

**UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA
FACULTAD DE AGRONOMÍA**

**EVALUACIÓN DE APLICACIONES SELECTIVAS
(WEEDSEEKER) EN EL CONTROL DE MALEZAS EN BARBECHO**

por

**Felipe BERRETTA
Fernando CIBILS
Joaquín FLORES**

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

**PAYSANDÚ
URUGUAY
2024**

Trabajo final de grado aprobado por:

Director/a:

Ing. Agr. Dra. Juana Villalba

Tribunal:

Ing. Agr. Dra. Juana Villalba

Ing. Agr. Dr. Antonio Sozzi

Ing. Agr. Winnona Saracho

Fecha:

25 de abril de 2024

Estudiante:

Felipe Berreta

Fernando Cibils

Joaquín Flores

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, queremos agradecerle a nuestra tutora Juana Villalba, y a la ayudante de cátedra Winnona Saracho por el apoyo y dedicación en la realización de este trabajo.

A los responsables y encargados del predio de la Estación Experimental Mario Alberto Cassinoni (EEMAC) de Facultad de Agronomía, Udelar, por poner a disposición el área del experimento.

A nuestros familiares y amigos, quienes nos acompañaron y apoyaron a lo largo de la carrera.

TABLA DE CONTENIDO

HOJA DE APROBACIÓN	2
AGRADECIMIENTOS	3
LISTA DE TABLAS Y FIGURAS	5
RESUMEN	6
SUMMARY	7
1 INTRODUCCIÓN	8
2 REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	9
2.1 CONTROL QUÍMICO DE MALEZAS.....	9
2.2 APLICACIÓN SELECTIVA.....	13
2.2.1 WeedSeeker.....	14
2.2.2 WEED-it.....	16
2.2.3 Visión artificial.....	17
2.2.4 Resultados comparativos de las diferentes tecnologías.....	18
3 MATERIALES Y MÉTODOS	21
3.1 LOCALIZACIÓN.....	21
3.2 ÁREA EXPERIMENTAL Y TRATAMIENTOS	21
3.3 METODOLOGÍA DE INSTALACIÓN	22
3.4 DETERMINACIÓN DE DEPOSICIÓN DE HERBICIDA.....	23
3.5 DETERMINACIÓN DE CONTROL.....	23
4 RESULTADOS	25
4.1 RESULTADOS DE DEPOSICIÓN DE HERBICIDA EN MALEZAS	25
4.2 RESULTADOS EN EL CONTROL DE MALEZAS.....	28
5 CONCLUSIONES	32
6 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	33

LISTA DE TABLAS Y FIGURAS

Tabla No.	Página
Tabla 1 <i>Descripción de los tratamientos</i>	21
Tabla 2 <i>Estadísticas descriptivas de la deposición de herbicida (ppm azul brillante/gramos de materia seca de maleza)</i>	25
Tabla 3 <i>Estadísticas descriptivas de la deposición de herbicida en malezas chicas (ppm azul brillante/gramos de materia seca de malezas)</i>	27
Tabla 4 <i>Porcentaje de control según fecha y tratamiento (%)</i>	29
Tabla 5 <i>Media de control (%) a los 9 DPA y 13 DPA</i>	29
Tabla 6 <i>Control (%) en malezas de hoja ancha para cada tratamiento a los 9 DPA (Tukey 0.05)</i>	30
Tabla 7 <i>Control (%) para cada tratamiento a los 9 DPA y 13 DPA</i>	31
Figura No.	Página
Figura 1 <i>Media y desvío estándar de deposición de herbicida por tratamiento</i> .	26
Figura 2 <i>Media y desvío de deposición de herbicidas en malezas grandes</i>	28

RESUMEN

El presente trabajo tuvo como propósito evaluar la efectividad de control de malezas en barbecho mediante la aplicación de herbicidas con WeedSeeker. Para ello, en el mes de mayo del año 2023 se realizó la aplicación de la mezcla (glifosato+saflunecil), con tres sensibilidades de detección de malezas del equipo distintas, y un tratamiento testigo (con sensibilidad 0 en los sensores, lo que correspondió a una aplicación convencional, en área total).

La aplicación se llevó a cabo en el potrero 4B de la Estación Experimental Mario Alberto Cassinoni (EEMAC), Facultad de Agronomía, Udelar, ubicada en el departamento de Paysandú. Dicha aplicación fue realizada con los herbicidas previamente mencionados, y el trazador Azul Brillante para la evaluación de deposición sobre las malezas. Luego de la aplicación, se colectaron 20 plantas de cada tratamiento, las cuales fueron lavadas para la determinación de la cantidad de trazador en el espectrofotómetro. A partir del peso de las mismas, se expresó la deposición por gramo de materia seca de maleza. Además, se realizaron evaluaciones de control a través de observaciones de daño en 30 malezas marcadas. No se constató el efecto del tratamiento en la deposición de malezas, pero sí en el control de las mismas, encontrándose niveles levemente inferiores de control en el tratamiento de menor sensibilidad de detección de malezas.

Palabras clave: aplicación selectiva, WeedSeeker, malezas

SUMMARY

The purpose of this study was to evaluate the effectiveness of weed control in fallow fields through the application with WeedSeeker. To do this, in May of the year 2023, a mixture (glyphosate + saflufenacil) was applied, with three different weed detection sensitivities of the equipment, and a control treatment (conventional application).

The application took place in paddock 4B of the Mario Alberto Cassinoni Experimental Station (EEMAC), Faculty of Agronomy, Udelar, located in the Paysandú department. This application was carried out with herbicides and the tracer Brilliant Blue for the evaluation of deposition on the weeds. After the application, 20 plants from each treatment were collected, which were washed to determine the amount of tracer in the spectrophotometer. From the weight of the plants, the deposition per gram of weed dry matter was expressed. In addition, control evaluations were conducted through observations of damage on marked weeds. The treatment effect on weed deposition was not observed, but it was observed in weed control, with slightly lower control levels in the treatment with lower weed detection sensitivity.

Keywords: selective application, WeedSeeker, weed

1 INTRODUCCIÓN

La evolución de área agrícola de secano en Uruguay ha tenido un aumento significativo a partir de las últimas décadas en detrimento del resto de los rubros, siendo esta, a inicios de la década del 2000 inferior a 350.000 ha (Ernst & Siri-Prieto, 2011).

Actualmente la superficie destinada a la agricultura es de 1.206.000 ha (Oficina de Estadísticas Agropecuarias, 2022), lo cual significa un aumento mayor a 344% en lo que va del siglo.

La evolución en el área agrícola ha evolucionado en conjunto con diversos cambios tecnológicos en el manejo de los cultivos. Dentro de los cambios de mayor relevancia, se puede mencionar la incorporación de la siembra directa a nuestros sistemas productivos, lo cual trajo aparejado algunos desafíos. A los efectos de este trabajo, nos enfocaremos en la problemática de las malezas y formas de control de estas.

A lo largo de la historia, han sido varias las técnicas utilizadas en el control de malezas, como pueden ser, el desenmalezado manual, labranza, aplicación de químicos, fuego, entre otros.

