

Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano
Departamento de Ciencia y Producción Agropecuaria
Ingeniería Agronómica



Proyecto Especial de Graduación
Evaluación del control de malezas con glifosato mediante aplicación con el
dron DJI Agras T10 y asperjador Jacto Columbia 2000

Estudiante

Juan Carlos Rodríguez Irías

Asesores

José Adrián Ordoñez Mgtr.

Rony Francisco Muñoz Molina M.Sc

Honduras, agosto 2023

Autoridades

SERGIO ANDRÉS RODRIGUEZ ROYO

Rector

ANA M. MAIER ACOSTA

Vicepresidenta y Decano Académico

CELIA O. TREJO RAMOS

Directora Departamento de Ciencia y Producción Agropecuaria

HUGO ZAVALA MEMBREÑO

Secretario General

Contenido

Índice de Cuadros	5
Índice de Figuras	6
Índice de Anexos	7
Resumen	8
Abstract	9
Introducción	10
Materiales y Métodos	13
Ubicación	13
Materiales Utilizados	13
Phantom 4RTK.....	13
DJI Agras T10	14
Jacto Columbia 2000	14
DJI TERRA	14
Papel Hidrosensible	14
Cuthill HydoreReader	14
Tratamientos Experimentales y Parcelas	15
Variables	15
Selección del Lote	16
Levantamiento del Mapa	17
Pre-muestreo de Malezas por m ²	17
Preparación del Herbicida Glifosato	17

Evaluación de las Condiciones Climáticas del Lote	17
Cobertura de Aplicación.....	18
Post Muestreo.....	18
Diseño Experimental y Análisis Estadístico	19
Resultados y Discusión.....	20
Cobertura de Aplicación.....	20
Control de Malezas	22
Muestreo de Malezas pre y post aplicación	23
Peso Fresco de Malezas	24
Conclusiones	25
Recomendaciones.....	26
Referencias.....	27
Anexos.....	30

Índice de Cuadros

Cuadro 1 Descripción de los tratamientos por aplicador, volumen de aplicación y altura utilizados en el estudio en lote Tobiata de la finca San Nicolás, Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, Honduras.....	15
Cuadro 2 Condiciones ambientales y parámetros para vuelo de dron tomados el día de aplicación del lote Tobiata de la finca San Nicolás, Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, Honduras.	18
Cuadro 3 Cobertura de gotas por centímetro cuadrado de aplicaciones con dron comparadas al asperjador del lote Tobiata de la finca San Nicolás, Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, Honduras.....	21
Cuadro 4 Media de muestreos de malezas por metro cuadrado antes y 15 días después de aplicación con porcentajes de reducción en cada tratamiento aplicado con dron comparadas al asperjador del lote Tobiata de la finca San Nicolás, Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, Honduras.	22
Cuadro 5 Especies de malezas predominantes encontradas en los muestreos en el lote Tobiata de la finca San Nicolás, Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, Honduras.	23
Cuadro 6 Media de Biomosas de muestreos de malezas encontradas por metro cuadrado después de aplicación de glifosato con dron comparadas al asperjador del lote Tobiata de la finca San Nicolás, Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, Honduras.	24

Índice de Figuras

Figura 1 Ubicación del lote Tobiata de la finca San Nicolás, Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, Honduras.....	13
Figura 2 División de tratamientos en el lote Tobiata de la finca San Nicolás, Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, Honduras.	16

Índice de Anexos

Anexo A Pivote Central, lote Tobiatá	30
Anexo B Asperjador Jacto Columbia	31
Anexo C Dosificación de glifosato	32
Anexo D Papel Hidrosensible	33
Anexo E DJI Agras T10	34
Anexo F DJI Agras T10	35

Resumen

El uso de drones como herramienta de aplicación de agroquímicos, especialmente herbicidas, puede mejorar la seguridad de los agricultores y trabajadores al disminuir la exposición a estos. El objetivo del experimento fue evaluar la efectividad en el control de maleza utilizando dos equipos de aplicación: Dron DJI Agras T10 a dos volúmenes y dos alturas diferentes, y el asperjador Jacto Columbia 2000 con un volumen de 200 L/ha a 0.5 m. El experimento fue realizado en la finca San Nicolás en el lote Tobiata de la Escuela Agrícola Panamericana Zamorano, Honduras. Se dividió aleatoriamente el lote en 15 parcelas con medidas de 60 m de largo y 43 m de ancho. Se realizaron 5 tratamientos: control (A200 - 0.5) correspondiente al asperjador y cuatro tratamientos aplicados con dron a un volumen de 10 y 15 L/ha con alturas de 2 m y 3 m (D15 - 2, D15 - 3, D10 - 3, D10 - 2). El tratamiento A200 - 0.5 obtuvo una mejor cobertura con 73.31 gotas/cm². De los tratamientos aplicados con dron, solamente el D15 - 3 y D10 - 3 no llegaron al mínimo recomendado de 20 -30 gotas/cm² de cobertura ideal, sin embargo, todos los tratamientos tuvieron controles de maleza post aplicación similares. En el pesaje de biomasa de malezas no hubo diferencias significativas, sin embargo el tratamiento A200 - 0.5 y D15 - 3 fueron los que tenían un peso alto de 1 kg debido a la tolerancia de algunas malezas al glifosato.

Palabras clave: Altura, biomasa, cobertura de gota, maleza, dosis, dron.

