20	2,97	6,29	1,28
T3 R1	14:44:19:020	14:49:08:079	14,03	36,39	3,77	5,93	1,68
T3 R2	14:51:02:065	14:53:54:051	14,00	37,15	2,86	5,37	0,99
T4 R1	14:57:56:091	15:04:10:070	14,09	36,20	2,98	5,83	0,72
T4 R2	15:07:04:057	15:13:05:051	14,19	36,18	3,90	7,05	1,29
T5 R1	15:24:30:054	15:30:35:055	14,13	36,15	2,99	5,89	1,02
T5 R2	15:34:40:044	15:41:09:018	14,06	34,78	3,14	5,62	1,31

3.4.3 Determinación de control

En el transcurso de las evaluaciones a campo, para verificar la efectividad alcanzada en el control de malezas de los diferentes tratamientos se procedió a identificar, con banderas de color rojo, 10 plantas por tratamiento. En cada uno de los tratamientos, se seleccionaron 5 plantas provenientes del género de las gramíneas, donde predominantemente se encontró *Lolium multiflorum* y 5 plantas de hoja ancha, donde las especies evaluadas fueron *Acicarpa tribuloides*, *Conyza spp.*, *Bowlesia incana* y *Stellaria media*. Las plantas seleccionadas para esta etapa se eligieron en diferentes estadios de desarrollo con el fin de representar una situación real de enmalezamiento.

El objetivo de dicha identificación fue poder dar seguimiento a la evaluación del control. Las evaluaciones se realizaron a los 4, 10, 17 y 29 días post aplicación (DPA) hasta constatar un 100% de control o que él mismo no evolucionaba, se monitoreó a campo cada una de las plantas marcadas, donde se asignó un valor en porcentaje de control.

El valor porcentual asignado a cada situación se basó en una observación de carácter subjetivo. Este valor, se definió en función del área foliar afectada con síntomas en relación al área foliar total.

3.4.4 Análisis estadístico

Los datos de control de Raigrás y de las malezas dicotiledóneas fueron realizados de manera independiente, las dicotiledóneas fueron agrupadas porque había poca cantidad de cada especie. Se analizó cada fecha de evaluación de manera independiente y cuando el modelo arrojó p-valor que indicaba diferencias significativas, se realizó la separación de medias usando el test de Tukey al 5%.

3.5 EXPERIMENTO 2

3.5.1 Caracterización

El experimento fue realizado el 8/08/2024, seleccionado como sitio de pasada de la maquinaria un camino homogéneo en la topografía, con ausencia de pendientes y obstáculos, lo que permitió un control más preciso de las variables en la práctica.

Durante esta etapa, el objetivo fue cuantificar el gasto de caldo de aplicación para la misma cobertura de malezas, para los mismos tratamientos con la tecnología Weed-it y compararlo con el método de aplicación convencional. Para ello se delimitó un trayecto de 50 metros en el camino antes mencionado, el cual fue recorrido 10 veces por parte del equipo, para cada tratamiento. El ancho operativo de trabajo fue el que lograba abarcar el equipo, 4 metros. En esta evaluación, los 4 tratamientos contrastados utilizaron el mismo recorrido y la misma velocidad de avance de 8 km/h.

En el caso del tratamiento de aplicación total, no se realizó dicho procedimiento práctico, sino que se efectuó una evaluación teórica del consumo de agua durante el recorrido, considerando la longitud del trayecto por las repeticiones (número de pasadas) y el ancho operativo del equipo y el volumen de aplicación/ha.

3.5.2 Metodología experimental

Previo al inicio del experimento, se sembraron semillas de tres especies diferentes en macetas, estas fueron *Lolium multiflorum*, *Triticum aestivum*, *Rapistrum rugosum*.

Tras un mes de crecimiento, las plantas que mostraban un desarrollo considerable, fueron utilizadas en la siguiente fase del experimento. Las macetas fueron ubicadas aleatoriamente a lo largo del camino, manteniendo constante su disposición para la aplicación de todos los tratamientos. La finalidad era la comparación de gastos para igual cobertura de maleza.

Se utilizó únicamente agua ya que el objetivo era medir el gasto de producto y no evaluar control. Debido a que el caudalímetro instalado en el equipo no permitía la precisión de gastos de caldo tan bajos, cada vez que se terminaba el tratamiento se vaciaba el equipo y se procedía a medir la cantidad de agua sobrante, de forma de estimar el gasto para cada tratamiento.

3.6 EXPERIMENTO 3

3.6.1 Caracterización

Este tercer experimento se realizó el 18/10/2024, constó de una aplicación, la cual tenía como objetivo evaluar la deposición del producto aplicado sobre la superficie de las malezas seleccionadas para este experimento para los 5 tratamientos de interés. Para ello, en el tanque de la máquina se incorporó junto al agua el trazador "Azul Brillante".

Para la evaluación de deposición, se utilizaron plantas que fueron sembradas o que fueron recogidas a campo y colocadas en macetas. Las especies en este caso fueron *Lolium multiflorum* y *Triticum aestivum* y de “hoja ancha”, entre las cuales contamos con *Raphanus spp.*, *Conyza spp.* y *Amaranthus spp.* Debe aclararse que a pesar de conocer cuáles eran las malezas involucradas en la experimentación, las mismas no fueron diferenciadas a la hora de generar la información.

