

**UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA**

**FACULTAD DE AGRONOMÍA**

**EVALUACIÓN DE DERIVA DE DIFERENTES CONFIGURACIONES DE  
DRON EN LA APLICACIÓN DE HERBICIDAS**

**por**

**Mario Santiago COSTA RIJO**

**Tomas SCHMIDT BURKHARDT**

**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.) Jorge Volpi

---

Ing. Agr. Alex Hughes

Fecha:

23 de abril de 2026

Estudiante:

---

Mario Santiago Costa Rijo

---

Tomas Schmidt Burkhardt

## AGRADECIMIENTOS

Queremos agradecer a Juana Villalba, nuestra directora de Trabajo Final de Grado por su orientación, acompañamiento y aportes. Por su equipo, ayudando en el día del trabajo a campo.

Agradecer a Alvaro Klaassen por cedernos el campo para poder realizar el trabajo a campo, Ricardo Bachmann por el dron utilizado en este trabajo.

En última instancia queremos agradecer a nuestra familia y seres queridos, por el apoyo y el acompañamiento durante todos estos años de carrera.

## TABLA DE CONTENIDO

PÁGINA DE APROBACIÓN.....	3
AGRADECIMIENTOS .....	4
LISTA DE TABLAS Y FIGURAS .....	7
RESUMEN.....	8
ABSTRACT .....	9
1 INTRODUCCIÓN .....	10
1.1 Objetivos.....	11
1.1.1 Objetivo general .....	11
1.1.2 Objetivos específicos .....	11
2 REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	12
2.1 Aplicaciones con drones .....	12
2.2 Deriva .....	12
2.2.1 Condiciones meteorológicas.....	13
2.2.2 Condiciones operativas del dron relacionadas a la deriva. ....	14
2.3 Algunos resultados de deriva con drones .....	14
2.4 Normativas para la evaluación de deriva.....	16
3 MATERIALES Y MÉTODOS .....	17
3.1 Localización del experimento .....	17
3.2 Diseño experimental y tratamientos .....	17
3.2.1 Características del Dron .....	17
3.2.2 Área de muestreo .....	18
3.3 Procedimiento a campo.....	18
3.3.1 Instalación del experimento.....	18
3.3.2 Descripción del procedimiento a campo .....	19
3.4 Procesamiento de muestras .....	19
3.5 Determinaciones realizadas.....	19
3.5.1 Estimación de tamaño de gota.....	19
3.5.2 Caracterización de las condiciones meteorológicas .....	20
3.6 Análisis estadístico .....	23
4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	25
4.1 Deriva según distancia de la zona objetivo.....	25
4.2 Deriva en altura .....	29

4.3	Análisis del caldo .....	32
4.4	Caracterización de Tamaño de gota .....	33
5	CONCLUSIÓN.....	36
6	BIBLIOGRAFÍA .....	37
7	ANEXO .....	41

## LISTA DE TABLAS Y FIGURAS

<b>Tabla 1</b>	Promedios de temperatura y humedad relativa de cada tratamiento .....	20
<b>Tabla 2</b>	Significancia de los efectos de las variables estudiadas .....	25
<b>Tabla 3</b>	Cantidad de trazador (ciproconazole ng/placa) para la interacción distancia de colecta y velocidad del dron.....	26
<b>Tabla 4</b>	Ciproconazole por distancia expresado como porcentaje de la distancia cero del tratamiento 1 .....	26
<b>Tabla 5</b>	Ciproconazole por distancia expresado como porcentaje de la distancia cero del tratamiento 2 .....	27
<b>Tabla 6</b>	Ciproconazole por distancia expresado como porcentaje de la distancia cero del tratamiento 3 .....	27
<b>Tabla 7</b>	Significancia de los efectos para deriva en altura .....	29
<b>Tabla 8</b>	Cantidad de trazador (ciproconazole ng/placa) para la interacción altura de colecta y velocidad del dron.....	30
<b>Tabla 9</b>	Resultado de la determinación de parámetro de población de gota .....	34
<b>Tabla 10</b>	Resumen de la determinación del tamaño de gota del dron.....	34
<b>Figura 1</b>	Área dónde se realizó el ensayo. ....	18
<b>Figura 2</b>	Velocidad del viento del Tratamiento de 7,2 km/h.....	21
<b>Figura 3</b>	Velocidad del viento del Tratamiento de 21,6 km/h.....	21
<b>Figura 4</b>	Velocidad del viento del Tratamiento de 36 km/h.....	22
<b>Figura 5</b>	Dirección del viento del Tratamiento de 7,2 km/h.....	22
<b>Figura 6</b>	Dirección del viento del Tratamiento de 21,6 km/h.....	23
<b>Figura 7</b>	Dirección del viento del Tratamiento de 36 km/h.....	23
<b>Figura 8</b>	Efecto de la velocidad de avance en la recolección de ciproconazole por distancia.....	28
<b>Figura 9</b>	Efecto de la velocidad manteniendo fijas las otras variables .....	30
<b>Figura 10</b>	Frecuencia de detección de Ciproconazole a la distancia de 100 metros.....	31
<b>Figura 11</b>	Frecuencia de detección de Ciproconazole a la distancia de 150 metros.....	31
<b>Figura 12</b>	Frecuencia de detección de Ciproconazole a la distancia de 200 metros.....	32
<b>Figura 13</b>	Concentración de Ciproconazole en el caldo objetivo y la concentración que realmente se obtuvo .....	33

## RESUMEN

La deriva es una de las principales problemáticas que surgen en las aplicaciones de fitosanitarios con drones, debido a las consecuencias negativas que generan sobre el ambiente y la salud humana. El objetivo de este estudio es la estimación de la deriva de diferentes configuraciones de dron aplicador, evaluado a partir de adaptaciones de normas internacionales, norma ISO 22866-2005. Se evaluaron tres velocidades de avance distintas, 7,2 km/h, 21,6 km/h y 36 km/h. Como trazador para medir deriva se usó el principio activo ciproconazole. Las zonas de recolecta del trazador se colocaron a 0 m, 100 m, 150 m y 200 m de distancia con respecto a la pasada del dron. Y además se caracterizó el tamaño de gota. El experimento se realizó en Colonia Gartental, Rio Negro, Uruguay, con el dron de la marca XAG, modelo p100pro. El experimento se realizó con diseño completamente al azar, donde cada repetición correspondió a la pasada del dron y su correspondiente evaluación de deriva. El resto de las variables se mantuvieron constantes: volumen de aplicación de 12 L/ha, altura de vuelo de 3 metros y tamaño de gota de 230 micras. La colecta en cada distancia fue realizada en 10 placas de Petri separadas por 2 m entre sí. Además, se colocaron a la distancia de 200 m, dispositivos para la colecta de deriva a 1, 2, 3 y 4 m de altura. Las velocidades de aplicación de 21,6 y 36 km/h fueron las dos configuraciones que más deriva produjeron. Dentro de cada distancia, solamente a 100 y 150 metros la velocidad de 36 km/h resultó en diferencias significativas. La cantidad de ciproconazole en las placas fue un 40,8% mayor a la velocidad de 36 km/h comparado a 21,6 km/h. Dentro de cada altura, solamente a la altura de 1 metro y aplicando a 7,2 km/h hubo diferencias significativas. La concentración de ciproconazole en las varillas fue 55 veces mayor a la velocidad de 36 km/h comparado a 21,6 km/h. Altas velocidades de avance en aplicaciones con dron generan mayor deriva.

*Palabras clave:* dron, deriva, velocidad de avance

## ABSTRACT

Drift is one of the main issues that arise in pesticide applications using drones, due to the negative consequences it generates for the environment and human health. The objective of this study is to estimate drift from different drone applicator configurations, evaluated based on adaptations of international standards, specifically ISO 22866-2005. Three different forward speeds were assessed: 7.2 km/h, 21.6 km/h, and 36 km/h. Cyproconazole was used as the tracer to measure drift. Tracer collection zones were placed at 0 m, 100 m, 150 m, and 200 m from the drone's flight path. Droplet size was also characterized. The experiment was conducted in Colonia Gartental, Río Negro, Uruguay, using an XAG P100 Pro drone. A completely randomized design was used, where each replicate corresponded to a drone pass and its corresponding drift evaluation. All other variables were kept constant: application volume of 12 L/ha, flight height of 3 meters, and droplet size of 230 microns. At each distance, drift was collected using 10 Petri dishes spaced 2 meters apart. Additionally, at 200 m, drift collectors were placed at heights of 1, 2, 3, and 4 meters. The application speeds of 21.6 and 36 km/h produced the highest drift. Within each distance, only at 100 and 150 meters did the 36 km/h speed result in significant differences. The amount of cyproconazole on the plates was 40.8% higher at 36 km/h compared to 21.6 km/h. Within each height, significant differences were found only at 1 meter when applying at 7.2 km/h. The concentration of cyproconazole on the rods was 55 times higher at 36 km/h compared to 21.6 km/h. High forward speeds in drone applications generate greater drift.

*Keywords:* drone, drift, flight speed

## 1 INTRODUCCIÓN

En Uruguay, el uso de fitosanitarios en cultivos extensivos es una herramienta fundamental para asegurar buenos rendimientos y calidad de grano, tal como funcionan los sistemas agrícolas en la actualidad.

Uno de los argumentos usados a favor del aumento del uso de drones para aplicaciones de fitosanitarios es la disminución de las pérdidas por pisado de los equipos terrestres, según Cavaglia et al. (2024) en el cultivo de soja existen pérdidas de rendimientos de entre 1,4 % a 3,3 % por el efecto del pisado de plantas, esto varía de acuerdo con la distancia entre líneas de siembra, de la dirección de la aplicación y el ancho de cobertura del equipo. Además del pisado de plantas, el tránsito de la maquinaria dentro de las chacras genera compactación, que también pueden generar pérdidas de rendimiento.