Abstract

The use of drones as a tool for applying agrochemicals, especially herbicides, can improve the safety of farmers and workers by reducing exposure to them. The objective of the experiment was to evaluate the efficiency in weed control using two application equipment at two volumes and two different heights. The experiment was carried out on the "San Nicolás" farm in the Tobiata plot of the Pan-American Agricultural School, Zamorano Honduras. The plot was randomly divided into 15 subplots measuring 60 m long and 43 m wide. 5 treatments were performed: control (A200 - 0.5) which was the sprinkler with a dose of 200L/ha and four treatments applied with drone at a volume of 10 and 15 L/ha with heights of 2 m and 3 m (D15 - 2, D15 - 3, D10 - 3 and D10 - 2). From the treatments applied with drone, only the D15 - 3 and D10 - 3 did not reach the recommended minimum of 20 -30 drops / cm² of ideal coverage, however, all treatments had similar post-application weed controls. In the weighing of weed biomass there were no significant differences, however the treatment A200 - 0.5 and D15 - 3 were those that had a high weight of 1 kg due to the tolerance of some weeds to glyphosate.

Keywords: Biomass, dose, drone, drop cover, height, weed.

Introducción

El término “Revolución Verde” se utilizó para denominar el incremento de la producción agrícola, la cual se dio en los años 1940 y 1970. Esta tenía como principal soporte la selección genética de nuevas variedades de cultivos de alto rendimiento, asociada a la explotación intensiva permitida por el riego y el uso masivo de fertilizantes químicos, pesticidas, herbicidas, tractores y otra maquinarias pesadas (Ceccon 2008).

El uso de tractores agrícolas es destacable, debido al impacto que la circulación de maquinaria pesada por la parcela agrícola supone la compactación de los primeros centímetros del suelo y la modificación de su funcionamiento hidrológico (Van Dijck y van Asch 2002).

En los tiempos actuales se ha buscado reducir dichos impactos en el suelo, la agricultura 4.0 se refiere a la aplicación de tecnologías digitales avanzadas en la industria agrícola con el objetivo de mejorar la eficiencia, la sostenibilidad y la productividad. Esta tecnología se basa en el uso de sensores para el monitoreo de variables agrícolas o climáticas que incluyen en el ciclo agrícola. Se basan en el procesamiento de grandes volúmenes de información y el desarrollo de aplicaciones para que los agricultores puedan tomar mejores decisiones respecto a la gestión de sus cultivos (Parraguez 2017-2018). Esta nueva era agrícola está impulsada por la integración de diversas tecnologías, como el uso de drones, la inteligencia artificial, el análisis de datos, la robótica y la automatización.

Los drones son un tipo específico de vehículos aéreos no tripulados característicos de esta generación, estos varían su tamaño dependiendo de las necesidades específicas de las tareas agrícolas a realizar, los drones más pequeños tienen dimensiones reducidas de 30 cm a 60 cm y son fácilmente transportables, estos son los adecuados para tareas de mapeos y monitoreo, los drones más grandes tienen envergaduras de uno a dos metros, estos son los adecuados para tareas como aplicaciones de precisión y pulverización de pesticidas (Intagri 2020).

Con el uso de drones como herramienta de control de malezas se puede mejorar la seguridad de los agricultores y trabajadores, ya que reduce la exposición a productos químicos potencialmente

peligrosos (González 2018). También puede ayudar a reducir el impacto ambiental, al disminuir la cantidad de producto químico utilizado y al mejorar la eficacia de la aplicación, lo que significa que se requiere menos producto para cubrir la misma área. Al día de hoy existen en el mercado una serie de marcas que ofrecen este tipo de equipos, un ejemplo de esto es la marca DJI.

El DJI Agras T10 es un ejemplo de este tipo de drones y se ha diseñado específicamente para aplicaciones de pulverización y aplicación de químicos en la agricultura, se ha convertido en una herramienta popular en la época moderna ya que ofrece beneficios significativos en términos de ahorro de tiempo, recursos y mejora en la calidad de aplicación de productos agrícolas (DJI Official 2023), algunas de sus características destacadas pueden incluir sistemas de pulverización de alta precisión, capacidad de vuelo autónomo, sensores y cámaras avanzados para el monitoreo de cultivos, y una amplia cobertura de terreno.

El uso de drones puede ayudar tanto al monitoreo como a la aplicación por lo tanto las plagas de los cultivos como: malezas, insectos, hongos, nematodos, vertebrados y entre otros organismos, que están directamente en competencia por recursos pueden ser controladas con estos equipos antes que estas causen un daño a cultivos, sistemas de riego, campos naturales, viveros, caminos etc.

Las pérdidas económicas más significativas es cuando desvalorizan el producto final del cultivo que se está trabajando y lo encarecen para su control la cual debe invertirse sumas importantes siendo una consecuencia no solo para el productor sino también para el consumidor (Fernández 1982), es por eso que la presencia de malezas debe ser controlada inmediatamente, ya sea mediante uso de herbicidas existiendo en la actualidad más de 400 formulaciones que contienen más de 100 principios activos los cuales pueden inhibir el crecimiento de las malezas, uno de sus principales herbicidas ha sido el glifosato el cual ha tenido un amplio control y una efectividad buena contra las malezas.

El glifosato es un herbicida de amplio espectro utilizado en el cultivo de maíz para el control de maleza y aumentar su productividad agrícola, según Duke y Powles (2008), este actúa inhibiendo una

enzima clave en la síntesis de aminoácidos en las plantas, lo cual lleva a la muerte de malezas y permite el crecimiento sin competencia de los cultivos.