Para la totalidad de los tratamientos se utilizó un espacio de 30 metros de largo y en cuanto al ancho, se consideraba el ancho operativo que podía abarcar el equipo aplicador, 4 metros. Este contexto logrado, permitió poner a prueba la tecnología al distribuir al azar las malezas en el camino, pero intentando simular algunos patrones que podrían dificultar el reconocimiento para evaluar también la capacidad de reconocimiento en plantas distintas con cierto grado de cercanía.

Figura 2

Fotos tomadas durante experimento 3



Nota. A la izquierda distribución de malezas en el camino considerando el ancho operativo de la maquinaria sin aplicación de trazador; al medio aplicación selectiva del trazador, a la derecha aplicación total en los 30 metros de camino.

3.6.2 Metodología del experimento

Para la evaluación de la deposición sobre las plantas, se le agregó al caldo 20 gramos del trazador Azul Brillante por cada litro de agua potable destinado a esta actividad. El propósito de la utilización de esta herramienta fue estimar la deposición del producto en la maleza según la configuración del equipo. Una vez finalizada la aplicación de cada uno de los tratamientos se aguardaron 5 minutos para el secado del pulverizado sobre las plantas.

Seguidamente, se procedió al corte de las plantas, las cuales eran colocadas en bolsas de polietileno debidamente identificadas con el número de planta y tratamiento, sin contacto de las manos para no interferir en los resultados. Este procedimiento se repitió 30 veces para cada tratamiento.

3.6.3 *Determinación de deposición del caldo*

Luego de la etapa de campo, el procedimiento continuó en el laboratorio, con el lavado de las muestras. Dicho lavado se realizó para retirar el trazador de las plantas y posterior cuantificación mediante espectrofotometría.

El lavado de las muestras se realizó con agua destilada, para la cual se definieron ciertos niveles según tamaño de las plantas. En una escala visual se definió como plantas “chicas” aquellas que tenían 5 centímetros de longitud, y se procedió a lavar las mismas con 20 milímetros de dicha agua. Aquellas plantas que excedieran los 5 centímetros de longitud, consideradas como “grandes” eran lavadas con 50 milímetros de agua.

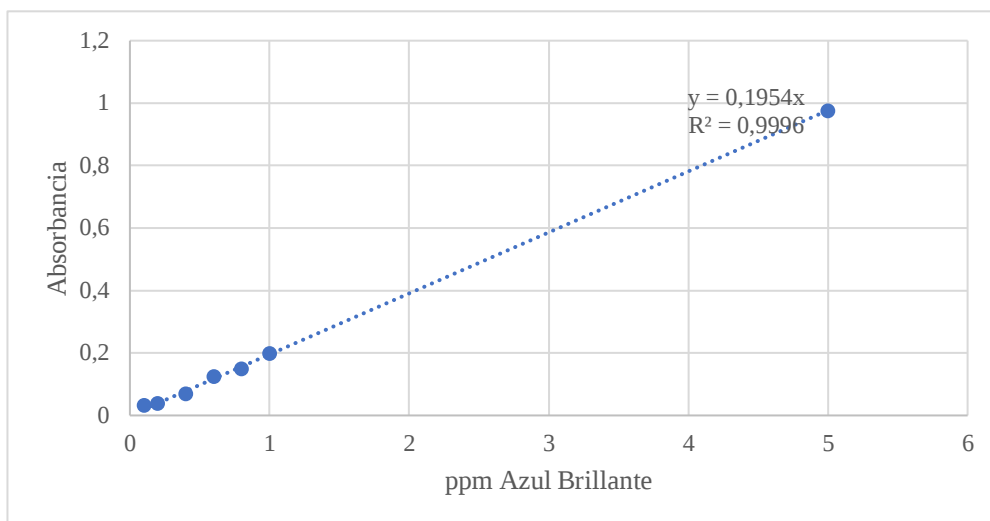
En referencia al lavado de las plantas, el mismo consistía en verter la cantidad de agua asignada según el tamaño de planta dentro de la bolsa en la que habían sido depositadas en campo, para luego lavar dichas plantas agitando las mismas dentro de la bolsa. Luego de retirar el trazador de la planta, la nueva solución se vertía en un frasco limpio debidamente identificado, que era depositado en cámara de frío, sin exposición a luz.

Posteriormente, las muestras fueron colocadas en el espectrofotómetro marca UNICO, a una longitud de onda de 630 nm (metodología utilizada por Villalba et al. 2009), para medir la absorbancia del trazador.

Paralelamente, se realizó mediciones de concentraciones conocidas de Azul Brillante. A partir de las lecturas de absorbancia obtenidas mediante el espectrofotómetro, se generó una curva que describe la relación entre los parámetros concentración de Azul Brillante y Absorbancia (Figura 3). A partir de los datos de la regresión, parámetros a y b, se estimaron las cantidades de trazador a partir del dato de absorbancia de cada muestra y, posteriormente se expresó la deposición del trazador en cada planta.

Figura 3

Curva de calibración para absorbancia de cantidades conocidas del trazador



Las plantas luego del lavado fueron guardadas dentro de bolsas de papel, debidamente identificadas, para posterior secado en estufa a 60°C. Posteriormente se pesaron las muestras para obtener el peso seco de cada una de ellas, medida que permitió expresar la cantidad de trazador por gramo de materia seca de la maleza.

Figura 4

Fotos de procesamiento en laboratorio del experimento 3



Nota. A la izquierda, ejemplares de malezas manchadas de azul en bolsas y frascos para coleccionar el producto del lavado; al medio, lavado de plantas; a la derecha, almacenamiento de tratamientos en cámara.