Otras ventajas que trae el uso de drones según Asociación Argentina de Productores en siembra Directa (Aapresid, 2025) en las aplicaciones de fitosanitarios son: la capacidad y la adaptabilidad de operar en zonas de las chacras que los equipos terrestres no pueden acceder ya sea por estado del cultivo, anegamiento o topografía difícil. También tienen la capacidad de realizar aplicaciones precisas o localizadas, haciendo aplicaciones variables por zonas más problemáticas de la chacra. Como la operación del dron se hace de forma remota, la seguridad del operador es mayor, ya que está menos expuesto a los fitosanitarios. También el costo de inversión de todo el equipo de aplicación de un dron es menor comparado al costo de inversión en un avión o un equipo terrestre, además de que los costos de mantenimiento también son menores (Aapresid, 2025).

Sin embargo, una de las principales problemáticas del uso de los drones es la generación de deriva y las consecuencias de ella. Un ejemplo de esta problemática son las prohibiciones que surgen, consecuencia de reclamos y presión social que se genera por los efectos adversos de estas aplicaciones a nivel ambiental y de salud humana. Así es como el Plan de Ordenamiento Territorial de Canelones tiene prohibido el uso de drones agrícolas en la aplicación de fitosanitarios, ya que Canelones es un departamento con muchas subdivisiones de tierras (Gobierno de Canelones, 2024).

En relación con esta problemática, existen varios factores que afectan la generación de deriva durante la aplicación. Los factores que afectan la generación de deriva se podrían agrupar en parámetros operativos como tamaño de gota, velocidad y altura de aplicación y por otra parte, condiciones meteorológicas (viento, temperatura, humedad relativa y estabilidad atmosférica).

Por eso es de vital importancia generar información técnica para poder ajustar los parámetros operativos en función de las condiciones meteorológicas para tener la mayor calidad de aplicación posible y disminuir los riesgos de contaminación, preservando la sustentabilidad del ambiente, así como la salud humana.

## **1.1 Objetivos**

### **1.1.1 Objetivo general**

Estimación de la deriva de diferentes configuraciones de dron aplicador, evaluado a partir de adaptaciones de normas internacionales.

### **1.1.2 Objetivos específicos**

- a. Estimar la deriva a diferentes distancias desde la zona de aplicación para las velocidades de avance de 7,2 km/h, 21,6 km/h y 36 km/h.
- b. Estimar la deriva a diferentes alturas desde la distancia de 200 m.
- c. Caracterización del tamaño de gota

## 2 REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 Aplicaciones con drones

Los drones agrícolas es una tecnología que en el sector del Agro uruguayo está en crecimiento. Esta tecnología es capaz de realizar siembras de cobertura, pulverizaciones y aplicaciones de fertilizantes. La adaptación de esta tecnología es un complemento muy bueno de los equipos terrestres. Por lo tanto, es fundamental la necesidad de capacitar a los futuros operarios de estos drones, para que la tecnología se use de la forma correcta (Plan Agropecuario, 2024).

En los últimos años el interés de la utilización de drones en el ámbito agrícola ha aumentado en el mercado de Uruguay, casi un 300% se incrementaron las ventas en el año 2023 con respecto al 2022 (“Se expande la utilización”, 2024).

La ventaja que tiene esta tecnología sobre otras tecnologías de aplicación es que no está limitada por los terrenos difíciles, ya sea por altas pendientes o por terreno blando (Kong et al., 2020). Además, derivado de la turbulencia que generan las hélices, Yang et al. (2019) mencionan que facilita la penetración de las gotas hacia la canopia del cultivo.

En trabajo realizado por Cedeño-Sabando et al. (2020) sobre evaluación de distribución de gotas de plaguicida en el cultivo de maíz se observó que las aplicaciones con dron respecto a pulverización mecánica determinaban mayor penetración en la parte inferior del cultivo, lo que refuerza los datos experimentales mencionados antes de Yang et al. (2019).

Ríos-Hernández (2021) analizó las capacidades de los drones agrícolas y demostró que alguna de las desventajas o puntos mejorar en los vehículos, está la limitada capacidad de carga y autonomía frente a vehículos pulverizadores terrestres.

Aapresid (2025) menciona aspectos similares y además agrega que la incapacidad del agitado en el tanque del caldo también dificulta las aplicaciones en el caso de formulaciones difíciles, como lo son suspensiones concentradas, polvos mojables y gránulos dispersables. Además, solo permite mezclas simples y dosis bajas, dónde en herbicidas, ésta es la principal problemática, ya que, en algunos casos, dependiendo del herbicida y las malezas presentes, para un control efectivo se necesitan altos caudales por hectárea o mezclas de varios activos.

### 2.2 Deriva

La deriva se define como el movimiento físico de la gota de aspersión la cual no llega a su blanco al momento de la aplicación. Existen dos tipos de deriva, la primera es la deriva por viento, la misma depende de condiciones meteorológicas al momento de la aplicación, la deriva puede ser de pocos metros al lugar de la aplicación hasta kilómetros, la cual se va a depositar sobre organismos no blanco (Leiva, 1995).

El segundo tipo de deriva es por volatilización, puede ocurrir desde el momento de la aplicación hasta horas e incluso días después. Este tipo de deriva generalmente no

crea grandes problemas, en este caso lleva mayor importancia y preocupación los pesticidas que presentan mayor volatilidad (Leiva, 1995). No depende en mayor parte de las condiciones operativas durante la aplicación, sino de las características del producto (presión de vapor) y de las condiciones meteorológicas al momento de la aplicación.

Este concepto de deriva cobra vital importancia cuando se aplican fitosanitarios, considerando que, si estos fitosanitarios llegan a otros lugares que no son el objetivo, pueden generar grandes perjuicios al ambiente y a la salud humana (Lee et al., 2011; Mostafalou & Abdollahi, 2013).

### **2.2.1 Condiciones meteorológicas.**

Balsari et al. (2014) describen que el viento afecta de dos formas las pérdidas de la pulverización por deriva. Por un lado, la velocidad del viento afecta la cantidad de gotas finas que no van a llegar al organismo blanco. Por otro lado, la dirección del viento va a definir hacia dónde se dirigen las gotas finas que no llegaron al organismo blanco, generando así un alto potencial de contaminación en sitios cercanos al lugar de aplicación.

Se recomienda suspender la aplicación con velocidades de viento superiores a 13-14 km/h con equipos no preparados (Noya, 2001).

Esto lo confirma el trabajo de Liu et al. (2021), donde bajo condiciones controladas cuantificaron que la velocidad del viento afectó la cantidad de gotas derivadas. Midieron a tres velocidades de viento distintas, a 7.2 km/h, 14.4 km/h y a 21.6 km/h y a tres distancias, 15 m, 20 m y 30 m, constatando mayor deriva en las aplicaciones a mayores velocidades de viento en cada una de las distancias medidas. A la distancia de 15 m, la mayor deriva fue de 9.71  $\mu\text{L}$  correspondiente a la velocidad de 21.6 km/h y la menor deriva fue de 0.99  $\mu\text{L}$  correspondiente a la velocidad de 7.2 km/h. A la distancia de 20 m para las velocidades de viento de 7.2 km/h, 14.4 km/h y 21.6 km/h la deriva fue de 0.19  $\mu\text{L}$ , 1.68  $\mu\text{L}$  y 4.18  $\mu\text{L}$ , respectivamente. Para la distancia de 30 m esta tendencia se mantuvo, siendo la menor deriva (0.02  $\mu\text{L}$ ) para 7.2 km/h y la mayor deriva (2.36  $\mu\text{L}$ ) para 21.6 km/h.

Balsari et al. (2014) también destacan a la humedad relativa como un factor importante, siendo que cuando la misma es baja las gotas aplicadas son más finas y aumenta el riesgo de deriva.

Por otra parte, altas temperaturas en el aire tienden a levantar las gotas pequeñas y provocar efectos de deriva térmica, por lo tanto, la aplicación está más expuesta a que el efecto velocidad del viento las desplace a lugares no blanco (Balsari et al., 2014).

### **2.2.2 Condiciones operativas del dron relacionadas a la deriva.**

En la operativa de pulverización de las aeronaves se tiende a aplicar una altura aproximada entre 1 a 3 metros sobre el canopeo, una velocidad media de 35 km/h (Agrodrone Uruguay, s.f.).

Según DJI Agriculture (s.f.) los sistemas de aspersores rotativos tienen la capacidad de producir tamaños de gotas entre 50 a 500 micras. Sin embargo, Antuniassi et al. (2025) realizaron pruebas en un túnel de viento para comprobar si el tamaño de gota reportado por el control del dron era realmente el tamaño de gota que el dron aplicaba, para ello utilizaron los modelos T20P y el T40 de la marca DJI. Los resultados obtenidos fueron, que cuando se configuró para un tamaño de gota entre 50 y 100 micras (extremadamente fina), el tamaño real se mantuvo en ese rango, pero a medida que se configuró a tamaños de gotas más grandes, el tamaño real de las gotas no acompañó ese aumento, siendo este siempre menor a lo configurado por el control. El caso más extremo fue para el tamaño de gota configurado a 500 micras (extremadamente gruesa), siendo el tamaño real de 289 micras (media).

### **2.3 Algunos resultados de deriva con drones**

Según experimentos realizados por Wang et al. (2023) la deriva causada por aspersores de tipo rotativos es mayor comparado con aspersores de tipo convencional de aire inducido LV12001. Las pruebas fueron realizadas en las mismas condiciones, una altura operativa de 2 metros y condiciones de viento lateral de 5.4 km/h, 9 km/h y 12,6 km/h. Se demostró una relación lineal entre la velocidad del viento y el porcentaje de deriva, a mayor velocidad de viento fue mayor el porcentaje de deriva. El porcentaje de deriva a 5.4 km/h varió entre 0% y 2%, y en las velocidades de 9 km/h y 12.6 km/h el porcentaje de deriva llegó hasta casi un 20%.

Otros resultados que obtuvieron Wang et al. (2023) fue la reducción de la deriva por el uso de adyuvantes como aceites vegetales, los resultados indicaron reducciones de 66.4% a una velocidad de viento de 12.6 km/h.

