

UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA

FACULTAD DE AGRONOMÍA

**EVALUACIÓN DEL DRON COMO TECNOLOGÍA DE APLICACIÓN DE
HERBICIDAS PARA CONTROL DE MALEZAS EN IMPLANTACIÓN DE
PASTURAS MEZCLA**

por

**Felipe BONINO FERNÁNDEZ
Agustín TRUJILLO FOURCADE**

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

**PAYSANDÚ
URUGUAY
2026**

Este Trabajo Final de Grado se distribuye bajo licencia
"Creative Commons **Reconocimiento – No Comercial – Sin Obra Derivada**".



PÁGINA DE APROBACIÓN

Trabajo final de grado aprobado por:

Director/a:

Ing. Agr. (Dra.) Juana Villalba

Tribunal:

Ing. Agr. (Dra.) Juana Villalba

Ing. Agr. (Mag.) Winnona Saracho

Ing. Agr. (Mag.) Jorge Volpi

Fecha:

6 de abril de 2026

Estudiante:

Felipe Bonino Fernández

Agustín Trujillo Fourcade

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, a nuestras familias y amigos por el apoyo durante todo este proceso.

A nuestra tutora, Ing. Agr. Dra. Juana Villalba, por su compromiso, liderazgo y orientación para el desarrollo del trabajo.

A la Ing. Agr. Agustina Azcoitia y a la Tec. Agr. Melanie Silva por su colaboración durante todo el proyecto.

A la empresa “Drones Orientales” por permitir el uso de su tecnología para llevar adelante las aplicaciones y mediciones.

Por último, a la Estación Experimental Dr. Mario A. Cassinoni (EEMAC) y la Facultad de Agronomía por darnos el espacio y las herramientas para llevar a cabo el trabajo.

TABLA DE CONTENIDO

PÁGINA DE APROBACIÓN	3
AGRADECIMIENTOS	3
LISTA DE TABLAS Y FIGURAS	6
RESUMEN	7
ABSTRACT	8
1 INTRODUCCIÓN	9
2 REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	11
2.1 EL DRON COMO HERRAMIENTA TECNOLÓGICA EN EL SECTOR A AGROPECUARIO	11
2.2 DRONES DE APLICACIÓN	11
2.3 TECNOLOGÍA DE APLICACIÓN.....	13
2.3.1 Tamaño de gota	13
2.3.2 Volumen de aplicación.....	15
2.3.3 Velocidad de avance	17
2.4 EFICIENCIA EN EL CONTROL Y SU RELACIÓN CON LA DERIVA ...	18
3 MATERIALES Y MÉTODOS	19
3.1 LOCALIZACIÓN	19
3.2 ÁREA EXPERIMENTAL Y TRATAMIENTOS	19
3.3 METODOLOGÍA DE INSTALACIÓN Y REALIZACIÓN	20
3.4 PREPARACIÓN DEL CALDO DE APLICACIÓN	22
3.5 DETERMINACIÓN DE IMPACTOS	23
3.6 DETERMINACIÓN DE LA TASA DE RECUPERACIÓN	23
3.7 DETERMINACIÓN DE LA EFICIENCIA DE CONTROL	24
3.8 ANÁLISIS ESTADÍSTICO.....	24
3.9 CONDICIONES METEOROLÓGICAS DURANTE LA APLICACIÓN....	25
4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN	29
4.1 EXPERIMENTO 1.....	29
4.1.1 Densidad de gotas en tarjetas hidro sensibles y tasa de recuperación	29
4.1.2 Eficiencia de control	30
4.2 EXPERIMENTO 2.....	35
4.2.1 Densidad de gotas en tarjetas hidro sensibles	35
4.2.2 Eficiencia de control	37
5 CONCLUSIONES	49
6 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	50

LISTA DE TABLAS Y FIGURAS

Tabla 1 Experimento 1 (potrero 24).....	19
Tabla 2 Experimento 2 (potrero 22).....	19
Tabla 3 Parámetros de aplicación del dron.....	20
Tabla 4 Condiciones meteorológicas promedio durante el experimento 1	26
Tabla 5 Condiciones meteorológicas promedio durante el experimento 2	27
Tabla 6 Parámetros estadísticos de impactos por cm ² para cada tratamiento	29
Tabla 7 Parámetros estadísticos de impactos por cm ² para cada tratamiento	30
Tabla 8 P-valor para las variables evaluadas en cada fecha de evaluación.....	31
Tabla 9 Promedio de densidad de gotas por tratamiento estimados mediante conteo visual	36
Tabla 10 Promedio de densidad de gotas por tratamiento medidos por Cuthill Hydroreader.....	36
Tabla 11 P-valor para el porcentaje de control según el parámetro y la maleza, 7 días post-aplicación.....	38
Tabla 12 P-valor para el porcentaje de control según el parámetro y la maleza, 18 días post-aplicación.....	38
Tabla 13 P-valor para el porcentaje de control según el parámetro y la maleza, 31 días post-aplicación.....	39
Tabla 14 P-valor para el porcentaje de control según el parámetro y la maleza, 38 días post-aplicación.....	39
Tabla 15 Eficiencia de control en <i>Bowlesia incana</i> chica para todas las fechas de evaluación.....	42
Figura 1 Área de aplicación y estudio de “Experimento 1”	21
Figura 2 Croquis del “experimento 2”	22
Figura 3 Utilización de linterna UV para la observación de la deposición de las gotas	23
Figura 4 Evolución de la velocidad del viento durante la realización del experimento 1 ..	27
Figura 5 Evolución de la velocidad del viento durante la realización del experimento 2 ..	28
Figura 6 Evolución del control en <i>Acicarpa tribuloides</i> (tamaño grande)	32
Figura 7 Evolución del control en <i>Acicarpa tribuloides</i> (tamaño mediana)	32
Figura 8 Evolución del control en <i>Bowlesia incana</i> (tamaño grande)	33
Figura 9 Evolución del control en <i>Bowlesia incana</i> (tamaño mediana)	33
Figura 10 Eficiencia de control en <i>Bowlesia incana</i> grande 7 días post-aplicación.....	40
Figura 11 Eficiencia de control en <i>Bowlesia incana</i> grande 18 días post-aplicación....	41
Figura 12 Eficiencia de control en <i>Bowlesia incana</i> grande 31 días post-aplicación....	41
Figura 13 Eficiencia de control en <i>Bowlesia incana</i> grande 38 días post-aplicación....	42
Figura 14 Eficiencia de control en <i>Bowlesia incana</i> mediana días 7 post-aplicación ...	43
Figura 15 Eficiencia de control en <i>Bowlesia incana</i> mediana días 18 post-aplicación .	43
Figura 16 Eficiencia de control en <i>Bowlesia incana</i> mediana días 31 post-aplicación .	44
Figura 17 Eficiencia de control en <i>Bowlesia incana</i> mediana días 38 post-aplicación .	44
Figura 18 Eficiencia de control en <i>Coronopus didymus</i> chica 7 días post-aplicación ..	45
Figura 19 Eficiencia de control en <i>Coronopus didymus</i> chica 18 días post-aplicación	45
Figura 20 Eficiencia de control en <i>Coronopus didymus</i> chica 31 días post-aplicación	46
Figura 21 Eficiencia de control en <i>Coronopus didymus</i> chica 38 días post-aplicación	46

RESUMEN

El control de malezas constituye uno de los principales desafíos en los sistemas agrícolas de la actualidad debido a su influencia en el rendimiento y la eficiencia productiva. Por esta razón, es de vital importancia realizar un manejo adecuado del enmalezamiento de los sistemas, utilizando distintos métodos y vías de control con el fin de preservar la productividad a corto y largo plazo. En ese sentido, la incorporación de herramientas tecnológicas de precisión, como el uso de drones para la aplicación de herbicidas, surge como una alternativa viable e innovadora para optimizar recursos, aplicar en ciertas condiciones desfavorables y reducir el impacto ambiental. El objetivo de este trabajo fue evaluar distintas configuraciones de aplicación del dron para el control de malezas en praderas en implantación. Para esto se llevaron adelante dos experimentos, evaluando el nivel de control, la densidad de impactos logrados en la superficie objetivo y la tasa de recuperación. Los ensayos fueron realizados en la Estación Experimental Mario A. Cassinoni (EEMAC) de la Facultad de Agronomía durante los meses de Junio a Setiembre de 2025 con un dron DJI Agras T40. Para el primero se llevaron a cabo 2 tratamientos, que fueron los volúmenes de aplicación, 10 L/ha y 20 L/ha, donde se evaluó la tasa de recuperación, parámetros de la población de gota y la eficiencia de control. El segundo experimento consistió en 4 tratamientos a partir de la combinación de los mismos volúmenes de aplicación con los tamaños de gota de 350 μ m y 500 μ m, determinando parámetros de población de gota y el porcentaje de control. Los resultados mostraron, que a nivel general, tanto el volumen de aplicación como el tamaño de gota no tuvieron un impacto significativo directo sobre la eficiencia de control de las malezas presentes. Sin embargo, al modificar las configuraciones de estos parámetros se pudieron observar tendencias a mayores niveles de control dependiendo la especie de maleza, el porte de la misma y las condiciones ambientales durante y post-aplicación. La densidad de impactos, por su parte, no mostró diferencias significativas entre tratamientos dentro del experimento 1, mientras que en el segundo ensayo se constató la interacción entre los parámetros estudiados. Se observó que la mayor cantidad de gotas por unidad de superficie se logró con la combinación de 20 L/ha y gota media (350 μ m). En relación a la tasa de recuperación evaluada en el experimento 1, se observó una mayor cantidad de producto recuperado en el tratamiento de 10 L/ha, asociado al factor viento principalmente. La tecnología del dron constituye una forma innovadora de aplicaciones de fitosanitarios, deben continuar los estudios de los parámetros de configuración para realizar un uso responsable y efectivo de esta tecnología.

Palabras Clave: dron, eficiencia, control, tecnología, alternativa

ABSTRACT

Weed control represents one of the main challenges in modern agricultural systems due to its influence on crop yield and production efficiency. For this reason, proper weed management within production systems is essential, employing different control methods and approaches in order to preserve productivity in both the short and long term. In this context, the incorporation of precision technological tools, such as the use of drones for herbicide application, emerges as a viable and innovative alternative to optimize resources, enable applications under certain unfavorable conditions, and reduce environmental impact. The objective of this study was to evaluate different drone application configurations for weed control in establishing pastures. To achieve this, two experiments were conducted, assessing the level of weed control, droplet impact density on the target surface, and recovery rate. The trials were carried out at the Estación Experimental Mario A. Cassinoni (EEMAC) of the Facultad de Agronomía between June and September 2025 using a DJI Agras T40 drone. In the first experiment, two treatments were evaluated corresponding to the application volumes of 10 L/ha and 20 L/ha, where recovery rate, droplet population parameters, and control efficiency were assessed. The second experiment consisted of four treatments resulting from the combination of the same application volumes with droplet sizes of 350 μm and 500 μm , determining droplet population parameters and the percentage of weed control. Overall, the results showed that neither application volume nor droplet size had a direct significant impact on the control efficiency of the weeds present. However, when modifying the configuration of these parameters, trends toward higher levels of control were observed depending on the weed species, plant size, and the environmental conditions during and after application. Droplet impact density did not show significant differences between treatments in Experiment 1, whereas in the second experiment an interaction between the evaluated parameters was detected. The highest number of droplets per unit area was achieved with the combination of 20 L/ha and medium droplet size (350 μm). Regarding the recovery rate evaluated in Experiment 1, a greater amount of recovered product was observed in the 10 L/ha treatment, mainly associated with the wind factor. Drone technology represents an innovative approach for pesticide applications; however, further studies on configuration parameters are required to ensure the responsible and effective use of this technology.

Keywords: drone, efficiency, control, technology, alternative

1 INTRODUCCIÓN

El incremento significativo de la superficie destinada al sector agrícola en los últimos años, junto con la necesidad constante de aumentar la productividad en los sistemas, ha favorecido la adopción de nuevas tecnologías en las distintas etapas del proceso productivo, como la inclusión de maquinaria moderna, insumos más eficientes y sistemas de manejo agronómico avanzados e integrales (Bongiovanni et al., 2006). A raíz de esto, surge la agricultura de precisión como un método de producción que utiliza herramientas tecnológicas que evidencian sus resultados en el incremento del rendimiento, el aumento en la eficiencia de la utilización de insumos, una disminución en el costo de las operaciones y una eventual reducción en el impacto ambiental dentro de cada explotación agrícola (Planas de Martí, 2019).

En dicho contexto, han aparecido los drones como una tecnología de gran utilidad en todo el sector agropecuario. Existen UAV (vehículo aéreo no tripulado por su sigla en inglés) capaces de generar imágenes de alta resolución para diversos análisis a nivel de cultivos y pasturas. Por otro lado, están aquellos de mayor tamaño que al poseer un tanque pueden cumplir distintas funciones como pulverizaciones de fitosanitarios, fertilizantes e incluso tienen la capacidad de realizar siembras en cobertura (Guebsi, 2024)

Al igual que muchas otras herramientas tecnológicas nuevas, en el último tiempo se ha cuestionado y evaluado la eficiencia de los drones en la práctica. Algunos investigadores, como el caso de García-Munguía et al. (2024), han estudiado si estos dispositivos brindan una ventaja real en comparación a los métodos ya existentes, y en consecuencia de ello, la tecnología y configuración de los drones se ha encontrado en constante evolución con el fin de mejorar los resultados logrados hasta el momento en todos los ámbitos productivos donde se utiliza este recurso.

Una de las labores productivas donde la utilización de drones tiene mayor protagonismo en Uruguay es en la aplicación de fitosanitarios, principalmente para el control de malezas. El uso de drones en estos casos puede ser una alternativa efectiva en situaciones donde las aplicaciones convencionales pueden presentar ciertas dificultades de diversos orígenes. Según Carneiro (2024) esto es debido a las ventajas que ofrece, como la posibilidad de ingresar al cultivo cuando las condiciones del suelo no son recomendables, y también evitar el aplastamiento del cultivo, ya que puede ser utilizado

en diferentes etapas fenológicas del mismo.

En base al escenario descrito, el objetivo general de este trabajo fue evaluar diferentes configuraciones del dron en la aplicación de herbicidas, a través de la medición de sus respectivas tasas de recuperación, impactos por unidad de superficie y control de malezas en pasturas en implantación específicamente.