La aplicación de glifosato históricamente se ha hecho con bombas de mochilas hasta asperjadores. El Jacto columbia 2000 es uno de los equipos utilizados para la aplicación de productos químicos, este tiene una barra de 18 metros semi hidráulicas, lo que hace que cubra bastante área en menos tiempo (Columbia Cross 2023).

Dado que el uso de los drones ha demostrado ser una herramienta de gran importancia en la agricultura, y a la falta de estudios certeros que comparen su eficiencia respecto a maquinaria convencional se procedió a hacer evaluaciones de drones, usando el equipo DJI Agras T10 para la aplicación del herbicida glifosato, evaluando diferentes volúmenes, siendo 15 litros los recomendados para el equipo DJI Agras T10 y 10 litros para evaluar si la reducción del volumen tiene efecto sobre la efectividad de aplicaciones, también se evaluó la altura de aplicación en 2 y 3 m, siendo 2 m la altura recomendada por el fabricante, ya que en esta hay menor probabilidad de deriva, y 3 m una altura experimental para comprobar si aumenta la cobertura de gotas durante la aplicación (DJI Official 2023).

El objetivo de este estudio consistió en evaluar la efectividad del control de maleza mediante el uso de glifosato, aplicado con el asperjador Jacto Columbia 2000 y el dron Agras T10 utilizando volúmenes de aplicación y a dos alturas diferentes.

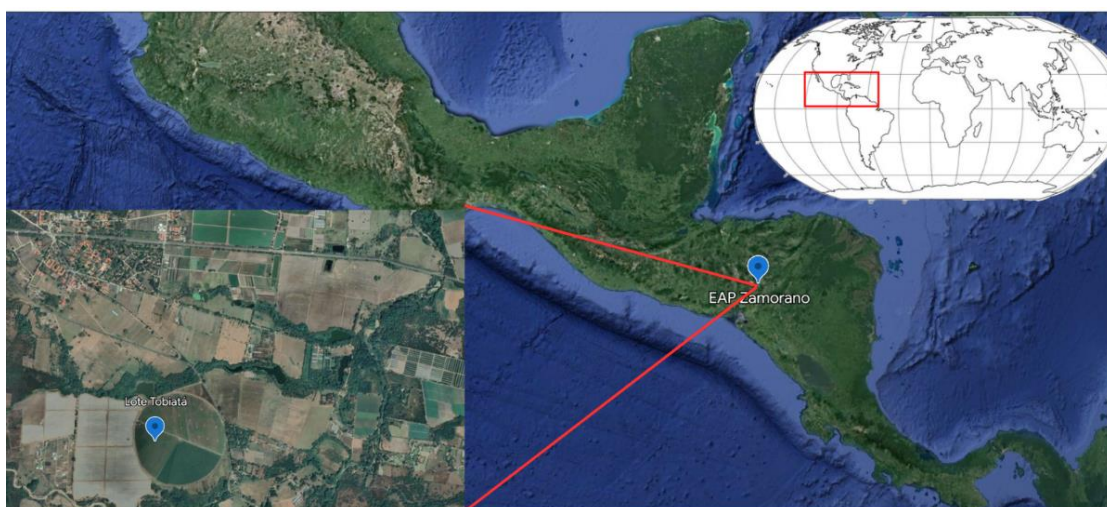
Materiales y Métodos

Ubicación

La investigación se realizó entre mayo y junio del 2023, en el lote Tobiata del pivote central de la finca san Nicolás de la Escuela Agrícola Panamericana Zamorano, que está ubicada en el Valle del río Yeguaré a 30 km de Tegucigalpa, Honduras (Figura 1). Con una elevación de 800 msnm, temperatura promedio de 26° C y precipitación promedio anual de 1,100 mm, con una latitud 14.0167 y longitud de -87.0333.

Figura 1

Ubicación del lote Tobiata de la finca San Nicolás, Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, Honduras.



Materiales Utilizados

Phantom 4RTK

Este dron se utilizó para la recolección de puntos necesarios para el procesamiento del mapa utilizando el software DJI Terra (DJI 2023). El dron elaboró las imágenes aéreas del terreno, usando datos geospaciales los cuales son precisos para el análisis y evolución de las parcelas de estudios.

DJI Agras T10

Este fue el dron con el que se llevaron a cabo las aplicaciones del herbicida glifosato, este cuenta con un tanque de 10 L (Litros) y las boquillas que se utilizaron fueron Y-Jet 110/02.

Jacto Columbia 2000

Es el asperjador el cual cuenta con un aguilón con una envergadura de 18 m y boquillas de abanico plano Y-Jet 110/2 y una velocidad de aplicación fue de 6 km/h donde se aplicaron las pulverizaciones del herbicida glifosato del tratamiento testigo.

DJI TERRA

Este software se utilizó para el mapeo modelado en 3D desarrollado por DJI, se procesaron los mapas generados a partir de los datos que fueron recopilados por el dron Phantom 4RTK en cada una de las parcelas del experimento.

Papel Hidrosensible

El papel hidro sensible con un tamaño de 76 x 26 mm fue colocado en cada una de las parcelas, este con el propósito de recopilar los datos de cobertura en términos de gotas/cm². Este nos proporcionó una media objetiva y cuantificable de la aplicación del herbicida. Se colocaron 6 papeles por unidad experimental.