En cuanto a los aspersores rotativos, Wang et al. (2020) constataron que a mayor velocidad de rotación de los aspersores se modifica el tamaño de gota. El dron que se utilizó para esta evaluación fue el XAG P20, donde observaron que pasando de velocidades de rotación de 2000 rpm a 17000 rpm el tamaño de gota pasa de extremadamente gruesa a fina, lo cual afecta directamente el potencial de deriva de esas gotas.

Dafsari et al. (2024) evaluaron deriva con drones equipados con boquillas convencionales (XR y AI) bajo condiciones controladas. Sus resultados les permitieron concluir que a medida que la velocidad de aplicación aumenta, la uniformidad de la cobertura se afecta negativamente, compararon velocidades de 7.2 km/h, 10.8 km/h y 14.4 km/h. A medida que aumentaron la altura de vuelo, también aumentó el potencial de deriva y además la cobertura de aplicación fue más dispersa, evaluaron a 2 y 3 metros de

altura. También evaluaron el efecto de la velocidad de rotación de las hélices, concluyendo que, a mayor velocidad de rotación, se afecta la uniformidad en la cobertura de la aplicación.

Relacionado a esta última variable, Sánchez et al. (2021) comentaron que en aplicaciones con drones uno de los factores importantes que influye en la deriva generada es la misma turbulencia generada por el equipo de pulverización, aspecto que depende del canopeo donde se realice la aplicación.

Grant et al. (2022) evaluaron bajo condiciones controladas en un túnel de viento cómo un dron (DJI Agras MG-1P) afectaba la deriva, comparando tres tipos de boquillas diferentes: TeeJet Extended Range (XR) 11001, generando gota fina, Turbo TeeJet (TT) 11001, generando gota media y Lechler air-injected IDK 120-01, generando gota gruesa, bajo condiciones de viento distintas (5,4 km/h, 10,8 km/h y 16,2 km/h. Los resultados obtenidos fueron 55% menos deriva con la gota gruesa comparado a la gota media y la gota media generó 31% menos deriva que la gota fina.

Koo et al. (2024) estudiaron como la altura de vuelo y tipo de boquillas afectó la uniformidad de aplicación, la deriva y el control de malezas. Encontraron una relación negativa entre el total del producto aplicado depositado en el objetivo y la altura de vuelo. Por cada metro que aumentó la altura de vuelo, un 6% menos del producto aplicado se depositó en el objetivo.

En cuanto a la velocidad de aplicación, Teske et al. (2018) elaboraron dos modelos de predicción de deriva y deposición en aplicaciones con drones. Para el dron modelo Aeronavics ICON octocopter, el modelo predijo que una velocidad del viento de 8 km/h y una velocidad de aplicación de más de 18 km/h la eficiencia de aplicación baja a un 40% y la deriva aumenta entre un 40 y 60%.

Li et al. (2022) evaluaron el efecto de velocidad de aplicación en la generación de deriva usando 3 ingredientes activos, dos fungicidas (Azoxistrobin y Difenconazole) y un insecticida (Imidacloprid). Las velocidades de aplicación que se evaluaron fueron 3,6 km/h, 7,2 km/h y 10,8 km/h. Midieron deriva a la distancia de 1 metro, 3 metros, 5 metros, 10 metros, 20 metros y 50 metros. A la distancia de 100 metros midieron deriva en altura, desde los 2 metros hasta los 10 metros. La tendencia en los tres principios activos fue que, hasta los 10 metros, la colecta fue mayor a la velocidad de 3,6 km/h y menos a la velocidad de 10,8 km/h. A partir de los 20 metros hasta los 50 metros, la tendencia se invierte, se recolectó más deriva a la velocidad de 10,8 km/h y menos a la velocidad de 3,6 km/h en los tres principios activos. En las mediciones en altura los autores comentan que a 3 metros y 8 metros fue donde más principio activo se recolectó y a las velocidades de 7,2 km/h y 10,8 km/h.

## 2.4 Normativas para la evaluación de deriva

Para la evaluación de deriva existen normas con indicaciones específicas para la correcta evaluación, en este caso es la norma ISO 22866 (International Organization for Standardization [ISO], 2005). La misma es una norma estandarizada y aprobada que aplica para todo tipo de aplicaciones, ya sean terrestres o aéreas.

Por otra parte, para la evaluación de deriva en drones existe un protocolo establecido por Unmanned Aerial Pesticide Application Spray Drift Task Force (UAPASTF, 2024), llamado Recommendations for Conducting UAV Field Drift Trials, el cual todavía no está aprobado internacionalmente, pero que muchos investigadores ya están utilizando y tiene muchas semejanzas a la norma ISO mencionada.

La norma 22866-2005 (ISO, 2005) indica el principio básico para utilizar un trazador o producto detectable, pulverizar de manera perpendicular al área de ensayo y realizar las mediciones a sotavento a través de colectores en suelo o colectores en altura.

Para la selección del sitio de ensayo se debe tener un área expuesta, sin obstáculos que comprometen el flujo de viento (árboles, construcciones, etc.), la zona en la cual se realiza la colecta debe tener una vegetación menor a 7,5 cm o suelo desnudo y el área de colecta debe tener al menos 20 metros de ancho y 50 metros de largo. La longitud de la franja de aplicación debe ser el doble de la mayor distancia de colecta (ISO, 2005).

Las condiciones meteorológicas para la ejecución del ensayo, entre ellas, la velocidad mínima de viento debe ser de 3.6 km/h con un rango aceptable de velocidad de viento entre 3.6 a 18 km/h, la dirección del viento debe ser perpendicular a la línea de vuelo del dron, con una variación en +/- 30 grados. La temperatura debe rondar entre 5 y 35 grados centígrados. Además, se deben registrar las condiciones meteorológicas durante todo el proceso (ISO, 2005).

### 3 MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1 Localización del experimento

El experimento se realizó en el establecimiento de Álvaro Klaassen, ubicado en Colonia Gartental, Río Negro sobre la ruta 24 km 60.5.

Coordenadas: 32°43'00''S 57°57'38''W.

#### 3.2 Diseño experimental y tratamientos

El experimento se realizó con diseño completamente al azar, donde cada repetición correspondió a la pasada del dron y su correspondiente evaluación de deriva. Los tratamientos evaluados fueron los siguientes:

- a. Tratamiento 1 (T1): velocidad de avance 7.2 km/h.
- b. Tratamiento 2 (T2): velocidad de avance 21.6 km/h.
- c. Tratamiento 3 (T3): velocidad de avance 36 km/h.

El resto de las variables se mantuvieron constantes en todos los tratamientos, altura de vuelo de 3 metros, volumen de aplicación de 12 L/ha y tamaño de gota de 230 micras.

##### 3.2.1 Características del Dron

El dron que se utilizó para realizar los ensayos fue de la marca XAG, modelo p100pro.

Sus dimensiones son de 2927 x 2868 x 323 mm con las cuchillas desplegadas y 893 x 1095 x 345mm con las cuchillas y brazos plegados. Pesa 46 kilogramos con la batería incluida. El material de los brazos está compuesto por fibra de vidrio y carbono, tiene una capacidad de carga útil nominal de 50 kilogramos y 50 litros. La altura de vuelo máxima es de 2000 metros y una velocidad de avance máxima de 50 kilómetros por hora.

El módulo del sistema de pulverización se llama RevoSpray 3. Cuenta con dos boquillas atomizadoras rotativas que generan un tamaño de gota entre 60~400  $\mu\text{m}$  según el entorno operativo real, el flujo de pulverización y otros factores. Tiene dos bombas peristálticas de alta frecuencia que generan un caudal máximo de funcionamiento de 22 litros por minuto.

### 3.2.2 Área de muestreo

El área del muestreo según la norma (ISO, 2005), como fuera mencionado debía ser de 400 metros de largo ya que la colecta de la deriva se realizó a la distancia máxima de 200 metros. Se realizaron 3 pasadas con un ancho operativo de 6 m. Las distancias a las cuales se recolectaron las muestras fueron de 0 metros (colecta en el área objetivo de la aplicación), 100 metros, 150 metros y 200 metros desde la pasada del dron. También se recolectaron muestras en altura, las alturas fueron 1 metro, 2 metros, 3 metros y 4 metros. Los colectores para la altura fueron colocados a una distancia de 200 metros.

#### Figura 1

*Área dónde se realizó el ensayo.*



*Nota.* Adaptado de Google Earth (2025).

### 3.3 Procedimiento a campo.

#### 3.3.1 Instalación del experimento

El ensayo se realizó el día 05.09.25, el montaje del área de muestreo se realizó el día anterior, donde se delimitó el área de recolección. Las placas de Petri usadas como colectores se colocaron perpendiculares a la dirección del viento pronosticada. En consecuencia, las pasadas del dron se planificaron para que sean perpendiculares a la dirección del viento empezando de este a oeste.

En cada distancia de colecta se colocaron 10 placas de Petri distanciadas entre sí a 2 metros. Las placas de Petri utilizadas para este ensayo fueron de 90 milímetros de diámetro. La colecta en altura se realizó con varillas de acero inoxidable de 227 milímetros de largo y 2 milímetros de radio.

Para la determinación de la deriva, se preparó el caldo, usando como trazador, el fungicida Ciproconazole, fungicida perteneciente al grupo de los triazoles a una concentración de 30 cm<sup>3</sup>/ha. Se analizó dureza y pH del agua utilizada para la elaboración del caldo. Metodología analítica utilizada: EA-SMWW2340-DT- Cv01 y SMEWW4500 H+ A respectivamente. Realizado por el Laboratorio Analítico Agroindustrial.

### **3.3.2 Descripción del procedimiento a campo**

Primeramente, para cada tratamiento y repetición se preparó el caldo y se colocaron las placas de Petri y los tubos para cada distancia de recolección. Una vez colocadas todas las placas y tubos se comenzó el vuelo. Durante la ejecución de cada repetición de cada tratamiento se registró la hora exacta para cotejar con las condiciones meteorológicas de ese momento.

Posterior al vuelo, de cada tratamiento y repetición se recolectaron las placas, se le colocaron en el momento su respectiva tapa y se procedió a envolver en Nylon film, con su respectiva identificación para su traslado a laboratorio para la determinación analítica del ciproconazole.

