

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE AGRICULTURA
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS**



**EVALUACIÓN DE PARAMETROS DE VUELO DE DRON AGRICOLA AGRAS T20P
PARA APLICACIONES EFICIENTES DE PRODUCTOS FITOSANITARIOS Y
BIOESTIMULANTES, EN CHOLUTECA, HONDURAS**

PROYECTO DE TESIS

**PRESENTADO A LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE AGRICULTURA COMO
REQUISITO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TITULO DE
INGENIERO AGRÓNOMO**

POR:

DIEGO ALEXANDER FLORES ALVARADO

CATACAMAS, OLANCHO

HONDURAS, C.A.

NOVIEMBRE, 2025

UNIVERSIDAD NACIONAL DE AGRICULTURA

**EVALUACIÓN DE PARAMETROS DE VUELO DE DRON AGRICOLA AGRAS T20P
PARA APLICACIONES EFICIENTES DE PRODUCTOS FITOSANITARIOS Y
BIOESTIMULANTES, EN CHOLUTECA, HONDURAS**

POR:

DIEGO ALEXANDER FLORES ALVARADO

TESIS



CATACAMAS, OLANCHO

HONDURAS,C.A.

NOVIEMBRE, 2025

**EVALUACIÓN DE PARAMETROS DE VUELO DE DRON AGRICOLA AGRAS T20P
PARA APLICACIONES EFICIENTES DE PRODUCTOS FITOSANITARIOS Y
BIOESTIMULANTES, EN CHOLUTeca, HONDURAS**

POR:

DIEGO ALEXANDER FLORES ALVARADO

JORGE ALBERTO CALIX M.Sc.

Asesor Principal

**PRESENTADO A LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE AGRICULTURA COMO
REQUISITO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TITULO DE
INGENIERO AGRÓNOMO**

CATACAMAS, OLANCHO

HONDURAS,C.A.

NOVIEMBRE, 2025

Acta de sustentacion

II DEDICATORIA

Dedico este trabajo, en primer lugar, a Dios, fuente de vida y sabiduría, por darme la fortaleza para superar cada reto y la claridad para seguir adelante incluso en los momentos más difíciles.

A mi familia, por su compañía, palabras de aliento y comprensión en las horas de estudio y ausencia. Su apoyo silencioso ha sido un motor constante para seguir adelante.

A todos aquellos amigos y compañeros que me brindaron su tiempo, su ayuda y su motivación en este camino, recordándome que el aprendizaje es más valioso cuando se comparte.

A mis padres, quienes, con su amor incondicional, sacrificio y esfuerzo han sido el pilar fundamental de mi vida. Su ejemplo de perseverancia y dedicación me ha inspirado a no rendirme nunca y a mantener la mirada fija en mis objetivos.

A todas las personas que, aunque no aparezcan mencionadas con nombre propio, han sido parte de esta travesía académica y personal, les dedico también este logro.

III AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, agradezco a Dios, por ser mi guía y sostén en cada paso de este proceso, por darme la salud, el ánimo y la paciencia necesarios para culminar esta etapa.

Mi más profundo agradecimiento a mis padres **Cristóbal Flores Maradiaga** y **María del Carmen Alvarado**, quienes han sido ejemplo de integridad, esfuerzo y constancia. Su amor, sacrificio y apoyo incondicional han hecho posible que hoy alcance esta meta.

Extiendo mi gratitud a mi familia, por comprender mis ausencias, por sus palabras de aliento en momentos de cansancio y por celebrar cada pequeño avance conmigo.

Agradezco sinceramente a mis docentes, en especial a mi asesor **M.Sc. Jorge Alberto Calix Orellana**, también a mis asesores secundarios, **Ph.D Reynaldo Eliseo Flores Gómez** y **M.Sc Adrián Francisco Reyes**.

A mi asesor adjunto **Boris Leon Cruz**, por su orientación, por compartir sus conocimientos con generosidad y por su paciencia en cada etapa del desarrollo de este trabajo.

Mi más sincero agradecimiento a la empresa **SOUTH VALLEY** y a todo su personal en general por su apoyo técnico y logístico brindado, especialmente por facilitar el uso de sus drones para la realización de las aplicaciones y la recopilación de datos de campo.

A mis compañeros de estudio, quienes con su compañerismo y colaboración hicieron más llevadero el camino. Gracias por compartir no solo conocimientos, sino también momentos de amistad que quedarán en la memoria.