Sumado a esto, actualmente se han incorporado algunas prácticas de control cultural que contribuyen con este cometido, como lo son el uso de cultivos de servicio, el ajuste de fechas de siembra, densidades de siembra, elección de cultivares, etc. Sin embargo, desde la aparición de los Organismos Genéticamente Modificados (OGM), el método de control más expandido ha sido la aplicación de agroquímicos (Bilbao et al., 2022).

A raíz de estos antecedentes, surgen diversas tecnologías en busca de una mayor eficiencia económica y de menor riesgo ambiental. Como es la aplicación selectiva, la que reconoce malezas y aplica puntualmente y solo donde se ubican estas.

El objetivo de este trabajo fue evaluar la aplicación selectiva en un barbecho, con el uso de equipamiento WeedSeeker en la deposición y el control de las malezas

2 REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1 CONTROL QUÍMICO DE MALEZAS

Las malezas son consideradas organismos indeseables en los cultivos, las cuales compiten por luz, agua, nutrientes y espacio. La presencia de una maleza se considera un fenómeno natural, debido a adaptaciones y evoluciones en ambientes modificados por la actividad humana, ya que diversas prácticas agropecuarias (camas de siembra limpias en situaciones con laboreo, y nutrientes y agua no limitante) favorecen el establecimiento de las mismas, principalmente en las primeras etapas de los cultivos (Fernández, 1982).

Mediante diferentes prácticas de manejo, lo que se busca es reducir, minimizar y eliminar la interferencia de malezas en pro de una agricultura sustentable aumentando la productividad de los cultivos (G. Fernández, comunicación personal, 8 de octubre, 2023).

De acuerdo con información de la Organización de las Naciones Unidas, entre un 20% y 40% de producción agrícola mundial se pierde por año debido a enfermedades y malezas, a pesar de usar 2 millones de toneladas de pesticidas (Redolfi et al., 2020). Por tanto, es de vital importancia la aplicación de tecnologías para aumentar la eficiencia en las aplicaciones de herbicidas.

A lo largo de la historia, han sido muchas y muy variadas las técnicas de control de malezas en los sistemas agrícolas. De todas maneras, hace ya varios años con el incremento de la siembra directa (SD), la técnica más utilizada, implica la aplicación de herbicidas en vistas de eliminar o reducir el impacto que las malezas generan en el cultivo.

A partir de la década del cuarenta, ha ido avanzando mucho el desarrollo de herbicidas, presentando hoy en día más de 400 formulaciones y más de 100 principios activos utilizados que son comercializados en todo el mundo, teniendo tal potencial, que pasó a ser casi el único método de control de malezas debido a que es una solución fácil para el gran problema que ocasionan las malezas en los cultivos (Fernández, 1982).

Si bien es cierto que fue una solución con grandes ventajas para un gran número de malezas, el problema de las malezas en los cultivos no ha desaparecido e incluso ha agravado situaciones de enmalezamientos, en donde malezas

susceptibles a herbicidas son reemplazadas por malezas tolerantes y más difíciles de eliminar, pasando de tener un problema de fácil solución a uno de gran dificultad. Esto genera también problemas desde el punto de vista ambiental, debido al impacto de estos sobre el ambiente por el uso indiscriminado de herbicidas, afectando a gran número de microorganismos que componen el ecosistema (Fernández, 1982).

A los efectos de describir y desarrollar el control químico de malezas es frecuente encontrar a los herbicidas divididos en dos grandes grupos, los de aplicación foliar, y los de aplicación al suelo.

Considerando que el presente trabajo tiene por objeto, la descripción y el desarrollo de una de las posibilidades tecnológicas en el marco de la aplicación selectiva, nos enfocaremos únicamente en aquellos herbicidas que son de aplicación foliar ya que los herbicidas de aplicación al suelo tienen un “blanco” de aplicación que no es selectivo en sí mismo (el suelo).

Para que un herbicida que es aplicado al follaje llegue efectivamente al sitio donde debe actuar, son varios los pasos y barreras que debe superar exitosamente en todo el trayecto. Comenzando por una aplicación correcta (en la cual intervienen aspectos como, el equipo de aplicación, tipo de boquilla, tamaño de gota, distribución, etc.), el herbicida debe ser retenido por las hojas de la planta, para luego ser absorbido por estas estructuras, transportado, y finalmente ejecutar la acción deseada en el lugar deseado (Kogan Alterman & Pérez Jones, 2003).

El primer punto clave, en la absorción del herbicida por una planta, luego de que el mismo alcanza el follaje, es la retención en la planta. En este punto, juegan un rol fundamental características como la rugosidad de la superficie o la disposición de las hojas. Por ejemplo, algunas gramíneas, como *Hordeum vulgare* (Cebada), en los primeros estadios de desarrollo, disponen sus hojas en forma casi perpendicular al suelo favoreciendo el escurrimiento del producto en ellas y evitando la retención de este en la planta (Kogan Alterman & Pérez Jones, 2003). Contrariamente, otras especies como *Helianthus annuus*, son especies de hoja ancha, y de disposición horizontal, paralela a la superficie del suelo, favoreciendo esto la retención de producto. Este tipo de contrastes entre especies favorece la selectividad de los productos químicos para el control de malezas.

Una vez que el herbicida es retenido por la hoja, son varias las capas que deben ser superadas para ingresar a la planta. Dentro de estas estructuras, una de las más relevantes es una capa lipídica denominada cutícula. Sobre la misma, se depositan las denominadas células epicuticulares, las cuales obstaculizan el contacto entre el herbicida y la cutícula (Kogan Alterman & Pérez Jones, 2003).

A su vez, dentro de la cutícula, se encuentran ceras embebidas dentro de la matriz de la cutina, generando, desde el punto de vista químico una cierta dualidad en la composición. Es por ello que herbicidas polares, tales como Glifosato, 2,4-D o Clorsulfuron, atraviesan la cutícula enlazándose con los componentes no cerosos de la cutina, y otros, de características apolares, como algunos graminicidas, atraviesan la cutícula pasando a través de las ceras que se encuentran inmersas en la matriz de la cutina. Estos herbicidas, son clasificados como hidrofílicos y lipofílicos respectivamente (Kogan Alterman & Pérez Jones, 2003).

Por otra parte, no debemos dejar de lado que, los herbicidas no son aplicados por sí solos, sino que, por el contrario, los mismos son aplicados en la mayor parte de los casos en solución. Dentro de esta solución, se incluyen muchas veces surfactantes, los cuales tienen por objeto aumentar la mojabilidad del producto aplicado (Gutiérrez & Arregui, 2000). Los mismos presentan una porción lipofílica y una hidrofílica, lo cual los dispone entre la gota y la cutícula, y de esta forma, por el hecho de actuar sobre la tensión superficial de la gota, aumentan la superficie de contacto entre el producto aplicado y la superficie de la hoja (Gutiérrez & Arregui, 2000). Es por esto, entre otros factores, que los mismos contribuyen con la penetración del producto en planta, jugando un rol fundamental en el éxito de la aplicación.

Por último, más allá de todos los factores intrínsecos a los componentes de la aplicación (herbicida y planta), el ambiente es un elemento fundamental a la hora de considerar los factores que intervienen en la aplicación y control de una maleza. Este factor interviene tanto en planta, como en el herbicida. En planta, por ejemplo, reduciendo los poros hidrofílicos de la cutícula en condiciones de déficit hídrico y baja humedad relativa; y en el herbicida aumentando la evaporación de este en las condiciones previamente mencionadas (Gutiérrez & Arregui, 2000).