### **3.4 Procesamiento de muestras**

Las muestras de las placas y tubos fueron llevadas y procesadas por el laboratorio de residuos de plaguicidas perteneciente a la división de análisis y diagnóstico de MGAP. Para el análisis de las placas de Petri y varillas se utilizó el método PA-LQ-RP-17: Determinación de la masa de plaguicida en placa de Petri. Detección GC MSMS. La detección mínima del método es 0,004 µg de ciproconazole.

Por otra parte, se analizó el caldo de aplicación para saber su concentración real de trazador.

### **3.5 Determinaciones realizadas**

#### **3.5.1 Estimación de tamaño de gota.**

Para la estimación de tamaño de gota, realizada previo al inicio del ensayo, se colocaron 10 tarjetas hidro sensibles separadas entre sí a 2 metros sobre la distancia 0, paralela a la línea de vuelo y se efectuó una pasada del dron solamente con agua.

Posteriormente se recolectaron las tarjetas y se procesaron con la aplicación CutHill del dispositivo móvil.

### 3.5.2 Caracterización de las condiciones meteorológicas

Para la caracterización de las condiciones meteorológicas se usó una estación meteorológica: Transmisor Meteorológico Response ONETM Modelo 92500. La misma recolecta datos de temperatura, humedad relativa, velocidad y dirección del viento con una frecuencia de 8 datos por segundo. Se colocó a una altura de 2 metros del suelo próxima al área de muestreo.

#### 3.5.2.1 Humedad relativa y temperatura

Con respecto a la temperatura y la humedad relativa, los tres tratamientos se encuentran dentro de las franjas recomendadas para realizar una aplicación (Agriculture Victoria, 2022).

**Tabla 1**

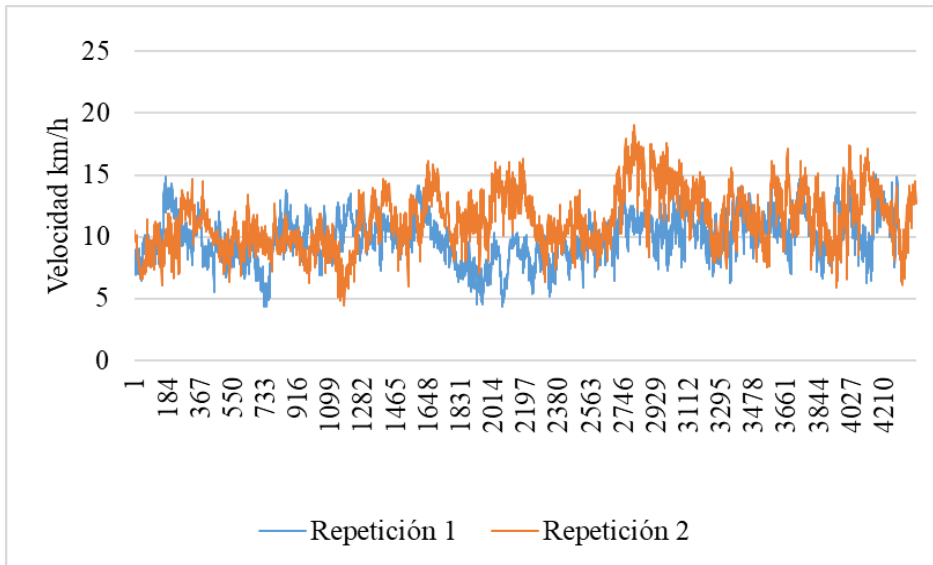
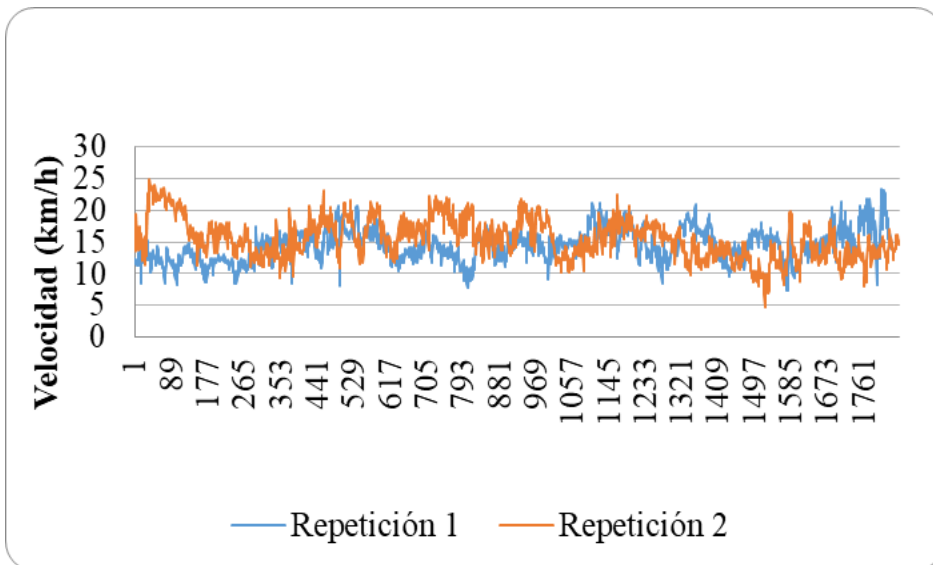
*Promedios de temperatura y humedad relativa de cada tratamiento*

Tratamiento	Temperatura (°C)	Humedad relativa (%)
T1	9,4	66
T2	10,8	52,8
T3	11,5	42,4

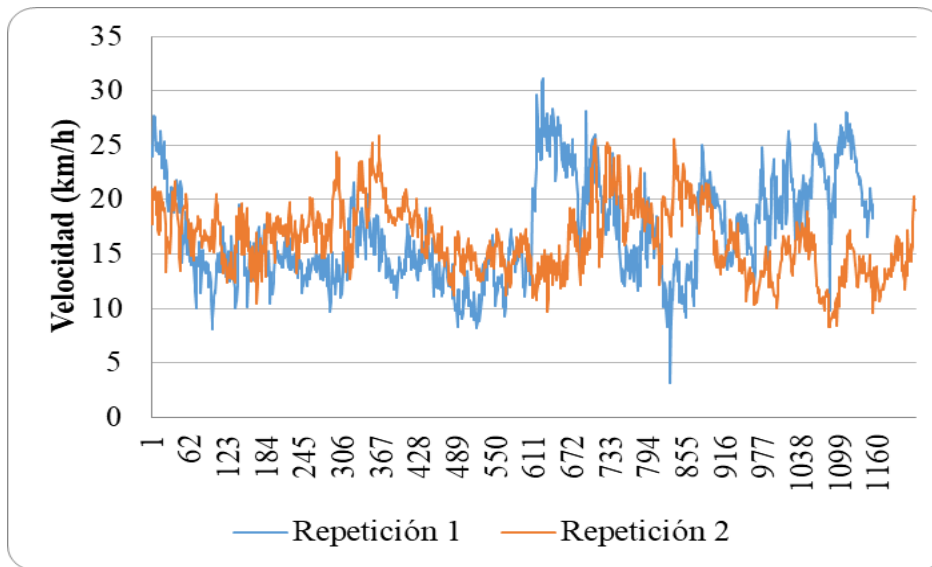
*Nota.* T1: velocidad de aplicación 8,6 km/h; T2: velocidad de aplicación 21,6 km/h; T3: velocidad de aplicación 36 km/h.

#### 3.5.2.2 Velocidad del viento.

En relación con la velocidad del viento, la norma ISO 22866 (ISO, 2005) indica que el rango de la velocidad del viento debe estar entre 3.6 y 18 km/h, como se ve en la Figura 2, la velocidad del viento en el tratamiento 1, en ambas repeticiones se mantuvo dentro del rango indicado por la norma ISO 22866 (ISO, 2005). Pero ya en los tratamientos 2 (Figura 3) y 3 (Figura 4) hubo un aumento de la velocidad del viento por algunos momentos durante los vuelos, siendo el tratamiento 3 (Figura 4) el de las mayores ráfagas de vientos con alta velocidad.

**Figura 2***Velocidad del viento del Tratamiento de 7,2 km/h***Figura 3***Velocidad del viento del Tratamiento de 21,6 km/h*

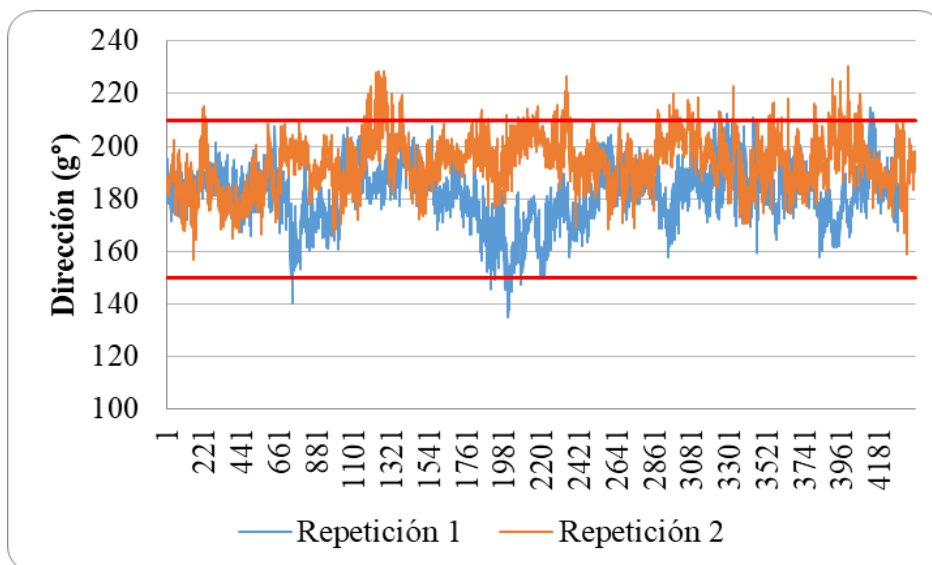
**Figura 4**  
*Velocidad del viento del Tratamiento de 36 km/h*

