

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



Proyecto Especial de Graduación

**Comparación de la calidad de aplicación de glifosato en maíz mediante el uso  
del dron DJI Agras T10 y el asperjador Jacto Columbia 2000**

Estudiante

Piero Jair Jaramillo Sacheri

Asesores

José Adrián Ordoñez Bonilla, Mgtr.

Rony Francisco Muñoz Molina, M. Sc.

Erick Mauricio Figueroa Santin, Ing. Agrónomo

Honduras, agosto 2023

**Autoridades**

**SERGIO ANDRÉS RODRIGUEZ ROYO**

Rector

**ANA M. MAIER ACOSTA**

Vicepresidenta y Decana Académica

**CELIA O. TREJO RAMOS**

Directora Departamento 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 del Estudio.....	13
Selección del Lote .....	14
Tratamientos.....	14
Preparación de la Aplicación.....	15
Muestreo y Variables .....	17
Promedio de Gotas/cm <sup>2</sup> .....	17
Tiempo Total (TT).....	18
Tiempo Muerto (TM) .....	18
Tiempo Neto (TN) .....	19
Costos.....	19
Determinar el Costo del Trabajo por ha por hora .....	19
Capacidad Efectiva de Campo (CEC) .....	20
Capacidad Teórica de Campo (CTC) .....	20
Diseño Experimental.....	21
Análisis estadístico .....	22
Resultados y Discusión.....	23

Tiempos en Aplicación .....	23
Costos de Aplicación .....	24
Promedio de Gotas/cm <sup>2</sup> .....	26
Conclusiones .....	28
Recomendaciones.....	29
Referencias.....	30
Anexos.....	32

## Índice de Cuadros

Cuadro 1 Tabla de Condiciones Climáticas el Día de la Aplicación de la Estación Climatológica Ubicada en el Pivote Central de la Finca San Nicolas de la Escuela Agrícola Panamericana Zamorano, Honduras .....	14
Cuadro 2 Tabla de Tratamientos Realizados en el Estudio Comparativo de la Calidad de Aplicación de Glifosato en Maíz Mediante el Uso del Dron DJI Agras T10 y el Asperjador Jacto Columbia 2000 en la Escuela Agrícola Panamericana Zamorano, Honduras .....	14
Cuadro 3 Tiempos de Aplicación de Agroquímico Foliar en Parcelas de 0.258 ha por Parte del Dron DJI Agras T10 y el Asperjador Jacto Columbia 2000, en el Lote Tobiata, Pivote Central, Finca San Nicolas, EAP Zamorano.....	23
Cuadro 4 Costos de Aplicación de Agroquímico Foliar en Parcelas de 0.258 ha por Parte del Dron DJI Agras T10 y el Asperjador Jacto Columbia 2000, en el Lote Tobiata, Pivote Central, Finca San Nicolas, EAP Zamorano.....	25
Cuadro 5 Promedio de gotas/cm <sup>2</sup> de Aplicación de agroquímico Foliar en Parcelas de 0.258 ha por Parte del Dron DJI Agras T10 y el Asperjador Jacto Columbia 2000, en el Lote Tobiata, Pivote central, Finca San Nicolas, EAP Zamorano .....	27

### Índice de Figuras

Figura 1 Mapa Satelital de la Ubicación Geográfica y del Pivote Central de la Finca San Nicolas Ubicado en la Escuela Agrícola Panamericana Zamorano, Honduras, donde se Realizó el Experimento .....	13
Figura 2 Control del dron DJI Agrass T10 Mostrando la Ruta de Aplicación de Una de las Unidades Experimentales .....	15
Figura 3 Calibración de Boquilla del Asperjador Jacto Columbia 2000 Previo a la Aplicación .....	16
Figura 4 Preparación de la Mezcla del Herbicida a Utilizar Durante la Aplicación .....	17
Figura 5 Papel Hidrosensible Posterior a la Aplicación del Herbicida.....	18
Figura 6 Distribución de las Unidades Experimentales Utilizadas en el Estudio Comparación de la Aplicación de Glifosato en Maíz Mediante el Uso del Dron DJI Agras T10 y el Asperjador Jacto Columbia 2000 en la Escuela Agrícola Panamericana Zamorano, Honduras.....	21

## Índice de Anexos

Anexos A Asperjador Jacto Columbia 2000 .....	32
Anexos B Boquilla T Jet 110 – 02 Utilizada en el Experimento .....	33
Anexos C Calibración de Boquillas del Dron DJI Agras T10.....	34
Anexos D Ubicación del Papel Hidrosensible Dentro de las Unidades Experimentales .....	35
Anexos E Aplicación del Asperjador Jacto Columbia 2000 .....	36
Anexos F Aplicación del Dron DJI Agras T10 .....	37

## Resumen

Los asperjadores agrícolas y los drones han cambiado el mundo de las aplicaciones con agroquímicos, aumentando la precisión. El objetivo de este estudio fue comparar la aplicación de glifosato utilizando el Asperjador Jacto Columbia 2000 y el dron DJI Agras T10 m. Al realizar la comparación se aplicó glifosato a 5 parcelas con tres repeticiones cada una usando los siguientes tratamientos: aplicación con asperjador, dron altura 2 m, dron altura 3 m, dron volumen de mezcla 10 L/ha, dron volumen de mezcla 15 L/ha. Se utilizó un diseño completamente al azar (DCA). Como resultados el asperjador tuvo diferencias significativas en todas las variables respecto al dron, presentando un mayor tiempo total, un mayor costo y una mayor cobertura. A pesar de que no hubo diferencia significativa entre las variables tiempo y costos del dron, se encontró una diferencia significativa en la cobertura, ya que la aplicación con dron que se realizó a 3 m de altura presentó un promedio de gotas/cm<sup>2</sup> inferior al resto en el papel hidrosensible estando bajo el promedio requerido para una correcta aplicación que es de 20-30 gotas/cm<sup>2</sup>. El dron DJI Agras T10 superó al asperjador Jacto Columbia 2000 en términos de tiempos totales y muertos en relación con la capacidad efectiva de campo (CEC). Además, el dron resultó ser más económico que el asperjador. Aunque el asperjador mostró una mejor cobertura foliar en términos de gotas/cm<sup>2</sup>.