Finalmente, agradezco a todas las personas e instituciones que, de manera directa o indirecta, brindaron su apoyo para la realización de esta tesis. A todos ustedes, mi más sincera gratitud, pues este logro también les pertenece.

IV CONTENIDO

	Pág.
II DEDICATORIA.....	5
III AGRADECIMIENTOS	6
IV CONTENIDO.....	7
V LISTA DE TABLA	9
VI LISTA DE FIGURA.....	10
VII LISTA DE ANEXOS.....	1
VIII RESUMEN Y ABSTRACT	2
1. INTRODUCCIÓN	4
2. OBJETIVOS.....	6
2.1 Objetivo general.....	6
2.2 Objetivos específicos	6
3. HIPOTESIS	7
3.1 Hipótesis Nula	7
3.2 Hipótesis Alternativa	7
4. REVISION DE LITERATURA	8
4.1 Historia.....	8
4.1.1 Origen de los drones en la agricultura	8
4.1.2 Agricultura de precisión.....	8
4.2 Adopción de los drones en la agricultura	9
4.3 Beneficios de el uso de drones en la agricultura	10
4.4 Desafíos.....	11
4.5 Influencia de la altura de vuelo en aplicaciones fitosanitarias con drones	11

4.6	Dron Agras T20P	12
4.7	Calidad de agua para aplicaciones con drones	12
5.	MATERIALES Y METODOS	13
5.1	Descripción del lugar	13
5.2	Materiales y equipo	13
5.3	Metodología	14
5.4	Procedimientos	15
5.4.1	Diseño experimental	15
5.4.2	Tratamientos	15
5.4.3	Variables evaluadas	16
5.4.4	Procedimiento de recolección de datos	17
5.5	Análisis estadístico	17
6.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	18
6.1	Gotas /cm²	18
6.1	Diámetro volumétrico	20
6.2.1	Dv.1	20
6.2.2	Dv.5	21
6.2.3	Dv.9	22
6.3	Cobertura	24
6.4	Uniformidad	26
7.	CONCLUSIONES	28
8.	RECOMENDACIONES	29
9.	Bibliografía	30
10.	Anexos	32

V LISTA DE TABLA

	Pág.
Tabla 2. Resultado de ANOVA de Gotas/cm.....	18
Tabla 3. Resultado de prueba de tukey para la variable gotas.....	18
Tabla 4. Resultado de ANOVA DV.1.....	20
Tabla 5. Resultado de prueba tukey para la variable DV.1	20
Tabla 6. Resultado de ANOVA DV.5.....	21
Tabla 7. Resultado de prueba tukey para la variable DV.5.....	21
Tabla 8. Resultado de ANOVA DV.9.....	22
Tabla 9. Resultado de prueba tukey para la variable DV.9	22
Tabla 10. Resultado de ANOVA de Cobertura	24
Tabla 11. Resultado de prueba tukey para la variable Cobertura	24
Tabla 12. Resultado de ANOVA de Uniformidad.....	26
Tabla 13 Resultado de prueba tukey para la variable Uniformidad.....	27
Tabla 14. Promedios de variable por tratamiento	27

VI LISTA DE FIGURA

Figura 1. Ubicación del lugar	13
Figura 2. Nomenclatura del diseño experimental	15
Figura 3. Cuadro descripción de tratamientos	16
Figura 4. Gráfico de distribución de gotas	19
Figura 5. Gráficos de diámetros volumétricos.....	23
Figura 5. Gráfico de cobertura.....	25

VII LISTA DE ANEXOS

Anexo 1. Anemometro"Delta T" imagen representativa de como fue el uso del delta t	32
Anexo 2. Base y posicionamiento de papel hidrosensible	33
Anexo 3. Evidencia representativa de las tarjetas después de la pulverización	34

VIII RESUMEN Y ABSTRACT

RESUMEN

El presente trabajo de investigación tuvo como finalidad determinar los parámetros de vuelo idóneos del dron agrícola DJI Agras T20P, con el objetivo de optimizar las aplicaciones de productos fitosanitarios. Se evaluaron diferentes alturas de vuelo, analizando su efecto sobre la deposición o distribución de las gota, cobertura y uniformidad de la aplicación.