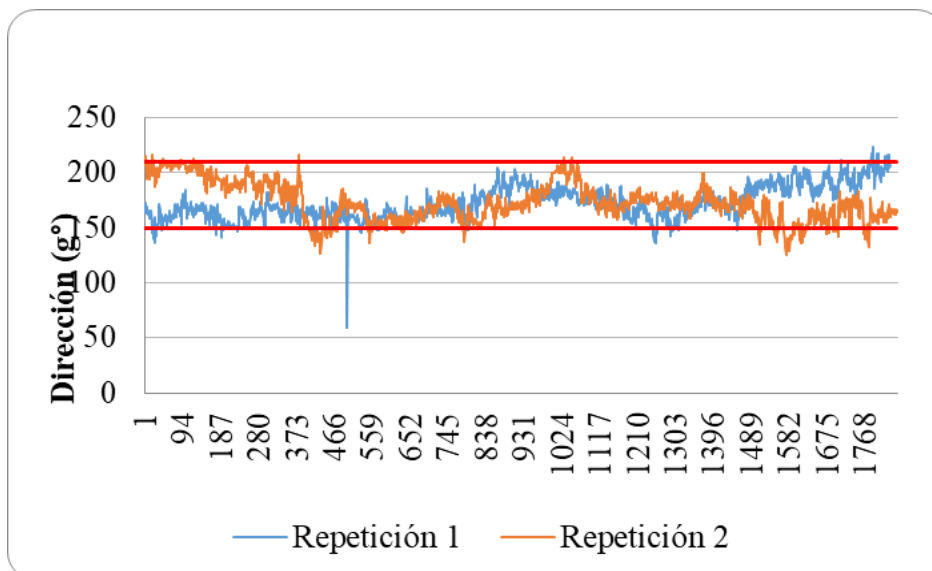
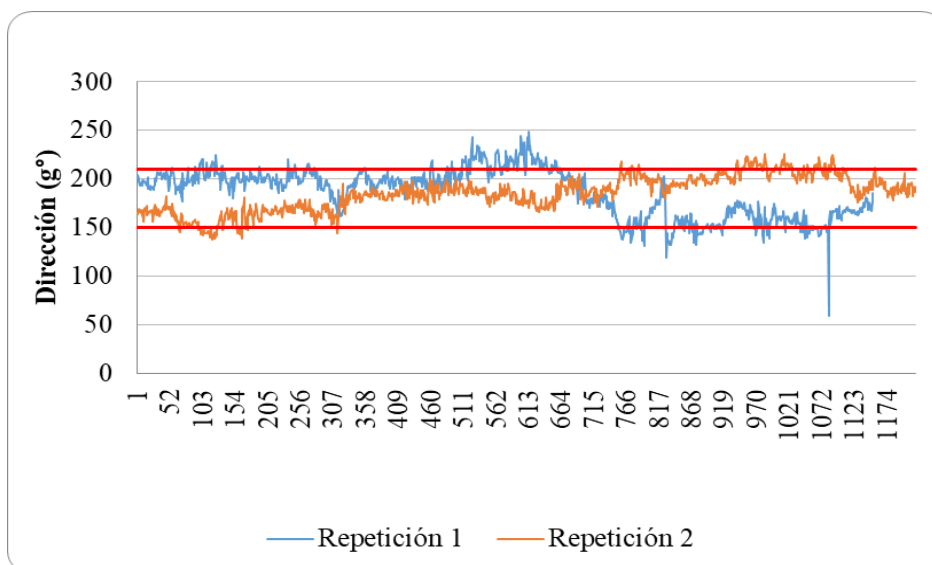


### 3.5.2.3 Dirección del viento.

Como se mencionó anteriormente la dirección del viento estaba pronosticado de sur a norte, por lo tanto, la dirección en grados fue de 180 grados. Como lo dicta la norma ISO 22866 (ISO, 2005) respecto a la variación máxima permitida de  $\pm 30$  grados, por lo tanto, en este ensayo, el límite superior permitido fue 210 grados y el límite inferior fue de 150 grados. En las Figuras 5, 6 y 7 se puede observar cómo fue evolucionando la dirección del viento a lo largo de cada tratamiento y su respectiva repetición. En general, en los tres tratamientos la dirección se mantuvo dentro del rango permitido, teniendo en el Tratamiento 2 (Figura 6) y 3 (Figura 7) picos más extremos de cambio en la dirección del viento.

**Figura 5**  
*Dirección del viento del Tratamiento de 7,2 km/h*



**Figura 6***Dirección del viento del Tratamiento de 21,6 km/h***Figura 7***Dirección del viento del Tratamiento de 36 km/h.*

### 3.6 Análisis estadístico

El análisis estadístico de deriva se realizó mediante el procedimiento GLIMMIX del programa SAS OnDemand for Academics (SAS Institute Inc., Cary, NC, USA), utilizando la concentración como variable de respuesta. Se ajustó un modelo lineal mixto considerando como factores fijos la velocidad de avance y la distancia, así como su interacción. Se asumió una distribución normal (gausiana), cuando se detectaron diferencias significativas entre tratamientos, las medias se compararon mediante la prueba de Tukey con un nivel de significación de  $p \leq 0,05$ .

El análisis de la cantidad colectada en las varillas colocadas a 200 m y en diferentes alturas, fue realizado ajustando un modelo lineal generalizado considerando la cantidad de ciproconazole como variable respuesta. Se asumió una distribución Poisson, como factores fijos se incluyeron la velocidad de avance y la altura de muestreo, así como su interacción. Cuando se detectaron diferencias entre tratamientos, las medias se compararon mediante la prueba de Tukey con un nivel de significación de  $p \leq 0,05$ .

## 4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1 Deriva según distancia de la zona objetivo.

En la tabla siguiente se presentan la significancia de las variables estudiadas, que muestra la interacción entre distancia de colecta de deriva y la velocidad de avance del dron en la deriva generada.

**Tabla 2**

*Significancia de los efectos de las variables estudiadas*

Efecto	Pr>F
Velocidad	0,0563
Distancia	0,0003
Velocidad*Distancia	0,0228

La única velocidad de aplicación que no determinó variaciones de deriva en las diferentes distancias de colecta fue la menor, de 7.2 km/h (Tabla 3). Los demás tratamientos de mayores velocidades de avance del dron, a medida que aumentó la velocidad de aplicación se puede observar que la deriva fue cambiando según la distancia a la que se evaluó.

Al analizar los datos de ciproconazole en el área objetivo, visualizamos que no se encontraron diferencias significativas por la velocidad del dron. Sin embargo, a la distancia de 100 y 150 m se identificaron diferencias para las diferentes velocidades de avance. En ambas distancias, la mayor cantidad de ciproconazole encontrada, indicando mayor deriva fue para la velocidad de 36 km/h, a los 100 m sin diferencia con la velocidad de 21.6 km/h. (Tabla 3). El resultado de mayor deriva con la velocidad de aplicación de 36 km/h, se condice con el modelo de predicción de los autores Teske et al. (2018) siendo mayor la deriva, a mayor velocidad de aplicación. A los 200 m ya la cantidad de ciproconazole encontrado no tuvo efecto de la velocidad de avance del dron.

**Tabla 3**

*Cantidad de trazador (ciproconazole ng/placa) para la interacción distancia de colecta y velocidad del dron*

Velocidad de avance	Distancia (m)			
	0	100	150	200
7.2 km/h	6.885,8 A a	0,45 A b	0,25 A b	0,25 A a
21.6 km/h	13.070,4 A a	24,1 B ab	2,55 C b	1,55 C a
36 km/h	18.382 A a	45,6 B a	8,35 C a	2,25 D a

*Nota.* Medias con letras mayúsculas comparan distancia dentro de cada velocidad y minúsculas comparan dentro de cada distancia las diferentes velocidades de avance (Tukey < 0.05).

Otra forma de visualizar la deriva es expresar la cantidad colectada en diferentes distancias como porcentaje de lo que llegó al área objetivo. Así se presenta en las tablas 5, 6 y 7 porcentaje de Ciproconazole que llegó a la distancia de 100 metros, 150 metros y 200 metros con respecto a la distancia 0 m para cada tratamiento.

**Tabla 4**

*Ciproconazole por distancia expresado como porcentaje de la distancia cero del tratamiento 1*

Tratamiento 1. Velocidad 7.2 km/h		
Distancia (metros)	µg	% con respecto a distancia 0
0	6,8858	100
100	0,00045	0,0070
150	0,00025	0,0039
200	0,00025	0,0034

**Tabla 5**

*Ciproconazole por distancia expresado como porcentaje de la distancia cero del tratamiento 2*

Tratamiento 2. Velocidad 21.6 km/h		
Distancia (metros)	$\mu\text{g}$	% con respecto a distancia 0
0	13,0704	100
100	0,0241	0,19
150	0,00255	0,020
200	0,00155	0,012

**Tabla 6**

*Ciproconazole por distancia expresado como porcentaje de la distancia cero del tratamiento 3*

Tratamiento 3. Velocidad 36 km/h		
Distancia (metros)	$\mu\text{g}$	% con respecto a distancia 0
0	18,382	100
100	0,0456	0,25
150	0,00835	0,046
200	0,00225	0,012

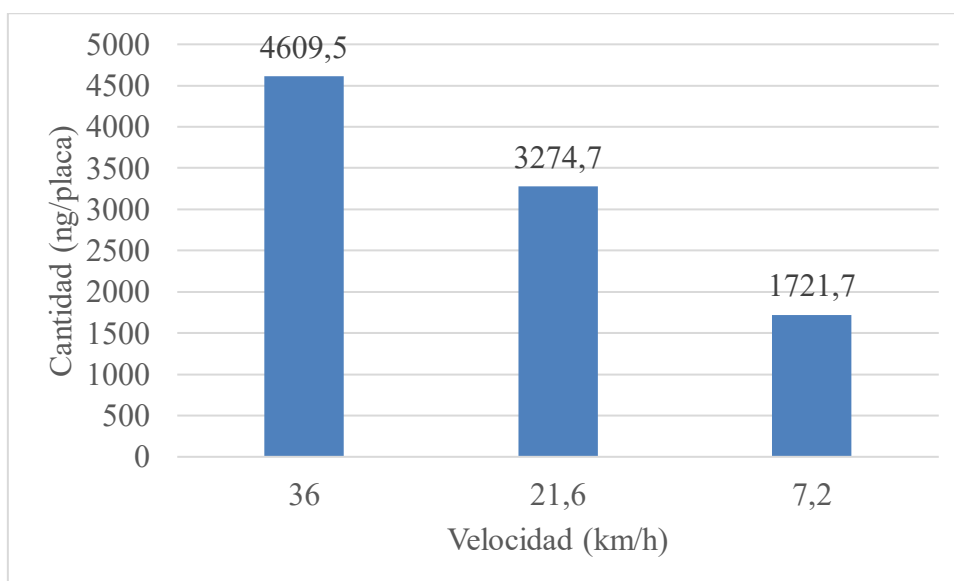
En todos los tratamientos el porcentaje de la concentración de Ciproconazole en cada distancia respecto a la distancia 0 es muy baja, en ningún tratamiento y a ninguna distancia pasa el 1%. Sin embargo, a pesar del bajo porcentaje, existe una tendencia de que a mayor velocidad de aplicación existe un mayor porcentaje que derivó. Ésta misma tendencia fue la que obtuvieron Li et al. (2022), si bien ellos no midieron a altas velocidades de aplicación y solo hasta los 50 metros de distancia.