3.6.4 *Análisis Estadístico*

Los datos de deposición, expresados en ppm/g de materia seca de la maleza, fueron analizados siguiendo el factorial, tratamiento y tipo de planta (hoja ancha o gramínea). Al no encontrarse interacción significativa se analizaron en forma independiente las deposiciones para gramíneas y para malezas dicotiledóneas. Cuando el modelo arrojó p- valor que indicaba diferencias significativas, se realizó la separación de medias usando el test de Tukey al 5%.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 EXPERIMENTO 1 - CONTROL DE MALEZAS

Seguidamente se presentan los valores promedio y los coeficientes de variación correspondientes a la variable viento, siendo que es la que ejerce mayor influencia y que presenta mayor susceptibilidad a fluctuaciones durante el período de ejecución de cada tratamiento.

Tabla 3

Promedios de velocidad de viento (m/s) y Coeficiente de Variación (%) para cada tratamiento

Tratamiento y Repetición	Rango de hora		Vel. Viento (m/s)	CV (%)
T1 R1	13:31:03:052	13:39:09:954	3,55	23,8
T1 R2	13:50:43:110	13:57:58:038	3,65	41,4
T2 R1	14:14:20:006	14:19:55:122	3,77	26,9
T2 R2	14:24:25:031	14:29:16:082	2,97	28,6
T3 R1	14:44:19:020	14:49:08:079	3,77	18,6
T3 R2	14:51:02:065	14:53:54:051	2,86	34,8
T4 R1	14:57:56:091	15:04:10:070	2,98	31,9
T4 R2	15:07:04:057	15:13:05:051	3,90	26,9
T5 R1	15:24:30:054	15:30:35:055	2,99	23,7
T5 R2	15:34:40:044	15:41:09:018	3,14	25,1

Como se observa en el cuadro, las velocidades del viento presentaron una baja variabilidad, lo que sugiere que los resultados obtenidos en los diferentes tratamientos no habrían sido afectados significativamente por este factor. Asimismo, aunque podría suponerse que la varianza de los datos sería elevada debido a la cantidad de mediciones realizadas, la tabla refleja lo contrario, excepto para las repeticiones de los tratamientos 1 y 3, donde los CV de la velocidad del viento fueron bastante diferentes.

A continuación, se presentan los resultados obtenidos de control para *Lolium multiflorum*.

Tabla 4*Control (%) de Lolium multiflorum según tratamientos y fechas de evaluación*

Tratamiento	Descripción del tratamiento	4 DPA	10 DPA	17 DPA	29 DPA
1	Apertura 100-sensibilidad máxima	5.0 A	14 B	25 B	47 B
2	Apertura 100-sensibilidad media	10 A	17 AB	39 AB	60 AB
3	Apertura 200-sensibilidad máxima	10 A	34 AB	66 A	97 A
4	Apertura 200-sensibilidad media	11 A	37 A	65 A	97 A
5	Convencional	10 A	29 AB	48 AB	77 AB
p-valor		0.4084	0.0120	0.0058	0.0051

Nota. Letras distintas representan diferencias significativas entre tratamientos ($p < 0,05$).

Como se puede observar en la tabla 4, a los 4 DPA los resultados no presentaron diferencias significativas en el control. Asimismo, es posible identificar una leve tendencia a un menor control por parte del tratamiento 1, respecto de los demás tratamientos, lo cual se corrobora en el resultado final. Cabe resaltar que la evaluación a los 4 DPA, es muy pronto para visualizar los daños de herbicidas en esas condiciones y por eso puede llevar a no encontrar diferencias debido a que los productos se encuentran recientemente iniciando su actividad en planta.

A partir del día 10 post aplicación se comienzan a expresar los síntomas de actividad de los herbicidas en planta y las diferencias entre tratamientos (p -valor $< 0,05$).

Al final de la evaluación, los resultados mantienen las diferencias significativas y se refleja un escenario previsible, los tratamientos con mayores valores de apertura, presentaron mejor control, en tanto la sensibilidad elegida no afectó estos valores.

Por otra parte, considerando el nivel de sensibilidad 1, se observan resultados que no se ajustan a lo esperado. Un resultado esperable era que el tratamiento 1 (con

sensibilidad máxima) tuviese mayor eficacia que el tratamiento 2 (sensibilidad media), pero esto no sucedió así. Cabe destacar que entre estos dos tratamientos no existen diferencias significativas, sino que son tendencias. Las mismas pueden ser atribuidas a aspecto operativos que no pueden ser cuantificados como desniveles del terreno, también se cuantificó que el CV de la velocidad del viento fue mayor en el tratamiento 1, comparado al 2, esto indica que, durante la ejecución del tratamiento, el viento tuvo mayores fluctuaciones y eso puede perjudicar la deposición del herbicida sobre las malezas.