Los resultados evidenciaron que la altura de vuelo es un factor determinante en la eficiencia de las aplicaciones aéreas. Alturas intermedias- altas permitieron una mayor distribución de gotas y una mejor cobertura, reduciendo riesgos de deriva y evitando concentraciones excesivas

En conclusión, el dron Agras T20P representa una herramienta eficiente y sostenible para la aplicación de productos fitosanitarios

Palabras clave: Agras T20P, altura de vuelo, deposición de gotas, cobertura

ABSTRACT

The purpose of this research was to determine the ideal flight parameters for the DJI Agras T20P agricultural drone, with the aim of optimizing the application of plant protection products. Different flight heights were evaluated, analyzing their effect on droplet deposition or distribution, coverage, and application uniformity.

The results show that flight altitude is a determining factor in the efficiency of aerial applications. Intermediate-high altitudes allowed for greater droplet distribution and better coverage, reducing the risk of drift and avoiding concentrations.

In summary, the Agras T20P drone is an efficient and sustainable tool for the application of plant protection products.

Keywords: Agras T20P, flight altitude, droplet deposition, coverage

1. INTRODUCCIÓN

Desde el punto de vista histórico, la agricultura ha jugado un papel muy importante en el proceso de desarrollo económico de las naciones. Tanto en los países desarrollados como en muchas de las economías emergentes se han visto cómo la agricultura ha sido el motor del crecimiento de los demás sectores y, en general, de los países (Pingali, 2006), citado por (Beltran, 2023).

La Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), estima que la población mundial superará los 9.000 millones de personas en 2050 y considera que la demanda de productos agrícolas se incrementará entre un 60 y 70 %. En este contexto, sólo un desarrollo complejo y acelerado de tecnologías podrían satisfacer la demanda. Surge así el desarrollo de la Agricultura de Precisión (AP), una variante del “Smart Farming” o agricultura Inteligente, mediante la aplicación de Tecnologías de la Información y Comunicación (TIC) y que progresivamente se va considerando como la “segunda revolución verde”. (Derlys, 2018).

Según Perdomo (2021), menciona que las tecnologías agrícolas evolucionan cada día, brindando oportunidades para aumentar la productividad y seguridad de los agricultores. Una de las herramientas que ha existido por algún tiempo, pero que en años recientes ha empezado a utilizarse en la agricultura es el uso de los vehículos no tripulado mejor conocido como drones. Mayor accesibilidad a estas herramientas y un aumento en la digitalización en la agricultura, han hecho que los drones se conviertan en aliados para la producción agrícola global.

Los drones, o Vehículos Aéreos No Tripulados (VANT), cumplen múltiples funciones en la agricultura, como el mapeo de campos, la vigilancia y monitoreo de los cultivos, plagas y enfermedades, la eficiencia de irrigación, y la aplicación de plaguicidas, entre otros.

Adicionalmente, traen múltiples beneficios, como la aplicación precisa, localizada y en áreas de difícil acceso, una menor exposición del aplicador, ahorro de agua y tiempo, y el aumento de la productividad del agricultor. (Perdomo, 2021).

Según AHSAFE(Asociación Hondureña de la Industria de Sanidad Agropecuaria y Fertilizantes),(2021) afirma que la rápida adopción de la tecnología de los drones está relacionada con las ventajas y beneficios que ofrecen. Las aplicaciones de productos fitosanitarios con drones garantizan una eficiencia del 80% comparada con otras tecnologías de aplicación como la bomba de espalda o la mochila, que es la herramienta más utilizada en los países andinos y en Centroamérica.

El presente trabajo se desarrollará en conjunto con la empresa Liontari Smart Farming y tiene como finalidad evaluar y establecer los parámetros óptimos de vuelo del dron Agras T20P, con el objetivo de mejorar la eficiencia en la aplicación de productos fitosanitarios. La correcta determinación de estos parámetros permitirá optimizar los protocolos de aplicación aérea, lo que contribuirá significativamente al desarrollo de los cultivos y al aumento de su productividad.

Asimismo, este estudio busca generar recomendaciones técnicas que orienten sobre los factores más relevantes a considerar durante las aplicaciones, tales como la altura de vuelo, y condiciones ambientales. Esto permitirá identificar las configuraciones ideales de operación del dron para lograr aplicaciones más eficientes, reduciendo desperdicios y mejorando la cobertura del producto aplicado.