En este caso (Li et al., 2022), el porcentaje de deriva a partir de los 20 metros tampoco llega al 1%, por lo tanto, los resultados obtenidos en este trabajo, si bien es otro principio activo muestra el mismo comportamiento, incluso a velocidades de aplicación y del viento mayores.

Si bien hubo interacción velocidad-distancia, nos parece importante mostrar el comportamiento de la variable principal. Como lo muestra la figura 8 la tendencia es que a mayor velocidad de aplicación hay mayor concentración de Ciproconazole en las placas. La cantidad es 40,8 % mayor a 36 km que a 21.6 km/h. Lo cual marca una tendencia clara de que a mayor velocidad de aplicación aumenta la deriva.

### Figura 8

*Efecto de la velocidad de avance en la recolección de ciproconazole promedio por distancia*



Si bien se detectó Ciproconazole en todas las distancias y a todas las velocidades de aplicación, las concentraciones son bajas, como se mencionó, en ningún momento la concentración llega al 1% con respecto a la distancia 0. Según University of Hertfordshire (2026), la concentración de la dosis letal 50 para mamíferos es de 350 mg/kg y la crónica a largo plazo es de 2,22 mg/kg. La concentración de Ciproconazole a la distancia de 200 metros en promedio para la velocidad de aplicación de 36 km/h es de 0,0000022 mg. Si bien es difícil la comparación, porque esta colecta es producto de la aplicación de un área de 7.200 m<sup>2</sup>, según las condiciones en las que se desarrolló este experimento parece poco probable que supondría un peligro para la salud humana.

## 4.2 Deriva en altura

En la tabla siguiente se presentan los resultados del análisis estadístico de los datos de deriva en altura, indicando que también hubo interacción entre los factores de estudio.

**Tabla 7**  
*Significancia de los efectos para deriva en altura*

Efectos	Pr>F
Velocidad	0,9994
Altura	1,0000
Velocidad*Altura	0,0476

La única velocidad de aplicación que determinó variaciones de deriva en las diferentes alturas de colecta fue la de 7,2 km/h (Tabla 8). Los demás tratamientos de mayores velocidades de avance del dron no determinaron variaciones de deriva en las diferentes alturas de colectas.

Al analizar la concentración de ciproconazole en las distintas alturas, observamos que solamente a la altura 1 existen diferencias significativas entre velocidades, siendo la de 1 metro de altura la de mayor concentración a la menor velocidad de avance, 7,2 km/h (Tabla 8).

Las velocidades de avance de 21,6 y 36 km/h en general, aunque sin diferencias, fueron las que mayor concentración de ciproconazole recolectado en las alturas 2, 3 y 4. Por lo tanto, una consecuencia de aplicar a mayores velocidades puede ser que más deriva se disperse en altura (Tabla 8). Los resultados obtenidos, conciben con los reportados por Li et al. (2022), quienes reportaron que, a la distancia de 100 metros, entre 3 metros y 8 metros de altura fue donde más principio activo se recolectó a las velocidades de avance de 7,2 y 10,8 km/h.

**Tabla 8**

*Cantidad de trazador (ciproconazole ng/placa) para la interacción altura de colecta y velocidad del dron*

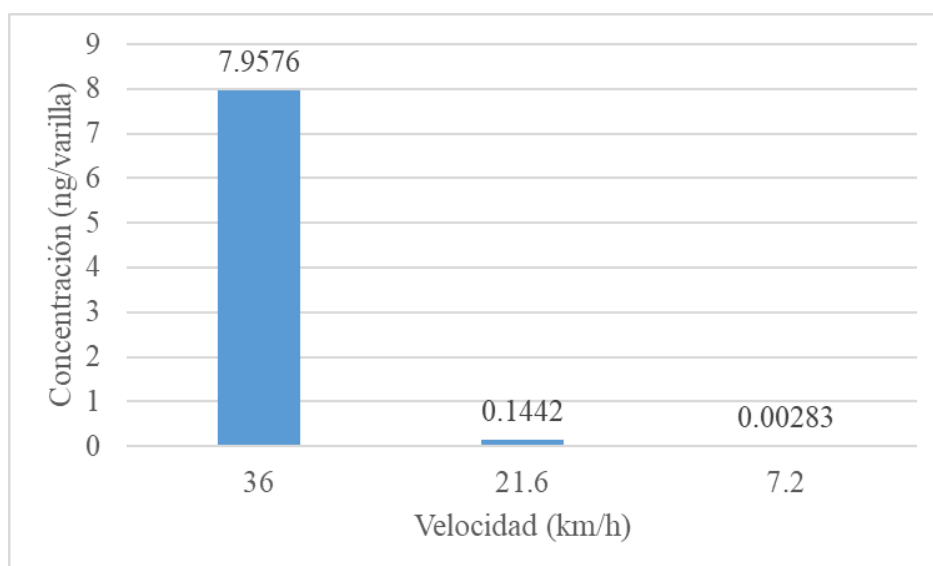
Velocidad de avance (km/h)	Altura (m)			
	1	2	3	4
7.2	16,3834 A a	3,0635 B a	1,13E-6 AB a	1,13E-6 AB a
21.6	6,1984 A b	1,13E-6 A a	5,6836 A a	10,8557 A a
36	6,7133 A b	8,7266 A a	11,8106 A a	5,7951 A a

*Nota.* Medias con letra mayúsculas comparan altura dentro de cada velocidad y minúsculas comparan dentro de cada altura las diferentes velocidades de avance (Tukey < 0.05).

Si bien hubo interacción velocidad-altura, nos parece importante mostrar el comportamiento de la variable principal. Como lo muestra la figura 9 la tendencia es que a mayor velocidad de aplicación hay mayor concentración de ciproconazole en las varillas. La cantidad es 55 veces mayor a 36 km que a 21.6 km/h.

**Figura 9**

*Efecto de la velocidad manteniendo fijas las otras variables*

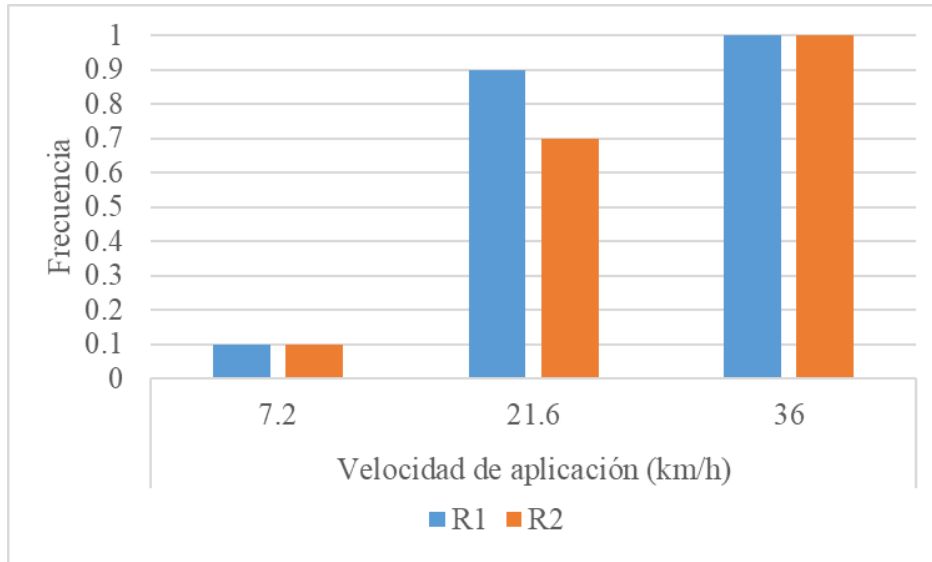


Como se describió en el punto 3.3.1, en cada distancia, las placas de Petri colocadas para la colecta de deriva fueron 10. Por ello, pareció interesante mostrar cuál fue la frecuencia en la que llegó el producto a cada distancia, para entender cómo estaban formados esos promedios de deriva. En las figuras siguientes se presentan los datos de

frecuencia de detección de ciproconazole a cada distancia de cada tratamiento para cada repetición.