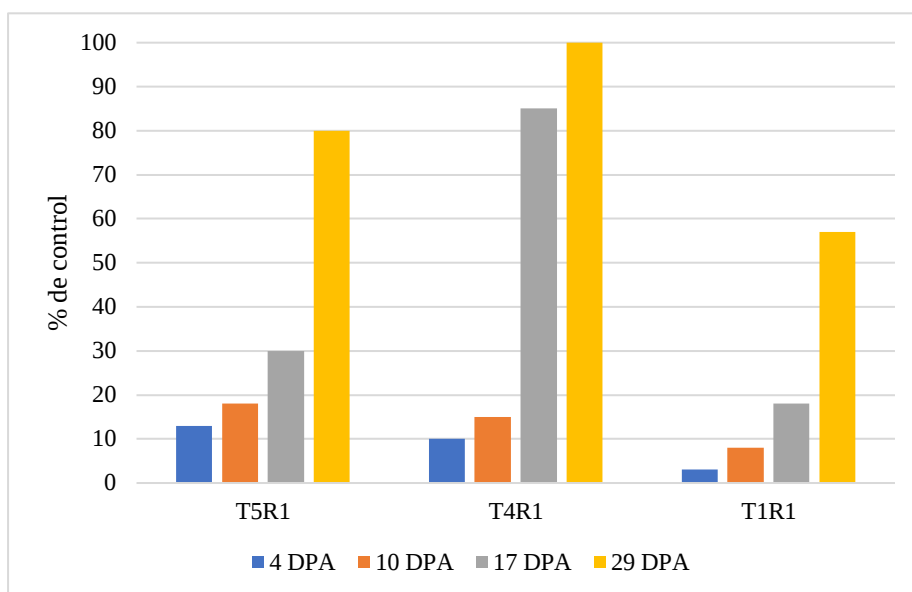
Analizando el testigo (tratamiento 5), el mismo presentó valores de control inferiores a los controles selectivos, aunque sin diferencias significativas con los mejores tratamientos. Este escenario indica la viabilidad de las aplicaciones selectivas, ya que aun cuando la pulverización del testigo cubría la totalidad del área, el control no fue superior. Otro de los factores que se podría considerar como responsable de estas diferencias, podría ser la disparidad del terreno, a pesar de que la misma estuviese contemplada en el azar del sorteo de los tratamientos en los bloques.

El análisis del grupo hoja ancha tuvo algunas particularidades. Estas variaciones se explican porque las parcelas utilizadas para la experimentación no presentaban una distribución homogénea de una maleza de hoja ancha como sí ocurrió para el caso del *Lolium multiflorum*. Por esta razón, se seleccionaron malezas de más de una especie dentro de cada tratamiento. No obstante, debido a la ausencia de frecuencias uniformes entre los tratamientos, fue necesario optar por las especies más representativas del área experimental.

Por ello solo se exponen las medias de control de *Acicarpha tribuloides* en promedio de las muestras dentro de cada tratamiento, sin análisis estadístico.

Figura 5

Control (%) de Acicarpa tribuloides en función de los días post aplicación (DPA)



Nota. T5= Aplicación convencional; T4= Apertura 200-sensibilidad media; T1= Apertura 100-sensibilidad máxima.

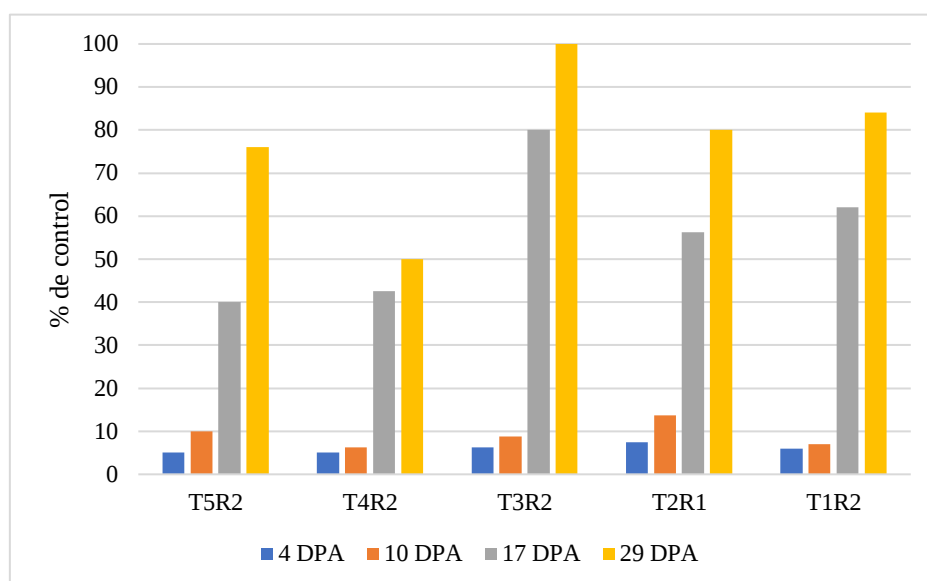
Como se puede observar en 3 de los tratamientos del experimento había presencia de *Acicarpa tribuloides*, convirtiéndose así en una de las dos malezas más representativas.

Para esta especie los resultados del tratamiento control, fueron contundentes, ya que se obtienen resultados entorno al 80% de control.

Comparando los tratamientos 1 y 4, que son contrastantes, se obtuvo una tendencia a tener mejor control para el tratamiento 4, reafirmando la tendencia observada para el caso de gramíneas, donde se pudo inferir que el aspecto que más impacto tuvo sobre los resultados fue la apertura de boquillas, no así la sensibilidad de detección.

Figura 6

Control (%) de Bowlesia incana en función de los días post aplicación



Nota. T5= Aplicación convencional; T4= Apertura 200-sensibilidad media; T3= Apertura 200-sensibilidad máxima; T2= Apertura 100-sensibilidad media; T1=Apertura 100-sensibilidad máxima

La expresión de *Bowlesia incana* en el área experimental era más frecuente dentro las malezas de hoja ancha. Como se puede ver, la misma se encontró en 5 de las 10 unidades experimentales.