Finalmente, se analizará la relación entre dichos parámetros y otros factores agronómicos, como la uniformidad de cobertura y la cantidad de agua utilizada por unidad de superficie. Los resultados obtenidos proporcionarán una base técnica sólida para futuras aplicaciones de agricultura de precisión en diferentes contextos productivos.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo general

- ✓ Determinar los parámetros de vuelo idóneos del dron agrícola agras T20P con el fin de optimizar las aplicaciones de productos fitosanitarios.

2.2 Objetivos específicos

- ✓ Determinar la altura de vuelo del dron Agras T20P que proporcione una mejor deposición en las aplicaciones de productos fitosanitarios.
- ✓ Analizar el impacto de las alturas de vuelo que podrían afectar la cobertura, uniformidad de la aplicación de productos fitosanitarios.
- ✓ Determinar el impacto de los parámetros de vuelo en relación al consumo de agua.

3. HIPOTESIS

3.1 Hipótesis Nula: Los parámetros de vuelo del dron Agras T20P evaluados no tiene un efecto significativo en la eficiencia de las aplicaciones de los productos fitosanitarios y bioestimulantes.

3.2 Hipótesis Alternativa: los parámetros de vuelo del dron Agras T20P evaluados muestra un efecto significativo en la eficiencia de las aplicaciones de los productos fitosanitarios y bioestimulantes

4. REVISION DE LITERATURA

4.1 Historia

4.1.1 Origen de los drones en la agricultura. 1983 en Japón

Aunque el uso de los drones aún está en pleno crecimiento, el origen de la idea esta herramienta tiene casi 40 años. En 1983 el Ministerio de Agricultura japonés encargó a Yamaha un robot diseñado para el uso agrícola y de gran precisión. El Ministerio había identificado el envejecimiento de la población agrícola como un problema y necesitaban mecanizar la agricultura para alentar a las generaciones más jóvenes. En 1991, Yamaha presentó R-MAX (era helicóptero no tripulado o sistemas de aeronaves pilotadas a distancia, lo más parecido a los actuales drones). El R-MAX tenía una gran precisión al rociar fertilizantes y herbicidas. El proyecto fue un auténtico éxito, aunque la compañía tardó 8 años en desarrollarlo. (Lopez, 2022)

4.1.2 Agricultura de precisión

El concepto sobre el que se basa la agricultura de precisión es aplicar la cantidad correcta de insumos, en el momento adecuado y en el lugar exacto. Es el uso de la tecnología de la información para adecuar el manejo de suelos y cultivos a la variabilidad presente dentro de un lote. La agricultura de precisión (AP) involucra el uso de sistemas de posicionamiento global (GPS) y de otros medios electrónicos para obtener datos del cultivo. Las tecnologías de la agricultura de precisión permiten satisfacer una de las exigencias de la agricultura moderna: el manejo óptimo de grandes extensiones. (García & Flego, 2009)

A medida que la agricultura de precisión ganaba protagonismo, los rociadores agrícolas con drones evolucionaron para convertirse en componentes clave de este enfoque transformador.

Los agricultores adoptaron el concepto de aplicación dirigida, reduciendo el uso de productos químicos y minimizando el impacto ambiental. La capacidad de los drones para administrar tratamientos en áreas específicas bajo demanda revolucionó el control de plagas y la gestión de enfermedades. (Topxgun , 2023)

4.2 Adopción de los drones en la agricultura

El uso de drones en la agricultura ha crecido considerablemente en los últimos años como parte de un enfoque eficaz de la gestión sostenible. El monitoreo de cultivos se ha facilitado mediante el uso de esta tecnología para planificar y realizar mejoras continuas. Los datos que aportan las imágenes tomadas con dron junto a otros datos de análisis integrados en un sistema de análisis y evaluación de los datos permiten obtener Caracterización de la variabilidad espacial en el estado hídrico y del suelo del cultivo, así como de la respuesta fenotípica y el estado vegetativo del mismo, Construcción de modelos 3D del terreno, Aplicaciones de alta precisión y seguridad en operaciones agrícolas, Detección temprana de plagas y enfermedades, Conteo de plantas para conocer el potencial de germinación, Mapas de prescripción de dosis de siembra, riego de precisión y abonado variable. (corteva, agriscience, s.f.)