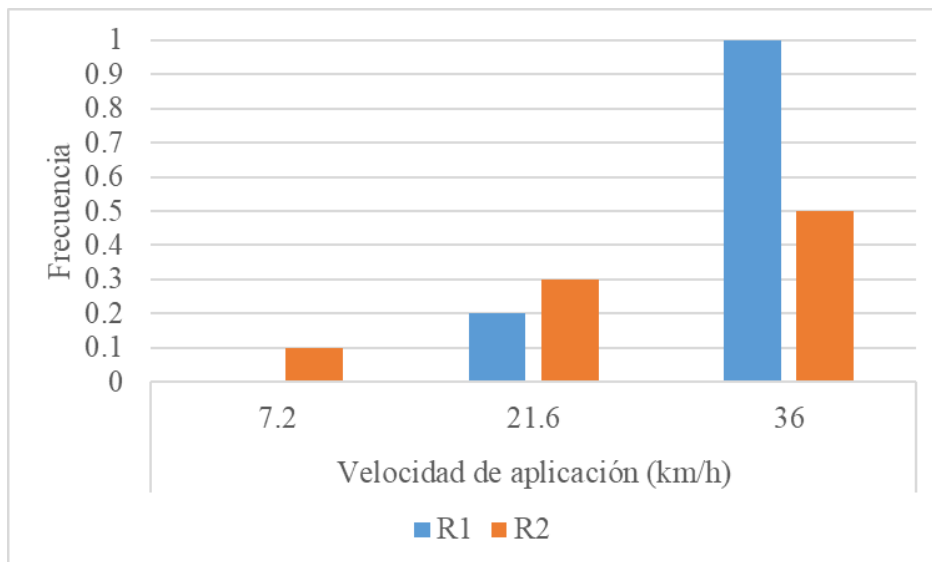
**Figura 10**

*Frecuencia de detección de Ciproconazole a la distancia de 100 metros*



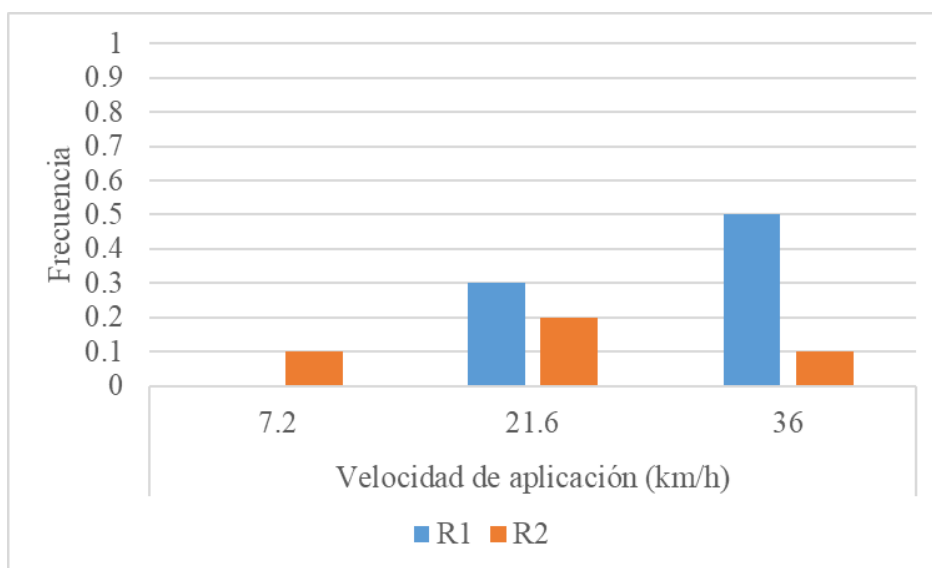
**Figura 11**

*Frecuencia de detección de Ciproconazole a la distancia de 150 metros*



**Figura 12**

*Frecuencia de detección de Ciproconazole a la distancia de 200 metros*



A mayor distancia con respecto a la distancia 0 metros, se puede observar que la frecuencia de detección disminuyó, sin embargo, en las tres distancias se mantuvo la misma tendencia, a medida que aumentó la velocidad de aplicación aumentó la frecuencia de detección de ciproconazole dentro de cada distancia. Indicando que, al aplicar a altas velocidades de avance, la deriva fue más homogénea en todos los colectores. Por lo tanto, una aplicación a 36 km/h podría clasificarse como una aplicación de alto riesgo, ya que aumenta las posibilidades de deriva en distancias mayores.

### 4.3 Análisis del caldo

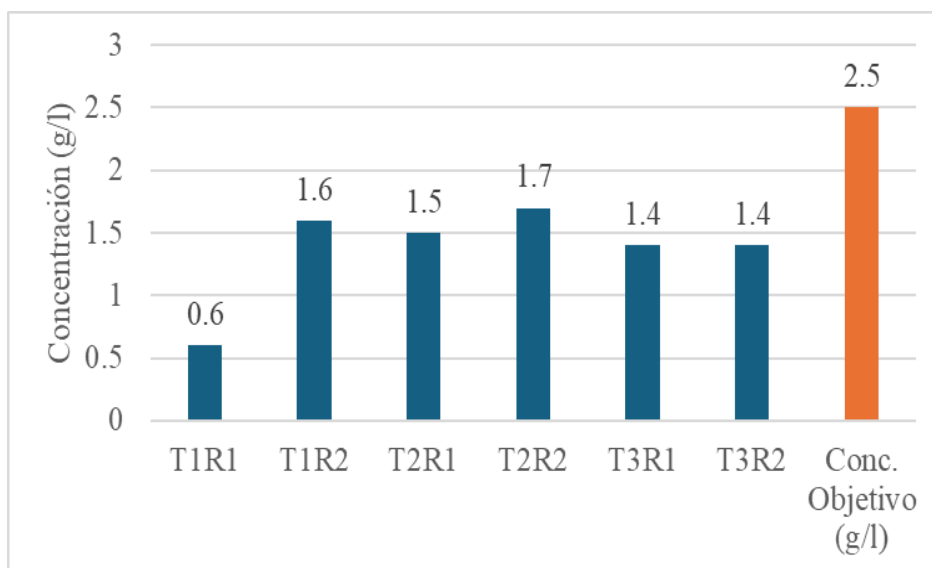
El caldo se preparó en 12 litros/ha a una concentración de 30 g de ingrediente activo, por lo tanto, la concentración de ingrediente activo en un litro era de 2,5 g. Pero los resultados de los análisis de concentración del ingrediente activo en cada repetición no llegaron a la concentración objetivo en ningún caso (Figura 13). En todos los casos se encontraron sólidos en suspensión.

La consecuencia de lo descrito en el párrafo anterior puede deberse a la dureza del agua (Anexo). Jalil Maluf et al. (2019) mencionan que algunos fitosanitarios pueden tener reacciones con los cationes presentes en el agua, formando precipitados insolubles.

Esto pudo agravarse, porque por razones operativas, la determinación analítica del caldo fue realizada varios días después de la aplicación. Por ello, no se consideró ese dato para el cálculo de la deriva, sino solamente se estimó la misma a partir de lo que llegó al área objetivo. Igualmente, resultó un dato interesante, constatar que la dureza del agua genera tal interacción con el activo y que además puede estar agravado por el tiempo de preparación.

**Figura 13**

*Concentración de Ciproconazole en el caldo objetivo y la concentración que realmente se obtuvo*



#### 4.4 Caracterización de Tamaño de gota

Para la determinación de los parámetros de la población de gota, se tomó cada tarjeta hidro sensible y se estimó los parámetros que se muestran en la Tabla 9. El promedio del DV 0,5 fue de 296  $\mu\text{m}$ , con un coeficiente de variación del 22,6% (Tabla 10).

**Tabla 9***Resultado de la determinación de parámetro de población de gota*

<b>Número de tarjetas</b>	<b>Dv 0,1 <math>\mu\text{m}</math></b>	<b>Dv 0,5 <math>\mu\text{m}</math></b>	<b>Dv 0,9 <math>\mu\text{m}</math></b>	<b>Impactos/cm<sup>2</sup></b>
1	134	302	708	9
2	142	256	655	11
3	123	276	827	6
4	251	377	785	6
5	97	193	451	5
6	26	265	715	13
7	135	298	595	8
8	172	401	715	7

**Tabla 10***Resumen de la determinación del tamaño de gota del dron*

	<b>Media (<math>\mu\text{m}</math>)</b>	<b>Desvío estándar (<math>\mu\text{m}</math>)</b>	<b>Coefficiente de variación (%)</b>
<b>Dv 0,1 <math>\mu\text{m}</math></b>	135	63,63	47,1
<b>Dv 0,5 <math>\mu\text{m}</math></b>	296	66,76	22,6
<b>Dv 0,9 <math>\mu\text{m}</math></b>	681	117,2	17,2
<b>Impactos/cm<sup>2</sup></b>	8,125	2,75	33,8

Como lo reportan Antunassi et al. (2025) con los drones que ellos evaluaron el tamaño de gota real no es el que se configura en el control del dron, siendo en general un tamaño de gota mucho menor al configurado. En este trabajo, la estimación del tamaño de gota fue un poco mayor en promedio a lo configurado en el control. Pero como en el trabajo de estos autores (Antunassi et al., 2025) trabajaron con la marca DJI y en esta

evaluación se trabajó con la marca XAG, la comparación es relativa, ya que se trabajaron con marcas de drones diferentes.

## 5 CONCLUSIÓN

En las condiciones que se desarrolló este experimento y en base a los resultados obtenidos se concluye que la velocidad de avance es un factor que afecta la generación de deriva. La velocidad de 36 km/h generó mayor deriva a las distintas distancias evaluadas. Con respecto a la deriva evaluada en altura, se concluye que a altas velocidades de avance la deriva se dispersa más en altura y a bajas velocidades de avance se mantiene más cerca del suelo.

En cuanto a la determinación del tamaño de gota, cabe destacar que lo realizado fue una estimación a campo bajo condiciones (viento, temperatura y humedad relativa) no controladas y con tarjetas hidro sensibles medidas con una aplicación de teléfono celular y fue similar a lo que indicaba el control del dron.