En esta situación los resultados de control en el tratamiento testigo, se consideraron satisfactorios, debido a que se logró en torno a un 80% de control. Otras experimentaciones han reportado controles de entre 80-90% para esta especie con el mismo tratamiento (Biset et al., 2011).

Tomando en cuenta los resultados de aplicación selectiva, se aprecia que el tratamiento 3 nuevamente aparece como la configuración con mejores resultados, en tanto el 4 no repite su desempeño, comparado con la efectividad demostrada para gramíneas. Observando los tratamientos 1 y 2, se puede asumir que no habría impacto en la sensibilidad elegida, sino que nuevamente la explicación a los resultados vendría a estar dada por la apertura de boquillas.

Seguidamente se exponen los resultados del análisis agrupadas ambas malezas, si bien biológicamente no es correcta la agrupación, porque cada especie tiene un comportamiento específico a los herbicidas aplicados, se realizó como forma de explorar más diferencias entre las configuraciones evaluadas del equipo.

Tabla 5

Control (%) de Acicarpa tribuloides y Bowlesia incana según tratamientos y fechas de evaluación

Tratamiento	Descripción del tratamiento	4 DPA	10 DPA	17 DPA	29 DPA
1	Apertura 100-sensibilidad máxima	5 A	8 A	40 A	73 A
2	Apertura 100-sensibilidad media	10 A	13 A	35 A	56 A
3	Apertura 200-sensibilidad máxima	8 A	15 A	49 A	83 A
4	Apertura 200-sensibilidad media	8 A	12 A	62 A	75 A
5	Convencional	9 A	14 A	35 A	62 A
p-valor		0.5943	0.4843	0.4133	0.5703

Nota. Letras distintas representan diferencias significativas entre tratamientos ($p < 0,05$).

Analizando los resultados de la tabla 5, nos deparamos con un escenario que no se ajustaría a las expectativas generadas previo a la experimentación. No existen diferencias significativas entre los tratamientos en ninguna de las instancias analizadas, pero esto se podría atribuir a que las diferentes especies presentaron niveles de control distintos.

Esta ausencia de diferencias significativas entre los tratamientos puede atribuirse al nivel de variación presente dentro de cada uno de ellos.

A pesar de ello es posible inferir algunas tendencias. Como se observa, al igual que para el caso de malezas gramíneas, el tratamiento con mayor nivel de apertura de boquillas, tiene mejor desempeño en campo.

Para el caso de apertura 100, se revierten los comportamientos en comparación al cuadro anterior y se observan resultados alineados a lo que podría esperarse, a mayor sensibilidad de detección, mejor resultado de control en campo.

Al igual que en el caso de las gramíneas, el tratamiento testigo, revela resultados de control que son en valores absolutos inferiores a los demás tratamientos. Este comportamiento no estaba dentro de lo previsto y se atribuye a lo expuesto anteriormente.

A modo de resumen, estos resultados cuestionan la eficiencia por lado del ahorro económico, porque una mayor apertura de las boquillas implica menor ahorro, pero esto aseguraría la mayor deposición que asegura el mejor control de las malezas. Cabe aclarar que esto pudo estar agravado por la velocidad del viento que en promedio para el experimento estuvo entre 10 y 14 km/h. Es importante destacar que la menor expresión de diferencias en la sensibilidad implica que no hubo fallas en la detección, aun cuando alguna de las malezas presentaba escaso estado de desarrollo.

Figura 7

Fotos tomadas en experimento 1



Nota. Trío inferior, ejemplares de *Lolium multiflorum* y *Bowlesia incana* en distintos estados de desarrollo previa aplicación; trío inferior ejemplares de *Lolium multiflorum* y *Bowlesia incana* post aplicación.

4.2 EXPERIMENTO 2. GASTO DE CALDO

Como se expuso anteriormente, una de las actividades realizadas en el marco de este trabajo fue la evaluación del gasto del caldo que realizaba cada uno de los tratamientos elegidos.

El siguiente cuadro, expone los resultados obtenidos de gasto en litros de agua y ahorro de caldo en comparación con una aplicación convencional para la misma cobertura de malezas.

Tabla 6

Evaluación de gasto (L) y ahorro (%) de caldo

Tratamiento	Apertura	Sensibilidad	Área aplicada (m ²)	Gasto (L)	Ahorro (%)
1	100	Máxima	2000	6,78	66,1
2	100	Media	2000	1,29	93,5
3	200	Máxima	2000	8,24	58,8
4	200	Media	2000	2,9	85,5

Tal como era predecible, las elecciones de mayor sensibilidad (1) exponen resultados de mayor gasto de caldo, y por ende menor % de ahorro en comparación a las de sensibilidad 3. Esto se explica por el rango de tamaños de plantas que captan los sensores, determinando la apertura de electroválvulas y boquillas de aplicación, según las configuraciones elegidas.

Cuando se observa el impacto de la elección de apertura de boquillas, si bien no se cuenta con un análisis de varianza, se puede observar que no existen grandes diferencias. Para el caso de sensibilidad 3, la diferencia es de aproximadamente 1,6 litros y el mismo escenario se repite en el caso de la sensibilidad 1, con 1.45 litros de diferencia para el área aplicada.