Una vez que los herbicidas atravesaron la cutícula y fueron absorbidos, los mismos deben ingresar al interior celular, debido a que es allí donde se encuentran todos los sitios de acción de los distintos herbicidas (Kogan Alterman & Pérez Jones, 2003).

La siguiente barrera que se encuentran los herbicidas es la membrana plasmática, e incluso, en los casos en que el sitio de acción se encuentra en el cloroplasto, también deberán atravesar el doble sistema de membranas de este organelo.

Para lograr superar estas barreras existen 3 mecanismos posibles.

Devine et al. (1993) como se cita en Gutiérrez y Arregui (2000) indican que el primero y más frecuente es la difusión simple. Este mecanismo resulta mucho más fácil para herbicidas lipofílicos en contraste con los hidrofílicos (Kogan Alterman & Pérez Jones, 2003).

En segundo lugar, están aquellos herbicidas que se transportan en contra del gradiente de concentración, y requieren energía metabólica en forma de ATP para poder hacer el pasaje. Ejemplos de herbicidas que utilizan este mecanismo son Bentazon, Clopiralid, Clorsulfuron, entre otras Sulfonilureas (Kogan Alterman & Pérez Jones, 2003).

Por último, existe un grupo reducido de herbicidas, como el 2,4-D, glifosato o el paraquat, que utilizan proteínas que se encuentran embebidas a la membrana plasmática y cumplen el rol de transportar moléculas como sacarosa o fructosa. Dichas proteínas se denominan carriers, y también requieren energía metabólica en forma de ATP (Kogan Alterman & Pérez Jones, 2003).

Una vez que el herbicida ha atravesado la cutícula, y penetrado al interior celular, muchos herbicidas se translocan dentro de la planta hasta alcanzar su sitio de acción. Dicho movimiento puede darse por xilema, floema o ambos dependiendo de las características de cada producto. La excepción a este hecho, son los herbicidas de contacto, los cuales presentan una muy escasa capacidad de trasladarse dentro de la planta. Algunos ejemplos de estos últimos pueden ser el Paraquat, Diquat, Glufosinato de amonio, entre otros (Kogan Alterman & Pérez Jones, 2003).

Por su parte, los herbicidas que sí presentan movimiento son denominados sistémicos (Kogan Alterman & Pérez Jones, 2003).

Como es lógico, los requisitos de cobertura de aplicación en un caso y otro son diferentes y es necesario tenerlo presente al momento de llevar a cabo la aplicación.

Muchas veces, el movimiento de los herbicidas está ligado al movimiento de fotosintatos, y productos metabólicos propios de la actividad fotosintética, por tal motivo, es importante considerar características como la edad y estado de plantas y hojas, o actividad fotosintética durante y luego de la aplicación, las cuales están siempre afectadas por factores ambientales (Kogan Alterman & Pérez Jones, 2003).

Luego de introducirse en lo que refiere al control químico de un herbicida foliar, corresponde reconocer las dos formas de aplicación posibles. Por un lado, el método más sencillo y más comúnmente utilizado en nuestro país es la aplicación total en la superficie de interés. Esto implica, a través de distintas herramientas, verter el producto tanto en zonas que presentan enmalezamiento, como en zonas donde el enmalezamiento es nulo o escaso, con un volumen de aplicación fijo por unidad de área. Por otro lado, en vistas de reducir gastos en producto, así como reducir los impactos ambientales causados por los herbicidas, han surgido a lo largo del tiempo, algunas tecnologías capaces de realizar una aplicación localizada, seleccionando, solo aquella área donde queremos controlar. Dentro de las tecnologías de aplicación selectiva, existen algunas menos complejas, donde, por ejemplo, la selección se basa en diferenciación posicional de las malezas (Máquina de posición), como son las coloquialmente llamadas “alfombras”, hasta otras, un poco más complejas las cuales pueden diferenciar malezas de suelo desnudo, mediante NDVI o fluorescencia de la clorofila y también el uso de cámaras, viene en incremento. A su vez, muchas veces, estas últimas, brindan la posibilidad de regular la sensibilidad con la cual miden el enmalezamiento, pudiendo así, aplicar diferencialmente en enmalezamientos más o menos desarrollados.

2.2 APLICACIÓN SELECTIVA

Como fue mencionado anteriormente, desde la introducción de los Organismos Genéticamente Modificados a los sistemas agrícola, el método más

utilizado hasta la actualidad es el método de control químico, con aplicaciones en toda el área.

El objetivo de las aplicaciones selectivas son un uso más eficiente de herbicidas, sin tener la necesidad de aplicar en zonas las cuales no son objetivo ya que no presentan maleza la cual controlar.

Con los años, también han ido variando los métodos de aplicación de los herbicidas, en vistas de un control más eficiente de las malezas. En la actualidad, el uso de estos productos está generando, entre otros problemas, un desafío económico importante para empresas y productores, un problema de contaminación y también problemas de resistencia de malezas a herbicidas.

En este sentido, McCarthy (2016) nombra como las principales ventajas de realizar aplicaciones selectivas, las siguientes:

1. Reducción del uso de herbicidas y del costo de insumos.
2. Uso más sostenible del agua.
3. Reducción del potencial de impacto ambiental.
4. Productividad maximizada.
5. Resistencia química minimizada.
6. Reducción de residuos y escurrimientos en vías fluviales.
7. Reducción de la deriva química.
8. Reducción de la contaminación de (i) Forrajes para el ganado, (ii) Alimentos para consumo humano, (iii) Calidad del aire

Con el objetivo de combatir esta problemática, y buscar las ventajas previamente mencionadas, han surgido diversas tecnologías, que cada vez tienen mayor importancia en los sistemas de producción agrícola. A los efectos de este trabajo, y de esta sección en particular, intentaremos adentrarnos en las bases tecnológicas utilizadas en la actualidad para la aplicación selectiva de herbicidas.

2.2.1 *WeedSeeker*

Este equipo fue originado en Estados Unidos en la década del 90 y constituyó el primer equipo de estas características (Bilbao et al., 2022).

Esta basado en la detección de malezas por NDVI y simultánea pulverización. El Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI), se basa en los principios de absorción, transferencia y reflexión de la luz tan estudiados a lo largo de la historia. Específicamente, este índice se calcula sobre la base de luz reflejada, tanto en el espectro visible como en el infrarrojo (Bilbao et al., 2022).

El cálculo matemático está fundamentado en la siguiente ecuación:

$$\text{NDVI} = (\text{NIR} - \text{RED}) / (\text{NIR} + \text{RED})$$

Donde NIR es infrarrojo y RED es rojo. Si el NDVI da 0, significa que absorbe todo lo que llega, y si da 1 significa que refleja todo lo que llega. Una planta ideal absorbe todo en rojo y refleja todo el infrarrojo, teniendo una NDVI igual a 1 (Redolfi et al., 2020).

La medición consiste en un sensor que apunta al suelo, el cual percibe luz roja e infrarroja. Las plantas absorben la radiación PAR (fotosintéticamente activa) y luego refleja la luz cercana infrarroja, ya que esta no la utiliza para sintetizar fotoasimilados. Una vez detectada la maleza el sensor determina si debe aplicar o no, y luego, cuando se encuentra debajo de la boquilla, este pulveriza el caldo de aplicación sobre la maleza (Redolfi et al., 2020).