Según (Murison, 2021) sostiene que los drones ahora son herramientas establecidas en el negocio de la agricultura, impulsando la productividad de las granjas con datos aéreos oportunos. Pero además de recopilar información vital sobre la salud de los cultivos y permitir la creación de mapas detallados NDVI (Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada) y RGB(sigla del inglés Red, Green, Blue, es un modelo de color basado en la síntesis aditiva, con el que es posible representar un color mediante la mezcla por adición de los tres colores de luz primarios) los robots voladores están desempeñando un papel activo en las operaciones diarias. Los drones de fumigación se están utilizando para la aplicación de abonos, herbicidas, pesticidas, fungicidas y más, y lo están haciendo de formas más baratas, rápidas y precisas que los métodos tradicionales.

El sector agrícola no ha sido ajeno a la revolución digital que se está desarrollando en el mundo de hoy. Según un estudio de Goldman Sachs, se prevé que el sector agrícola sea el segundo mayor usuario de drones del mundo en los próximos cinco años.

Sólo en China, se estima que el número de drones agrícolas se duplicó entre 2016 y 2017, llegando a 13.000 aeronaves. (Perdomo, 2021)

4.3 Beneficios de el uso de drones en la agricultura

Utilizar drones en la agricultura te ayudará a mejorar el rendimiento de tus cultivos en los siguientes aspectos:

Detectar plagas y malas hierbas. Una plaga en tu cultivo te puede hacer perder parte o toda tu cosecha, con la gran pérdida económica que esto supone. Gracias a los drones puedes detectar de forma temprana las zonas de tu cultivo que se han infestado y evitar que se extienda al resto del cultivo. Lo que nos lleva al siguiente beneficio.

Fumigar con más rapidez y más precisión. Los drones te permiten conocer de manera más rápida y precisa las zonas de tu cultivo que necesitan ser fumigadas. Esto te hará ser más efectivo y ahorrar costes.

Conocer el estado de las plantas y del suelo. Elaborando un mapa que muestra la reflectancia que reflejan las plantas, gracias a los drones puedes saber si una planta está sana y realiza adecuadamente la fotosíntesis. Además, te proporciona datos sobre la fertilidad del suelo y si hay deficiencias de nutrientes. De esta forma, reduces los costes y aumentas la productividad, ya que no inviertes tanto tiempo como con los métodos tradicionales de inspección ocular.

Realizar el inventario de los terrenos de cultivo. Si tu cultivo es de gran extensión, contabilizar las plantas que este tiene conlleva invertir mucho tiempo. Con los drones puedes contar las plantas y determinar su población de manera rápida. Esto se traduce en un ahorro de tiempo y dinero considerable. Además, también puedes conocer los problemas de espacio que tiene tu cultivo. (Eosoltech, 2024)

4.4 Desafíos

A pesar de los beneficios, la adopción de drones en la agricultura aún enfrenta algunos desafíos como es el coste inicial de los equipos, junto con la necesidad de capacitación técnica para operar y analizar los datos, puede ser una barrera para los pequeños agricultores. Por otra parte, las regulaciones en torno al uso de drones varían entre países, lo que puede complicar su implementación. Sin embargo, las mejoras continuas en la tecnología de drones y la disminución de costes hacen prever un crecimiento en su adopción. (INNOVA TRAINING CONSULTORIA Y FORMACION, SL, 2024)

4.5 Influencia de la altura de vuelo en aplicaciones fitosanitarias con drones

Según Binti (2023) en una investigación demostró que las diferentes alturas de vuelo tienen una influencia significativa en la longitud de distribución de las gotas durante la pulverización con drones. En particular, cuando se vuela a mayor altitud, la distribución de las gotas tiende a ser menor, mientras que a menor altitud la distribución de las gotas es mayor. La longitud de la distribución de las gotas puede variar en función de factores como la ráfaga de viento, la configuración de la boquilla y la solución de pulverización.

Se ha comprobado que, teniendo en cuenta la configuración del dispositivo en buenas condiciones de ajuste, el Dron es capaz de proporcionar la longitud de distribución de gotas óptima a una distancia de 1,5 metros. Longitud óptima de distribución de las gotas a una distancia de 4 m en cada altura, incluso en condiciones meteorológicas ventosas. (Binti, 2023)

Según Binti (2023) menciona que su investigación proporciona una valiosa orientación para los operadores de drones y los agricultores. Se subraya la importancia de considerar las pruebas de pulverización en cada dron pulverizador para averiguar la longitud óptima de distribución de las gotas con el fin de aumentar la producción agrícola.