Al comparar la información obtenida con datos de otras experimentaciones se puede afirmar que la misma es concisa al presentar similares resultados. Según Ciancio y Gimenez (2022) las aplicaciones selectivas permiten obtener ahorros de herbicida de entre 70-75% e incluso se han reportado resultados superiores a 90-95%.

Por otra parte, en evaluaciones realizadas durante 6 meses de trabajo donde se aplicaron selectivamente 6000 hectáreas, se logró un ahorro de 74% (Tourn et al., 2020).

Es importante resaltar que tratamientos con mayores aperturas de boquillas (200 mm) relevaban mejores resultados de control en el experimento 1 y no presentaron diferencias importantes con los datos de ahorro de caldo para aperturas de 100 mm (72.5 vs 80%).

Por lo tanto, resumiendo esta sesión se puede inferir que a la hora de cuantificar el ahorro de caldo es más importante considerar el nivel de apertura de boquillas elegido que el nivel de sensibilidad.

Asimismo, debe tomarse en consideración que las muestras utilizadas en esta instancia eran de tamaño considerable. Por esta razón, el nivel de sensibilidad 3 no tuvo mayores inconvenientes para generar buenas deposiciones en las mismas, lo que podría haber variado si fueran muestras más pequeñas, y por lo tanto se alterarían los resultados de ahorro de producto.

4.3 EXPERIMENTO 3. EVALUACIÓN DE DEPOSICIÓN SOBRE PLANTAS

Los datos de deposición expresados en ppm de Azul/ g de materia seca de maleza, fueron agrupados en dos categorías: malezas de hoja ancha y gramíneas para el análisis estadístico (ANOVA) con el propósito de determinar si existían diferencias significativas en la deposición en función del tipo de planta y del tratamiento aplicado.

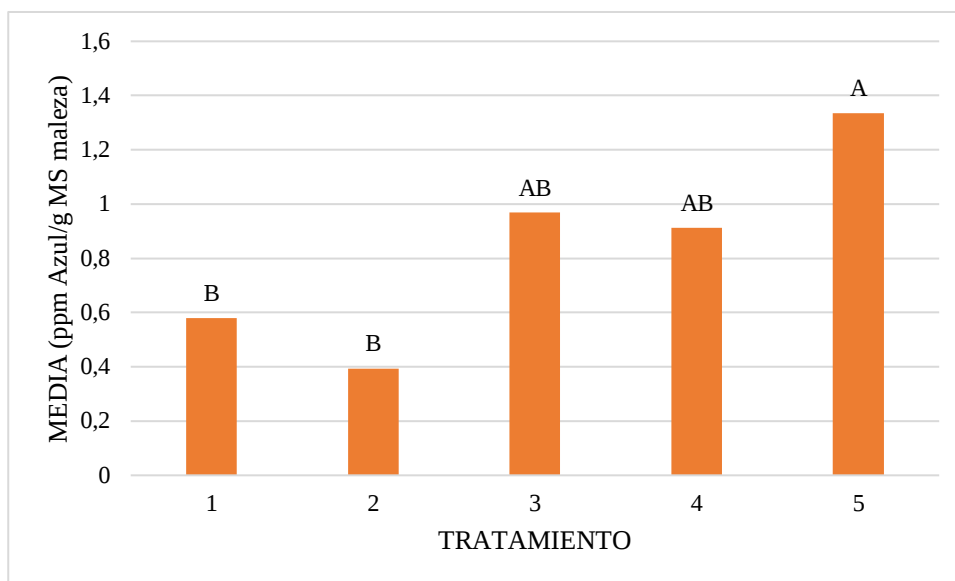
El análisis estadístico no detectó diferencias significativas para la interacción de la cantidad de trazador depositado sobre las hojas de maleza según tipo de maleza, gramínea u hoja ancha, con los tratamientos (p-valor: 0,9098).

Por esta razón se resolvió analizar el efecto principal de tratamiento, independientemente del tipo de planta, por lo cual se utilizaron la totalidad de los datos.

A continuación, se presentan los datos obtenidos para el promedio de las plantas en cada tratamiento.

Figura 8

Evaluación de deposición de trazador en función de muestras sin diferenciar por tipo de planta



Nota. Letras distintas representan diferencias significativas entre tratamientos ($p < 0,05$). 1= Apertura 100mm, sensibilidad Máxima; 2= Apertura 100mm, sensibilidad Media; 3= Apertura 200mm, sensibilidad Máxima; 4= Apertura 200mm, sensibilidad Media; 5= Aplicación total

En esta ocasión, se reportaron diferencias significativas (p -valor: 0,0004). El tratamiento 5 mostró los mejores resultados en cuanto a deposición sobre las plantas, lo cual era previsible, dado que la aplicación continua garantizaba una deposición uniforme y completa sobre las muestras.

Evaluando los tratamientos de la tecnología, también observamos tendencias. Los tratamientos con mayor apertura de boquillas (200 mm) fueron los que presentaron mejor deposición en las muestras cuando son comparados con los tratamientos de menor apertura (100 mm) y sin diferencias con el tratamiento convencional. La explicación de lo observado radica en que las boquillas cubren una mayor extensión de terreno antes y después de alcanzar el objetivo. Esto aumenta la probabilidad de lograr una deposición más efectiva sobre el mismo. Esto es coherente con lo encontrado en el experimento 1, donde los mayores controles en malezas se obtuvieron en tratamientos con mayor apertura.