*Palabras clave:* cobertura, costos, gotas/cm<sup>2</sup>, hidrosensible, tiempos.

### **Abstract**

Agricultural sprayers and drones have changed the world of agrochemical applications, increasing precision. The objective of this study was to compare the application of glyphosate using the Jacto Columbia 2000 Sprinkler and the DJI Agras T10 m drone. When making the comparison, glyphosate was applied to 5 plots with three repetitions each using the following treatments: application with a sprinkler, drone height 2 m, drone height 3 m, drone mix volume 10 L/ha, drone mix volume 15 L/ ha. A completely randomized design (DCA) was used. As a result, the sprayer had significant differences in all the variables with respect to the drone, presenting a longer total time, a higher cost and greater coverage. Even though there was no significant difference between the variables time and costs of the drone, a significant difference was found in the coverage, since the application with a drone that was carried out at a height of 3 m presented an average droplet/cm<sup>2</sup> lower than the rest. on hydrosensitive paper, the average required for a correct application is 20-30 drops/cm<sup>2</sup>. The DJI Agras T10 drone outperformed the Jacto Columbia 2000 sprayer in terms of total and dead times relative to effective field capacity (ECC). In addition, the drone turned out to be cheaper than the sprinkler. Although the sprinkler showed a better foliar coverage in terms of drops/cm<sup>2</sup>.

*Keywords:* coverage, costs, drops/cm<sup>2</sup>, hydrosensitive, times.

## Introducción

La implementación de agricultura de precisión en los sistemas de producción agrícolas ha crecido exponencialmente con el uso de nuevas tecnologías como la utilización de asperjadores y drones especializados en la agricultura, teniendo estos una gran diversidad de usos los cuales pueden ir desde toma de datos para muestreos, aplicaciones, y hasta la cosecha. Una de las principales dudas por parte de los productores con respecto a la agricultura de precisión es acerca de su eficiencia en cuestión de tiempo, costos y uniformidad. Estos son los parámetros más importantes a tomar en cuenta para decidirse al uso de agricultura de precisión en una explotación agrícola (González A et al. 2016).

Además del equipo y la tecnología, la planificación adecuada también es esencial para lograr la consistencia en las aplicaciones agrícolas. Esto significa que se tienen en cuenta factores como la topografía, la variabilidad del suelo y las condiciones climáticas. El mapeo de campo detallado, el análisis de la variabilidad espacial del suelo y la implementación de estrategias de manejo de zonas pueden ayudar a optimizar el uso de insumos y mejorar la uniformidad (Massaro 2007).

Se cataloga a la agricultura de precisión como un conjunto de tecnologías que buscan la optimización agrícola mediante el uso de nuevos avances como levantamiento fotográfico, fertilización y cosecha de precisión, además de, mapas de productividad. La agricultura de precisión es una estrategia que utiliza tecnologías avanzadas, como sistemas de información geográfica (SIG), imágenes satelitales, sensores y sistemas de posicionamiento global (GPS), para optimizar la gestión de los cultivos. Su objetivo principal es aplicar insumos agrícolas de manera precisa y específica, teniendo en cuenta las variaciones espaciales y temporales de los cultivos y los suelos. Esto permite maximizar la eficiencia de los recursos y mejorar la productividad agrícola, también ofrece varios beneficios, como la reducción del uso de insumos agrícolas, la mejora de la eficiencia en el uso de recursos, la optimización del rendimiento de los cultivos y la reducción del impacto ambiental. Al

adaptar las prácticas agrícolas a las condiciones locales y tener en cuenta la variabilidad del campo, los agricultores pueden minimizar los costos y maximizar los rendimientos (García-Torres et al. 2003).

La maquinaria agrícola más utilizada en la actualidad para agricultura de precisión son los tractores, asperjadores y los drones agrícolas. Estos últimos mencionados están tomando una gran fuerza en dicho ámbito debido a su alta eficiencia en diferentes labores de la producción agrícola. Entre las principales marcas de drones agrícolas disponibles en el mercado se encuentran a la cabecera DJI, esta es una empresa China que fue creada en el 2006 por Frank Wang y actualmente es la empresa líder a nivel mundial en fabricación de vehículos aéreos no tripulados (Drones) (Landini et al. 2019).

Los agroquímicos son productos de uso agrícola que generalmente se suelen dividir en dos funciones principales, el control de plagas y enfermedades por medio del uso de pesticidas y herbicidas; además está el uso de agroquímicos con el fin de aportar con nutrientes al cultivo como pueden ser los fertilizantes, en este último ya pueden ser aplicaciones con productos líquidos o solubles y productos granulares. Desde el inicio de la agricultura los productores han luchado por eliminar las malezas de cualquier tipo de cultivo principal.