2 REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1 EL DRON COMO HERRAMIENTA TECNOLÓGICA EN EL SECTOR A AGROPECUARIO

En los últimos años, los drones en el sector agrícola han llegado con fuerza al mercado; esto con el objetivo de agregar soluciones a los productores a la hora de realizar tareas con mayor enfoque ambiental y además más eficientemente, lo que luego mejora la rentabilidad y el manejo responsable de los distintos recursos (Zorrilla, 2025).

Los drones son utilizados en explotaciones tanto intensivas como extensivas. La supervisión aérea en tiempo real de los cultivos se ha insertado fuertemente dentro del rubro ya que estos dispositivos tienen la capacidad de generar imágenes y mapas de un área sembrada con gran precisión, tomando en cuenta las grandes variaciones de un lote. Esto permite decidir sobre posibles aplicaciones, ya sea de fitosanitarios como de fertilizantes. En este contexto es que surge el paquete tecnológico de los drones aplicadores. Estos tienen la capacidad de pulverizar, fertilizar e incluso sembrar en cobertura.

2.2 DRONES DE APLICACIÓN

El mercado de drones con fines de pulverización ha tenido un gran crecimiento a nivel mundial. Este desarrollo está siendo promovido por el avance reciente en los procesos regulatorios en relación a la actividad en diferentes países y regiones del planeta (Carvalho et al., 2021).

En relación a las ventajas que presentan los drones de aplicación, Wang et al. (2020) mencionan que los vehículos aéreos no tripulados mejoran la seguridad del aplicador y pueden llegar a reducir el riesgo de deriva. Esto se debe principalmente a su alta maniobrabilidad (sin necesidad de la cercanía física del operador), bajo peso y bajo costo sobre todo en explotaciones de pequeña escala y en terrenos donde la entrada de vehículos terrestres se complejiza.

Según Planas de Martí (2019) la introducción del dron para aplicaciones se ha dado desde sus inicios en el cultivo de arroz donde el acceso y/o circulación muchas veces son limitantes para la maquinaria agrícola convencional.

En el trabajo de Vera y Zambrano (2025), donde se citan diversos estudios previos como el de Guan et al. (2019) y Kalischuk et al. (2019), se sostiene que el uso de drones permite llevar a cabo aplicaciones con una mayor precisión, lo que permite evitar la sobreaplicación y, al mismo tiempo, reducir el impacto ambiental de manera significativa. Esta idea se complementa con la mejora en la implementación del riego y un avance positivo en la eficiencia en el control de plagas. En esta investigación también se cita a los autores Reyes (2023) y Zhang et al. (2019), los cuales destacan el rol de los drones en la mejoría de la gestión eficiente del agua y de otros agroinsumos dentro de las aplicaciones.

En respaldo de lo anterior comentado, Meng et al. (2020) explican que a niveles prediales de pequeña escala, los drones han descubierto una gama extensa de aplicaciones en la agricultura actual donde es clara la inclusión de las pulverizaciones aéreas. Esto se lo adjudican a su alta eficiencia y flexibilidad sumado a un requerimiento de mano de obra y agua menor y aislados daños a cultivos y suelo, aumentando sensiblemente la productividad del sector y mejorando la sostenibilidad del sistema. Sin embargo, consideran que hay efectos sustanciales en la distribución de las gotas en las aplicaciones a causa del ajuste de los parámetros operativos de los UAV, afectando así la tasa de utilización y por lo tanto la efectividad del tratamiento.

Sumado a esto, está el concepto de eficacia en las aplicaciones aéreas. Como describe Minta Reino (2022) existe una virtud en el funcionamiento del dron como aplicador y es que al tener el sistema de aplicación por debajo de las hélices es capaz de pulverizar el fitosanitario en todo el perfil del cultivo directamente. Esto es a raíz del potente flujo de aire descendente que se produce en las hélices.

Los resultados de Zhiminaicela-Cabrera et al. (2024) desprenden la conclusión que la aplicación de insecticida mediante el uso de drones mostró una mejora significativa en cuanto a la uniformidad en la dispersión del producto y la cobertura del área tratada. Esto fue evidenciado en sus resultados, donde la aplicación realizada con dron sumada a la utilización de un coadyuvante mostró una mayor cantidad de gotas por centímetro cuadrado que el método convencional (102 gotas/cm² y 52 gotas/cm² respectivamente), alcanzando ambos un área de cobertura similar (350 m² y 362 m² respectivamente).

2.3 TECNOLOGÍA DE APLICACIÓN

El procedimiento de pulverización presenta algunas complejidades, en este proceso influyen varios factores como el mecanismo utilizado para la generación de gotas, la eventual inclusión de adyuvantes en la solución, la etapa fisiológica en la que se encuentra la maleza o la especie vegetal determinada como objetivo, las condiciones meteorológicas y la configuración del dron (Palacios-Zuñiga et al., 2024).

Se comprende que si bien las variables meteorológicas no son controlables a la hora de realizar una aplicación (de igual modo, siempre se puede tomar la decisión de cuándo aplicar), la tecnología, entendida como el manejo de los factores que se pueden modificar previo a una aplicación, sí se puede manipular, permitiendo así resultados positivos (con menor probabilidad de deriva y asegurando una mayor eficacia en el control químico). En concordancia con lo anteriormente mencionado, Ahmad et al. (2020) afirman que a pesar de que las condiciones meteorológicas afectan la calidad de aplicación, los parámetros operativos de los dispositivos pulverizadores también lo hacen. Dicha calidad medida como la cobertura de la aplicación y la absorción al objetivo.

Por otro lado, Chen et al. (2019) sugieren que, si bien las aplicaciones mediante UAV tienen mayor eficiencia que otras, el manejo de las malezas sigue siendo un gran desafío para la agricultura. En relación a esto, afirman que la utilización de bajos volúmenes de aplicación en conjunto con densidades de gotas con menor penetración pueden afectar la eficacia buscada en el control de las plantas objetivo en aplicaciones aéreas.

2.3.1 Tamaño de gota

De acuerdo a Merani et al. (2021) el estudio de los atributos de la población de gotas que alcanzan el objetivo es fundamental para determinar la calidad y eficiencia de una aplicación. El análisis de este componente puede resultar dificultoso debido a la diversidad en su tamaño y composición, además de la gran cantidad de factores ambientales que afectan a las gotas. El autor indica que es de suma importancia asegurarse la uniformidad en la distribución de las mismas y la cobertura del objetivo para lograr la máxima eficiencia biológica del tratamiento. En este mismo sentido, Gibbs et al. (2023) resalta en sus resultados que el coeficiente de variación en el tamaño de gotas fue significativamente mayor en aplicaciones realizadas por drones en comparación con

implementos convencionales, lo que resulta en una menor uniformidad lograda por parte de los UAV.

En relación al tamaño de gota Chen et al. (2020) aseguran que dicho parámetro que hace a la calidad de aplicación, es uno de los factores más determinantes en cuanto a la generación de deriva y deposición del producto aplicado. Además, agregan que una mayor penetración en el dosel vegetal se logra con el aumento del tamaño de gota. Los resultados arrojados por el experimento realizado por estos investigadores, donde se utilizó un dron de tipo hidráulico (modelo MG-1S), son contundentes en cuanto al efecto del tamaño de gota sobre la deposición en el dosel de un cultivo de arroz. Para los cuatro tamaños de gota utilizados (generados a partir de boquillas TEEJET); 95,21, 121,43, 147,28 y 185,09 μm , la deposición en la parte superior e inferior del estrato del cultivo fue 5,19 %, 8,89 %, 13,48 % y 17,81 %, y de 2,48 %, 4,43 %, 8,09 % y 10,89 %, respectivamente. Los resultados fueron significativamente diferentes entre sí, donde la conclusión emergente fue que, a mayor tamaño de gota utilizado, mayor es la tasa de deposición. Además, los autores estudiaron la penetración, donde el resultado fue que los 2 tratamientos con mayores tamaños de gota tuvieron una penetración significativamente superior a los otros dos.

Continuando con esta lógica, en cuanto al grado de deposición del producto aplicado, Olivet et al. (2013) sostienen que existe una tendencia hacia un mayor valor del mismo a medida que aumenta el tamaño de gota utilizado en aplicaciones terrestres. En esta investigación se señala que la utilización de gotas finas no da como resultado el mejor control en enfermedades, especialmente si se efectúa con tasas de aplicación bajas.

Contrariamente, en un experimento realizado por Shan et al. (2021) donde se utilizó un dron del tipo P30 de la empresa XAG, se analizó el efecto del tamaño de gota (150, 200 y 300 micras) y volumen de aplicación (7,5 L/ha, 15 L/ha, 22,5 L/ha y 30 L/ha) sobre la cobertura, la cantidad de impactos y la distribución de los mismos. Los resultados mostraron que sobre un cultivo de trigo de 7 centímetros de altura para un mismo volumen (a excepción de 7,5 L/ha donde no hubo diferencias significativas), la cobertura fue estadísticamente mayor a medida que decrece el tamaño de gota. En cuanto al número de impactos, para cualquier volumen de aplicación utilizado, este fue inversamente proporcional al tamaño de gota significativamente. Por último, en cuanto a la distribución, el estudio demostró que no hubo diferencias significativas en función del tamaño de gota

ni del volumen de aplicación. Los autores afirman que este parámetro, que hace a la uniformidad de la aplicación, tuvo mayor influencia de factores como el sistema de pulverización, ajustes del vuelo y del equipo y condiciones meteorológicas.

Sin embargo, Gibbs et al. (2023) afirman que un mayor tamaño de gota no se encuentra directamente asociado con un mayor control ya que el uso más adecuado depende principalmente del producto químico utilizado, la plaga o maleza que se esté controlando y el rango de tamaños de gota que pueda ser necesario para una aplicación específica.

2.3.2 Volumen de aplicación

En relación al parámetro de volumen de aplicación y cómo este afecta a una mayor deposición de un agroquímico sobre una planta, Derksen y Sanderson (1996) destacan que la mayor deposición resultante de volúmenes de aplicación más altos se da a partir de la redistribución resultante de la escorrentía y el contacto entre superficies foliares.

Conforme al trabajo de Stoletniy et al. (2014), un método para lograr reducir el volumen de aplicación manteniendo la densidad de impactos puede ser la disminución en el tamaño de gota. Esto da como resultado una igual o mayor cantidad de superficie cubierta, con menor cantidad de producto líquido aplicado, mayor adherencia a la planta objetivo y menores pérdidas por escurrimiento que con gotas de mayor tamaño. De todas formas, estos autores realizaron un experimento en el que no se logró evidenciar una respuesta clara en la eficiencia de control mediante las variaciones en el volumen de aplicación.

Comparaciones de volúmenes de aplicación, pero en aplicaciones con drones, fueron realizadas por Paul et al. (2024), quienes compararon 30 y 45 l/ha, aplicando con un dron de 6 rotores (modelo Kisan V.2) con 4 boquillas de abanico plano a una presión de 3,334 bares. Los resultados remarcaron que la variación en el volumen de aplicación tiene un impacto mínimo o despreciable en el diámetro volumétrico medio (parámetro directamente relacionado con el tamaño de gota). Además, en dicho experimento el volumen de aplicación no tuvo un efecto significativo sobre la eficiencia de control (medida como densidad y peso seco de malezas) entre los tratamientos con dron y el tratamiento con mochila (500 L/ha).

En referencia a la variación en eficiencia de las aplicaciones según el volumen utilizado, Shan et al. (2021) presentan resultados que sostienen que, a medida que aumenta el volumen de aplicación (entre 7,5, 15, 22,5 y 30 L/ha), independientemente de cuál sea el tamaño de gota, la cobertura mejora (como porcentaje del área). Sumado a esto, el grupo de investigadores encontró que lo mismo sucedía en cuanto a la cantidad de impactos por cm^2 , el número de gotas por superficie aumentaba con mayores volúmenes de aplicación. Por último, los autores destacan que a pesar de que, el tamaño de gota y el volumen de aplicación afectan la uniformidad de la deposición de los fitosanitarios, no se debe dejar de lado que un correcto uso del sistema de pulverización y el uso de aditivos en los caldos, también tiene beneficios en los resultados de una aplicación.

En cuanto al parámetro referido, Jeevan et al. (2023b) demuestran que la deposición y cobertura de gotas aumentaron con volúmenes de aplicación partiendo desde 25 l/ha hasta 50 l/ha. En dicho experimento utilizaron un dron de 4 rotores a base de combustible con capacidad de 16 litros de pulverización, donde las boquillas utilizadas fueron las del tipo abanico plano. Sin embargo, en el ensayo que realizaron, la mayor eficacia a la hora del control de malezas fue diferente en función del fitosanitario utilizado con los diversos volúmenes que utilizaron.

Como respaldo y complemento a lo último mencionado, Cunha et al. (2006) afirman que volúmenes de aplicación más altos en pulverizaciones terrestres producen una mayor uniformidad en la distribución de gotas. No obstante, esta variable no tiene influencia directa en la eficiencia de control lograda por la pulverización.

En un experimento sobre control de áfidos en trigo con un dron del tipo 3WQF120-12 de un solo rotor, Wang et al. (2019) demostraron que volúmenes de aplicación mayores (16,8 L/ha y 28,1 L/ha) fueron más efectivos que volúmenes de 9 L/ha tanto para insecticidas sistémicos como para productos de contacto. Además, los autores investigaron sobre el efecto de dicho parámetro sobre la cobertura y deposición sobre el cultivo mencionado. Concretamente, se observó que la deposición en las espigas del trigo fue mayor con mayores volúmenes ($>16,8$ L/ha). Por último, también se evaluó la deposición horizontal en placas dentro del cultivo de trigo, donde el resultado fue mejor cuando se aplicaron volúmenes mucho más altos (225 L/ha y 450 L/ha, aplicados con mochila) que los que eficientemente alcanza el dron pero no fue estadísticamente diferente a volúmenes de 16,8 L/ha y 28,1 L/ha utilizados en el UAV.

2.3.3 Velocidad de avance

La velocidad de avance es un aspecto de gran importancia para las aplicaciones aéreas ya que a nivel comercial puede aumentar el rendimiento de un aplicador y por lo tanto sacar más provecho de un sistema de pulverización mediante UAVs pero podría tener consecuencias en la calidad de aplicación.

En este mismo sentido, Derksen y Sanderson (1996) aseguran que una disminución en la velocidad de trabajo (manteniendo el volumen de aplicación) puede duplicar la cantidad de depósitos que llegan al envés de la hoja.

En Meticulous Research (2019, como se cita en Carvalho et al., 2021) se sostiene que hay expectativas de que en un futuro los drones serán capaces de realizar la labor de pulverización entre un 40 y 60% más rápido que el método manual, mejorando la eficiencia operativa de la aplicación.