## 6 BIBLIOGRAFÍA

- Agriculture Victoria. (2022). *A guide to using agricultural chemicals in Victoria: Ground-based spray application*.  
[https://agriculture.vic.gov.au/\\_data/assets/pdf\\_file/0010/554923/A-guide-to-using-agricultural-chemicals-in-Victoria-ground-based-spraying\\_Sept-22.pdf](https://agriculture.vic.gov.au/_data/assets/pdf_file/0010/554923/A-guide-to-using-agricultural-chemicals-in-Victoria-ground-based-spraying_Sept-22.pdf)
- Agrodrone Uruguay. (s.f.). *Aplicaciones en cultivo*.  
<https://www.agrodrone.com.uy/servicios/#:~:text=Se%20utiliza%20entre%201%20y,vuelo%20en%20solo%2010%20minutos>
- Antunassi, U., Carvalho, F., Chechetto, R., & Mota, A. (2025). *Entendendo a tecnologia de aplicação: Aeronaves Remotamente Pilotadas (ARPs)*. FEPAF.
- Asociación Argentina de Productores en Siembra Directa. (2025, 3 de abril). *Aplicaciones con drones: Una tecnología que promete ventajas, pero adeuda regulaciones*. <https://www.aapresid.org.ar/blog/aplicaciones-drones-tecnologia-promete-ventajas-adeuda-regulaciones>
- Balsari, P., Marucco, P., Doruchowski, G., Ophoff, H., & Roettele, M. (2014). *Buenas prácticas fitosanitarias para reducir la deriva*. TOPPS.  
<https://studylib.es/doc/6406490/buenas-pr%C3%A1cticas-fitosanitarias---topps>
- Cavaglia, S., Crespo, R., Pons, M., Righi, A., & Morales, A. (2024). Efecto de la pisada de la pulverizadora sobre el rendimiento del cultivo de soja en aplicaciones de fin de ciclo. *FAVE Sección Ciencias Agrarias*, 23, Artículo e0028.  
<https://doi.org/10.14409/fa.2024.23.e0028>
- Cedeño-Sabando, K. V., Mero-Mera, G. A., Vera-Esmeraldas, A. A., & Reyna-Bowen, L. M. (2020). Evaluación de la distribución de gotas en la pulverización de plaguicida en maíz por el método tradicional y por dron. *La Técnica*, (Ed. Esp.), 65-78. <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/8232840.pdf>
- Dafsari, R., Yu, S., Yu, S., Choi, Y., & Lee, J. (2024). Drift potential and coverage ratio analysis of an air induction nozzle under an agricultural drone with various operating condition: An indoor test. *Computers and Electronics in Agriculture*, 224, Artículo e109171. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2024.109171>
- DJI Agriculture. (s.f.). *DJI Agras T50*. <https://ag.dji.com/t50>
- Gobierno de Canelones. (2024, 14 de noviembre). *Conversatorio sobre normativa de pulverizaciones en Canelones*.  
<https://www.imcanelones.gub.uy/noticias/conversatorio-sobre-normativa-fumigacion-canelones>

- Google Earth. (2025). [Colonia Gartental, Río Negro, Uruguay. Mapa.]. Recuperado el 10 de setiembre de 2025, de [https://earth.google.com/web/@-32.71470221,-57.96405069,39.85330866a,1890.01307511d,35y,5.64465466h,0t,0r/data=CgRCAggBOgMKATBCAggASg0I\\_\\_\\_\\_\\_ARAA](https://earth.google.com/web/@-32.71470221,-57.96405069,39.85330866a,1890.01307511d,35y,5.64465466h,0t,0r/data=CgRCAggBOgMKATBCAggASg0I_____ARAA)
- Grant, S., Perine, J., Abi-Akar, F., Lane, T., Kent, B., Mohler, C., Scott, C., & Ritter, A. (2022). A wind-tunnel assessment of parameters that may impact spray drift during UAV pesticide application. *Drones*, 6(8), Artículo e204. <https://doi.org/10.3390/drones6080204>
- International Organization for Standardization. (2005). *ISO 22866: Equipment for crop protection: Methods for field measurement of spray drift*. <https://cdn.standards.iteh.ai/samples/35161/9f4a76b4e9644163b4e3f0e36e251857/ISO-22866-2005.pdf>
- Jalil Maluf, E., Iannone, N., & Etchegoyen, J. (2019). *Aplicaciones agrícolas de calidad y uso de coadyuvantes de última generación*. Rizobacter.
- Kong, H., Yi, L., Lan, Y., Kong, F., & Han, X. (2020). Exploring the operation mode of spraying cotton defoliation agent by plant protection UAV. *International Journal of Precision Agricultural Aviation*, 3(1), 43-48. <https://www.ijpaa.org/index.php/ijpaa/article/view/65>
- Koo, D., Gonçalves, C. G., & Askew, S. D. (2024). Agricultural spray drone deposition, Part 2: Operational height and nozzle influence pattern uniformity, drift and weed control. *Weed Science*, 72(6), 824-832. <https://doi.org/10.1017/wsc.2024.67>
- Lee, S.-J., Mehler, L., Beckman, J., Diebolt-Brown, B., Prado, J., Lackovic, M., Waltz, J., Mulay, P., Schwartz, A., Mitchell, Y., Moraga-McHaley, S., Gergely, R., & Calvert, G. (2011). Acute pesticide illnesses associated with off-target pesticide drift from agricultural applications: 11 States, 1998-2006. *Environmental Health Perspectives*, 119(8), 1162-1169. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC3237344/>
- Leiva, P. (1995). *Manejo de la deriva en la aplicación de agroquímicos*. INTA. [https://aws.agroconsultasonline.com/ticket.html/Microsoft%20Word%20-%20Deriva%20en%20Aplicacion%20de%20Agroquimicos.pdf?op=d&ticket\\_id=267&evento\\_id=542](https://aws.agroconsultasonline.com/ticket.html/Microsoft%20Word%20-%20Deriva%20en%20Aplicacion%20de%20Agroquimicos.pdf?op=d&ticket_id=267&evento_id=542)
- Li, L., Hu, Z., Liu, Q., Yi, T., Han, P., Zhang, R., & Pan, L. (2022). Effect of flight velocity on droplet deposition and drift of combined pesticides sprayed using an unmanned aerial vehicle sprayer in a peach orchard. *Frontiers in Plant Science*, 13, Artículo e981494. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.981494>

- Liu, Q., Chen, S., Wang, G., & Lan, Y. (2021). Drift evaluation of a quadrotor Unmanned Aerial Vehicle (UAV) sprayer: Effect of liquid pressure and wind speed on drift potential based on wind tunnel test. *Applied Sciences*, *11*(16), Artículo e7258. <https://doi.org/10.3390/app11167258>
- Mostafalou, S., & Abdollahi, M. (2013). Pesticides and human chronic diseases: Evidences, mechanisms, and perspectives. *Toxicology and Applied Pharmacology*, *268*(2), 157–177. <https://doi.org/10.1016/j.taap.2013.01.025>
- Noya, R. (2001). Pulverización: La deriva. *Revista del Plan Agropecuario*, (97). [https://www.planagropecuario.org.uy/publicaciones/revista/R97/R97\\_46.htm](https://www.planagropecuario.org.uy/publicaciones/revista/R97/R97_46.htm)
- Plan Agropecuario. (2024). *Programa del Plan Agropecuario del 19 de agosto de 2024* [Video]. Youtube. <https://www.youtube.com/watch?v=cHxIYkV-7B0&t=864s>
- Ríos-Hernández, R. (2021). Uso de los drones o vehículos aéreos no tripulados en la agricultura de precisión. *Revista Ingeniería Agrícola*, *11*(4), Artículo e10. <https://www.redalyc.org/journal/5862/586268743010/html/>
- Sánchez, M., Villalobos, R., Villalta, R., Carr, C., & Guzmán, M. (2021). *Medición de la deriva en aplicaciones aéreas de fungicidas para el combate de la Sigatoka negra con sistema de aeronaves no tripuladas (RPAS-Drones) en el cultivo de banano*. Corbana. <https://www.corbana.co.cr/wp-content/uploads/HD-no-21-2021-Deriva-RPAS-Dron.pdf>
- Se expande la utilización de drones agrícolas en el mercado uruguayo. (2024, 25 de marzo). *Verdenews*. <https://revistaverde.com.uy/agricultura/se-expande-la-utilizacion-de-drones-agricolas-en-el-mercado-uruguayo/>
- Teske, M. E., Wachspress, D. A., & Thistle, H. W. (2018). Prediction of aerial spray release from UAVs. *Transactions of the ASABE*, *61*(3), 909-918. <https://doi.org/10.13031/trans.12701>
- University of Hertfordshire. (2026, 24 de febrero). Cyproconazole (Ref: SAN 619). En *Pesticide Properties DataBase*. <https://sitem.herts.ac.uk/aeru/ppdb/en/Reports/198.htm>
- Unmanned Aerial Pesticide Application Spray Drift Task Force. (2024). *Recommendations for conducting UAV field drift trials*. <https://uapastf.com/wp-content/uploads/2024/09/UAV-Spray-Drift-Field-Trial-Recommendations-1.1-for-UAPASTF-Website-Posting-Sept-2024.pdf>
- Wang, G., Han, Y., Li, X., Andaloro, J., Chen, P., Hoffmann, W., 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 e139793. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.139793>

- Wang, G., Zhang, T., Song, C., Yu, X., Shan, C., Gu, H., & Lan, Y. (2023). Evaluation of spray drift of plant protection drone nozzles based on wind tunnel test. *Agriculture*, 13(3), Artículo e628. <https://doi.org/10.3390/agriculture13030628>
- Yang, S., Zheng, Y., & Liu, X. (2019). Research status and trends of downwash airflow of spray UAVs in agriculture. *International Journal of Precision Agricultural Aviation*, 2(1), 1-8. <https://doi.org/10.33440/j.ijpaa.20190201.0023>

## 7 ANEXO

### Análisis del agua

Con los resultados obtenidos del laboratorio, se categoriza el agua utilizada para la elaboración del caldo como muy dura (Jalil Maluf et al., 2019).

**Tabla A1**

*Resultados del análisis del agua utilizada para el caldo*

<b>Parámetro</b>	<b>Unidad</b>	<b>Resultados</b>
<b>pH</b>		7,2
<b>Alcalinidad total</b>	mg/l CaCO <sub>3</sub>	251,6
<b>Calcio</b>	mg/l	64,3
<b>Magnesio</b>	mg/l	11,8
<b>Dureza total</b>	mg/l CaCO <sub>3</sub>	209,0

### Bibliografía anexo

Jalil Maluf, E., Iannone, N., & Etchegoyen, J. (2019). *Aplicaciones agrícolas de calidad y uso de coadyuvantes de última generación*. Rizobacter.