El glifosato es un herbicida ampliamente utilizado en la agricultura para la eliminación de malezas. Fue introducido en 1974 y vendido bajo varios nombres comerciales. Es un herbicida sistémico no selectivo que mata la mayoría de las plantas, por lo mismo de ser un herbicida sistémico el rango de cobertura es de 20-30 microgotas para tener un control adecuado de la maleza. Ha habido controversia sobre su seguridad y los posibles efectos sobre la salud y el medio ambiente. El glifosato también puede afectar negativamente a la biodiversidad y los ecosistemas acuáticos.

Hoy en día existe una lucha constante entre la sociedad y los productores agrícolas debido al uso indiscriminado de agroquímicos para todo tipo de explotaciones agrícolas gracias a su fácil aplicación y rápida muestra de resultados en campo. Sin embargo, a pesar de su rápida acción generalmente este no suele ser el método más sostenible ambientalmente hablando, causando daños a futuro en nuestro terreno o contaminando cuencas hidrográficas que se encuentran a los

alrededores de los cultivos aplicados, es por esto que se debe hacer un buen estudio sobre los agroquímicos a usar en los cultivos y realizar un buen manejo integrado (Durand Rojas 2017). Es aquí donde entra la agricultura de precisión, la cual ayuda a tener una mayor eficiencia en el uso de recursos y por ende a reducir la contaminación, debido al uso de maquinaria especializada tales como el dron DJI Agras T10 y el asperjador Jacto Columbia 2000 los cuales son dos máquinas muy apreciadas en el sector agrícola por su eficiencia y funcionalidad en la aplicación de cultivos. Según lo mencionado en Nanavati et al. (2023), el DJI Agras T10 se destaca como un dron diseñado para trabajos agrícolas, que ofrece un sistema de aspersión inteligente y autónomo que puede rociar con precisión productos químicos y fertilizantes en tierras de cultivo. Su capacidad de carga le permite transportar una gran cantidad de líquido y cubrir grandes áreas en poco tiempo. Además, cuenta con un avanzado sistema de navegación y control remoto que reduce la necesidad de una constante intervención manual y aumenta la eficiencia del proceso de aspersión. Esto no solo ahorra tiempo y recursos, sino que también reduce el riesgo de que los trabajadores agrícolas estén expuestos a productos químicos peligrosos.

El pulverizador Jacto Columbia 2000, por otro lado, es una máquina terrestre que funciona sobre ruedas para pulverizar cultivos. Este aspersor presenta una construcción más duradera y una mayor capacidad de líquido para cubrir grandes áreas. Incorpora la última tecnología, como boquillas regulables y sistema de control de caudal, que garantiza una aplicación precisa y adaptada a las necesidades específicas del cultivo. Según Acevedo-Pérez et al. (2022), el modelo Columbia 2000 es ampliamente apreciado por su eficacia en la distribución uniforme de los cultivos en los campos, proporcionando una cobertura eficaz y una utilización óptima de los recursos.

El objetivo de este estudio fue realizar una evaluación comparativa de la aplicación de glifosato utilizando el Asperjador Jacto Columbia 2000 y el dron DJI Agras T10 a diferentes variables midiendo factores como tiempos, costos y cobertura de la aplicación.

## Materiales y Métodos

### Ubicación del Estudio

Esta evaluación se realizó en el lote Tobiata del pivote central de la finca San Nicolas de la Escuela Agrícola Panamericana Zamorano, ubicada en la carretera Tegucigalpa a Danlí, Valle del Yeguaire, Municipio de San Antonio de Oriente, Honduras (Figura 1) a 700 m.s.n.m. con un área total de evaluación de 3.87 ha con las condiciones climáticas presentadas en el Cuadro 1.

### Figura 1

*Mapa Satelital de la Ubicación Geográfica y del Pivote Central de la Finca San Nicolas Ubicado en la Escuela Agrícola Panamericana Zamorano, Honduras, donde se Realizó el Experimento*



*Nota.* Foto tomada de Google Earth Pro.

## Cuadro 1

*Tabla de Condiciones Climáticas el Día de la Aplicación de la Estación Climatológica Ubicada en el Pivote Central de la Finca San Nicolas de la Escuela Agrícola Panamericana Zamorano, Honduras*

VARIABLES CLIMATOLÓGICAS	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 <sup>2</sup>
Lluvia	0 mm

*Nota.* Tomado de Weather Spark (2023) y Zentra Cloud (2023)

## Selección del Lote

Se seleccionó un terreno relativamente plano con una pendiente muy poco pronunciada en el cual se encontraba sembrado maíz transgénico de la variedad VM 7-90 resistente al glifosato de 44 días, el cual fue sembrado a una densidad de 90,000 plantas/ha y una distancia entre surcos de 80 cm.

## Tratamientos

Se evaluaron cinco tratamientos explicados en detalle en el cuadro 2. Estos consistieron en variación de altura y volumen de mezcla.

## Cuadro 2

*Tabla de Tratamientos Realizados en el Estudio Comparativo de la Calidad de Aplicación de Glifosato en Maíz Mediante el Uso del Dron DJI Agras T10 y el Asperjador Jacto Columbia 2000 en la Escuela Agrícola Panamericana Zamorano, Honduras*

IMPLEMENTO	ALTURA (m)	VOLUMEN DE MEZCLA (L/ha)
Asperjador	Altura del cultivo	200
Dron #1	2	10
Dron #2	2	15
Dron #3	2	15
Dron #4	3	15

## Preparación de la Aplicación

Se dividió el lote en 15 parcelas, las cuales fueron el número de unidades experimentales que tuvo el experimento, 5 diferentes tratamientos con 3 repeticiones cada uno. Esto significa que se llevaron a cabo tres aplicaciones independientes para cada tratamiento evaluado, se tomaron datos de cada una de estas réplicas, lo que permitió obtener una muestra representativa y realizar un análisis estadístico confiable de los resultados.