Cuthill HydoreReader

La aplicación midió la cantidad de gota en los papeles hidro sensibles y así obtener datos precisos sobre la cobertura y distribución en términos de gotas por centímetros cuadrados (Cuthill 2023).

Tratamientos Experimentales y Parcelas

Se determinaron cuatro tratamientos con tres repeticiones cada uno (Cuadro 1), a dos volúmenes (10 y 15 L/ha) los cuales son recomendados por la página oficial de la marca DJI, y dos alturas diferentes (2 y 3 metros) siendo la de 2 m la recomendada por el fabricante (DJI Dron 2023).

Se utilizó como quinto tratamiento el testigo Jacto Columbia 2000 aplicando un volumen de 200 L/ha a 0.5 m de altura, siendo estos los utilizados por la unidad de Servicios Agrícolas de la Escuela Agrícola Panamericana Zamorano para aplicaciones.

Cuadro 1

Descripción de los tratamientos por aplicador, volumen de aplicación y altura utilizados en el estudio en lote Tobiata de la finca San Nicolás, Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, Honduras.

Tratamientos	Aplicador	Volumen (L)	Altura (m)
A200 - 0.5	Asperjador	200	0.5
D15 - 2	Dron	15	2.0
D15 - 3	Dron	15	3.0
D10 - 3	Dron	10	3.0
D10 - 2	Dron	10	2.0

Variables

Se determinaron las siguientes variables para evaluar en este experimento:

Cobertura de gotas: Es la cantidad de mezcla del herbicida por unidad de superficie del objetivo o el blanco de interés, con la ayuda de los papeles hidro sensibles se evaluó la cantidad de gotas/cm² de la aplicación del herbicida (Alfaro 2019).

Control de maleza: Los herbicidas afectan la fisiología de la maleza disminuyendo o paralizando el crecimiento y desarrollo (Anzalone 2010), este se midió por medio de muestreos de malezas/m².

Peso fresco de maleza: se tomó el peso en fresco de las malezas muestreadas post aplicación ya que es un parámetro indirecto para estimar la efectividad del herbicida sobre las malezas, al reducir

su síntesis de nutrientes estas pierden biomasa y/o se marchitan, un menor peso indica mayor efectividad (Anzalone 2010).

Selección del Lote

Se seleccionó para el experimento el área de producción para cultivos extensivos “San Nicolás, Pivote Central” (Figura 2), utilizado en ese momento para el híbrido transgénico del maíz VM 7-90 el cual es resistente al glifosato, sembrado a una densidad de 90,000 plantas/ha a una distancia entre surcos de 80 cm.

Una vez divididas las parcelas se determinaron los tratamientos que se aplicaron en cada una de ellas, dividiendo el lote en 15 unidades experimentales, tres parcelas se utilizaron para la aplicación del testigo Jacto Columbia 2000 y 12 parcelas para la aplicación del dron DJI Agras T10.

Figura 2

División de tratamientos en el lote Tobiata de la finca San Nicolás, Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, Honduras.



Levantamiento del Mapa

Se realizó un mapeo con GPS para determinar el área exacta del lote, se colocaron 28 papeles reflectantes en cada división de parcela para que el dron Phantom 4 RTK pudiera detectarlos y así generar el recorrido para el dron DJI Agras T10, posteriormente se validó con el GPS. Los datos se subieron a la nube donde el lote se dividió en 15 parcelas, cada una tenía un tamaño de 60 metros de largo y 43 metros de ancho.

Pre-muestreo de Malezas por m²

Una vez divididas las parcelas, se muestreó manualmente la población de malezas utilizando un cuadro de 1 m², el cual se lanzó al azar donde toda maleza dentro del cuadro era identificada y posteriormente contada, se realizaron dos muestreos por parcela.

Preparación del Herbicida Glifosato

Se procedió a diluir 2 L/ha de glifosato Roundup (480g/L de sal isopropalamina) en 200 L para el asperjador, 10 y 15 L para el dron, se realizó el protocolo de seguridad del dron, para asegurar el uso correcto y se calibró el tanque de herbicida para la dosis de cada tratamiento.

Evaluación de las Condiciones Climáticas del Lote

Las condiciones climáticas influyen en la eficacia de la aplicación del herbicida de glifosato, se hizo una evaluación de la temperatura, humedad, dirección y velocidad del viento, radiación solar y lluvia (Cuadro 2). Tanto la velocidad como la dirección del viento pueden causar deriva en las gotas del herbicida por turbulencias del aire y factores térmicos (Merani et al. 2019).

Cuadro 2

Condiciones ambientales y parámetros para vuelo de dron tomados el día de aplicación del lote

Tobiatá de la finca San Nicolás, Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, Honduras.

Variables	Día de la aplicación
Temperatura	29-32.8°C
Humedad Relativa	44-58%
Dirección del Viento	50-70°(NE)
Velocidad del Viento	1.15-2.2 m/s
Radiación Solar	346-900 W/m ²
Precipitación	0 mm

Cobertura de Aplicación

Se colocaron seis papeles hidrosensibles en cada parcela, uno en la primera y otro en la tercera hoja del cultivo de maíz. Estas plantas fueron seleccionadas en puntos al azar para poder evaluar la cobertura de gota.

Se procedió con las aplicaciones y una vez terminadas, se retiraron los papeles hidrosensibles y se utilizó la aplicación “Cuthill HydoreReder” para hacer el conteo de gotas de cada uno de los papeles.