Figura 9

Fotos tomadas durante experimento 3



Nota. Trío superior; a la izquierda deposición de trazador sobre maleza gramínea con apertura de boquillas 100mm; al medio deposición de trazador sobre maleza gramínea con apertura de boquillas 200mm; a la derecha deposición de trazador sobre maleza gramínea con apertura total. Trío inferior; a la izquierda deposición de trazador sobre malezas hoja ancha con apertura de boquillas 100mm; al medio deposición de trazador sobre maleza hoja ancha con apertura de boquillas 200mm; a la derecha deposición de trazador sobre maleza hoja ancha con apertura total.

5. CONCLUSIONES

El mayor control de malezas se alcanzó con los tratamientos 3 (apertura 200 mm-sensibilidad máxima) y 4 (apertura 200 mm-sensibilidad media) y sin diferencias con la aplicación total para el caso de gramíneas, aunque se observó una tendencia a mejor control por parte de la aplicación selectiva. El factor sensibilidad del equipo no afectó los resultados de control.

En las malezas hoja ancha no se encontraron diferencias significativas para el control con los diferentes tratamientos, pero si una propensión de mejor control para el tratamiento 3, con apertura 200 mm y sensibilidad máxima. Estos resultados indican que para un mayor control de malezas es necesario una mayor apertura de boquillas. Lo que según el resultado del experimento 2 correspondería a un menor ahorro. La menor expresión de diferencias en sensibilidad implica que no hubo fallas en detección aun cuando las malezas tenían escaso estado de desarrollo.

La deposición fue independiente del tipo de planta, gramínea u hoja ancha. En los tratamientos de aplicación selectiva a mayor apertura de boquillas la deposición fue mayor, lo que resultó coherente con los resultados obtenidos en control.

6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Agroquímicos a base de glifosato y prácticas agrícolas modernas.* (2022, 19 de abril). Bayer. <https://www.conosur.bayer.com/es/la-funcion-del-glifosato-en-la-agricultura>
- Allmendinger, A., Spaeth, M., Saile, M., Peteinatos, G. G., & Gerhards, R. (2022). Precision chemical weed management strategies: A review and a design of a new CNN- based modular spot sprayer. *Agronomy*, 12(7), Artículo e1620. <https://doi.org/10.3390/agronomy12071620>
- Baillie, C., Fillols, E., McCarthy, C., Rees, S., & Staier, T. (2013). *Evaluating commercially available precision weed spraying technology for detecting weeds in sugarcane farming systems*. National Centre for Engineering in Agriculture. <https://elibrary.sugarresearch.com.au/bitstream/handle/11079/14045/Extract%20from%20NCA011%20Final%20Report.pdf?sequence=1>
- Bello, J. (Coord.), Bilbao, A., Bilbao, E., Ciancio, N., Giménez, V., Muguerza, J., Robles Terán, L., & Tinghitella, G. (2022). *Aplicaciones selectivas: Experiencias de uso y análisis de la tecnología en la Argentina*. CREA. <https://media.contenidoscrea.org.ar/adjuntos/334/documentos/000/002/0000002972.pdf>
- Biset, M., Colomé, S., Copioli, A., Hurtado, P., Lombardi, N., Morán, M., Nisensohn, L., Faccini, D., & Tuesca, D. (2011). Control químico de malezas en barbecho. *Agromensajes de la Facultad*, (31). <https://fcagr.unr.edu.ar/Extension/Agromensajes/31/5AM31.htm>
- Ciancio, N., & Giménez V. (2022, 9 de septiembre) *Aplicaciones selectivas: Como evaluar la inversión*. Contenidos CREA. <https://www.contenidoscrea.org.ar/agricultura/aplicaciones-selectivas-como-evaluar-la-inversion-n5326099#>
- DeepAgro (s.f.). *DeepAgro Tecnología*. <https://deepagro.com/es/tech.html>
- Doll, J. (1993). Dinámica y complejidad de la competencia de malezas. En R. Labrada, J. C. Caseley, & C. Parker (Eds.), *Manejo de malezas para países en desarrollo* (pp. 31-37). FAO. <https://www.fao.org/4/T1147S/t1147s07.htm>

El uso seguro de los productos químicos puede ayudar a proteger la biodiversidad.

(2020, 3 de junio). ONU. <https://www.unep.org/es/noticias-y-reportajes/reportajes/el-uso-seguro-de-los-productos-quimicos-puede-ayudar-protger-la>

Ernst, O., & Siri-Prieto, G. (2011). La agricultura en Uruguay: Su trayectoria y consecuencias. En E. Hoffman & A. Ribeiro (Eds.), *II Simposio Nacional de Agricultura* (pp. 29-30). Facultad de Agronomía.

Fernández, G. (2011). Estrategias de manejo para la problemática actual de malezas en Uruguay. En E. Hoffman & A. Ribeiro (Eds.), *II Simposio Nacional de Agricultura* (pp. 3-8). Facultad de Agronomía.