Se utilizó dos cintas métricas y un GPS los cuales ayudaron a tomar las medidas de las parcelas ( $43 \times 60$  m) y los puntos de referencia, una vez con el área determinada y con ayuda del dron Phantom 4RTK se procedió a realizar el levantamiento de los mapas los cuales se usaron para la aplicación con el dron DJI Agras T10 (Figura 2), estos fueron procesados por medio del software DJI Terra.

### Figura 2

*Control del dron DJI Agras T10 Mostrando la Ruta de Aplicación de Una de las Unidades Experimentales del Estudio Comparativa de la Calidad de Aplicación de Glifosato en Maíz Mediante el Uso del Dron DJI Agras T10 y el Asperjador Jacto Columbia 2000 en la Escuela Agrícola Panamericana Zamorano, Honduras*



*Nota.* Foto tomada al momento de la toma de puntos.

Una vez que se tuvieron preparadas las parcelas y se determinó el tratamiento que se aplicaría en cada una, se llevó a cabo la calibración de las boquillas tanto del asperjador como del dron, tal como se ilustra en la Figura 3.

**Figura 3**

*Calibración de Boquilla del Asperjador Jacto Columbia 2000 Previo a la Aplicación en el Estudio Comparativa de la Calidad de Aplicación de Glifosato en Maíz Mediante el Uso del Dron DJI Agras T10 y el Asperjador Jacto Columbia 2000 en la Escuela Agrícola Panamericana Zamorano, Honduras*



Por último, se procedió a preparar el producto que se utilizaría, que consistió en el herbicida Glifosato con una concentración de 2 litros por hectárea, tanto para el dron como para el asperjador. También se agregó un adherente para mejorar la aplicación, tal como se muestra en la Figura 4.

**Figura 4**

*Preparación de la Mezcla del Herbicida a Utilizar Durante la Aplicación en el Estudio Comparativa de la Calidad de Aplicación de Glifosato en Maíz Mediante el Uso del Dron DJI Agras T10 y el Asperjador Jacto Columbia 2000 en la Escuela Agrícola Panamericana Zamorano, Honduras*

**Muestreo y Variables*****Promedio de Gotas/cm<sup>2</sup>***

Para la toma de esta variable del experimento se utilizaron papeles hidrosensibles colocados lo más cerca de maleza posible para que el papel hidrosensible capture las microgotas que tuvieron contacto directo con la vegetación, permitiendo evaluar la cobertura y distribución del herbicida en el área específica de interés en cada una de las parcelas evaluadas, el cual luego fue escaneado por la aplicación Cuthill HydroreReader, para obtener el dato de gotas/cm<sup>2</sup> y así conocer la cobertura de la aplicación según cada tratamiento. Se colocaron 6 papeles por cada parcela y dos en cada planta dando así 3 plantas muestreadas por cada parcela con dos muestras por planta como se muestra en la Figura 5.

**Figura 5**

*Papel Hidrosensible Posterior a la Aplicación del Herbicida en el Estudio Comparativa de la Calidad de Aplicación de Glifosato en Maíz Mediante el Uso del Dron DJI Agras T10 y el Asperjador Jacto Columbia 2000 en la Escuela Agrícola Panamericana Zamorano, Honduras*



*Nota.* Foto tomada al momento de la recolección de los papeles hidrosensibles.

***Tiempo Total (TT)***

Con respecto al tiempo, todas las variables fueron medidas con un cronómetro, en el caso específico del tiempo total (TT) este fue la sumatoria del tiempo muerto (TM) y el tiempo neto (TN) de la aplicación en cada uno de los tratamientos.

***Tiempo Muerto (TM)***

Este es un período de tiempo en el que las actividades planificadas se suspenden temporalmente, lo que permite descansar, hacer una pausa o reflexionar antes de pasar a la siguiente fase. Se refiere a periodos en los que no hay producción o actividad significativa por problemas técnicos, falta de recursos, espera de instrucciones, o cualquier otro motivo que detenga el flujo de

trabajo. En este caso, fue dificultad de maniobrabilidad de ciertos implementos en el terreno y la recarga del producto a utilizar.

### **Tiempo Neto (TN)**

El tiempo neto (TN) se puede definir como el intervalo de tiempo real durante el cual se realiza una actividad o tarea, excluyendo cualquier interrupción, retraso o tiempo improductivo asociado. Es el tiempo realmente dedicado a realizar una actividad específica, excluyendo el tiempo que no contribuye directamente al logro de una meta o resultado deseado, en este caso fue el tiempo que le tomo a cana maquinaria realizar solamente la aplicación de la parcela indicada, sin contar los TM.

### **Costos**

Para las variables de costos se realizó una relación entre el tiempo en cada una de sus variables: tiempo total, tiempo muerto y tiempo neto, con los costos provistos en cuestión de área y tiempo, para el tractor y el asperjador tuvieron un costo de \$41.47 y \$2.08 por hora respectivamente el cual fue provisto por la unidad de maquinaria de la Escuela Agrícola Panamericana Zamorano, mientras que el dron tuvo un costo de \$20/ha el cual fue dado por el proveedor de servicios de aplicación con drones de Zamorano. Mediante la fórmula de costo del trabajo por ha por hora se pudo determinar el valor de cada implemento en cuestión de área en relación tiempo y costo según fue su rendimiento en la actividad. Es por esto por lo que cada costo esta dado en base al tiempo que le tomó a dicho equipo realizar la actividad.