Post Muestreo

15 DDA (días después de aplicación) se realizó un post muestreo de malezas, se tomó peso fresco de cada muestra y se pesó en la unidad de manejo y conservación de suelos de la EAP con una balanza.

En este estudio se evaluó la cobertura de gotas/cm² para evaluar la efectividad de la pulverización que realizó el dron con el herbicida glifosato. Se realizó un pre-muestreo y un post muestreo de maleza por metro cuadrado para determinar la efectividad del control de maleza de las aplicaciones del asperjador y dron. También se recolectó la biomasa de la maleza dos semanas después de la aplicación para ser pesada y así evaluar la efectividad del daño del herbicida sobre la maleza.

Diseño Experimental y Análisis Estadístico

Se dividieron los 5 tratamientos en las 15 parcelas aleatoriamente, los datos experimentales referentes a cobertura de gotas por centímetro cuadrado, malezas encontradas por metro cuadrado y biomasa de malezas pertenecen a un diseño completamente aleatorizado (DCA) con 5 tratamientos y 3 repeticiones.

El análisis estadístico se llevó a cabo mediante el Modelo Lineal General (GLM) de Infostat. Se aplicó un análisis de varianza y para comparar las diferencias entre los tratamientos individuales, se realizó una separación de medias, mediante una prueba de Duncan ($p < 0.05$) (Infostat, 2020).

Resultados y Discusión

Cobertura de Aplicación

En el Cuadro 3 se presentan los datos de cobertura de gotas/cm² de cada tratamiento, de estos el tratamiento que presentó mayor cobertura fue el A200 - 0.5 utilizado como control absoluto aplicado con asperjador, con 73.31 gotas/cm², esto se podría atribuir a su aplicación de alto volumen (200 L/ha) a una menor altura (0.5 m), comparada a las utilizadas para las aplicaciones de los tratamientos con dron. Según la investigación de Massaro (2017), en los resultados obtenidos en las pulverizaciones terrestres la cobertura fue de 50 y 60 gotas/cm² los cuales son similares con el experimento, con una leve diferencia la cual se puede atribuir a la altura de la aplicación, ya que (Cedeño et al. 2020) nos indican que hay un aumento de la deriva a medida que aumenta la altura del aplicador. Sin embargo, hubo un aumento de cobertura ya que las plantas de maíz poseían un tamaño mayor al recomendado de 3 a 4 hojas verdaderas, acortando así la distancia entre la planta de maíz y la boquilla del asperjador provocando que las gotas cubrieran casi por completo el papel hidrosensible.

En los demás tratamientos se puede apreciar una tendencia donde a medida se aumenta la altura, la cantidad de gotas/cm² disminuye. Según las investigaciones de Papa y Massaro (2005) para una aplicación efectiva el mínimo de gotas/cm² es de 20-30. De los tratamientos aplicados con dron, el D10 - 2 el cual posee un menor volumen (10 L) y menor altura (2 m) de todos los tratamientos, fue el de mayor cobertura. Esto se puede atribuir a que entre menor altura menos intensidad de viento como describe Leiva (2007), a mayor altura, mayor deriva por un incremento en la distancia que la gota debe recorrer, lo cual, al aplicar a una menor altura, reduce dicho riesgo.

El D15 - 2 presenta similitudes estadísticas al D10 - 2, manteniendo la misma altura de aplicación (2 m), pero teniendo mayor volumen que este (15 L), el estudio realizado por (Kn Reddy 2004) se encontró que un aumento en el volumen de aplicación resultó en un mejor control de maleza,

sin embargo en este estudio no hubieron diferencias significativas entre dos tratamientos con volúmenes diferentes D15 - 2 y D10 - 2.

A su vez el D10 - 3 también presenta similitudes estadísticas al D15 - 2 (15 L, 2 m) con un volumen menor (10 L) pero con mayor altura (3 m), sin embargo, el D10 - 3 difiere estadísticamente del D10 - 2.

El D15 - 3 fue el de menor cobertura con 4.89 gotas/cm² este es el tratamiento con la combinación de mayor volumen (15 L) y mayor altura (3 m) de todos los tratamientos, en esto pueden influir muchos factores, el principal puede ser la altura, ya que el D15 - 3 tiene la altura máxima del experimento junto con el D10 - 3, la baja cantidad de gota del D15 - 3 puede deberse a la velocidad del viento como explica Minta Reino (2022), a más de 14 m/s la deriva empieza a aumentar, aunque previo a las aplicaciones se determinó una velocidad del viento de 1.5 a 2.2 m/s es común ráfagas de viento inesperadas, las cuales pudieron observarse al momento de aplicación.

Manteniendo alturas de 2m (D15 - 2 y D10 - 2) no hubo diferencias significativas entre diferentes volúmenes, (15 y 10 L/ha), sin embargo, en alturas de 3 m el tratamiento D10 - 3 con volumen de 10 litros tuvo una cobertura de gotas/cm² mayor que D15 - 3 con volumen de 15 litros.

Cuadro 3

Cobertura de gotas por centímetro cuadrado de aplicaciones con dron comparadas al asperjador del lote Tobiata de la finca San Nicolás, Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, Honduras.