A propósito de lo previo y acorde a lo que sostienen Merani et al. (2019), en los últimos tiempos ha habido una tendencia por parte de los productores y contratistas de realizar aplicaciones con tasas reducidas y mayores velocidades de desplazamiento, buscando aumentar la capacidad operativa del vehículo aplicador. Sin embargo, estos cambios operativos asociados a las nuevas tecnologías de aplicación pueden tener un impacto negativo en los niveles de depósitos de aspersion y aumentar pérdidas por deriva, especialmente en gotas medianas y finas.

En la misma línea de lo mencionado anteriormente, Hunter et al. (2019) destaca que existe una relación inversamente proporcional entre la velocidad de avance y el porcentaje de cobertura efectiva de la aspersion aérea. Los resultados alcanzados, utilizando un dron DJI AGRAS MG-1 octocopter sprayer, marcan que el máximo valor de cobertura se logró con una velocidad de 1m/s (3,6 km/h), llegando a cifras que varían entre 30% y 60%. Mientras tanto, con una velocidad de 7 m/s (25,2 km/h) apenas alcanzó para cubrir entre 13% y 22% del objetivo.

En el experimento de Martin et al. (2019), cuyo objetivo fue determinar el efecto de la altura y velocidad de vuelo sobre el patrón de pulverización y las características del espectro de gotas, los autores reportan que no hubo una influencia significativa de la velocidad con respecto al suelo sobre la franja efectiva generada por los 2 modelos de

aeronaves estudiados (DJI MG-1 y HSE V6A).

2.4 EFICIENCIA EN EL CONTROL Y SU RELACIÓN CON LA DERIVA

En primer lugar, es importante conocer la definición del concepto de deriva y los factores que la determinan. Para Nuñez y Maeso (2010) la deriva es un proceso por el cual un fitosanitario es transportado hacia zonas no deseadas. El concepto tradicional se refiere fundamentalmente al transporte de pequeñas gotas del volumen que se aplicó, por acción de corrientes de aire, hacia lugares no deseados. En general, esto puede ser controlado en la medida que se cumpla con determinadas recomendaciones de aplicación. El hecho de no cumplir con dichos aspectos puede repercutir negativamente de manera irreversible.

Según el Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca (MGAP, 2023), la DGSA no recomienda pulverizaciones con tamaño de gota menores a los 200 micrones ya que a partir de este valor hay grandes posibilidades de que se produzca deriva o que las gotas de producto queden suspendidas en una columna de aire, pudiéndose trasladar grandes distancias tiempo después de la aplicación.

MGAP (2023) sostiene que “Según información científica hasta 14 km/h de velocidad del equipo las generaciones de deriva están dentro de lo aceptable. Por encima de la misma se generan “vórtices en herradura”, el que es independiente de la velocidad de viento” (párr. 3).

Existen varios factores que pueden influir en el grado de deriva que se produce, dentro de estas variables se encuentran el tamaño de gota, el volumen aplicado, la velocidad de aplicación, la velocidad del viento, etc. Con un $Dv_{0.5}$ de $100\mu\text{m}$ (el tamaño de gota más chico usado en el experimento), se detectaron niveles de depósito a 12 m a favor del viento hasta cuatro veces mayores que con gotas de $200\mu\text{m}$, incluso bajo la misma velocidad del viento (Wang et al., 2020).

Conforme a Merani et al. (2019) en aplicaciones terrestres, la pérdida de eficiencia que se produce al aumentar la velocidad de avance (por una mayor probabilidad de generación de deriva) podría resolverse con un aumento en la presión de trabajo, lo que implicaría cambios en el tamaño de las gotas producidas. Estas variables mencionadas influyen directamente en el potencial de deriva.

3 MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 LOCALIZACIÓN

Se realizaron 2 experimentos los cuales se llevaron a cabo en la “Estación Experimental Dr. Mario A. Cassinoni” (EEMAC), Ruta 3 Km 363, departamento de Paysandú. Se realizaron en los potreros 24 y 22 en los meses de junio y julio.

3.2 ÁREA EXPERIMENTAL Y TRATAMIENTOS

El Experimento 1 fue conducido en una pradera de Festuca y Trébol Rojo sembrada en otoño del año 2025. Para el caso del segundo lugar, Experimento 2, el área también se encontraba en fase de implantación, pero era una mezcla de Dactylis y Trébol Rojo.

En el primer experimento se plantearon 2 tratamientos donde la variable fue el volumen de aplicación, detallados en la siguiente tabla:

Tabla 1

Experimento 1 (potrero 24)

	Volumen de aplicación (L/ha)	Tamaño de gota (μm)
Tratamiento 1	10	400
Tratamiento 2	20	400

En relación al segundo experimento, se realizaron 4 tratamientos donde las variables fueron volumen de aplicación y tamaño de gota. En la Tabla 2 se describen los parámetros utilizados.

Tabla 2

Experimento 2 (potrero 22)

	Volumen de aplicación (L/ha)	Tamaño de gota (μm)
Tratamiento 1	10	350
Tratamiento 2	10	500
Tratamiento 3	20	350
Tratamiento 4	20	500

Las parcelas experimentales fueron áreas de 20 m de ancho por 50 m de largo. Es importante destacar que dichos tamaños de gota (que se utilizaron para los 2 volúmenes), son los reportados por el control inalámbrico del dron y no el tamaño real.

Las unidades experimentales fueron en el caso de las determinaciones de recuperación, las placas colocadas en cada tratamiento. Mientras que, en la determinación del control, la unidad experimental fue cada especie de maleza marcada según estado de desarrollo.

3.3 METODOLOGÍA DE INSTALACIÓN Y REALIZACIÓN

Los equipos utilizados fueron drones DJI Agras T40 de capacidad de 40 litros (tanque) de la empresa “Drones Orientales”, en colaboración con la Facultad de Agronomía, en el Proyecto “Eficiencia en la aplicación de productos fitosanitarios con drones bajo buenas prácticas agrícolas en Uruguay”.

Los parámetros que se mantuvieron constantes para los diferentes tratamientos y fueron fijados desde el control del UAV para los dos experimentos se detallan en la siguiente tabla:

Tabla 3
Parámetros de aplicación del dron

	Altura de aplicación (m)	Ancho operativo (m)	Velocidad de vuelo (km/h)
Experimento 1	3,5	8	21,8
Experimento 2	3	5	15

Se debe aclarar que dichos valores resultan del promedio durante el tiempo de aplicación del dron en cada experimento.

En cuanto al primer ensayo, este fue realizado el 26 de junio de 2025. Se muestra en la Figura 1 la dirección que tomó el dron en la aplicación tanto para el tratamiento 1 como para el 2. Si bien el primer tratamiento consta de una mayor área (porque se trataba de una aplicación determinada previamente por facultad), el espacio destinado para las placas y tarjetas fue la misma que en el tratamiento 2 en cuanto a área refiere.

Figura 1

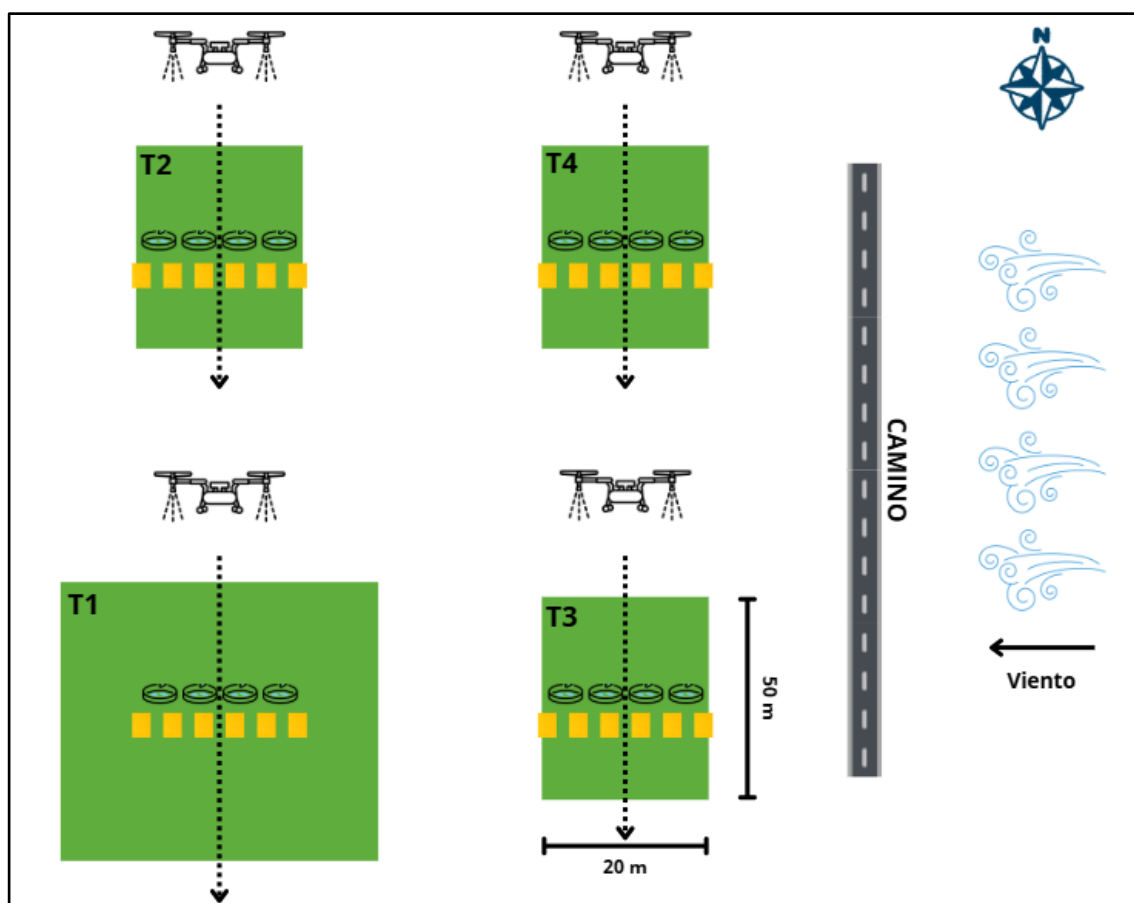
Área de aplicación y estudio de “Experimento 1”



Nota. Adaptado de DJI Agriculture (s.f.).

Con respecto al experimento 2, se realizó con el mismo dron, el día 25 de julio de 2025. En la siguiente figura se observan los detalles operativos del ensayo. Donde se ilustra la colocación de placas, en número de 10 por cada tratamiento, a una altura similar a la de la pastura. Y las tarjetas hidro sensibles, se colocaron 5 espaciadas cada 1.5 metros y centradas en cada parcela de manera de cubrir eficientemente el recorrido del vuelo, las mismas fueron colocadas en porta tarjetas horizontales.

Figura 2
Croquis del “experimento 2”



3.4 PREPARACIÓN DEL CALDO DE APLICACIÓN

En la realización de los dos experimentos los herbicidas utilizados fueron 2,4-DB (Venceweed Extra) y Flumetsulam (Preside). Para el caso del primer agroquímico, la dosis aplicada fue de 0.8 L/ha y para el segundo (pre-emergente con acción post-emergente parcial), 0.3 L/ha. Además, en el caso del primer ensayo, se usó el trazador Tinopal CBS-X. Dicho producto se agregó a una concentración de 5 g/L de caldo preparado. Este insumo tuvo el propósito de poder visualizar la deposición de la aplicación mediante el uso de linternas con luz negra (Figura 3) y luego, con la recolección de las placas colocadas, poder estimar la tasa de recuperación para cada tratamiento.

Figura 3

Utilización de linterna UV para la observación de la deposición de las gotas

**3.5 DETERMINACIÓN DE IMPACTOS**

En ambos experimentos los impactos por cm^2 fueron cuantificados en las tarjetas hidro sensibles, tanto de manera manual, a través de observaciones visuales de los mismos en un cuadrado de un cm^2 , o a través de la aplicación digital Hydroreader (Cuthill SA, 2024). En el caso de la aplicación, permite además la estimación de los parámetros que caracterizan las gotas depositadas como el DV 0.1, DV 0.5, el DV 0.9 y la amplitud relativa del tamaño de gota.

3.6 DETERMINACIÓN DE LA TASA DE RECUPERACIÓN

Se define la tasa de recuperación como la proporción del producto aplicado que efectivamente se recupera o detecta en un determinado lugar o superficie. Es también un indicador de la eficiencia de la aplicación (Cruz et al., 2017). Para medir dicho parámetro, en el Experimento 1, se tomó muestras del caldo en el tanque, para determinar la concentración de Tinopal, así como de las placas de Petri colocadas en cada tratamiento. Para llegar a la concentración que hubo en las placas se lavó cada una con 20 mL de agua destilada. Luego, dichas muestras se procesaron en un espectrofluorómetro (marca Shimadzu, modelo RF-6000) a longitud de onda de 350 nm de excitación y 400 nm de emisión.

3.7 DETERMINACIÓN DE LA EFICIENCIA DE CONTROL

Por último, para comprobar a campo la eficiencia en el control de la aplicación de la mezcla de herbicidas, se marcaron malezas (previamente identificadas) y se registró tanto el porcentaje de control como el desarrollo que poseían a la fecha del primer relevamiento y marcado.

Esto último se realizó adjudicando según la siguiente clasificación de tres tamaños a las plantas:

- < 5 cm clasificadas como chicas
- 5 - 10 cm clasificadas como medianas
- > 10 cm clasificadas como grandes

Las malezas fueron diferentes en los experimentos; para el caso del primero se marcaron 30 individuos de *Bowlesia incana* y la misma cantidad de la especie *Acicarpa tribuloides* tanto para el tratamiento 1 como para el 2. Mientras que para el segundo experimento se marcaron 30 plantas de *Bowlesia incana* para cada tratamiento y, por la poca presencia de otras malezas, 5 ejemplares de *Coronopus didymus* por tratamiento.

Por otra parte, el criterio utilizado para determinar la evolución en el grado de control sobre las malezas objetivo fue discutido y tomando en cuenta el área senescente del total de la planta, configurando una escala arbitraria.

Además, se llevó un registro de la cobertura de las pasturas mezcla para cada experimento.

Las evaluaciones fueron realizadas a los 6, 13 y 27 días post aplicación (DPA) en el experimento 1. Mientras que en el experimento 2 fueron realizadas a los 7, 18, 31 y 38 DPA.