### **Determinar el Costo del Trabajo por ha por hora**

El costo de trabajo por hectárea por hora es la cantidad en dólares que cuesta una la realización de una actividad por parte de un implemento en una área y tiempo determinada.

$$CTHH = \frac{\left(\frac{\sum TT * 10000m^2}{\sum A}\right) * CT}{60min} \quad [1]$$

Donde:

CTHH = Costo del trabajo por ha por hora

$\Sigma TT$  = Sumatoria de los tiempos totales dada en minutos

$\Sigma A$  = Sumatoria de las áreas dadas en m<sup>2</sup>

CT = Costo del trabajo dado en \$

### **Capacidad Efectiva de Campo (CEC)**

La capacidad de campo efectiva de una máquina agrícola es la cantidad de trabajo que la máquina puede realizar efectivamente en un tiempo dado, teniendo en cuenta las condiciones de operación y las limitaciones inherentes a la máquina. Esta capacidad suele expresarse en ha/h.

Se determina por la siguiente ecuación:

$$CEC = \frac{A}{TN+TM} \quad [2]$$

Donde:

CEC = Capacidad Efectiva de Campo Expresado en ha/h

A = Área en ha

TN = Tiempo Neto expresado en h

TM = Tiempo Muerto expresado en h

### **Capacidad Teórica de Campo (CTC)**

La capacidad de campo teórica de una máquina agrícola es la cantidad máxima de trabajo que la máquina puede realizar en condiciones ideales, sin tener en cuenta limitaciones prácticas o interrupciones. Representa el rendimiento máximo teórico que una máquina puede alcanzar en términos de área cubierta en un tiempo determinado. El cálculo de la capacidad de campo teórica tiene en cuenta la velocidad máxima de trabajo de la máquina y el ancho máximo de trabajo del implemento o implemento que utiliza y se lo mide en m/h.

Se determina por la siguiente ecuación:

$$CTC = \frac{Ai \times V}{A} \quad [3]$$

Donde:

CTC = Capacidad Teórica de Campo

$A_i$  = Ancho de trabajo del implemento

V = Velocidad de avance del tractor

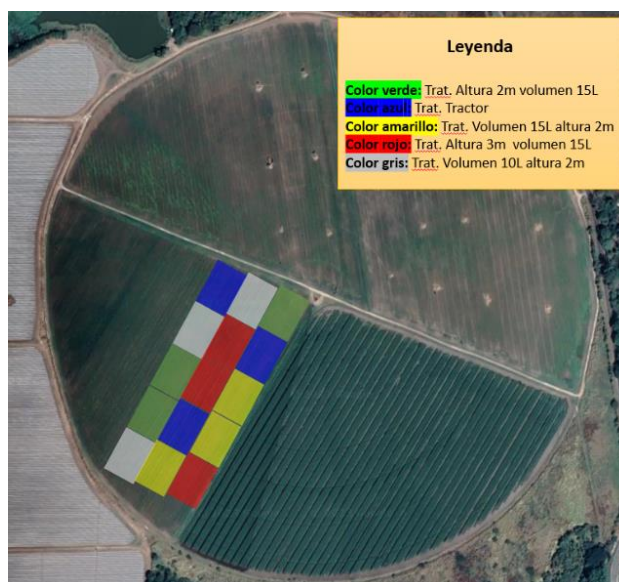
A = Área determinada

### Diseño Experimental

El diseño experimental fue DCA (diseño completo al azar), la aleatorización de las unidades experimentales se realizó con ayuda de una tabla en Excel y una fórmula de aleatorización, en la cual se colocaron los números de las parcelas y los tratamientos a realizar, para generar de manera automática la relación de cada tratamiento con su respectiva parcela como se muestra en la Figura 6.

### Figura 6

*Distribución de las Unidades Experimentales Utilizadas en el Estudio Comparación de la Aplicación de Glifosato en Maíz Mediante el Uso del Dron DJI Agras T10 y el Asperjador Jacto Columbia 2000 en la Escuela Agrícola Panamericana Zamorano, Honduras*



***Análisis estadístico***

Los datos fueron analizados mediante el software estadístico InfoStat, con un análisis de varianza y una separación de medias por el método de Duncan en la cual se utilizó un valor p de 0.05 para la separación de medias.

## Resultados y Discusión

### Tiempos en Aplicación

Se encontró una diferencia significativa entre las variables de tiempos, se pudo observar en tiempo total (TT) y en tiempo muerto (TM) valores superiores al resto en el asperjador, por otro lado, en tiempo neto (TN) y capacidad efectiva de campo (CEC) se obtuvo valores inferiores por parte del asperjador, demostrando así que el dron con respecto al tiempo presentó una mayor eficiencia (Cuadro 3).