Tratamiento	Aplicador	Volumen (L)	Altura (m)	Cobertura ¹ (Gotas/cm ²)
A200-0.5	Asperjador	200	0.5	73.31 ^d
D15-2	Dron	15	2.0	20.67 ^{bc}
D15-3	Dron	15	3.0	04.89 ^a
D10-3	Dron	10	3.0	17.62 ^b
D10-2	Dron	10	2.0	24.00 ^c
Probabilidad				0.05
CV ³				10.68

Nota. ¹ media de 18 lecturas. ³ coeficiente de variación. ^{a,b,c} medias con letra diferente en la misma columna difieren P<0.005

Control de Malezas

A pesar de las diferencias entre tratamientos en el tamaño de gota no se observaron diferencias significativas entre tratamientos en cuanto a disminución en la cantidad de malezas por metro cuadrado después de la aplicación de glifosato en todos los tratamientos (Cuadro 4). Esto podría atribuirse al mecanismo de acción del glifosato, el cual consiste en la inhibición de la síntesis de los aminoácidos aromáticos, este al ser un herbicida altamente sistémico no requiere de mucha superficie de contacto para trabajar eficientemente (Lemes 2013). Indicando que tuvo un efecto positivo en el control de las malezas en todas las aplicaciones.

En el tratamiento A200 - 0.5 aplicado con el asperjador, la maleza pasó de 209.67 plantas/m² a 98.67 plantas/m². En los casos de aplicaciones con drones el tratamiento D15 – 2 pasó de 196.67 plantas/m² a 174.00 plantas/m². D15 – 3 redujo su población de malezas de 557.00 plantas/m² a 301.00 plantas/m² después de aplicación. En el tratamiento D10 - 3, también se observó una reducción de 196.33 plantas/m² a 95.33 plantas/m². En el D10 - 2 redujo la población de maleza de un 203.00 plantas/m² a 140.67 plantas/m².

Cuadro 4

Media de muestreos de malezas por metro cuadrado antes y 15 días después de aplicación con porcentajes de reducción en cada tratamiento aplicado con dron comparadas al asperjador del lote Tobiata de la finca San Nicolás, Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, Honduras.

Tratamientos	Aplicador	Volumen (L)	Altura (m)	Muestreo de malezas ¹ (plantas/m ²)	
				Pre-aplicación	Post aplicación ³
A200-0.5	Asperjador	200	0.5	209.67	98.67
D15-2	Dron	15	2	196.67	174.00
D15-3	Dron	15	3	557.00	301.00
D10-3	Dron	10	3	196.33	95.33
D10-2	Dron	10	2	203.00	140.67
Probabilidad				0.60	0.27
CV ²				15.76	40.31

Nota. ¹Media de tres repeticiones. ² coeficiente de variación. ³ quince días después de aplicación

Muestreo de Malezas pre y post aplicación

En el Cuadro 5 se presenta las malezas predominantes encontradas en los muestreos previos y posteriores a la aplicación, en los cuales se encontraron seis familias predominantes Asteraceae, Ciperaceae, commelinaceae, Poaceae, Portulacaceae, Solanáceae, de estas se encontraron un total de siete especies. Dos especies de asteráceas siendo estas *Melampodium divaricatum* y *Sclerocarpus phyllocephalus*, de ciperáceas se encontró *Cyperus rotundus*, una de Commelinaceae en este caso *Commelina diffusa*, una poaceae por la presencia de *eleusine indica*, una Portulacaceae siendo la *Portulaca oleraceae* y por último una Solanáceae la cual era *Nicandra physalodes*.

Commelina diffusa y *Sclerocarpus phyllocephalus* son malezas de crecimiento rastrero, según Muñoz y Mendoza (2017), estas necesitan de suelos húmedos por lo que fue común encontrarla en el lote experimental al igual que *Cyperus rotundus* y la *Melampodium divaricatum*, debido al riego seguido realizado en el lote, a través de un sistema de riego por aspersion tipo pivote central, *Eleusine indica* se encuentra normalmente a orillas del cultivo siendo resistente al pisoteo. Todas las malezas mencionadas anteriormente sobre todo la *Nicandra physalodes* compiten por luz con muchos cultivos debido a su rápido crecimiento (Rodríguez 2000). Según estudios en Zamorano por (Ríos H. 2011) las malezas como la *Commelina difussa*, *Eleusine indica*, *Sclerocarpus phyllocephalus* tienen cierto grado de tolerancia al glifosato siendo estas tres entre las más predominantes en el lote.

Cuadro 5

Especies de malezas predominantes encontradas en los muestreos en el lote Tobiata de la finca San Nicolás, Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, Honduras.

Familias de malezas predominantes	Especies
Asteráceae	<i>Melampodium divaricatum</i> <i>Sclerocarpus phyllocephalus</i>
Ciperáceae	<i>Cyperus rotundus</i>
Commelinaceae	<i>Commelina diffusa</i>
Poaceae	<i>Eleusine indica</i>
Portulacaceae	<i>Portulaca oleracea</i>
Solanáceae	<i>Nicandras physalodes</i>

Peso Fresco de Malezas

El peso fresco de las malezas es importante porque es un parámetro indirecto para estimar el control total de malezas (Anzalone 2010), el cual nos puede indicar que tan efectivo fue la acción de control del glifosato sobre la planta.

En este estudio no se encontraron diferencias significativas entre los pesos frescos después de la aplicación de glifosato entre tratamientos (Cuadro 6), sin embargo los tratamientos A200 - 0.5 y D15 - 3 son los únicos que sobrepasaron 1kg de biomasa a comparación con los demás tratamientos, al revisar las muestras de estos se pudo observar que la mayoría de las malezas de hojas angostas no presentaban una clorosis tan pronunciada, esto debido las malezas con hojas más grandes y bien desarrolladas pueden ofrecer una mayor área de superficie para que el herbicida se adhiera y sea absorbido, lo que aumenta la probabilidad de un control exitoso (Johnson 2009), a diferencia de los demás tratamientos, dando a entender que la aplicación del herbicida no cubrió totalmente las malezas, esto se podría atribuir a que el cultivo de maíz cubría a las malezas de hoja angosta que estaban por emerger, pero no a las malezas de hojas anchas.