3.8 ANÁLISIS ESTADÍSTICO

El análisis estadístico de los impactos en tarjetas hidro sensibles se realizó utilizando el software SAS (SAS OnDemand for Academics). En primer lugar, se analizaron los datos correspondientes a la comparación entre dos tratamientos mediante

estadísticos descriptivos y análisis de la varianza (ANOVA) empleando el procedimiento PROC GLM, previa evaluación de los supuestos de normalidad y homogeneidad de varianzas. Asimismo, se aplicó la prueba t de Student como contraste adicional para la comparación de medias entre tratamientos. Mientras que en el caso del Experimento 2, con diseño factorial de tratamiento, fue analizado mediante modelos lineales mixtos (PROC MIXED), considerando el volumen y el tamaño de gota y la interacción. Las medias ajustadas se compararon mediante pruebas de Tukey, en todos los análisis se estableció un nivel de significación estadística de $\alpha = 0,05$.

Por otra parte, el tratamiento estadístico de los datos de control se llevó a cabo utilizando el software SAS (SAS OnDemand for Academics). Se calcularon estadísticos descriptivos para cada variable y grupo experimental, incluyendo tamaño muestral efectivo, media y desviación estándar. Únicamente se analizaron aquellas variables con un mínimo de cuatro observaciones válidas por tratamiento, con el objetivo de garantizar la estabilidad de las estimaciones. Las diferencias entre tratamientos se evaluaron mediante modelos lineales mixtos considerando el tratamiento como efecto fijo. Asimismo, se realizó la prueba no paramétrica de Wilcoxon como análisis complementario para verificar la consistencia de los resultados ante posibles incumplimientos de los supuestos de normalidad. El nivel de significación estadística se estableció en $\alpha = 0,05$.

3.9 CONDICIONES METEOROLÓGICAS DURANTE LA APLICACIÓN

Tal como se mencionó anteriormente, las condiciones meteorológicas tienen un impacto directo en la operatividad y la eficiencia del control en la aplicación con dron. Por esta razón, la información proporcionada por la estación meteorológica (Transmisión meteorológico response ONETM Modelo 92500) ubicada próxima al área experimental y colocada a una altura de 2 metros sobre el nivel del suelo, con un registro de 8 datos por segundo, resulta fundamental para una adecuada interpretación de los resultados obtenidos. En particular, se midió la velocidad del viento, la humedad relativa y la temperatura, ya que son los parámetros de mayor incidencia en la aplicación.

En este sentido, y considerando especialmente la influencia de estas variables en la deriva, evaporación y deposición del producto, se han determinado valores óptimos

para llevar a cabo una aplicación en el caso de aplicaciones terrestres. En primer lugar, en cuanto a la velocidad del viento refiere, se recomienda aplicar cuando se encuentre en un rango comprendido entre 6 y 10 km/h. En caso de registrarse valores inferiores (0-5 km/h) o levemente superiores (11-15 km/h) se deben extremar las precauciones y es aconsejable el uso de boquillas antideriva. Si las condiciones superan los 16 km/h se recomienda postergar la aplicación (Olivet, 2018).

En segundo término, es necesario evaluar de manera conjunta la humedad relativa y la temperatura del aire. La combinación adecuada de estos parámetros logra una menor evaporación de las gotas y una mayor deposición. Si bien los valores recomendados no son absolutos, ya que dependen de la combinación de dos variables simultáneas, se considera que las condiciones más adecuadas para la aplicación se encuentran en rangos de temperatura moderados (10 - 25°C) y con humedad relativa superior al 60%. Como contraparte, se debe evitar aplicar con temperaturas menores a 10°C o excesivamente altas, así como cuando la humedad relativa se encuentra muy próxima al 100% (alta probabilidad de lavado por lluvia) o por debajo del 40% (Olivet, 2018).

En las siguientes tablas se presentan las condiciones promedio de estas variables durante el desarrollo de cada tratamiento en cada experimento.

Tabla 4

Condiciones meteorológicas promedio durante el experimento 1

Tratamiento	Rango de tiempo	Viento (km/h)	HR (%)	Temperatura (°C)
1	12:16:29 a 12:23:35	14,5	54,8	12,1
2	11:17:50 a 11:22:15	16,4	64,5	10,0

Tabla 5*Condiciones meteorológicas promedio durante el experimento 2*

Tratamiento	Rango de tiempo	Viento (km/h)	HR (%)	Temperatura (°C)
1	10:17:32 a 10:20:21	5,4	83,6	14,5
2	09:54:33 a 09:55:34	8,8	84,2	14,0
3	09:36:41 a 09:37:42	9,7	84,5	13,7
4	09:28:34 a 09:29:34	10,4	84,9	13,6

Al analizar la información se observa una gran variabilidad en las condiciones promedio de velocidad de viento.

En el primer ensayo, los valores promedio registrados se ubicaron en rangos de velocidad elevados. Por otro lado, se puede apreciar que todos los tratamientos que conforman el experimento 2 fueron llevados a cabo en condiciones óptimas de esta variable, oscilando entre 5,4 km/h y 10,4 km/h. Paralelamente a esto, la temperatura del aire y la humedad relativa se encontraron dentro del rango recomendable (HR: 60% - 90%; Temp: 10°C - 25°C) en todos los tratamientos de ambos experimentos. Únicamente se destaca un valor marginal de humedad relativa obtenido en el tratamiento 1 del primer ensayo (54%).

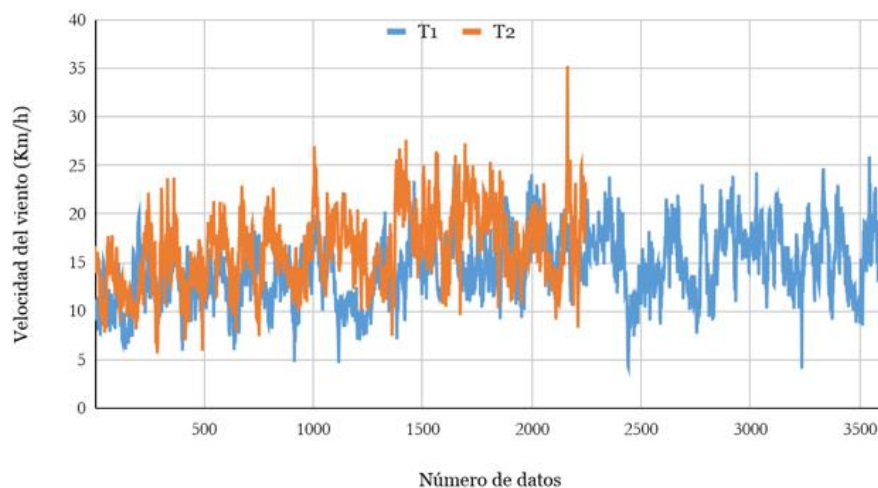
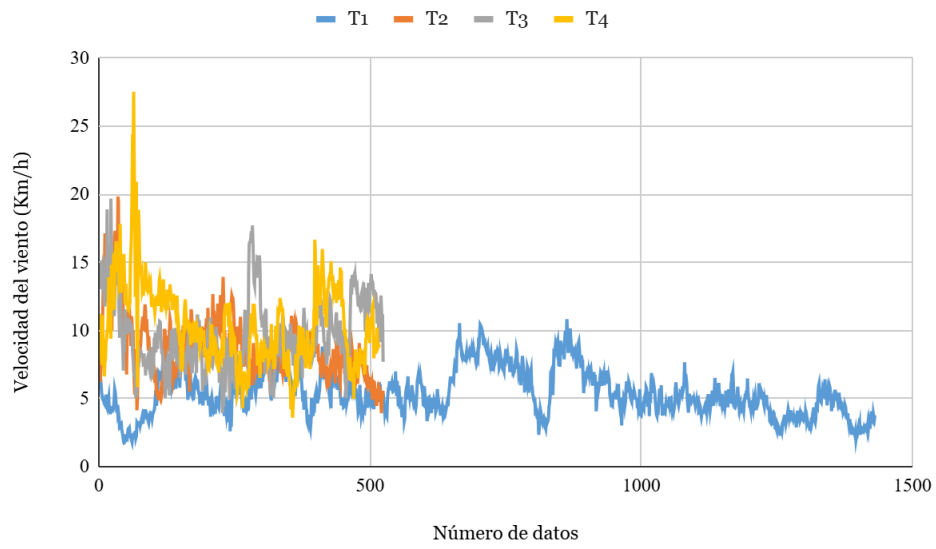
Figura 4*Evolución de la velocidad del viento durante la realización del experimento 1*

Figura 5

Evolución de la velocidad del viento durante la realización del experimento 2



4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 EXPERIMENTO 1

4.1.1 Densidad de gotas en tarjetas hidro sensibles y tasa de recuperación

El análisis estadístico realizado a partir de los datos obtenidos de las tarjetas hidro sensibles estimados mediante el programa Cuthill Hydroreader, arrojó que no hubo diferencias significativas entre los tratamientos para la variable correspondiente al número de impactos por cm^2 ($p\text{-valor} = >0,05$).

Tabla 6

Parámetros estadísticos de impactos por cm^2 para cada tratamiento

	10 l/ha	20 l/ha
N	10,0	10,0
Media	20,7	31,6
Desv. estándar	8,4	19,8
Mínimo	5,0	11,0
Máximo	33,0	66,0

A pesar de que el tratamiento de 20 L/ha presentó una media mayor de impactos por cm^2 , la elevada variabilidad observada pudo haber impedido detectar diferencias significativas respecto al tratamiento de 10 L/ha. Además, existen resultados que han demostrado que el volumen de aplicación no tiene una relación lineal con la densidad de impactos, pudiendo ser más relevantes factores como el tamaño de gota y la uniformidad de aplicación. Del mismo modo, se ha reportado que volúmenes reducidos pueden alcanzar umbrales de impactos suficientes para lograr eficiencia de control equivalente a volúmenes mayores. En el trabajo realizado por Wang et al. (2019) se compara la cantidad de impactos logrados tanto en la parte superior como en la zona media de la canopia utilizando tres volúmenes de aplicación distintos (9 L/ha, 16,8 L/ha y 28,1 L/ha). Los resultados mostraron que no hubo un efecto significativo en la densidad de gotas al modificar el parámetro mencionado.

Otro punto a destacar es que, independientemente del tratamiento, el número de

impactos alcanzados fue bajo. Conforme a Zhu et al. (2011), a partir de 30 gotas por cm^2 se comienzan a observar niveles de control superiores en aplicaciones de herbicidas post-emergentes. En el caso del tratamiento 1, no se logró alcanzar ese valor de referencia ($20,7 \text{ cm}^2$), mientras que en el tratamiento 2 se consiguió un valor marginal apenas superior al mencionado ($31,6 \text{ cm}^2$).

A continuación, se muestran (tabla 7) los resultados para tasa de recuperación por tratamiento.

Tabla 7

Parámetros estadísticos de impactos por cm^2 para cada tratamiento

	Tasa de recuperación (%)	Coefficiente de variación (%)
10 L/ha	79	31
20 L/ha	67	72

Se destaca que en el tratamiento 1 se obtuvo mayor tasa de recuperación, con mínima diferencia en comparación con el tratamiento 2. La mayor llegada de producto a la superficie objetivo podría estar indicando una buena eficiencia aun con el volumen más bajo de aplicación, además se destaca la menor variabilidad en este caso.

Una posible causa de que haya llegado menos producto en el tratamiento de mayor volumen fue el viento registrado durante la realización del mismo. Como se mencionó, hubo una diferencia de casi 2 unidades entre ambos tratamientos, pudiendo generar una menor deposición del caldo en la aplicación con 20 L/ha. Como el tamaño de gota fue igual para ambos tratamientos, no podría haber un efecto de este parámetro que explique la diferencia en la tasa de recuperación asociado a la deriva específicamente.

4.1.2 Eficiencia de control

Se presentan los valores de significancia para el porcentaje de control por fecha de evaluación y maleza, en la tabla 8.

Se desprende de dicha tabla que tanto para *Acicarpa tribuloides*, en los distintos estadios de desarrollo, como para *Bowlesia incana* mediana no hubo diferencias en cuanto a los tratamientos donde se varió el volumen de aplicación ($p\text{-valor} > 0,05$). Sin embargo,

para *Bowlesia incana* de mayor porte, clasificada como grande, sí se observó un efecto del volumen de aplicación en el control logrado, en las evaluaciones de los 13 y 27 DPA.

Tabla 8

P-valor para las variables evaluadas en cada fecha de evaluación

	<i>Acicarpa tribuloides</i>		<i>Bowlesia incana</i>	
	Grande	Mediana	Grande	Mediana
6 DPA	0,5809	0,4534	0,8212	0,3907
13 DPA	0,5557	0,0514	0,0306	0,1994
27 DPA	0,3083	0,3618	0,0232	0,3019

Para el análisis de los resultados se presentarán a continuación las figuras correspondientes al control expresado en porcentaje para cada maleza categorizada (es decir, por especie y tamaño) en función de los días post-aplicación.

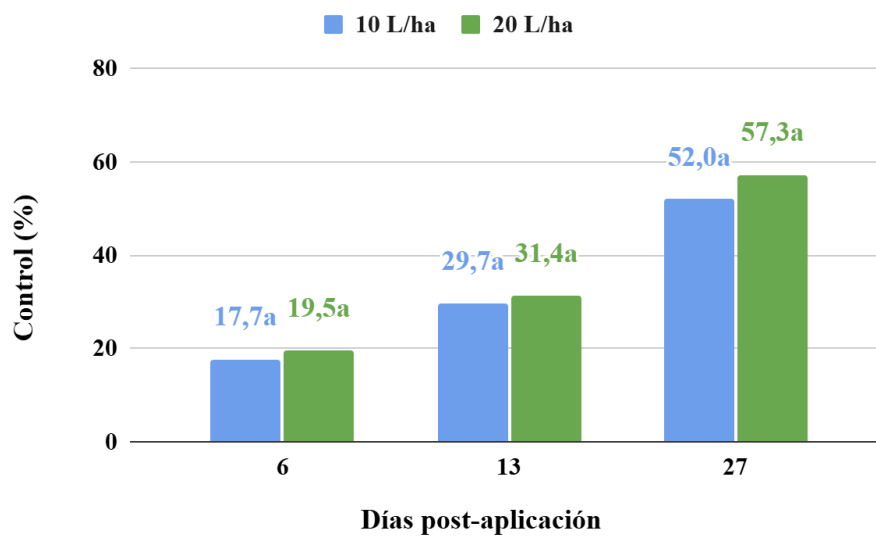
En primer lugar, se observa en las Figuras 6 y 7 la evolución del control para los ejemplares marcados de *Acicarpa tribuloides* en sus dos tamaños clasificados (mediana y grande). No se observan diferencias significativas entre los tratamientos sobre el control en ninguna de las fechas de evaluación. Se observa una evolución regular para las fechas de observación posteriores a la aplicación, donde en términos absolutos el tratamiento de 20 L/ha obtuvo mayores valores de control.