Fernández, O. A. (1982). Manejo integrado de malezas. *Planta Daninha*, 5(2), 69-79. <https://doi.org/10.1590/s0100-83581982000200010>

Geosistemas SRL. (2020). *Cómo funciona WEED-it?* [Video]. Youtube. <https://www.youtube.com/watch?v=aiBkWo0srag>

Herbicide Resistance. (s.f.). Weed Science Society of America. <https://wssa.net/projects/herbicide-resistance/>

Instituto Nacional de Estadística. (2023). 4.2.6 - Cantidad de explotaciones comerciales y superficie explotada, según principal fuente de ingreso – 2011. En *Anuario Estadístico Nacional 2023*. <https://www.gub.uy/instituto-nacional-estadistica/comunicacion/publicaciones/anuario-estadistico-nacional-2023-volumen-n-100/42-agropecuario/426>

Junior, L. & Ulson, J. (2021). Real time weed detection using computer vision and deep learning. En M. de Sales Guerra Tsuzuki & M. Amorim de Oliveira Pessoa (Eds.), *14th International Conference on Industry Applications INDUSCON 2021* (pp. 1131-1137). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. <https://doi.org/10.1109/induscon51756.2021.9529761>

Leguizamón, E. (2009). Las malezas del barbecho. *Agromensajes de la Facultad*, (27). <https://fcagr.unr.edu.ar/Extension/Agromensajes/27/7AM27.htm>

Marchesi, E., & Pauletti, M. (2011). *El correcto uso del Glifosato*. Plan Agropecuario. https://www.planagropecuario.org.uy/publicaciones/revista/R97/R97_39.htm

- Martino, D. (1997). *Siembra directa en los sistemas agrícola-ganaderos del litoral*. INIA.
<http://www.ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/2988/1/15630291007151145.pdf>
- Martins, A. (s.f.). *Rotación de herbicidas y sus beneficios en el control de malas hierbas*. BASF.
https://www.agro.basf.es/es/Camposcopio/Secciones/Tratamientos/como_utilizar_herbicidas_en_una_rotacion_de_secano/
- McCarthy, W. (2016). *Validation of commercial precision spraying technology* [Trabajo final de grado]. University of Southern Queensland.
- Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca. (2021, 20 de abril). *Técnicos de la DGSA visitaron emprendimiento que perfecciona la aplicación de fitosanitarios*.
<https://www.gub.uy/ministerio-ganaderia-agricultura-pesca/comunicacion/noticias/tecnicos-dgsa-visitaron-emprendimiento-perfecciona-aplicacion-fitosanitarios>
- Miretti, M., Busano, F., Bernardi, E., & Peretti, G. C. (2018). *Detección y control de malezas a través de la evaluación de parámetros normalizados*. CORE.
<https://core.ac.uk/download/pdf/487021657.pdf>
- Moltoni, A. F., Masia, G., Fuica, A. M., Moltoni, L., Venturelli, L., & Cid, R. (2007). Site- specific weed control: Desempeño de un detector de maleza diseñado y construido en el Instituto de Ingeniería Rural de INTA Castelar: Parte II. En M. Bocco (Ed.), *Avances en Ingeniería Rural 2005-2007: IX Congreso Argentino de Ingeniería Rural y I del Mercosur* (pp. 121-126). SIMA.
- NDVI and its Practical Applications in Agriculture*. (2021, 17 de diciembre). Cropin.
<https://cropin.com/blogs/ndvi-normalized-difference-vegetation-index.html#:~:text=NDVI%20is%20commonly%20used%20to,optimize%20irrigation%20and%20fertilization%20practices.>
- Plaguicidas en Uruguay: Logros alcanzados y desafíos vigentes*. (2020, 30 de noviembre). FAO. <https://www.fao.org/uruguay/noticias/detail/ru/c/1334081/>
- Real Academia Española. (s.f.). Barbecho. En *Diccionario de la lengua española* (23^{ra} ed.). <https://dle.rae.es/barbecho?m=form>

- Redolfi, A., Felissia, S., Bernardi, E., Araguás, G., & Flesia, A. (2020). Learning to detect vegetation using computer vision and low-cost cameras. En Buenos Aires Institute of Technology (Ed.), *Proceedings: 2020 IEEE International Conference on Industrial Technology* (pp. 791-796).
<https://doi.org/10.1109/ICIT45562.2020.9067316>
- Timmermann, C., Gerhards, R., & Kühbauch, W. (2003). The economic impact of site-specific weed control. *Precision Agriculture*, 4(1), 249-260.
<https://doi.org/10.1023/A:1024988022674>
- Tourn, S., Bilbao, E., & Platz, P. (2020). Control de malezas en barbecho: ¿Qué tecnologías tenemos disponible? *Horizonte A*, (124), 16-22.
https://aws.agroconsultasonline.com/documento.html?op=d&documento_id=1341
- Velini, E. (2011). O futuro do manejo de plantas daninhas em sistemas agrícolas. En E. Hoffman & A. Ribeiro (Eds.), *II Simpósio Nacional de Agricultura* (pp. 9-18). Facultad de Agronomía.
- Villalba, J., Martins, D., Rodriguez, A., & Alves-Cardoso, L. (2009). Depósito del caldo de aspersión de distintos tipos de boquillas en dos cultivares de soya en el estadio V3. *Agrociencia*, 43(5), 465-473.
- Weed-it precision spraying*. (s.f.). Marco Natural.
<https://www.marconatural.com.uy/productos/weedit/>
- Weed-it una tecnología para el control de malezas con ahorro de herbicidas y menos daño al medio ambiente*. (2021, 15 de mayo). Campo Global.
<https://www.campoglobal.com/leernota/424/weed-it-una-tecnologia-para-el-control-malezas-con-ahorro-herbicidas-y-menos-dano-al-medio.html>