Cuadro 6

Media de Biomosas de muestreos de malezas encontradas por metro cuadrado después de aplicación de glifosato con dron comparadas al asperjador del lote Tobiatá de la finca San Nicolás, Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, Honduras.

Tratamientos	Aplicador	Volumen (L)	Altura (m)	Biomasa de malezas post aplicación ¹ (kg ²)
A200-0.5	Asperjador	200	0.5	1.03
D15-2	Dron	15	2	0.87
D15-3	Dron	15	3	1.53
D10-3	Dron	10	3	0.60
D10-2	Dron	10	2	0.90
CV ²				79.63
Probabilidad				0.75

Nota. ¹Media de tres repeticiones. ²Coefficiente de variación.

Conclusiones

Los resultados mostraron que el tratamiento A200 - 0.5, obtuvo la mayor cobertura de gotas, esto debido a la aplicación de alto volumen a baja altura del asperjador, lo que redujo el riesgo de deriva y aumento la cantidad de gotas que llegan a la maleza.

No se observaron diferencias significativas en el control de maleza entre los tratamientos, aunque de los aplicados con dron, el D15 - 3 y D10 - 3 estos no cumplían con el mínimo de cobertura recomendado (20 - 30 gotas/cm²).

No se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos por la biomasa de malezas, a pesar de que el asperjador obtuvo una mayor cobertura de gota, todos los tratamientos con dron obtuvieron controles de malezas similares.

Recomendaciones

Realizar un análisis de suelos para observar cómo afectan diferentes características, especialmente la humedad en la absorción del herbicida y la cantidad de maleza.

Realizar una evaluación de aplicación de diferentes tipos de herbicidas con dron, comparando diferentes tipos de boquillas para evaluar su efectividad en la pulverización.

Evaluar diferentes velocidades de aplicación del dron para determinar como el tiempo de aplicación afecta la efectividad en el control de maleza.

Realizar la aplicación de herbicida con dron en el cultivo de maíz cuando esta tenga al menos tres hojas verdaderas para una mejor aplicación.

Referencias

- Alfaro R. 2019. Cobertura sinónimo de eficiencia en la aplicación de herbicida en la caña de azúcar. Grecia. 36 p; [consultado el 2 de ago. de 2023]. <https://servicios.laica.co.cr/laica-cv-biblioteca/index.php/Library/download/vTtIXAKOBMfLzpBXAYAQNvJHmqktGgcwY>.
- Anzalone. 2010. Evaluación de herbicidas sulfonilureas para el control de malezas en cafetales. Bioagro; [consultado el 14 de ago. de 2023]. 22(2). http://ve.scielo.org/scielo.php?pid=s1316-33612010000200002&script=sci_arttext.
- Ceccon E. 2008. La revolución verde: tragedia en dos actos. Red de Revistas Científicas de América Latina; [consultado el 15 de ago. de 2023]. vol. 1:21–29. <https://www.redalyc.org/pdf/644/64411463004.pdf>.
- Cedeño, Gina Andrea Mero Mera, Adrian Alexander Vera Esmeraldas, Mauricio Reyna Bowen. 2020. Evaluación de la distribución de gotas en la pulverización de plaguicida en maíz por el método tradicional y por dron. La Técnica; [consultado el 15 de ago. de 2023]. (0):65–78. spa. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8232840>.
- Columbia Cross. 2023. Jacto - Columbia Cross. Brasil: Columbia Cross; [actualizado el 31 de jul. de 2023; consultado el 15 de ago. de 2023]. <https://jacto.com/mexico/products/pulverizadores-de-barras/columbia-cross>.
- Cuthill. 2023. Hydroreader – Cuthill. Argentina: Cuthill; [actualizado el 2 de ago. de 2023; consultado el 2 de ago. de 2023]. <https://www.cuthill.com.ar/hydroreader/>.
- DJI. 2023. DJI Terra - Make the World Your Digital Asset - DJI. Estados Unidos: DJI Official; [actualizado el 2 de ago. de 2023; consultado el 15 de ago. de 2023]. <https://enterprise.dji.com/dji-terra>.
- DJI Official. 2023. T10 - Specifications - DJI. Estados Unidos: DJI Official; [actualizado el 18 de jul. de 2023; consultado el 15 de ago. de 2023]. <https://www.dji.com/global/t10/specs>.
- DJI Dron. 2023. DJI & Agras T10. Estados Unidos: DJI Official; [actualizado el 10 de nov. de 2022; consultado el 15 de ago. de 2023]. <https://www.djidron.com/dron-dji/agras/dji-agras-t10/>.
- Duke SO, Powles SB. 2008. Glyphosate: a once-in-a-century herbicide. Pest Manag Sci; [consultado el 15 de ago. de 2023]. 64(4):319–325. eng. doi:10.1002/ps.1518.
- Fernández OA. 1982. Manejo integrado de malezas. Planta daninha; [consultado 15/8/23]. 5(2):69–79. <https://doi.org/10.1590/S0100-83581982000200010>. doi:10.1590/s0100-83581982000200010.
- González M. 8 de nov. de 2018. Drones para fumigar. ¿Son viables para nuestros cultivos? Agroptima; [consultado el 15 de ago. de 2023]. <https://www.agroptima.com/es/blog/drones-para-fumigacion-agricola-son-viables/>.
- Intagri. 2020. Agricultura de Precisión. México: Intagri; [actualizado el 2 de abr. de 2023; consultado el 2 de abr. de 2023]. <https://www.intagri.com/articulos/poscosecha-comercializacion/agricultura-de-precision>.
- Johnson WG. 2009. A Grower Survey of Herbicide Use Patterns in Glyphosate-Resistant Cropping Systems. Weed technol; [consultado el 15 de ago. de 2023]. 23(1):156–161. en. <https://www.cambridge.org/core/journals/weed-technology/article/abs/grower-survey-of-herbicide->