Por otro lado, como se observa en la figura 8, hubo un comportamiento diferente en cuanto el control y la eficiencia de la pulverización en función del volumen de aplicación utilizado para *Bowlesia incana* de mayor desarrollo. Esto sucedió para las dos instancias finales de evaluación (13 y 27 días posteriores a la aplicación).

Por último, para *Bowlesia incana* mediana, se vuelve a observar el patrón de control que hubo en *Acicarpa tribuloides* donde el control para cada instancia de medición presento una tendencia a mayor en el tratamiento de 20 L/ha pero sin ser dicha diferencia significativa respecto al menor volumen (Figura 9).

Figura 6

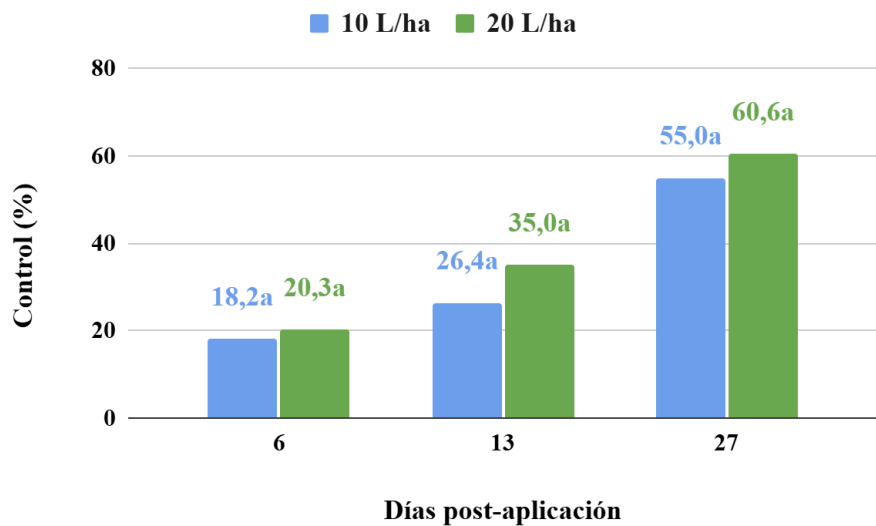
Evolución del control en Acicarpa tribuloides (tamaño grande)



Nota. Letras iguales indican que no hay diferencias significativas entre tratamientos dentro de cada fecha de evaluación.

Figura 7

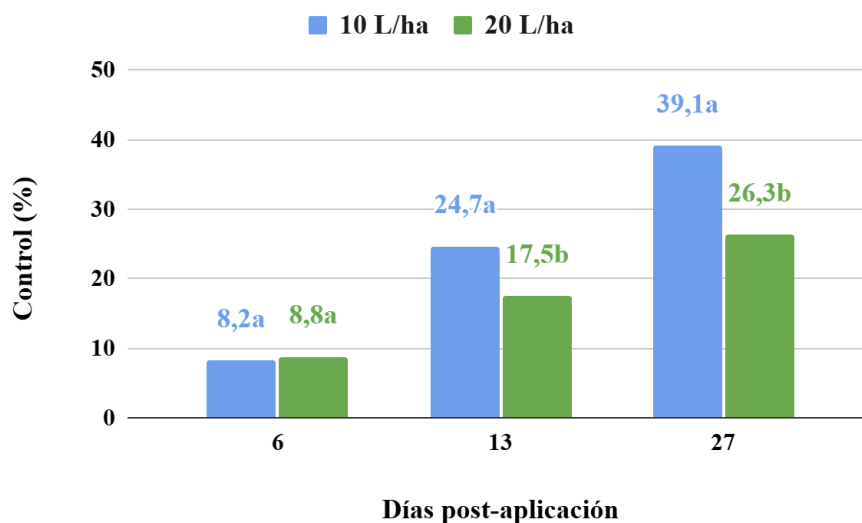
Evolución del control en Acicarpa tribuloides (tamaño mediana)



Nota. Letras iguales indican que no hay diferencias significativas entre tratamientos dentro de cada fecha de evaluación.

Figura 8

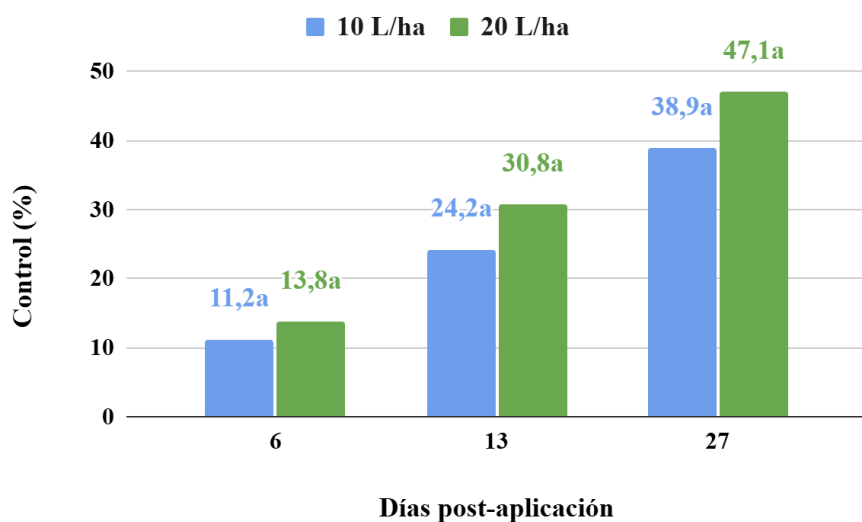
Evolución del control en Bowlesia incana (tamaño grande)



Nota. Letras diferentes indican diferencias significativas entre los tratamientos dentro de una misma fecha de evaluación.

Figura 9

Evolución del control en Bowlesia incana (tamaño mediana)



Nota. Letras iguales indican que no hay diferencias significativas entre tratamientos dentro de cada fecha.

A partir de toda la información presentada para el experimento 1, se determinó un bajo control constatado a los 27 días posteriores a la aplicación, en el que para ninguna especie se obtuvieron porcentajes de control por encima del 70%. A pesar de que hubo

una evolución de control sobre las malezas sin importar el tamaño a medida que pasaban los días (esperable por la translocación del producto a partir del metabolismo de los herbicidas dentro de planta), la lenta evolución de control se puede explicar por la temperatura, que afecta la translocación del herbicida 2,4-DB y por ende baja eficiencia. Las temperaturas promedio registradas para los días de evaluación fueron 9,8°C y 10,9°C para los meses Junio y Julio respectivamente, siendo estos valores bajos en relación al rango óptimo para el funcionamiento adecuado del herbicida. Dichos registros de temperatura fueron tomados de la estación meteorológica de la estación experimental (EEMAC). Diversos trabajos confirman que temperaturas menores a 15-20°C disminuyen el metabolismo de las malezas afectando la translocación del activo químico (Ganie et al., 2017; Peterson et al., 2016).

En relación con el control final logrado, el factor que pudo haber influido, es el número alcanzado de gotas por cm², que como se ha mencionado anteriormente, en ambos tratamientos fue inferior a los valores de referencia en aplicaciones eficaces. Esto pudo ser causado por las altas velocidades de viento registradas durante la aplicación, las cuales se encontraban fuera del rango recomendable, aumentando el riesgo de deriva.

Además de lo ya señalado, otra de las causas que pueden explicar los niveles de control alcanzados, es la dosis de herbicida utilizada. Según la cartilla de uso del Flumetsulam, específicamente en su efecto postemergente (aunque tiene acción principalmente preemergente), el rango de uso adecuado oscila entre 0,25 a 0,4 L/ha, lo que respalda la cantidad de producto aplicada en el ensayo (*Preside*, s.f.). Sin embargo, para el caso del 2,4-DB, la cartilla sugiere que la dosis en pasturas con leguminosas no debe ser menor de 1,0 L/ha o 1,25 L/ha dependiendo de la maleza que se desea controlar (*Venceweed Extra*, s.f.). Si bien no aparecen las especies que se marcaron en los ensayos, se entiende que dosis menores (se aplicó 0,8 L/ha) a las que se delimitan en la etiqueta, podrían tener un efecto negativo sobre el control, disminuyendo la eficiencia de la aplicación.

Por otro lado, se destaca principalmente que la eficiencia de control en el ensayo, no se vio afectada por la variación en el volumen de aplicación. Esto es respaldado por varios investigadores en cuyos trabajos demuestran que no existe un impacto significativo al modificar dicha variable (Carneiro et al., 2024; Paul et al., 2024). Esto puede explicarse por la uniformidad de aplicación, medida como el número de gotas por unidad de

superficie de maleza, que se observó en este ensayo. Esta característica, que hace referencia a la calidad de aplicación, fue previamente analizada, donde no se observaron diferencias significativas entre tratamientos. Quizás haya sido complementado por lo que señalan algunos autores, respecto al efecto del flujo de aire descendente que produce el movimiento de las hélices, permitiendo así una mejor llegada del producto al objetivo independientemente del volumen aplicado (Minta Reino, 2022; Paul et al., 2024).

En contraposición a lo expuesto anteriormente, en el caso particular del control de *Bowlesia incana* de mayor porte, se identificaron diferencias significativas entre los volúmenes de aplicación evaluados. Los resultados sostienen que el tratamiento 1 (volumen de aplicación de 10 L/ha) alcanzó mayores niveles de eficiencia en el control para dicha categoría de maleza a partir de los 13 días post-aplicación, en comparación con el tratamiento 2, cuyo volumen utilizado fue el doble. Si bien estos resultados no se alinean con la lógica previamente planteada, esta excepción podría explicarse por la mayor vigorosidad de las malezas de gran porte, en las que podría necesitarse más ingrediente activo para su correcto control. En este sentido, se constató una mayor tasa de recuperación para el tratamiento de 10 L/ha, que implicó una mayor llegada de producto al objetivo, lo que podría explicar las diferencias entre los tratamientos en cuanto al control constatado.

4.2 EXPERIMENTO 2

4.2.1 Densidad de gotas en tarjetas hidro sensibles

Los resultados del análisis estadístico para la densidad de impactos por unidad de superficie muestran que hubo interacción entre los parámetros de volumen de aplicación y tamaño de gota en el experimento 2 tanto para la estimación visual como para la realizada en la aplicación digital (ver Tablas 9 y 10).

Tabla 9*Promedio de densidad de gotas por tratamiento estimados mediante conteo visual*

Volumen de aplicación	Tamaño de gota	
	Gota media	Gota gruesa
10 L/ha	73,9 aB	41,6 aA
20 L/ha	126,3 aA	44,5 bA

Nota. Letras minúsculas indican significancia entre tamaños de gota para un mismo volumen de aplicación. Letras mayúsculas indican significancia entre volúmenes para un mismo tamaño de gota.

Tabla 10*Promedio de densidad de gotas por tratamiento medidos por Cuthill Hydroreader*

Volumen de aplicación	Tamaño de gota	
	Gota media	Gota gruesa
10 L/ha	37,6 aB	43,4 aA
20 L/ha	88, 4 aA	29,2 bA

Nota. Letras minúsculas indican significancia entre tamaños de gota para un mismo volumen de aplicación. Letras mayúsculas indican significancia entre volúmenes para un mismo tamaño de gota.

A raíz de estos datos, se puede destacar que la combinación de variables que logra el mayor número de impactos es la correspondiente a un volumen de aplicación de 20 L/ha con la utilización de gotas de tamaño medio.

Otro punto que se debe señalar es que al fijar el volumen de aplicación en 10 L/ha, no se observaron diferencias significativas al modificar el tamaño de gota. En cambio, cuando el volumen se estableció en 20 L/ha, se detectó un efecto significativo del tamaño de gota, evidenciándose que la utilización de gotas medias generó una mayor densidad de impactos en comparación con las gotas gruesas. Por otra parte, al mantener constante un tamaño de gota medio, se observó un efecto significativo de la variación del volumen de aplicación, siendo el de 20 L/ha el que alcanzó un mayor número de impactos. En contraste con esto, cuando se fijó el tamaño de gota grueso, la variación del volumen de aplicación no produjo diferencias relevantes en el número de impactos por cm².

A pesar de que los resultados que difirieron estadísticamente no fueron para cada

tamaño de gota (ya que para gota gruesa no hubo un efecto del volumen), se constató que la utilización de un volumen mayor implica una mayor densidad de impactos, lo cual era esperable. Hay varios trabajos donde también constataron mayor número de gotas por cm^2 que llegan al área objetivo para volúmenes mayores (Shan et al., 2021; Yan et al., 2023).

4.2.2 Eficiencia de control

Para el experimento 2, como ya se mencionó, hubo variantes en cuanto a las malezas marcadas y los tamaños que se identificaron a campo. Además, se incorporó el tamaño de gota como otra variable de estudio.

A partir de la Tabla 11, se puede afirmar que, siete días después de la aplicación, no se observaron efectos significativos en el control de ninguna de las categorías de plantas estudiadas al modificar los parámetros de volumen y tamaño de gota, con excepción del primero mencionado en los individuos de *Bowlesia incana* de porte mediano. Además, se registró un único caso de interacción de estas variables, correspondiente a los individuos de *Bowlesia incana* de menor tamaño.

Posteriormente, los valores obtenidos a raíz de la medición realizada dieciocho días post-aplicación (Tabla 12) arrojaron que hubo un impacto considerable al modificar el tamaño de gota para el control de *Bowlesia incana* pequeñas y el volumen de aplicación para los individuos de *Coronopus didymus*. Sin embargo, para las categorías restantes no se observaron diferencias significativas. En cuanto a la interacción entre variables refiere, se observó que solamente existió en el control de *Bowlesia incana* chicas.

Continuando con las evaluaciones por fecha, se observa en la Tabla 13, que donde hubo resultados diferentes estadísticamente fue para *Bowlesia incana* chica, donde volumen de aplicación y tamaño de gota presentaron interacción (p-valor 0,0023). En el caso de *Coronopus didymus* hubo efecto del volumen de aplicación solo en esta fecha de evaluación.

Por último, para los 38 días post-aplicación, se observa en la Tabla 14 que la única categoría que tuvo resultados diferentes significativamente según el tratamiento fue *Bowlesia incana* chica. Dichas respuestas son nuevamente a raíz de la interacción de los dos parámetros definidos en los tratamientos.