4.6 Dron Agras T20P

El AGRAS T20P es ligero y ágil, a la vez que ofrece un rendimiento potente. Puede transportar una carga útil de pulverización de hasta 20 kg y una carga útil de esparcimiento de hasta 35 L (25 kg) , y está equipado con un sistema de pulverización de atomización dual, DJI Terra, radar activo de matriz en fase y visión binocular. Admite múltiples operaciones, desde levantamiento topográfico y mapeo hasta pulverización y esparcimiento, ofreciendo un rendimiento y una versatilidad superiores. (Fumigadron, s.f.)

4.7 Calidad de agua para aplicaciones con drones

En las pulverizaciones agrícolas se utiliza agua como vehículo para transportar los activos al blanco. El agua (H_2O) es una molécula compuesta de dos átomos de hidrógenos y uno de oxígeno, capaz de disolver y sostener sustancias orgánicas y minerales. La calidad del agua es crucial para la performance de los productos a aplicar y esto se ve directamente reflejado en el control alcanzado con la pulverización, pero, según datos de una encuesta realizada por REM en 2018, casi el 30% de los productores no conocen la calidad del agua con la que están pulverizando. (Aapresid, 2019)

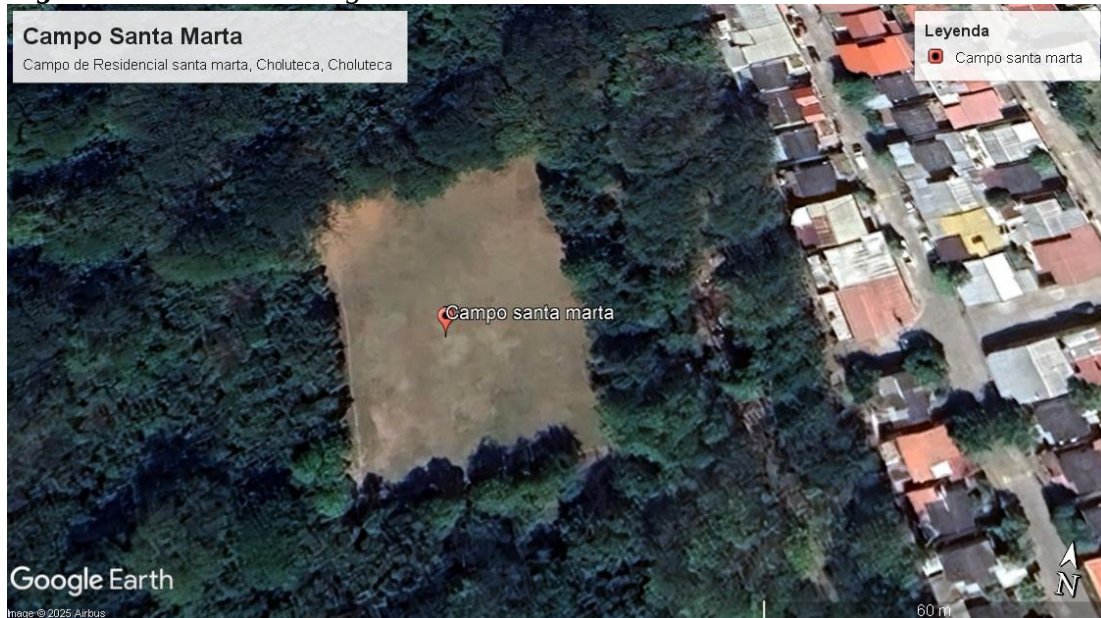
Estudios recientes demuestran que variaciones en parámetros como pH, dureza y turbidez pueden reducir hasta un 60% la efectividad de herbicidas e insecticidas cuando no se realizan correcciones previas. Este fenómeno adquiere particular relevancia en aplicaciones con drones, donde los menores volúmenes de mezcla y mayores concentraciones de productos intensifican los efectos negativos de un agua inadecuada. (Gleba, 2020)

5. MATERIALES Y METODOS

5.1 Descripción del lugar

El trabajo de investigación se realizó en el campo de Residencial Santa Marta que en algunas ocasiones es usado para pruebas experimentales de la empresa SOUTH VALLEY, y que se encuentra ubicado en el municipio de CHOLUTECA, en el departamento de CHOLUTECA. Específicamente en las coordenadas 13.3012489, -87.2040492. Esto se llevó a cabo en colaboración con dicha empresa que es quien hizo posible esta investigación.