A su vez permite distinguir diferentes estados de la vegetación, suelo o rastrojo. De esta forma, valores elevados, se asocian a plantas creciendo en forma vigorosa, mientras que valores bajos, a plantas estresadas o suelo desnudo (Bilbao et al., 2022).

Por las características previamente mencionadas, WeedSeeker, es una herramienta diseñada para aplicaciones en barbechos, sin cultivo, y se debe realizar una calibración previa a la aplicación, en una superficie libre de malezas (McCarthy, 2016).

Sin lugar a duda, WeedSeeker es una herramienta que involucra muchos otros elementos además de los sensores NDVI, los cuales permiten que tanto la lectura, como la medición y la ejecución, se hagan en forma casi simultánea, permitiendo que el producto alcance su objetivo en el momento en que la pulverizadora pasa sobre ellos. Esto incluye, sensores de velocidad colocados en ruedas de pulverizadora y tractor, sensores de presión del circuito del caldo, medidores de caudal, entre otros. Todos estos elementos, tienen por objetivo, un

aumento en la precisión de la aplicación, para un mayor control de las malezas (Bilbao et al., 2022).

Los sensores deben ser instalados cada 380 mm, con un espaciado de 250 mm entre el soporte, y el extremo de pulverización. La altura de los equipos debe estar entre 65 cm y 85 cm con respecto al suelo (al igual que las boquillas) (McCarthy, 2016).

Esta disposición, junto con la tecnología asociada, previamente mencionada, permite ajustes de distintas sensibilidades y velocidades de hasta 20 km/h (McCarthy, 2016).

2.2.2 *WEED-it*

Este sistema, al igual que WeedSeeker, analiza bandas espectrales, pero lo hace a través de un método distinto de detección. El método utilizado en este caso es la medición de la fluorescencia de la clorofila, en donde se mide la energía reemitida por las moléculas de clorofila, una vez que las mismas han sido excitadas por la luz. El hecho de que la energía emitida por los sensores sea absorbida y reemitida por la clorofila de la planta, permite que los sensores diferencien plantas de otros objetos (Bilbao et al., 2020).

Específicamente, los sensores WEED-it van iluminando el suelo con luz roja. De esta forma, cuando la máquina pasa por encima de una maleza, la misma reacciona a la luz roja a través de la clorofila, la absorbe, y emite luz del tipo infrarrojo cercano (NIR). Esta última, es captada por los sensores, los cuales hacen que el sistema reaccione a una velocidad muy alta, activando los mecanismos de aplicación que permiten la liberación del producto por las boquillas (Baillie et al., 2013).

A diferencia de WeedSeeker, esta tecnología, no requiere una calibración previa a la aplicación, sino que los sensores, van midiendo cada milímetro de suelo en la medida que el equipo avanza, y lo hace en forma independiente de las condiciones ambientales o de luz. Es decir, que la medición se puede realizar tanto en condiciones de total oscuridad, como a plena luz del día (McCarthy, 2016).

A su vez, al igual que en WeedSeeker, es posible ajustar la sensibilidad de la medición de malezas según el tamaño de estas (McCarthy, 2016).

La colocación y distribución del equipo consiste en que los sensores deben estar colocados a lo largo del varal a una distancia de 1 m, con una altura de 1,1 m con respecto a la superficie del suelo (McCarthy, 2016).

Las diferencias tecnológicas que presenta WEED-it, con respecto a WeedSeeker, generan también ciertas particularidades en la práctica y en la medición que no pueden ser dejadas de lado.

En primer lugar, WEED-it, presenta un menor tamaño de área de detección con respecto a WeedSeeker, teniendo el primero, una capacidad de medición de área de hasta 25 centímetros de ancho, mientras que WeedSeeker tiene una capacidad de hasta 50 centímetros. Esto le permite un mayor grado de precisión y selectividad en la aplicación en barbecho (Bilbao et al., 2022).

WEED-it a su vez, tiene la capacidad de realizar una aplicación completa para malezas pequeñas, y cuando detecta malezas de mayor tamaño, aumenta la dosis aplicada utilizando el mismo caldo y boquilla. Esto significa una dosificación variable según tamaño de maleza (Bilbao et al., 2022). Lo cual sería una ventaja frente al método de aplicación de WeedSeeker.

Por último, WEED-it puede ser utilizado en una pulverización convencional con la posibilidad de realizar compensaciones en curvas para mantener la misma dosis en todo el ancho de labor, evitando sobre y sub-aplicaciones. Esto lo logra a través del corte boquilla por boquilla y el control de dosis, sin necesidad de cambiar la presión. Esta posibilidad abre el juego a la aplicación variable de productos, tanto fitosanitarios como fertilizantes, que hacen de la pulverizadora una herramienta de altísima precisión y versatilidad para utilizarla todo el año y en todas las condiciones (Bilbao et al., 2022).

2.2.3 Visión artificial

Esta tecnología está avanzando a gran velocidad, y presenta una ventaja crucial en el manejo de malezas. A diferencia de las herramientas previamente mencionadas, el control de malezas realizado en base a este método permite realizar un control no solo a nivel de barbecho, sino también en etapa de cultivo, pudiendo distinguir cultivo de malezas. Un ejemplo comercialmente disponible en el mercado es SprAI de la empresa argentina DeepAgro. Esta herramienta, tiene la capacidad de detectar malezas de hasta tres centímetros en barbechos y cultivos de soja en

siembra directa. Así es, que con una velocidad de avance de 15 km/h, tiene la capacidad de procesar hasta 20 imágenes por segundo con una efectividad de detección informada del 90% (Bilbao et al., 2022).

El sistema se compone de una cámara, un sistema de cómputo, capaz de generar información procesada en tiempo real, una válvula PWM y un solenoide en cada boquilla (Bilbao et al., 2022).

Otro ejemplo, pero a nivel experimental, de aplicaciones selectivas realizadas en base a cámaras, son los sistemas YOLOv3 tiny y Faster R-CNN. Estos son dos algoritmos que se han analizado para la detección de *Ipomoea indica* en cultivos de Soja y de Algodón. En dicho experimento se evaluó la capacidad de distinguir la maleza de los cultivos, y la capacidad de control de a través de dichos algoritmos (Sabóia et al., 2022).

2.2.4 Resultados comparativos de las diferentes tecnologías

En base a los antecedentes bibliográficos consultados, se puede decir que las distintas tecnologías analizadas, han demostrado en diversos estudios realizados, un importante ahorro de producto. Esto, trae aparejado importantes niveles de ahorro en el ámbito económico de una empresa. A su vez ha permitido utilizar herbicidas más específicos en detrimento de herbicidas no selectivos como el Glifosato (Bilbao et al., 2022).

En esta línea, se han observado ahorros en WeedSeeker y WEED-it dentro del rango de 65% y 90% (Bilbao et al., 2022).

De similar forma, Bertone (2022) mencionó que los ahorros de producto se encuentran en un rango de entre 50% y 90% con la implementación de WeedSeeker.