Se observan los valores de significancia de las variables en estudio en las siguientes tablas:

Tabla 11

P-valor para el porcentaje de control según el parámetro y la maleza, 7 días post-aplicación

	<i>Bowlesia incana</i>			<i>Coronopus didymus</i>
	Grande	Mediana	Chica	Chica
Volumen de aplicación	0,8288	0,0468	0,9862	0,2742
Tamaño de Gota	0,9318	0,1252	0,3461	0,5779
Vol * TG	0,571	0,5794	0,0173	0,5779

Tabla 12

P-valor para el porcentaje de control según el parámetro y la maleza, 18 días post-aplicación

	<i>Bowlesia incana</i>			<i>Coronopus didymus</i>
	Grande	Mediana	Chica	Chica
Volumen de aplicación	0,0597	0,4102	0,1065	0,0117
Tamaño de Gota	0,9588	0,364	0,0591	0,5157
Vol * TG	0,6186	0,4727	0,0012	0,7248

Tabla 13

P-valor para el porcentaje de control según el parámetro y la maleza, 31 días post-aplicación

	<i>Bowlesia incana</i>			<i>Coronopus didymus</i>
	Grande	Mediana	Chica	Chica
Volumen de aplicación	0,2697	0,12	0,027	0,0647
Tamaño de Gota	0,7095	0,3012	0,0141	0,6931
Vol * TG	0,2697	0,2419	0,0023	0,2475

Tabla 14

P-valor para el porcentaje de control según el parámetro y la maleza, 38 días post-aplicación

	<i>Bowlesia incana</i>			<i>Coronopus didymus</i>
	Grande	Mediana	Chica	Chica
Volumen de aplicación	0,9495	0,6587	0,83	0,129
Tamaño de Gota	0,7625	0,6069	0,1382	0,8316
Vol * TG	0,0938	0,4636	0,0404	0,4357

A continuación, se presentarán los resultados de los porcentajes de control obtenidos para cada categoría de maleza en respuesta al volumen y tamaño de gota para cada fecha de evaluación.

Con respecto a *Bowlesia incana* grande, los resultados fueron los que se evidencian en las Figuras 10, 11, 12 y 13. Para todas las fechas de evaluación de control, se constató que tanto el volumen de aplicación como el tamaño de gota no tuvieron un efecto significativo sobre la eficiencia de control. Se debe destacar que tampoco hubo una tendencia en valores absolutos hacia alguno de los tratamientos.

En el caso que se muestra en la Tabla 15, correspondiente a *Bowlesia incana* chica, se presenta una interacción entre los parámetros definidos en los tratamientos. En

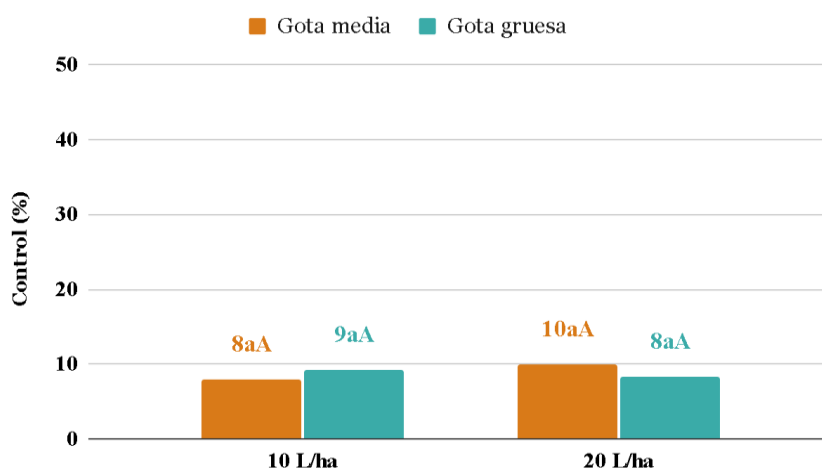
primer lugar, a los 7 días de haberse realizado la aplicación, se observa que, al fijar el volumen en 20 L/ha, el aumento en el tamaño de gota genera un incremento significativo en el nivel de control. Posteriormente, a los 18 y 31 DPA, se mantiene esta diferencia y además se evidencia que, al mantener el tamaño de gota grueso, el volumen de aplicación de 20 L/ha presenta una mayor eficiencia de control que el de 10 L/ha. Finalmente, a los 38 días post-aplicación, se repite el mismo patrón estadístico observado en la primera fecha de evaluación, donde solo se notan diferencias entre tamaños de gota si se fija el volumen en 20 L/ha.

Para la categoría de maleza mediana en *Bowlesia incana* (ver Figuras 14, 15, 16 y 17), no se registró un efecto significativo en el control entre los diferentes tratamientos. Es decir, no hubo influencia del cambio del volumen de aplicación y tamaño de gota en el porcentaje de control relevado a campo.

Para *Coronopus didymus* se destaca que luego de los 38 días post-aplicación no se registró un efecto significativo por parte de los parámetros modificados para cada tratamiento (Figura 21). Sin embargo, en cuanto a valores absolutos se observa una tendencia de que, para un mismo tamaño de gota, el aumento en volumen mejoraría el porcentaje de control. Esto en parte se evidenció a los 18 días posteriores a la aplicación, donde 20 L/ha tuvo una eficiencia significativamente mayor que 10 L/ha.

Figura 10

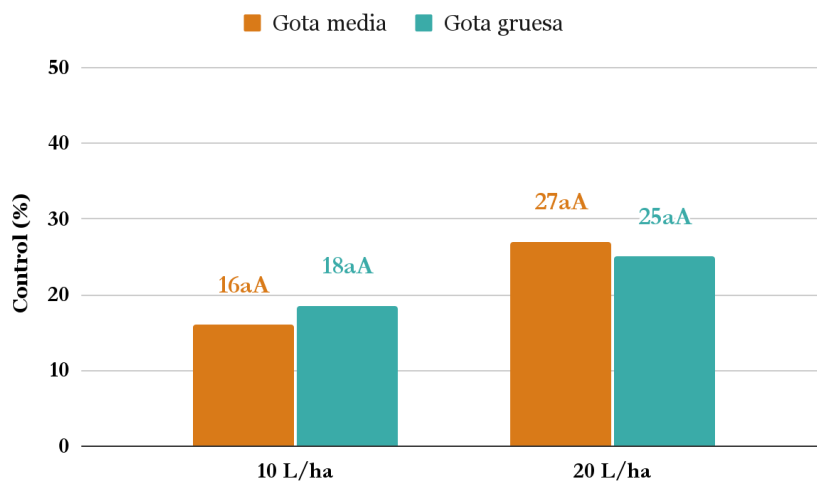
Eficiencia de control en Bowlesia incana grande 7 días post-aplicación



Nota. Letras minúsculas indican significancia entre tamaños de gota para un mismo volumen de aplicación. Letras mayúsculas indican significancia entre volúmenes para un mismo tamaño de gota.

Figura 11

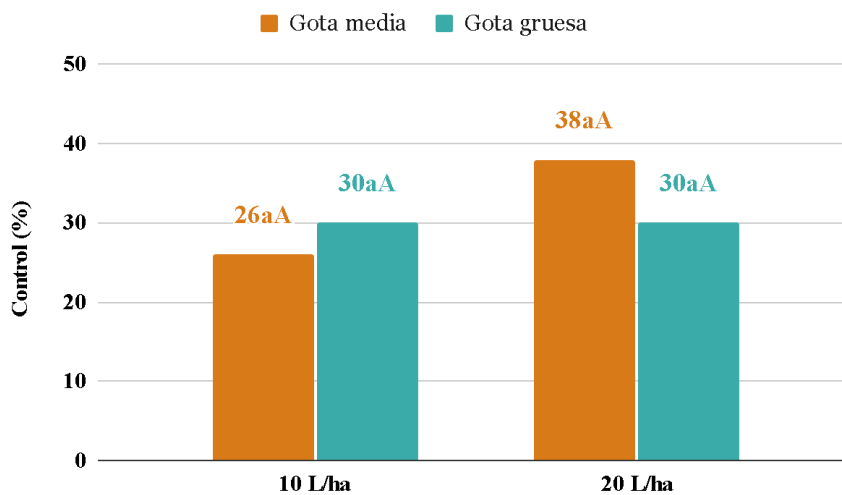
Eficiencia de control en Bowlesia incana grande 18 días post-aplicación



Nota. Letras minúsculas indican significancia entre tamaños de gota para un mismo volumen de aplicación. Letras mayúsculas indican significancia entre volúmenes para un mismo tamaño de gota.

Figura 12

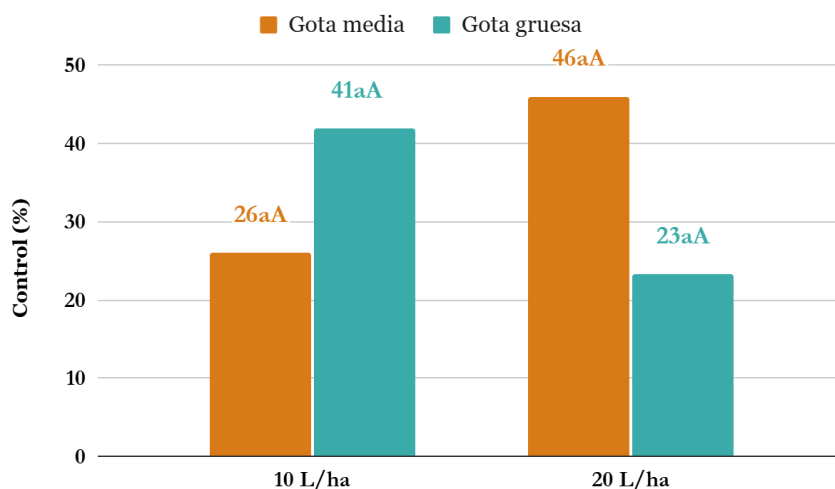
Eficiencia de control en Bowlesia incana grande 31 días post-aplicación



Nota. Letras minúsculas indican significancia entre tamaños de gota para un mismo volumen de aplicación. Letras mayúsculas indican significancia entre volúmenes para un mismo tamaño de gota.

Figura 13

Eficiencia de control en Bowlesia incana grande 38 días post-aplicación



Nota. Letras minúsculas indican significancia entre tamaños de gota para un mismo volumen de aplicación. Letras mayúsculas indican significancia entre volúmenes para un mismo tamaño de gota.

Tabla 15

Eficiencia de control en Bowlesia incana chica para todas las fechas de evaluación

7 DPA

Volumen de aplicación	Tamaño de Gota		Volumen de aplicación	Tamaño de Gota	
	Gota media	Gota gruesa		Gota media	Gota gruesa
10 L/ha	13,6aA	10,0aA	10 L/ha	21,4aA	16,0aB
20 L/ha	7,8bA	15,7aA	20 L/ha	15,0bA	33,6aA

18 DPA**31 DPA**

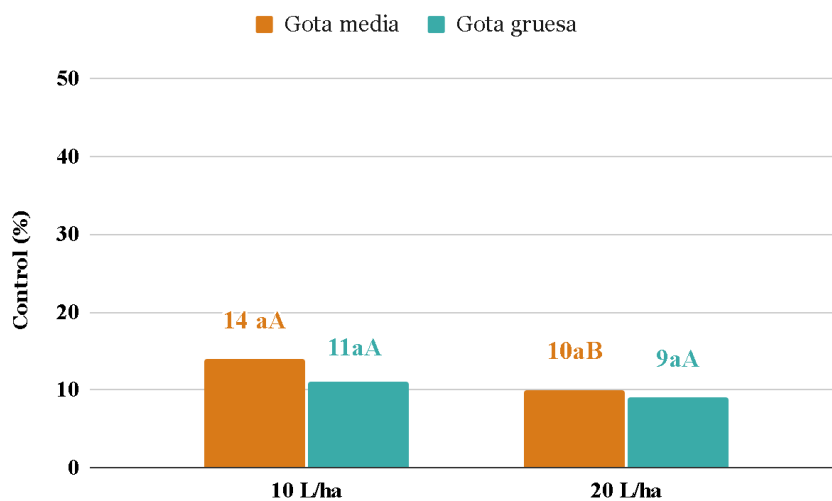
Volumen de aplicación	Tamaño de Gota		Volumen de aplicación	Tamaño de Gota	
	Gota media	Gota gruesa		Gota media	Gota gruesa
10 L/ha	20,8aA	18,0aB	10 L/ha	32,5aA	26,5aA
20 L/ha	16,9bA	40,7aA	20 L/ha	13,9bA	49,3aA

38 DPA

Nota. Letras minúsculas indican significancia entre tamaños de gota para un mismo volumen de aplicación. Letras mayúsculas indican significancia entre volúmenes para un mismo tamaño de gota.

Figura 14

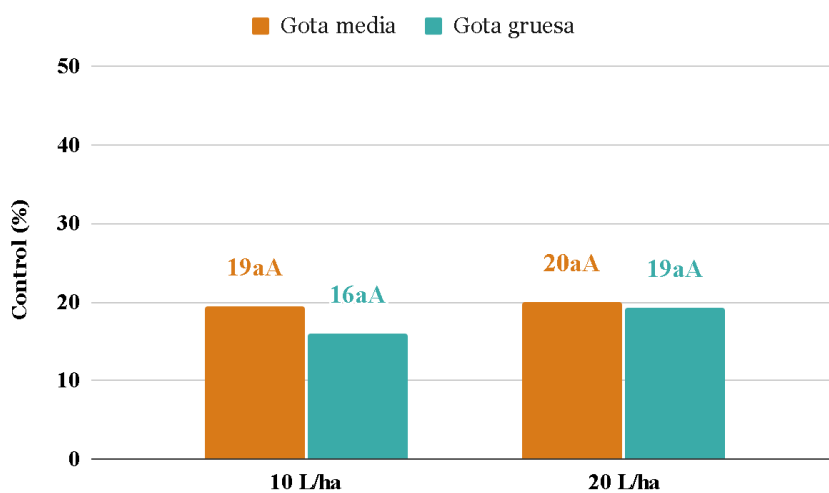
Eficiencia de control en Bowlesia incana mediana días 7 post-aplicación



Nota. Letras minúsculas indican significancia entre tamaños de gota para un mismo volumen de aplicación. Letras mayúsculas indican significancia entre volúmenes para un mismo tamaño de gota.