### Cuadro 3

*Tiempos de Aplicación de Agroquímico Foliar en Parcelas de 0.258 ha por Parte del Dron DJI Agras T10 y el Asperjador Jacto Columbia 2000, en el Lote Tobiatá, Pivote Central, Finca San Nicolas, EAP Zamorano*

Variable	Tiempo total (s)*	Tiempo neto (s)*	Tiempo muerto (s)*	CEC*
Asperjador	723.00a	108.00a	615.00a	1.28a
Dron volumen 10 litros	309.67b	234.00b	75.67b	3.01b
Dron volumen 15 litros	312.33b	234.00b	78.73b	2.98b
Dron altura 2 m	308.00b	234.67b	73.33b	3.01b
Dron altura 3 m	308.67b	233.67b	75.00b	3.03b
p-valor	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001
CV	3.76	0.87	7.88	5.17
R <sup>2</sup>	1.00	1.00	1.00	0.98

*Nota.* CV= coeficiente de variación R<sup>2</sup>= coeficiente de determinación p-valor= probabilidad. \*medias con la misma letra no difieren entre sí (P>0.05)

El tiempo es uno de los factores más importantes al momento de evaluar la eficiencia de una aplicación de agroquímicos. En el tiempo total (TT) se obtuvo un promedio de 723.00 segundos para las repeticiones que usaron el asperjador como se muestra en el Cuadro 3. El cual presenta una media superior a las demás variables que fueron realizadas por un dron a diferentes alturas y diferentes volúmenes de mezcla, mostrando tiempos similares a los presentados en el estudio de Bastidas et al. (2023). Cabe recalcar que se presentó un promedio superior por parte del asperjador en este apartado ya que las parcelas fueron pequeñas y se encontraban dentro de un lote de mayor tamaño lo cual dificultó realizar los giros para el tractor y el tiempo muerto aumentó.

Con respecto al tiempo neto (TN) se encontró una diferencia significativa entre los datos del asperjador y los del dron a diferentes variables como se evidencia en el Cuadro 3. El TN del asperjador fue de 108 segundos siendo este significativamente inferior a los del dron, ya que los tiempos del dron a diferentes variables fueron superiores en más de un 100% con respecto a los del asperjador, mostrando así que el asperjador es más rápido que el dron si se toma en cuenta solo el tiempo de aplicación, similar al estudio realizado por Cornejo Hurtado y Garcia Moron (2021) donde también se evidencian tiempos netos de aplicación superiores por parte del dron.

Para la parte de tiempo muerto (TM) los tiempos del asperjador fueron superiores al dron en todas sus variables como se muestra en el Cuadro 3. Difiriendo de los resultados de TM obtenidos en el estudio de Flores de la Riva y Ayala Erazo (2022). Esto debido a que al ser realizado el estudio en parcelas pequeñas ubicadas dentro de un lote más grande se complicó la maniobrabilidad de tractor lo cual aumento significativamente los valores de TM siendo el valor del asperjador de 615 segundos cuando los valores del dron rondaban los 80 segundos.

El último apartado de tiempos fue la capacidad efectiva de campo (CEC) la cual se dio en hectáreas por hora (ha/h), en la cual se presentó una diferencia significativa entre el asperjador y el dron en todas sus variables, teniendo el asperjador un dato de 1.28 (ha/h) siendo este considerablemente más bajo que todos aquellos proporcionados por el dron.

### **Costos de Aplicación**

Se obtuvo una diferencia significativa dentro de las variables de costos, se observaron valores superiores por parte del asperjador (Cuadro 4). Los costos son primordiales al momento de identificar la rentabilidad de una aplicación de agroquímicos. Se obtuvo una diferencia significativa en los costos totales (CT) perteneciente al asperjador con respecto a los del dron, los costos del asperjador fueron más altos que los del dron debido a que los costos se sacaron en base al tiempo y como se mencionó anteriormente los tiempos fueron altos en el asperjador debido a las condiciones del lugar. Sin

embargo, en el estudio realizado por Hetz et al. (1998), también se puede evidenciar los precios superiores por parte del asperjador.

#### **Cuadro 4**

*Costos de Aplicación de Agroquímico Foliar en Parcelas de 0.258 ha por Parte del Dron DJI Agras T10 y el Asperjador Jacto Columbia 2000, en el Lote Tobiata, Pivote Central, Finca San Nicolas, EAP Zamorano*

Variable	Costos TT (\$) *	Costos TN (\$) *	Costos TM (\$) *
Asperjador	8.63a	1.31a	7.44a
Dron volumen 10 litros	0.54b	0.43b	0.14b
Dron volumen 15 litros	0.56b	0.43b	0.14b
Dron altura 2 m	0.54b	0.43b	0.13b
Dron altura 3 m	0.54b	0.43b	0.14b
p-valor	<0.001	<0.001	<0.001
CV	4.84	0.90	2.89
R <sup>2</sup>	1.00	1.00	1.00

*Nota.* Medias con la misma letra no difieren entre si (P>0.05)

Dentro de los costos netos (CN) se encontró una diferencia significativa entre las variables evaluadas ya que el asperjador tuvo un valor superior al de las aplicaciones con dron, presentando el asperjador un costo neto de \$1.31 mientras que en las variables del dron se obtuvieron costos netos de \$0.43 (Cuadro 4). Es importante aclarar que el tiempo neto no se vio influenciado por factores como el lugar o los tamaños de las parcelas ya que fue únicamente el tiempo que le tomó a cada maquinaria realizar la aplicación en el área asignada sin contar el tiempo muerto que se presentó, teniendo coherencia con los datos encontrados en el estudio de Cedeño Fuentes (2020).