Estudios anteriores a los previamente mencionados, realizados sobre la base de robots autónomos, confeccionados con el fin de realizar aplicaciones selectivas, también hablan de ahorros elevados de producto. Específicamente, Reiser et al. (2017) mencionan ahorros de 72% de producto.

En cuanto al control de malezas, McCarthy (2016) en su trabajo de tesis titulada Validation of Commercial Precision Spraying Technology, mencionó que Weed-it, presentó una mayor detección de malezas en comparación con WeedSeeker. La información recabada en los resultados de dicho trabajo, indica

que, de un total de 47 malezas analizadas, Weed-it detectó 46, representando un 97,88% de detección, mientras que WeedSeeker detectó 38, lo cual representa solamente un 80,85%.

Así mismo, McCarthy (2016) también encontró una detección de malezas pequeñas mucho más consistentes en Weed-it en comparación con WeedSeeker.

En el mismo sentido que McCarthy, Young et al. (2008) observaron que plantas menores a 8 cm de altura y menores de 4 cm de diámetro no fueron detectadas por WeedSeeker.

Por otro lado, comparando aplicaciones uniformes, con aplicaciones selectivas (Weed-it y WeedSeeker), Genna et al. (2021) observaron controles de densidad (número de malezas por metro cuadrado) 1,4 y 1,5 veces superiores en aplicaciones uniformes, con respecto a las aplicaciones selectivas para experiencias en los años 2019 y 2020, respectivamente. También encontraron en el 2020, eficiencias de control en cobertura (porcentaje de suelo cubierto) de 30% para aplicaciones uniformes, y 0% en aplicaciones selectivas.

A su vez, las evaluaciones fueron realizadas con 2 tipos de herbicidas (Glifosato, y Bromoxinil+Pyrasulfotole) sobre enmalezamientos distintos, donde había lotes donde predominaba *Kochia scoparia* (Kochia), y otros donde el predominio era de *Salsola tragus* (Cardo ruso). Centrándose en estos dos tipos de malezas, en las aplicaciones con Glifosato, los resultados arrojaron que los mayores controles se dieron con aplicaciones uniformes sobre enmalezamientos dominados por *K. scoparia*, mientras que los peores resultados se dieron sobre enmalezamientos dominados por Cardo ruso, aplicados con Weed-it. En el caso de Bromoxinil+Pyrasulfotole, los mayores controles, también fueron en aplicaciones uniformes, pero sobre Cardo ruso, y los más bajos controles, sobre *K. scoparia*, con Weed-it.

Por último, experimentos realizados sobre el control de malezas en cultivos de algodón y soja en la Universidad Federal de Rondópolis, Brasil, con mecanismos de visión artificial (YOLOv3 tiny y Faster R-CNN), han demostrado controles de 81% en algodón y 78% en soja para Faster R-CNN, y 19% en algodón y 20% en soja para YOLOv3 tiny. El bajo porcentaje de control de este último, según los investigadores, fue consecuencia de la baja sensibilidad, lo cual le

dificultó la correcta identificación de la maleza, al punto de confundir malezas con plantas del cultivo en forma frecuente (Sabóia et al., 2022).

3 MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 LOCALIZACIÓN

El trabajo se llevó a cabo en el potrero 4B de la Estación Experimental Mario Alberto Cassinoni (EEMAC), Facultad de Agronomía, Udelar. La misma se encuentra ubicada en el departamento de Paysandú, Uruguay, en el kilómetro 363 de la ruta nacional No 3.

La aplicación fue realizada en un rastrojo de Soja de la zafra 22/23, se encontraba en barbecho para la siembra de un cultivo de invierno.

La pulverizadora utilizada es propiedad de la empresa “Charles Chalking, S.A”, la cual, en trabajo colaborativo con la Facultad de Agronomía, realizó las aplicaciones, con el objetivo de ampliar la experiencia y agrandar su base de datos y otorgar un mejor servicio.

3.2 ÁREA EXPERIMENTAL Y TRATAMIENTOS

En el experimento se plantearon 4 tratamientos, donde 3 correspondían a diferentes sensibilidades del equipo WeedSeeker para la detección de las malezas. El rango de sensibilidades del equipo va de 0 a 30, donde las cifras más elevadas corresponden a las más bajas sensibilidades y viceversa. La finalidad de seleccionar diferentes sensibilidades, responde a conocer la capacidad de la tecnología, en relación a la detección de las malezas para las condiciones operativas del experimento, que fue la misma velocidad y condiciones de terreno.

Los tratamientos evaluados en el experimento se detallan en la tabla siguiente:

Tabla 1
Descripción de los tratamientos

Tratamiento	Sensibilidad	Velocidad de avance (km/h)
Testigo	0	14
1	4	14
2	8	14
3	16	14

La sensibilidad utilizada en el tratamiento testigo fue la sensibilidad más alta (0), la cual se corresponde con una aplicación convencional, en área total.

El experimento se constituyó de áreas demostrativas donde se realizaron los diferentes tratamientos en parcelas de 20 m de ancho por 60 m de largo.

3.3 METODOLOGÍA DE INSTALACIÓN

La aplicación fue realizada el 30/05/2023, con un equipo autopropulsado CASE IH con un ancho operativo de 18 m, resultado de tener 36 boquillas a una distancia de 0,5 m cada una.

La capacidad del tanque de la pulverizadora era de 200 litros, y se aplicó un volumen a razón de 80 l/ha.

Los herbicidas utilizados y sus respectivas dosis fueron los siguientes:

Glifosato: 1440 g ea /ha.

Saflufenacil (Heat®): 35 g de producto comercial/ha.

A esto se le incluyó el adyuvante Dash, en la dosis de 0,2 l/ha.

A la mezcla del tanque, también se le agregó un trazador, denominado Azul Brillante F&C n° 1, con el objetivo de poder identificar qué plantas fueron pulverizadas, y así poder estimar luego, la deposición de producto en la maleza.

Las boquillas utilizadas fueron Teejet TP 4003 E, que son boquillas de chorro plano uniforme, las cuales son útiles para este tipo de aplicaciones ya que no se superpondrán las aplicaciones de dos boquillas simultáneas.

Previo al comienzo de la aplicación, se procedió a realizar la calibración de los sensores. Para ello, una vez llegado el equipo a la chacra, se posicionó el mismo sobre una superficie en la cual solo había rastrojo, sin nada de malezas ni ningún otro material verde. De esta forma, se calibraron los medidores de NDVI, para que, en todas las zonas donde se encuentren niveles más altos de este índice, se ejecute la aplicación. Esta calibración se hizo utilizando únicamente agua, para no depositar caldo fuera del lugar de interés. Luego de la calibración fue que se realizó la mezcla del caldo en el tanque de la pulverizadora, con las concentraciones previamente mencionadas, además del trazador para poder identificar plantas pulverizadas. La aplicación se comenzó algunos metros antes de la zona marcada en cada

tratamiento, y se culminó algunos metros después, para garantizar una velocidad constante (de 14 km/h) en el área de cada tratamiento.