Figura 15

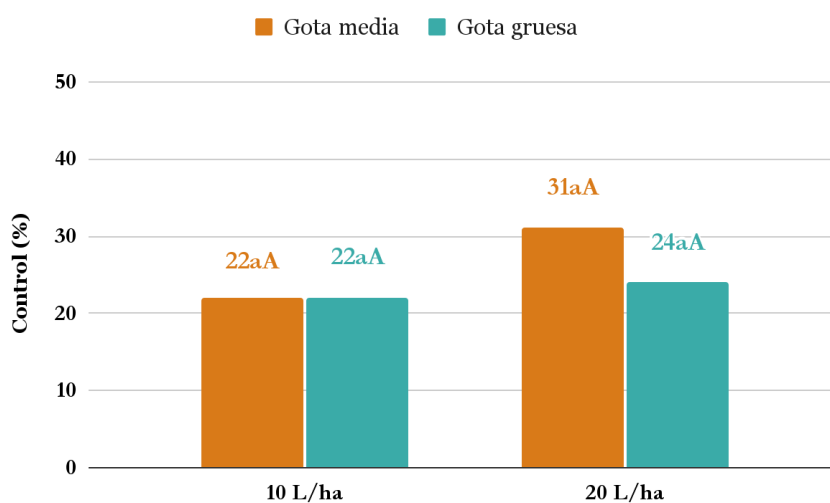
Eficiencia de control en Bowlesia incana mediana días 18 post-aplicación



Nota. Letras minúsculas indican significancia entre tamaños de gota para un mismo volumen de aplicación. Letras mayúsculas indican significancia entre volúmenes para un mismo tamaño de gota.

Figura 16

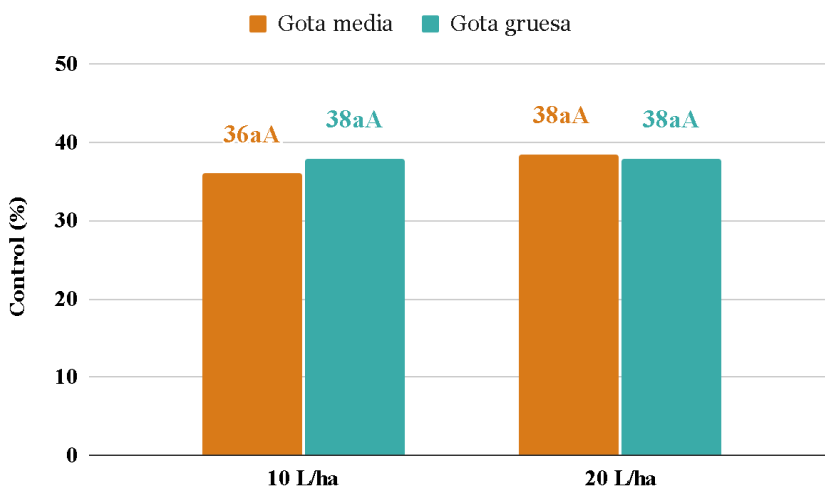
Eficiencia de control en Bowlesia incana mediana días 31 post-aplicación



Nota. Letras minúsculas indican significancia entre tamaños de gota para un mismo volumen de aplicación. Letras mayúsculas indican significancia entre volúmenes para un mismo tamaño de gota.

Figura 17

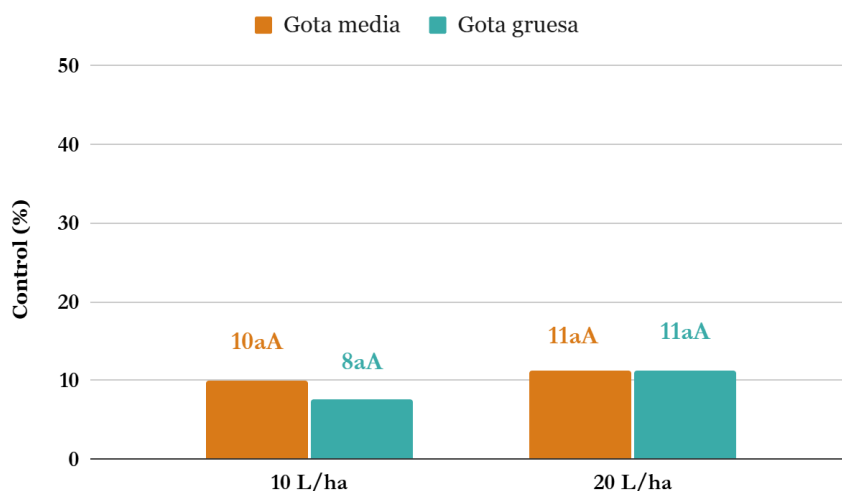
Eficiencia de control en Bowlesia incana mediana días 38 post-aplicación



Nota. Letras minúsculas indican significancia entre tamaños de gota para un mismo volumen de aplicación. Letras mayúsculas indican significancia entre volúmenes para un mismo tamaño de gota.

Figura 18

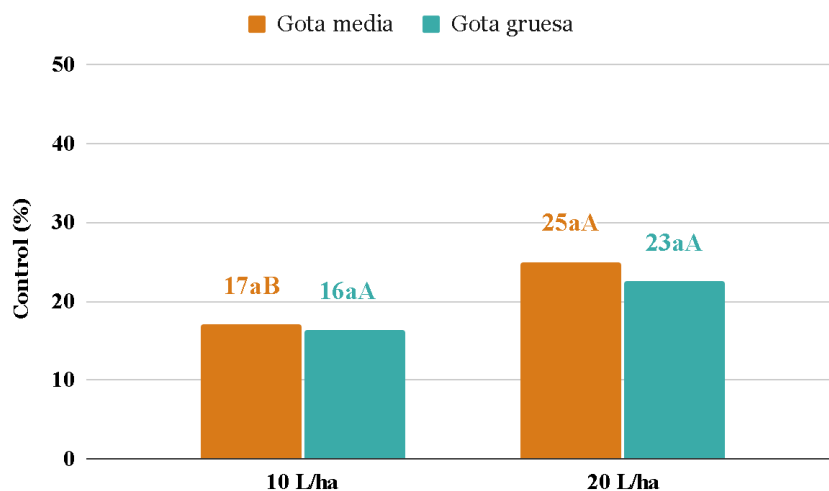
Eficiencia de control en Coronopus didymus chica 7 días post-aplicación



Nota. Letras minúsculas indican significancia entre tamaños de gota para un mismo volumen de aplicación. Letras mayúsculas indican significancia entre volúmenes para un mismo tamaño de gota.

Figura 19

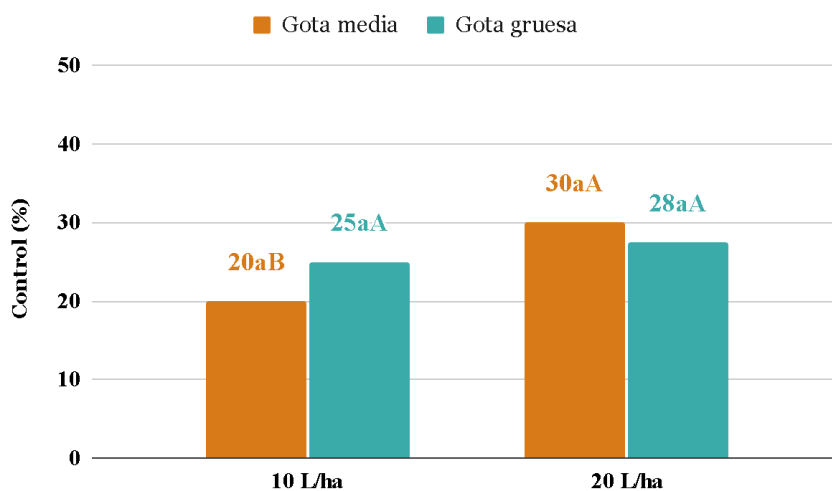
Eficiencia de control en Coronopus didymus chica 18 días post-aplicación



Nota. Letras minúsculas indican significancia entre tamaños de gota para un mismo volumen de aplicación. Letras mayúsculas indican significancia entre volúmenes para un mismo tamaño de gota.

Figura 20

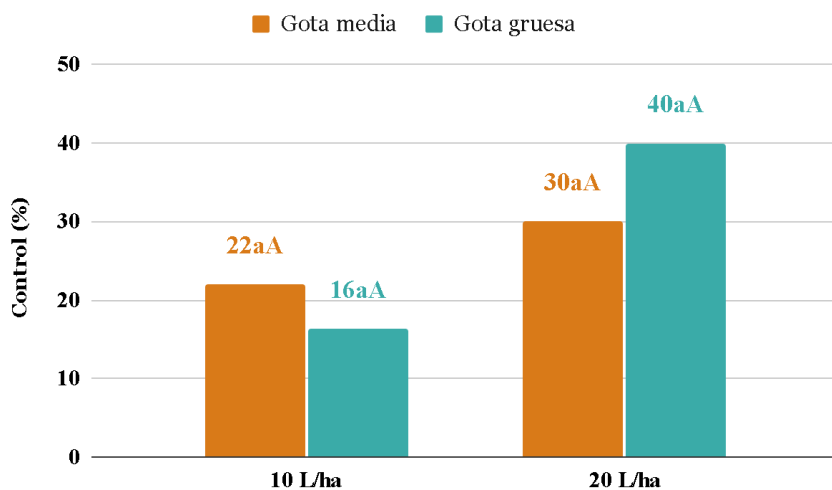
Eficiencia de control en Coronopus didymus chica 31 días post-aplicación



Nota. Letras minúsculas indican significancia entre tamaños de gota para un mismo volumen de aplicación. Letras mayúsculas indican significancia entre volúmenes para un mismo tamaño de gota.

Figura 21

Eficiencia de control en Coronopus didymus chica 38 días post-aplicación



Nota. Letras minúsculas indican significancia entre tamaños de gota para un mismo volumen de aplicación. Letras mayúsculas indican significancia entre volúmenes para un mismo tamaño de gota.

Primeramente, en base a la recopilación de datos estadísticos presentados, se puede afirmar que no se lograron niveles de control satisfactorios en ninguno de los tratamientos realizados. A pesar de esto, se pudo observar una evolución en el efecto de

los herbicidas utilizados dado a que se tratan de productos de acción sistémica que se desencadena con el pasar de los días. Al igual que el experimento 1, estos resultados se explican por un conjunto de factores que afectan la precisión de la aplicación y la eficacia del herbicida una vez aplicado.

Una de las variables más importantes fue la temperatura de igual manera que en el ensayo 1. La evaluación visual de control abarcó los últimos 6 días de Julio (la aplicación fue el 25 de Julio) y todo el mes de Agosto, donde las temperaturas medias fueron de 11,5 °C y 12,9 °C respectivamente. Se debe destacar dichos valores, ya que como se mencionó anteriormente, temperaturas así de bajas afectan significativamente el metabolismo de las malezas y por ende la translocación de los productos químicos para un control eficaz. Además, a pesar de que dichos datos son un promedio mensual, los días que efectivamente hubo temperaturas mayores a 15 o 20°C, fueron muy escasos.

En segundo lugar, contemplando el número de impactos por unidad de superficie, se pudo constatar que dicho parámetro no fue limitante. En los 4 tratamientos en general se obtuvieron densidades de gota superiores al rango mencionado previamente. Es probable que las diferencias en esta variable con respecto al primer experimento estén relacionadas a una menor influencia del viento durante todo el ensayo.

Las dosis utilizadas para este ensayo fueron muy similares (0,8 L/ha 2,4-DB y 0,4 L/ha de Flumetsulam) a las del primer experimento, donde el 2,4-DB estuvo un poco por debajo de la dosis recomendada. Al igual que el experimento 1, el bajo control de las malezas presentes puede estar explicado en parte por una subdosis del herbicida postemergente, y no debe descartarse, una posible expresión de resistencia, porque estos herbicidas son los únicos que pueden ser usados en la postemergencia de pasturas mezclas, con buena selectividad y su uso viene siendo repetido durante muchos años en la rotación pastoril.

En cuanto a volumen de aplicación, se observa una escasa tendencia en alguna evaluación a favor de los 20 L/ha, pero sin diferencias significativas en el control de las malezas al modificar dicha variable. Esto es respaldado por trabajos como el de Jeevan et al. (2023a) en el que se comparan aplicaciones con dron usando volúmenes de 15 l/ha y 20 l/ha evidenciándose una eficiencia de control sin diferencias estadísticas. Además, estudios mencionados como los de Paul et al. (2024) y Carneiro et al. (2024), resultan

complementarios en cuanto al hecho de que el volumen tampoco afectó la eficiencia de control.

Por otra parte, los resultados evidencian que la variación en el tamaño de gota no tiene un impacto significativo en el control de las malezas por sí solo. Esto lo sostienen autores como Gibbs et al. (2023). En dicho trabajo, los investigadores afirman que la influencia del tamaño de gota sobre la eficiencia de control es dependiente del producto utilizado y de la maleza objetivo. De la misma manera, Ferguson et al. (2018), encontraron que, para algunos herbicidas sistémicos, donde cada uno fue aplicado en distintas configuraciones de tamaño de gota, no se observó un efecto significativo al variar dicho parámetro sobre el control de malezas anuales.

Sin embargo, cabe aclarar que en el caso particular de *Bowlesia incana chica*, existen diferencias estadísticas al modificar el tamaño de gota dentro de un volumen de aplicación de 20 L/ha, donde la utilización del tamaño de gota grueso determinó un mayor control que la gota media. Si bien esto depende del herbicida empleado y la maleza a controlar, se ve respaldado por Creech et al (2016), los cuales obtuvieron como resultado que al aplicar con 2,4-D, se registró un aumento del 12% en el control cuando se aumentó el tamaño de gota. Contrariamente a esto último, en el ensayo no se observaron diferencias causadas por el tamaño de las gotas cuando se aplicó con un volumen de 10 L/ha, lo que demuestra la interacción de las variables estudiadas.

5 CONCLUSIONES

En el marco de las condiciones experimentales estudiadas para ambos ensayos, se destaca que el volumen de aplicación no fue un parámetro determinante en lo que respecta al control de malezas en praderas en implantación. Sin embargo, la configuración del volumen de aplicación podría tener influencia en los resultados dependiendo de la maleza (especie y porte) y las condiciones meteorológicas durante y post- aplicación.

Por otro lado, en cuanto a tamaño de gota, tampoco se pudo determinar un efecto significativo de esta variable sobre la eficiencia de control. Al igual que el volumen de aplicación, su impacto en los resultados depende de las circunstancias de la aplicación. En el caso particular de *Bowlesia incana* de desarrollo menor en el experimento 2, se observó el único caso de un mayor nivel de control al aumentar el tamaño de gota a 500 μ m fijando el volumen de aplicación en 20 L/ha. Todo esto remarca la necesidad de promover el uso de configuraciones de tamaños de gota más gruesos para disminuir el riesgo de deriva ya que no se está afectando la eficiencia de control.