El tiempo muerto (TM) fue la variable en la cual se identificó una mayor diferencia entre los costos del asperjador con respecto a los del dron y todas sus variables, el asperjador tuvo un costo de \$7.44 mientras que el dron presentó valores entre \$0.13 y \$0.14 (Cuadro 4). Estos costos del asperjador fueron superiores a los del estudio realizado por Ogando (2022), cabe recalcar que los costos están basados en los tiempos. El tiempo muerto del tractor fue significativamente superior debido a las condiciones del lugar donde se realizó el experimento.

### **Promedio de Gotas/cm<sup>2</sup>**

La cobertura es un factor indispensable al momento de analizar si una aplicación de agroquímicos es efectiva o no. Existen diferencias significativas entre el tratamiento del asperjador con respecto a los tratamientos en los que se usó el dron (Cuadro 5). El asperjador presentó un promedio de 73 gotas/cm<sup>2</sup>, por otro lado, se evidenció dentro de las variables del dron una diferencia significativa con el tratamiento realizado a 3 m de altura, el cual presentó 4.89 gotas/cm<sup>2</sup>, siendo el tratamiento del asperjador el cual representó una mejor eficiencia de uniformidad en gotas/cm<sup>2</sup>, contrario a los resultados encontrados en el estudio realizado por Mejía Cárdenas (2018), en el cual se encontraron datos con una mayor cantidad de gotas/cm<sup>2</sup>.

El parámetro aceptado para aplicaciones de herbicidas de manera foliar es de 20 a 30 gotas/cm<sup>2</sup> según Fernández (2018), lo cual demuestra que tres de los cinco tratamientos cumplen con este parámetro, exceptuando el tratamiento del dron a Volumen de 15 L y el de altura 3 m. Se evidencia como el factor altura tiene un papel fundamental en la aplicación para poder evitar la deriva. Por otro lado, el dron a Volumen 15 L se realizó a una altura de 2 m motivo por el cual no debería de presentar un dato fuera del parámetro. Sin embargo, como se puede observar el número de gotas/cm<sup>2</sup> de este tratamiento fue apenas inferior al parámetro, por lo tanto, se le puede atribuir a una condición climática que se haya presentado durante la aplicación.

**Cuadro 5**

*Promedio de gotas/cm<sup>2</sup> de Aplicación de agroquímico Foliar en Parcelas de 0.258 ha por Parte del Dron DJI Agras T10 y el Asperjador Jacto Columbia 2000, en el Lote Tobiatá, Pivote central, Finca San Nicolas, EAP Zamorano*

Variable	Promedio gotas/cm <sup>2</sup> *
Asperjador	73.31a
Dron volumen 10 litros	23.96b
Dron volumen 15 litros	17.62b
Dron altura 2 m	20.67b
Dron altura 3 m	4.89c
p-valor	<0.0001
CV	11.52
R <sup>2</sup>	0.99

*Nota.* Medias con la misma letra no difieren entre sí (P>0.05)

### **Conclusiones**

Se concluyó que el Dron DJI Agras fue el más eficiente y efectivo que el asperjador Jacto Columbia 2000 en el experimento, gracias a sus tiempos de aplicación más rápidos y mayor capacidad efectiva de campo (CEC).

El dron DJI Agras T10 demostró ser considerablemente más económico que el asperjador Jacto Columbia 200.

En relación con la cobertura foliar el Asperjador Jacto Columbia 2000 tuvo una mayor cobertura en gotas/cm<sup>2</sup> en comparación al dron DJI Agras T10.

Se observó que el Asperjador Jacto Columbia 2000 logró una mayor cobertura de gotas/cm<sup>2</sup> en comparación con el dron DJI Agras T10.

### **Recomendaciones**

Realizar las aplicaciones del dron en una altura máxima de 2 m ya que con alturas superiores se evidenció altos niveles de deriva y por ende poca cobertura en el cultivo.

Realizar las aplicaciones del dron en condiciones climatológicas favorables para evitar aplicaciones deficientes y la pérdida de producto.

Realizar la aplicación del asperjador en parcelas con una mayor área para reducir el tiempo muerto de nuestra aplicación en curvas de difícil maniobrabilidad aumentando así la eficiencia de este.

Realizar un estudio en el cual se evalúa la adaptabilidad del dron en aplicaciones con pendientes moderadas o pronunciadas.