3.4 DETERMINACIÓN DE DEPOSICIÓN DE HERBICIDA

Para la determinación de la deposición sobre las malezas, se colectaron plantas en cada área experimental, de los tratamientos con diferentes sensibilidades de WeedSeeker, y no de la aplicación convencional, esto se realizó de esta manera ya que el día de la aplicación no se consideró relevante obtener datos de deposición del tratamiento testigo, lo cual quizás hubiesen sido útiles a la hora de realizar el análisis de los datos. Una vez finalizadas las aplicaciones, se recolectaron un total de 20 plantas al azar, por tratamiento. Las mismas fueron colocadas en bolsas de polietileno, previamente identificadas por tratamiento y número de planta. Posteriormente, se las trasladó al laboratorio, donde se le colocó a cada una de las bolsas, 10mL de agua destilada. Luego de agitar las bolsas para desprender el producto del material vegetal, se separaron las plantas y fueron colocadas en bolsas de papel (también identificadas con número de planta y tratamiento).

La solución resultante, fue almacenada e identificada de la misma forma, para determinar la absorbancia. La absorbancia se determinó en un espectrofotómetro marca UNICO, a una longitud de onda de 630 nm (metodología ya utilizada en varios trabajos del grupo de Malerbología).

Se realizó una curva con concentraciones conocidas del trazador Azul Brillante, y a partir de la lectura de absorbancia en el espectrofotómetro, se obtuvieron los datos de la regresión. Usando los parámetros de la regresión y los datos de absorbancia de cada muestra, se estimó la deposición del trazador en cada planta.

Por otro lado, las plantas fueron colocadas en un horno a 60°C para luego pesarlas y medir el peso seco de cada una de ellas para expresar la cantidad de trazador por gramo de materia seca de la maleza.

3.5 DETERMINACIÓN DE CONTROL

Paralelamente a la recolección de plantas, se marcaron 30 plantas al azar en cada tratamiento, con el fin de estimar la evolución del porcentaje de control en los días siguientes a la aplicación. El porcentaje de control fue estimado en forma visual considerando coloración y síntomas de las plantas, además se tomaron fotografías

de cada una de las plantas, de forma de tener el mismo criterio en las lecturas siguientes. La estimación del control se realizó a los 2 días post aplicación (DPA), 4 DPA, 6 DPA, 9 DPA y 13 DPA, hasta que se constató que el control se había detenido o que había alcanzado el 100%.

4 RESULTADOS

4.1 RESULTADOS DE DEPOSICIÓN DE HERBICIDA EN MALEZAS

En el siguiente cuadro se presentan los resultados de deposición de Azul Brillante (ppm/g) sobre las malezas colectadas, promedio para cada tratamiento. Para los cálculos de las estadísticas descriptivas de CV, máximo y mínimo se tomaron todos los datos de cada tratamiento.

Tabla 2

Estadísticas descriptivas de la deposición de herbicida (ppm azul brillante/gramos de materia seca de maleza)

Tratamiento	Media	Desvío	CV	Máximo	Mínimo
1	109,6	242,1	2,2	977,4	0,1
2	27,5	24,5	0,9	100,3	4,5
3	20,3	18,7	0,9	69,9	1,5

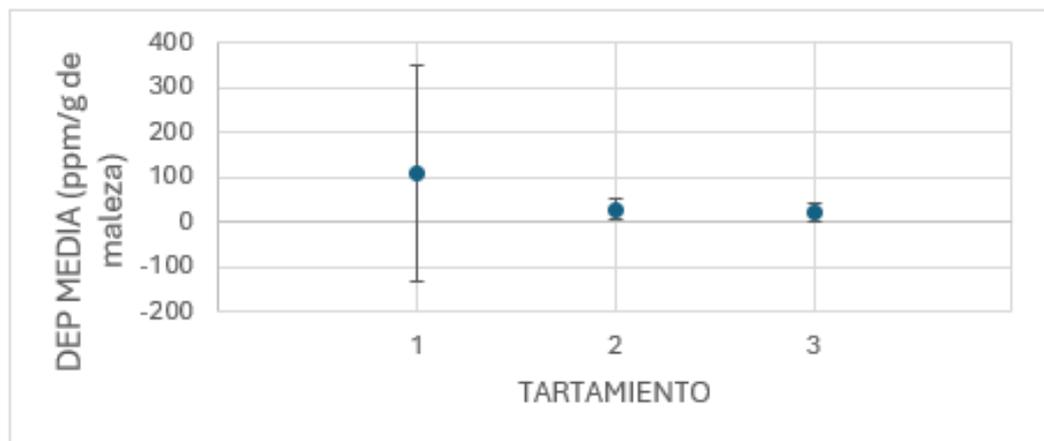
A pesar de no haberse encontrado diferencias significativas entre tratamientos ($p\text{-valor} = 0.1047$), las deposiciones de producto fueron decrecientes con la sensibilidad utilizada en cada tratamiento. Es decir que a medida que redujimos la sensibilidad, decreció la cantidad de producto que se depositó por gramo de planta, en valor absoluto, lo que era esperable.

También se observó en los indicadores de desvío estándar y coeficiente de variación, variaciones importantes dentro de cada tratamiento. Esto, podría ser la explicación por lo que el resultado del análisis de varianza, no permitió identificar diferencias significativas entre tratamientos. Es decir que, la explicación de que el análisis de varianza no haya presentado resultados significativos entre tratamientos, se debe a niveles de variación demasiado elevados. Estas variaciones se aprecian también en los valores de máximos y mínimos de cada tratamiento.

En la siguiente imagen, se puede observar en forma de gráfica los resultados mencionados.

Figura 1

Media y desvío estándar de deposición de herbicida por tratamiento



Tal como se mencionó anteriormente, en la figura 1 se observa cómo los desvíos de cada tratamiento se superponen unos con otros, indicando la inexistencia de diferencias significativas entre tratamientos. A su vez, se puede observar que el tratamiento 1 (mayor sensibilidad), es el que presentó más variación en los datos obtenidos. Esto puede estar explicado, como mencionan Bilbao et al. (2022), por el hecho de que WeedSeeker, no realiza una dosificación variable de acuerdo al grado de desarrollo de la maleza, con lo cual, probablemente exista una deposición mayor a la requerida en las malezas de menor tamaño.

Para el caso de los tratamientos 2 y 3, los desvíos son menores puesto que, al ser de menor sensibilidad, presenta menos capacidad para detectar malezas de menor tamaño y esto acarrea que hay menor apertura de boquillas en determinado tiempo, pudiendo indicar que algunas malezas reciban menos cantidad.

Luego de haber analizado las variaciones dentro de los tratamientos se decidió, agrupar las observaciones dentro de cada tratamiento según el tamaño de las malezas. Fundamentó esta decisión las observaciones realizadas por McCarthy (2016) y Bilbao et al. (2022), quienes observaron problemas de aplicaciones de WeedSeeker en malezas pequeñas. Se armaron 2 grupos, tomando como criterio el peso de las malezas, el primero incluyó malezas menores a 0.4 g, y el segundo, aquellas malezas mayores a este valor.

Los autores previamente mencionados indicaron en sus respectivos trabajos que WeedSeeker no varía la dosis de aplicación de acuerdo al grado de desarrollo de las malezas (Bilbao et al., 2022), y a su vez, que presenta problemas en la

detección de malezas pequeñas (McCarthy, 2016). Esto puede generar tanto, inexistencia de ahorro de producto cuando el enmalezamiento se compone de un alto porcentaje de malezas pequeñas (sobre aplicaciones), como fallas en la detección de las mismas.