En relación a los impactos por unidad de superficie, se constató una diferencia entre experimentos principalmente asociada al factor viento. Teniendo esto en cuenta, bajo condiciones meteorológicas favorables para la aplicación, no hubo limitantes para el herbicida post-emergente en cuanto al número de gotas que llegaron al área objetivo bajo ninguna configuración de los parámetros volumen de aplicación y tamaño de gota. Además, destacar que en algunas situaciones donde se presentaron malezas de gran porte, la tasa de recuperación tuvo una mayor influencia relativa sobre el nivel de control en comparación al efecto que tuvo la densidad de gotas.

En conclusión, se considera que se debería seguir investigando sobre la optimización de las aplicaciones con dron ya que representa una herramienta con un gran potencial de mejora en su eficiencia de trabajo, además de tener grandes ventajas logísticas-operativas.

6 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ahmad, F., Qiu, B., Dong, X., Ma, J., Huang, X., Ahmed, S., & Ali Chandio, F. (2020). Effect of operational parameters of UAV sprayer on spray deposition pattern in target and off-target zones during outer field weed control application. *Computers and Electronics in Agriculture*, 172, Artículo e105350. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2020.105350>
- Bongiovanni, R., Mantovani, E. C., Best, S., Roel, A. (Eds.). (2006). Agricultura de precisión: Integrando conocimientos para una agricultura moderna y sustentable. IICA. <https://www.gisandbeers.com/RRSS/Publicaciones/Agricultura-Moderna-Precision.pdf>
- Carneiro, M. L. D. (2024). *Distância potencial de deriva em aplicações por drone pulverizador no cultivo de milho* [Trabajo final de grado, Universidade Tecnológica Federal do Paraná]. RIUT. <http://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/34660>
- Carneiro, R. P., Garcia, L. C., Dalazen, G., Gomes, J. A., Raetano, C. G., & Boller, W. (2024). Variation of glyphosate spray volume in the drying of ground cover plants with an unmanned aerial vehicle. *Crop Protection*, 181, Artículo e106694. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2024.106694>
- Carvalho, F., Checheto, R., Mota, A., & Antuniasi, U. (2021). *Entendendo a tecnologia de aplicação: Aviões, helicópteros e drones de pulverização* (2ª ed.). FEPAF.
- Chen, S., Lan, Y., Zhou, Z., Ouyang, F., Wang, G., Huang, X., Deng, X., & Cheng, S. (2020). Effect of droplet size parameters on droplet deposition and drift of aerial spraying by using plant protection UAV. *Agronomy*, 10(2), Artículo e195. <https://doi.org/10.3390/agronomy10020195>
- Chen, Y., Qi, H. L., Li, G. Z., & Lan Y. B. (2019). Weed control effect of unmanned aerial vehicle (UAV) application in wheat field. *International Journal of Precision Agricultural Aviation*, 2(2), 25-31. <https://doi.org/10.33440/j.ijpaa.20190202.45>
- Creech, C. F., Moraes, J. G., Henry, R. S., Luck, J. D., & Kruger, G. R. (2016). The impact of spray droplet size on the efficacy of 2,4-D, Atrazine, Chlorimuron-Methyl, Dicamba, Glufosinate, and Saflufenacil. *Weed Technology*, 30(2), 573-586. <https://doi.org/10.1614/WT-D-15-00034.1>
- Cruz, G., Moltó, E., Chueca, P. (2017). Spray pesticide applications in Mediterranean citrus orchards: Canopy deposition and off-target losses. *Science of The Total Environment*, 599-600, 1344-1362. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.05.029>
- Cunha, J. P. A. R., Reis, E. F., & de Oliveira Santos, R. (2006). Controle químico da ferrugem asiática da soja em função de ponta de pulverização e de volume de calda. *Ciência Rural*, 36(5), 1360-1366. <https://doi.org/10.1590/S0103-84782006000500003>

- Cuthill SA. (2024). *Cuthill hydroreader* (2.0) [Software]. Instituto Pladema. <https://www.cuthill.com.ar/hydroreader/>
- Derksen, R. C., & Sanderson, J. P. (1996). Volume, speed, and distribution technique effects on poinsettia foliar deposits. *Transactions of the ASABE*, 39(1), 5-9. <https://doi.org/10.13031/2013.27473>
- DJI Agriculture. (s.f.). *DJI SmartFarm* (4.8.0) [Software]. <https://ag.dji.com/smartfarm-web?site=ag&from=nav>
- Ferguson, J. C., Chechetto, R. G., Adkins, S. W., Hewitt, A. J., Chauhan, B. S., Kruger, G. R., & O'Donnell, C. C. (2018). Effect of spray droplet size on herbicide efficacy on four winter annual grasses. *Crop Protection*, 112, 118-124. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2018.05.020>
- Ganie, Z. A., Jugulam, M., & Jhala, A. J. (2017). Temperature influences efficacy, absorption, and translocation of 2,4-D or Glyphosate in Glyphosate-Resistant and Glyphosate-Susceptible Common Ragweed (*Ambrosia artemisiifolia*) and Giant Ragweed (*Ambrosia trifida*). *Weed Science*, 65(5), 588-602. <https://doi.org/10.1017/wsc.2017.32>
- García-Munguía, A., Guerra-Ávila, P. L., Islas-Ojeda, E., Flores-Sánchez, J. L., Vázquez-Martínez, O., García-Munguía, A. M., & García-Munguía, O. (2024). A review of drone technology and operation processes in agricultural crop spraying. *Drones*, 8(11), Artículo e674. https://www.mdpi.com/2504-446X/8/11/674?utm_source
- Gibbs, J., Peters, T. M., & Heck, L. P. (2023). Comparison of droplet size, coverage, and drift potential from UAV Application methods and ground application methods on row crops. *Transactions of the ASABE*, 64(3), 819-828. <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC10476208/>
- Guebsi, R., Mami, S., & Chokmani, K. (2024). Drones in precision agriculture: A comprehensive review of applications, technologies, and challenges. *Drones*, 8(11), Artículo e686. <https://doi.org/10.3390/drones8110686>
- Hunter, J. E., Gannon, T. W., Richardson, R. J., Yelverton, F., & Leon, R. G. (2019). Coverage and drift potential associated with nozzle and speed selection for herbicide applications using an unmanned aerial sprayer. *Weed Technology*, 34(2), 235-240. <https://doi.org/10.1017/wet.2019.101>
- Jeevan, N., Pazhanivelan, S., Kumaraperumal, R., Ragunath, K., Arthanari, P. M., Sritharan, N., Karthikkumar, A., & Manikandan, S. (2023a). Effect of different herbicide spray volumes on weed control efficiency of a battery-operated Unmanned aerial vehicle sprayer in transplanted rice (*Oryza sativa* L.). *Journal of Applied & Natural Science*, 15(3), 972-977. <https://doi.org/10.31018/jans.v15i3.4753>

- Jeevan, N., Pazhanivelan, S., Kumaraperumal, R., Rangunath, K., Arthanari, P. M., Sritharan, N., Karthikkumar, A., & Manikandan, S. (2023b). Effect of different spray volumes on deposition characteristics of a fuel-operated UAV sprayer using herbicides in transplanted rice (*Oryza sativa*). *Indian Journal of Agricultural Sciences*, 93(7), 720-725. <https://doi.org/10.56093/ijas.v93i7.133995>
- Martin, D. E., Woldt, W. E., & Latheef, M. A. (2019). Effect of application height and ground speed on spray pattern and droplet spectra from remotely piloted aerial application systems. *Drones*, 3(4), Artículo e83. <https://doi.org/10.3390/drones3040083>
- Meng, Y., Su, J., Song, J., Chen, W., & Lan, Y. (2020). Experimental evaluation of UAV spraying for peach trees of different shapes: Effects of operational parameters on droplet distribution. *Computers and Electronics in Agriculture*, 170, Artículo e105282. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2020.105282>
- Merani, V. H., Guilino, F., Ponce, M., Vázquez, J. M., Larrieu, L., Giambelluca, A. L., Platz, P., Tour, S., & Mur, M. (2021). Pulverizaciones agrícolas: Comparación de metodologías para su evaluación. *Chilean Journal of Agricultural & Animal Sciences*, 37(3), 325-337. <https://doi.org/10.29393/CHJAAS37-33PAVM90033>
- Merani, V. H., Mur, M., Ramirez, F., Ponce, M. J., Guilino, F., & Palancar, T. C. (2019). Efecto de variables operativas sobre la calidad de aplicación y la deriva en la pulverización de agroquímicos. *AgriScientia*, 36(2), 45-55. <https://doi.org/10.31047/1668.298x.v36.n2.19093>
- Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca. (2023, 29 de diciembre). *Comunicado a productores y empresas proveedoras de aplicación con drones*. <https://www.gub.uy/ministerio-ganaderia-agricultura-pesca/comunicacion/noticias/comunicado-productores-empresas-proveedoras-aplicacion-drones>
- Minta Reino, J. C. (2022). *Aplicación de herbicidas con drones en el Ecuador* [Trabajo final de grado, Universidad Técnica de Babahoyo]. UTB. <https://dspace.utb.edu.ec/bitstream/handle/49000/13342/E-UTB-FACIAG-ING%20AGRON-000479.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Núñez, S., & Maeso, D. (2010). Los plaguicidas y su potencial impacto ambiental. *Revista INIA*, (21), 36-40. <https://www.inia.uy/sites/default/files/publications/2024-06/revista-INIA-21.pdf>
- Olivet, J. (2018). *Condiciones óptimas de aplicación para pulverizadores hidroneumáticos en fruticultura* [Conjunto de datos]. MGAP. https://www.gub.uy/ministerio-ambiente/sites/ministerio-ambiente/files/documentos/publicaciones/Cartilla_Condiciones_optimas_de_aplicacion_para_pulverizadores_hidroneumaticos_en_fruticultura.pdf
- Olivet, J. J., Villalba, J., & Schenzer, D. (2013). *Tecnología de aplicación de agroquímicos en cultivos extensivos*. INIA

- Palacios-Zuñiga, R. M., Polito, R. A., Araújo, B. O. N., Schröder, E. P., Burkert, V. G., Avila, L. A., & Camargo, E. R. (2024). Is herbicide applied using drones as efficient as when applied using terrestrial systems? *Advances in Weed Science*, 42(22), Artículo e020240010. <https://doi.org/10.51694/AdvWeedSci/2024;42:00022>
- Paul, R. A. I., Palanisamy, M. A., Peramaiyan, P., Kumar, V., Bagavathiannan, M., Gurjar, B., Vijayakumar, S., Djanaguiraman, M., Pazhanivelan, S., & Ramasamy, K. (2024). Spray volume optimization with UAV-based herbicide application for effective droplet deposition and weed control in direct-seeded rice. *Frontiers in agronomy*, 6, Artículo e1491842. <https://doi.org/10.3389/fagro.2024.1491842>
- Peterson, M. A., McMaster, S. A., Riechers, D. E., & Skelton, J., Stahlam, P. W. (2016). 2,4-D Past, Present, and Future: A Review. *Weed Technology*, 30(2), 303-345. <https://www.jstor.org/stable/24856067>
- Planas de Martí, S. (2019). Agricultura de precisión y protección de cultivos. *Revista de ingeniería*, 1(47), 10-19. <https://doi.org/10.16924/revinge.47.3>
- Preside. (s.f.). Corteva. <https://www.corteva.com/content/dam/dpagco/corteva/la/uy/es/products/files/etiqueta-preside-uruguay.pdf>
- Shan, C., Wang, G., Wang, H., Xie, Y., Wang, H., Wang, S., Chen, S., & Lan, Y. (2021). Effects of droplet size and spray volume parameters on droplet deposition of wheat herbicide application by using UAV. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*, 14(1), 74-81. <https://doi.org/10.25165/j.ijabe.20211401.6129>
- Stoletniy, I., Olivet, J., & Villalba, J. (2014). Tamaño de gota, volumen de aplicación y uso de adyuvante en la deposición y control de mancha amarilla (*Pyrenophora tritici-repentis*) en trigo. *Agrociencia (Uruguay)*, 18(1), 97-104. <http://www.scielo.edu.uy/pdf/agro/v18n1/v18n1a10.pdf>
- Venceweed Extra. (s.f.). Atanor. https://www.albaugh.com/docs/argentinallibraries/productfiles/label---venceweed-extra---english.pdf?sfvrsn=f9a65ba4_3
- Vera, E., & Zambrano, T. (2025). Impacto de drones en la agricultura: aplicaciones y beneficios en la producción de cultivos. *G-Nerando*, 6(1), 3960-3983. <https://doi.org/10.60100/rcmg.v6i1.583>
- Wang, G., Han, Y., Li, X., Andaloro, J., Chen, P., Hoffmann, W. C., Han, X., Chen, S., & Lan, Y. (2020). Field evaluation of spray drift and environmental impact using an agricultural unmanned aerial vehicle (UAV) sprayer. *Science of the Total Environment*, 737, Artículo e13979. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.139793>
- Wang, G., Lan, Y., Qi, H., Chen, P., Hewitt, A., & Han, Y. (2019). Field evaluation of an unmanned aerial vehicle (UAV) sprayer: Effect of spray volume on deposition and the control of pests and disease in wheat. *Pest Management Science*, 75(6), 1546-1555. https://www.researchgate.net/publication/330252784_Field_evaluation_of_an_unmanned_aerial_vehicle_UAV_sprayer_effect_of_spray_volume_on_deposition_and_the_control_of_pests_and_disease_in_wheat

- Yan, Y., Lan, Y., Wang, G., Hussain, M., Wang, H., Yu, X., Shan, C., Wang, B., & Song, C. (2023). Evaluation of the deposition and distribution of spray droplets in citrus orchards by plant protection drones. *Frontiers in Plant Science*, 14, Artículo e1303669. <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1303669>
- Zhiminaicela-Cabrera, J. B., Herrera-Reyes, S., & Valencia, P. E. (2024). Control de Spodoptera Frugiperda mediante insecticida aplicado con drones y aguilón fumigador. *Ciencia en Desarrollo*, 15(1), 13-22. <https://doi.org/10.19053/01217488.v15.n1.2024.16649>
- Zhu, H., Salyani, M., & Fox, R. D. (2011). A portable scanning system for evaluation of spray deposit distribution. *Computers and Electronics in Agriculture*, 76(1), 38-43. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2011.01.003>
- Zorrilla, H. T. (2025, 20 de marzo). Drones volando y énfasis en la tecnología en la Expoactiva. *El País*. <https://rurales.elpais.com.uy/agricultura/drones-volando-y-enfasis-en-la-tecnologia-en-la-expoactiva>