- use-patterns-in-glyphosateresistant-cropping-systems/944CB94681E063DCE573DE261B003616. doi:10.1614/wt-08-039.1.
- Kn Reddy. 2004. Weed control and species shift in bromoxynil-and glyphosate-resistant cotton (*Gossypium hirsutum*) rotation systems; [consultado el 15 de ago. de 2023]. 18:131–139. <https://www.cambridge.org/core/journals/weed-technology/article/weed-control-and-species-shift-in-bromoxynil-and-glyphosateresistant-cotton-gossypium-hirsutum-rotation-systems/8c5946a49f125062b83e8b19c41eae0b>.
- Leiva P. 2007. Calidad de aplicación de plaguicidas. CD Rom Interactivo Bayer; [consultado el 15 de ago. de 2023]. <http://www.aerocampo.com/pdf/calidad-de-aplicacion.pdf>.
- Lemes FGL. 2013. Control de malezas en postemergencia en maíz resistente al Glifosato [Tesis de Pregrado]. Uruguay: Universidad De La Republica Facultad De Agronomía, Universidad De La Republica Facultad De Agronomía; [consultado el 14 de ago. de 2023]. <https://www.colibri.udelar.edu.uy/jspui/bitstream/20.500.12008/1731/1/3868bri.pdf>.
- Massaro. 2017. Evaluación de la deriva en pulverización aérea y terrestre con plaguicidas en situación de barbecho; [consultado el 15 de ago. de 2023]. <https://ciasfe1.org/archivos/noticias/documentos/inta-ensayo-deriva-aerea-y-terrestre319.pdf>.
- Merani VH, Mur M, Ramirez F, Ponce MJ, Guilino F, Palancar TC. 2019. Efecto de variables operativas sobre la calidad de aplicación y la deriva en la pulverización de agroquímicos. *AgriS*; [consultado el 15 de ago. de 2023]. 36(2):45–55. es. <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/126238>. doi:10.31047/1668.298x.v36.n2.19093.
- Minta Reino JC. 2022. Aplicación de herbicidas con drones en el Ecuador. Ecuador: BABAHOYO: UTB, 2022. es; [consultado el 15 de ago. de 2023]. <http://dspace.utb.edu.ec/handle/49000/13342>.
- Muñoz GD, Mendoza KO. 2017. Elaboración de un plan de manejo integrado de malezas en los lotes de vocación agrícola y pecuaria de Zamorano, Honduras [Proyecto especial de graduación]. Honduras: Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano; [consultado el 14 de ago. de 2023]. <https://bdigital.zamorano.edu/handle/11036/6115>.
- Papa J, Massaro C. 2005. Herbicida metsulfuron metil en barbechos químicos. Argentina: [sin editorial]; [consultado el 15 de ago. de 2023]. https://www.researchgate.net/profile/juan-papa/publication/265937252_herbicida_metsulfuron_metil_en_barbechos_quimicos.
- Parraguez. 2017-2018. Agricultura digital o Agricultura 4.0 [Tesis de posgrado]. Guatemala: Centro Guatemalteco de Investigación y; [consultado el 15 de ago. de 2023]. <https://cengicana.org/files/2018091813553326.pdf>.
- Ríos H. AA. 2011. Control de malezas y fitotoxicidad al maíz transgénico RR con dos formulaciones de Glifosato: Control de malezas y fitotoxicidad al maíz transgénico RR con dos formulaciones de Glifosato [Proyecto de graduación]. Honduras: Zamorano: Escuela Agrícola Panamericana, 2012. spa; [consultado el 15 de ago. de 2023]. <https://bdigital.zamorano.edu/handle/11036/585>.
- Rodríguez E, editor. 2000. Protección y sanidad vegetal. Venezuela: Fundación Polar. ISBN: 980-379-004-8; [consultado el 15 de ago. de 2023]. https://www.unipamplona.edu.co/unipamplona/portaIig/home_4/mod_virtuales/modulo3/3.pdf.
- Van Dijck S, van Asch T. 2002. Compaction of loamy soils due to tractor traffic in vineyards and orchards and its effect on infiltration in southern France. *Soil and Tillage Research*; [consultado el

15 de ago. de 2023]. 63(3-4):141–153. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167198701002379>. doi:10.1016/S0167-1987(01)00237-9.

Anexos

Anexo A

Pivote Central, lote Tobiata



Anexo B

Asperjador Jacto Columbia



Anexo C

Dosificación de glifosato



Anexo D*Papel Hidrosensible*

Anexo E

DJI Agras T10



Anexo F

DJI Agras T10