A continuación, se presentan, por tanto, los resultados obtenidos de dichos agrupamientos.

Tabla 3

Estadísticas descriptivas de la deposición de herbicida en malezas chicas (ppm azul brillante/gramos de materia seca de malezas).

Tratamiento	Media	Desvio	CV	Máximo	Mínimo
1	151,2	281,9	1,9	977,4	16,1
2	36,5	26,0	0,7	100,3	9,8
3	36,9	23,8	0,6	69,9	15,1

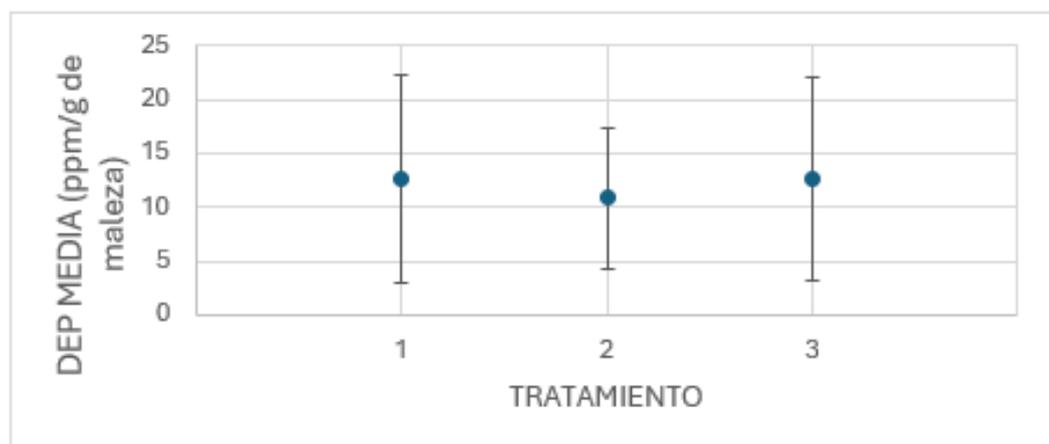
Al igual que en el análisis general, para las malezas chicas, se observó una variación mucho mayor en el tratamiento de alta sensibilidad con respecto a los tratamientos de menor sensibilidad. La diferencia en la deposición de herbicidas entre plantas de diferentes tamaños, tal como fue mencionado por Bilbao et al. (2022), se debe a la falta de control sobre la dosis de pulverizado. Esto conlleva a una mayor variabilidad en la deposición de plantas más pequeñas en comparación con las más grandes. El menor tamaño de las malezas genera una baja precisión en el pulverizado, lo que aumenta la variación de la deposición. En la misma línea, McCarthy (2016) observó que la detección de malezas pequeñas de WeedSeeker, es mucho menos consistente comparado con la de Weed-it.

Con respecto a las malezas de mayor tamaño (mayores a 0.4 g), lo que sucede es algo diferente. Aquí se observaron valores de medias más de 10 veces inferiores para el tratamiento 1, y más de 3 veces inferiores para los tratamientos 2 y 3 (con respecto a las plantas chicas), siendo las variaciones muy inferiores en este caso. Esto se debe, tal como fue mencionado anteriormente, al hecho de que las plantas grandes proporcionan una superficie más uniforme para la intercepción del herbicida, reduciendo la variabilidad en la deposición.

Gráficamente, esto puede ser observado en la figura 2, donde se aprecian medias y desvíos muy similares entre tratamientos.

Figura 2

Media y desvío de deposición de herbicidas en malezas grandes



En conjunto, los análisis de malezas chicas y grandes suponen detecciones de malezas pequeñas más consistentes en el tratamiento de mayor sensibilidad, pero con deposiciones de producto muy elevadas. Esto trae aparejado, niveles de herbicida por encima de los necesarios para un correcto control, y por tanto menores niveles de ahorro de producto. Esta afirmación fue respaldada con buenos controles en todos los tratamientos, lo que indica que más allá de la deposición de producto en cada uno de los tratamientos, los controles fueron buenos.

4.2 RESULTADOS EN EL CONTROL DE MALEZAS

En cuanto a los resultados observados en el control de malezas, se comenzó realizando un análisis general de las distintas fechas comparando los distintos tratamientos.

Luego de haber analizado los datos recabados a campo, en cuanto al control de las malezas, y haberlos procesado mediante un análisis de varianza, se observó que las diferencias entre tratamientos se lograron apreciar recién a los 9 días después de aplicado, con un P-valor de 0.0018. En las recorridas previas (2, 3 y 6 días post-aplicación), más allá de no haberse detectado diferencias significativas en el análisis de varianza, se pudo observar menores valores de control en los tratamientos de menores sensibilidades exceptuando el tratamiento testigo, lo que se observa en la tabla 4.

Tabla 4
Porcentaje de control según fecha y tratamiento (%)

TARATAMIENTO/FECHA	2 DPA	4 DPA	6 DPA
1	1,0 A	29,4 A	53,9 A
2	2,2 A	27,0 A	51,3 A
3	2,6 A	24,0 A	45,0 A
TESTIGO	2,5 A	18,4 A	47,6 A

Letras iguales corresponden a que no hay diferencias significativas entre tratamientos.

Tal como se mencionó anteriormente, en la tabla 4 se observa cómo, a pesar de no observarse diferencias significativas, el control de cada tratamiento acompaña el grado de sensibilidad con que se realizó la aplicación en cada uno de los tratamientos, exceptuando a los 2 DPA. Este último hecho, puede estar asociado, a la dificultad que presenta observar los niveles de control en fechas tan cercanas a la aplicación.

El tratamiento testigo por su parte, tampoco refleja el control esperado para dicho tratamiento (hasta los 6 DPA) siendo este el de mayor sensibilidad de detección.

El hecho de no presentarse diferencias significativas entre tratamientos se debe al grado de variación existente dentro de cada tratamiento.

Por su parte, los controles a los 9 y 13 DPA (Tabla 5), sí presentaron diferencias significativas entre tratamientos.

Tabla 5
Media de control (%) a los 9 DPA y 13 DPA

TRATAMIENTO	9 DPA		13 DPA	
	Media	Error estándar	Media	Error estándar
TESTIGO	83,0 A	5,2385	89,0 A	4,8022
1	86,5 A	4,6429	88,2 A	5,2857
2	72,4AB	4,8719	78,4AB	5,4189
3	60,9 B	4,8594	68,3 B	5,0263

En las mismas, se observó diferencias significativas entre los tratamientos testigos y tratamiento 1 con respecto al tratamiento 3, siendo el p-valor de 0,0018 y 0,0141, a los 9 y 13 DPA. Por su parte, el tratamiento 2 presentó un control intermedio y no presentó diferencias significativas con ningún tratamiento.

A su vez, los resultados acompañan los grados de sensibilidad de cada uno de los tratamientos, viéndose reducidos los niveles de control en la medida que disminuyó la sensibilidad de detección.

Luego de haber analizado los resultados de control a nivel general, se decidió realizar un análisis estadístico de control, separando malezas gramíneas de hoja ancha, con el objetivo de poder identificar causas de las diferencias entre tratamientos.