## Referencias

- Acevedo-Pérez A, Galves-Falcón O, Acevedo-Darias A, Marín-Darias D. 2022. Evaluación tecnológica y de explotación de la asperjadora Jacto Columbia Cross AD-18 en Villa Clara. *Revista Ingeniería Agrícola*. 12(2). <https://rcta.unah.edu.cu/index.php/IAgric/article/view/1582/3030>.
- Bastidas A, Macas K, Ñacato D, Tapia M. 2023. Análisis y comparación de un sistema de fumigación para un dron Matrice 600 Pro vs el dron fumigador DJI Agras T30 A. *Pentaciencias*. 5(1):539–556. <https://www.editorialalema.org/index.php/pentaciencias/article/view/470/611>.
- Cedeño Fuentes J. 2020. Agro Drone - BI: Plan de negocios para optar al grado de magíster en administración [Tesis de Posgrado]. Panamá: Universidad de Chile, Postgrado de economía y negocios. <https://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/184810/Tesis%20-%20Jayson%20Cede%20-%20Parte%20I.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.
- Cornejo Hurtado C, Garcia Moron A. jul. 2021. Plan de negocio para la implementación de una empresa de servicios integrales basada en tecnología UAV (drones) en fertilización y fumigación de cultivos específicos: Tesis presentada en satisfacción parcial de los requerimientos para obtener el grado de Magíster en Administración [Tesis de Posgrado]. Lima, Perú: Escuela de Graduados de ESAN Business, Programa de Maestría en Administración a Tiempo Parcial 66; [consultado el 18 de jun. de 2023]. [https://repositorio.esan.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12640/2404/2021\\_MATP\\_19-1\\_11\\_T.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.esan.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12640/2404/2021_MATP_19-1_11_T.pdf?sequence=1&isAllowed=y).
- Durand Rojas G. 2017. Evaluación del Coeficiente de Uniformidad de Christiansen en Riego por Aspersión con Línea Lateral Unitaria en el Distrito Huambo, Provincia Caylloma, Región Arequipa [Tesis]. Perú: Universidad Católica de Santa María, Escuela Profesional de Ingeniería Agronómica y Agrícola. spa. <https://repositorio.ucsm.edu.pe/handle/20.500.12920/7157>.
- Fernández J. 2018. Ningún producto agroquímico es mejor que la técnica con la que se aplica. Argentina: El Semiárido. <http://www.elsemiarido.com/chasco-de-los-15-000-millones-para-socorrer-ganaderos-solo-se-usaron-88/>.
- Flores de la Riva JF, Ayala Erazo DA. nov. 2022. Evaluación de la eficiencia del sistema AMSAutoTrac de John Deere [Tesis]. Honduras: Escuela Agrícola Panamericana Zamorano, Departamento de Ciencia y Producción Agropecuaria; [consultado el 18 de jun. de 2023]. <https://bdigital.zamorano.edu/server/api/core/bitstreams/2a0ce339-0e20-4ca4-9080-7b54b9d5a12e/content>.
- García-Torres L, Benites J, Martínez-Vilela A, Holgado-Cabrera A. 2003. *Conservation Agriculture*. Dordrecht: Springer Netherlands. ISBN: 978-90-481-6211-6.
- González A, Amarillo G, Amarillo M, Sarmiento F. 2016. Vista de Drones Aplicados a la Agricultura de Precisión. *Revista Especializada en Ingeniería*; [consultado el 3 de feb. de 2023]. 10:23–36. <https://hemeroteca.unad.edu.co/index.php/publicaciones-e-investigacion/article/view/1585/1917>.
- Hetz E, Huerta A, Villar S, López R. M. 1998. Evaluación económica de los tractores agrícolas comercializados en Chile. *agrosur*. 26(2):33–43. doi:10.4206/agrosur.1998.v26n2-04.
- Landini F, Beramendi M, Vargas G. 2019. Uso y Manejo de Agroquímicos en Agricultores Familiares y Trabajadores Rurales de Cinco Provincias Argentinas. *Rev Argent Salud Pública*; [consultado el 3 de feb. de 2023]. 10:22–27. <http://www.scielo.org.ar/pdf/rasp/v10n38/1853-810X-rasp-10-38-22.pdf>.

- Massaro R. 2007. Aplicación terrestre de plaguicidas: Hay que cambiar la forma de trabajar: La tecnología para la aplicación de plaguicidas con pulverizadores terrestres ofrece en la actualidad una serie de alternativas para hacer más eficiente la práctica de control de plagas, minimizando los efectos colaterales por las pérdidas de productos. InfoAgro. 1–6. [https://www.infoagro.com/documentos/aplicacion\\_terrestre\\_plaguicidas\\_\\_hay\\_que\\_cambiar\\_forma\\_trabajar.asp](https://www.infoagro.com/documentos/aplicacion_terrestre_plaguicidas__hay_que_cambiar_forma_trabajar.asp).
- Mejía Cárdenas CF. 2018. Propuesta para el mejoramiento de la aplicación de agroquímicos mediante vehículos aéreos no tripulados (drones) en la irrigación [Tesis]. Perú: Delgado Montesinos ME, Ingeniero Industrial. <https://core.ac.uk/download/pdf/198121886.pdf>.
- Nanavati RV, Meng Y, Coombes M, Liu C. 2023. Generalized data-driven optimal path planning framework for uniform coverage missions using crop spraying UAVs. Precision Agric. 1497–1525. En;en. <https://link.springer.com/article/10.1007/s11119-023-09999-3>. doi:10.1007/s11119-023-09999-3.
- Ogando Y. 2022. Evaluación del sistema AMS AutoTrac™ John Deere® bajo dos niveles de precisión [Tesis]. Honduras: Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, Departamento de Ciencia y Produccion Agropecuaria. <https://bdigital.zamorano.edu/server/api/core/bitstreams/29cc7e48-abb1-4e4a-9b68-bafbf7118c62/content>.
- Weather Spark. 2023. Datos históricos meteorológicos de 2023 en Tegucigalpa. [sin lugar]: Weather Spark. <https://es.weatherspark.com/h/y/13697/2023/Datos-hist%C3%B3ricos-meteorol%C3%B3gicos-de-2023-en-Tegucigalpa-Honduras>.
- Zentra Cloud. 2023. Condiciones meteorológicas. [sin lugar]: Zentra Cloud. [zentracloud.com](https://zentracloud.com).

**Anexos****Anexos A***Asperjador Jacto Columbia 2000*

**Anexos B***Boquilla T Jet 110 – 02 Utilizada en el Experimento*

## Anexos C

### *Calibración de Boquillas del Dron DJI Agras T10*



**Anexos D***Ubicación del Papel Hidrosensible Dentro de las Unidades Experimentales*

## Anexos E

### *Aplicación del Asperjador Jacto Columbia 2000*



## Anexos F

### *Aplicación del Dron DJI Agras T10*