En este caso, se observó que, en la mayoría de las fechas y tratamientos, no se encontraron diferencias significativas en el control, ni en malezas gramíneas, ni en malezas de hoja ancha. El único caso que presentó diferencias entre tratamientos fue en el análisis a los 9 DPA, para el caso de malezas de hoja ancha (p -valor= 0.0178). En este caso, al igual que lo observado en el análisis general de control, se observó que las diferencias de control entre tratamientos acompañan la reducción en la sensibilidad con que se aplicó en cada uno de ellos. Es decir que el control se vio reducido con los tratamientos de menores sensibilidades de detección.

A continuación, se presenta la tabla de resultados obtenida a partir del análisis de varianza realizado a los 9 DPA en malezas de hoja ancha.

Tabla 6

Control (%) en malezas de hoja ancha para cada tratamiento a los 9 DPA (Tukey 0.05)

TRATAMIENTO	MEDIA	ERROR ESTÁNDAR
1	83,3 A	7,4
TESTIGO	80,7 A	7,1
2	74,2 AB	6,7
3	55,7 B	5,8

En cuanto al análisis realizado para las malezas de hoja ancha a los 13 DPA, más allá de que no se observaron diferencias significativas, se observa una diferencia importante entre la media del tratamiento 1 y la del 3, siendo la del primero, de 85%, mientras que la del segundo fue de 63%.

En cuanto a las malezas gramíneas, no se observaron diferencias significativas entre tratamientos para ninguna de las fechas. A su vez, cabe destacar, que las medias de control de las gramíneas fueron superiores a las de hoja ancha

tanto a los 6 DPA como a los 9 DPA, en todos los tratamientos. Estos valores, son siempre cercanos a 100% de control, significándose un buen control sobre este tipo de malezas. De todas formas, los controles sobre hoja ancha, exceptuando el caso del tratamiento 3, los valores se encontraron alrededor del 85% de control, lo cual refleja altos niveles de control también en este caso.

Con el objetivo de mostrar los resultados finales de control, diferenciados en malezas gramíneas y de hoja ancha, se presentan dichos valores a los 9 DPA y 13 DPA.

Tabla 7

Control (%) para cada tratamiento a los 9 DPA y 13 DPA

TRATAMIENTO/FECHA	GRAMÍNEA		HOJA ANCHA	
	9 DPA	13 DPA	9 DPA	13 DPA
TESTIGO	92,7 A	99,1 A	80,7 A	85,0 A
1	100,0 A	100,0 A	83,3 A	85,8 A
2	79,4 A	85,2 A	74,2 AB	78,5 A
3	99,2 A	100,0 A	55,7 B	62,9 A

Resumiendo lo observado a nivel general, en cuanto a control y deposición, se observa una coherencia en los resultados de ambos análisis, siendo que, así como se reducen los niveles de deposición en los tratamientos de menor sensibilidad (a pesar de no detectarse diferencias significativas), también se reducen levemente los niveles de control. A su vez, acompañan este hecho, los niveles de ahorro de producto de cada uno de los tratamientos, habiéndose detectado ahorros de 60%, 70% y 75%, en los tratamientos 1, 2 y 3, respectivamente.

5 CONCLUSIONES

No se observaron diferencias significativas en la deposición de Azul Brillante en los diferentes niveles de sensibilidad de detección de malezas del equipo WeedSeeker.

Las variaciones en la deposición de cada tratamiento fueron elevadas, acentuándose en los tratamientos de mayor sensibilidad en la detección. A pesar de no haberse encontrado diferencias significativas, las deposiciones de producto presentaron una relación directa con la sensibilidad en la detección del equipo.

Por otra parte, se corroboraron mayores niveles de deposición en plantas chicas comparadas a las plantas grandes, y con mayor variabilidad.

La menor deposición en tratamientos de menor sensibilidad de detección de malezas, se correspondió a menores controles en alguna de las evaluaciones de control.

6 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 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>
- Bertone, D. (2022). *Incorporación de aplicación de dosis variable de agroquímicos en empresa agrícola del Departamento Tercero Arriba, para aumentar la eficiencia en el uso de insumos y mitigar su impacto ambiental y económico* [Trabajo final de grado, Universidad Empresarial Siglo 21]. Universidad Siglo 21. <https://repositorio.21.edu.ar/handle/ues21/27715>
- Bilbao, A., Bilbao, E., Ciancio, N., Giménez, V., Mugerza, 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/000/002/000002972.pdf>
- Ernst, O., & Siri-Prieto, G. (2011). La agricultura en Uruguay: Su trayectoria y consecuencias. En Estación Experimental Mario Antonio Cassinoni (Ed.), *Proceedings of the II Simposio Nacional de Agricultura* (pp. 29-30).
- Fernández, O. (1982). Manejo integrado de malezas. *Planta Danihna*, 5(2), 69-79. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-83581982000200010>
- Genna, N., Gourlie, J., & Barroso, J. (2021). Herbicide efficacy of spot spraying systems in fallow and postharvest in the Pacific Northwest dryland wheat production region. *Plants*, 10(12), Artículo e2725. <http://doi.org/10.3390/plants10122725>

- Gutiérrez, F., & Arregui, C. (2000). Comportamiento de herbicidas en suelos, agua y plantas. *FAVE*, 14(1), 73-89.
<https://www.slideshare.net/c24toledo/comportamiento-de-herbicidas-en-suelos-agua-y-plantas>
- Kogan Alterman, M., & Pérez Jones, A. (2003). *Herbicidas: Fundamentos fisiológicos y bioquímicos del modo de acción*. Universidad Católica de Chile.
- McCarthy, W. (2016). *Validation of commercial precision spraying technology* [Trabajo final de grado]. University of Southern Queensland.
- Oficina de Estadísticas Agropecuarias. (2022). *Anuario estadístico agropecuario 2022*. MGAP. <https://www.gub.uy/ministerio-ganaderia-agricultura-pesca/comunicacion/publicaciones/anuario-estadistico-agropecuario-2022>
- Redolfi, A., Felissia, S., Bernardi, E., Araguás, G., & Flesia, A. (2020). Learning to detect vegetation using computer vision and low-cost cameras. En Institute of Electrical and Electronics Engineers (Ed.), *2020 IEEE International Conference on Industrial Technology* (pp. 791-796). ITBA.
<https://doi.org/10.1109/ICIT45562.2020.9067316>
- Reiser, D., López, J., Memic, E., Vázquez, M., Brandner, S., & Griepentrog, H. (2017). 3D imaging with a sonar sensor and an automated 3-axes frame for selective spraying in controlled conditions. *Journal of Imaging*, 3(1), Artículo e9. <https://doi.org/10.3390/jimaging3010009>
- Sabóia, H., Mion, R., Silveira, A., & Mamiya, A. (2022). Real time selective spraying for viola rope control in soybean and cotton crops using deep learning. *Engenharia Agrícola*, 42(1), Artículo e20210163.
<https://doi.org/10.1590/1809-4430-Eng.Agric.v42nepe20210163/2022>
- Young, F., Yenish, J., Launchbaugh, G., McGrew, L., & Alldredge, J. (2008). Postharvest control of russian thistle (*Salsola tragus*) with a reduced herbicide applicator in the Pacific Northwest. *Weed Technology*, 22(1), 156-159. <https://doi.org/10.1614/WT-07-096.1>