Figura 1. Ubicación del lugar



5.2 Materiales y equipo

- ✓ **Dron:** Disponibilidad del dron para poder realizar las aplicaciones experimentales del estudio a realizado
- ✓ **Papel hidrosensible:** contar con láminas de papel hidrosensible para poder realizar análisis de la deposición de las aplicaciones realizadas.

- ✓ **Computadora** para realizar los análisis de varianza (ANOVA) mediante programa como Rstudio y DepositScan para las lecturas o interpretación del papel hidrosensible. Vehículo para medio de transporte, formatos para toma de datos, instrumento para tomar fotografía.
- ✓ **Alambre y tenaza** para realizar la base donde se pondrá el papel hidrosensible

5.3 Metodología

El método implementado se trata de un método técnico-investigativo y también fue en un enfoque organizado en acciones y actividades realizadas en conjunto con la empresa Lontari Smart Farming y South Valley que es la que pone a disposición su equipo (drones y demás tecnología) lo que hizo posible la realización de dicha investigación

El desarrollo del estudio tubo una duración aproximadamente de 3 meses, la metodología se llevó a cabo en el predio del campo de la Residencial santa marta que es el lugar donde por varias ocasiones ya se han realizado pruebas similares por empresas antes mencionadas.

Algo importante para mencionar es que las aplicaciones se realizaron solamente con agua tratada, es decir, simulando que son productos fitosanitarios, prácticamente fue similar a una calibración de equipo, lo que se buscó lograr es saber los datos de la deposición que mantiene el dron sin importar el cultivo y como puede variar según la altura de los tratamientos

5.4 Procedimientos

5.4.1 Diseño experimental

Se implementará un diseño experimental en base a bloques completos al azar en franjas con 3 repeticiones (ver Figura 2), se aplicarán 4 tratamientos (ver tabla); donde se evaluará el comportamiento de las aplicaciones con respecto a la altura de aplicación del dron para ver que altura seria la mas recomendable para poder realizar buenas aplicaciones

Figura 2. Nomenclatura del diseño experimental

Tratamiento 1 (2.5m)							
Bloque1	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7
Bloque2	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7
Bloque3	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7
Tratamiento 2 (3m)							
Bloque1	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7
Bloque2	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7
Bloque3	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7
Tratamiento 3 (3.5m)							
Bloque1	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7
Bloque2	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7
Bloque3	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7
Tratamiento 4 (4m)							
Bloque1	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7
Bloque2	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7
Bloque3	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7

Fuente: Elaboración propia

Esa distribución se utilizó para la realización de la investigación, logrando tener 3 bloques, 7 repeticiones haciendo un total de 21 unidades experimentales por tratamiento y así poder tener un total de 84 unidades experimentales

5.4.2 Tratamientos

Los tratamientos que se evaluarán se describen a continuación en la tabla 2; Se evaluarán 4 tratamientos, cada tratamiento serán aplicaciones a diferentes alturas para poder ver el efecto que tiene la altura de aplicación con respecto a la eficiencia de las aplicaciones. También hay que mencionar que en este caso no se incluyó un testigo absoluto debido a que el fin o el objetivo de la investigación no es comprobar eficiencias de productos fitosanitarios, sino analizar el efecto de las diferentes alturas con respecto a las variables tomadas en cuenta, en

otras palabras se puede decir que esta decisión se fundamentó en que el estudio está enfocado en evaluar la influencia de las diferentes alturas de aplicación y no eficiencias o control de un producto

Figura 3. Cuadro descripción de tratamientos

Tratamiento	Descripción
T1	Altura de aplicación de 2.5m
T2	Altura de aplicación de 3m
T3	Altura de aplicación de 3.5m
T4	Altura de aplicación de 4m

Fuente: elaboración propia.

También algo importante para mencionar es que cada papel hidrosensible se consideró como una unidad experimental, porque los papeles hidrosensibles se convirtieron en la herramienta más adecuada para captar de una forma directa y objetiva las pulverizaciones realizadas, con lo cual cada papel hidrosensible represento una medición independiente dentro del diseño, garantizando precisión y confiabilidad en los datos obtenidos. También se menciona un poco sobre en como estuvo su distribución, se colocaron los papeles hidrosensibles a 1m de distancia uno del otro, dentro de un mismo bloque y cada bloque tenía aproximadamente 5m de separación uno de otro. Otro punto importante que la configuración de vuelo del dron fue la misma para todos los tratamientos excepto la altura que es lo que se iba a evaluar, donde la velocidad fue de 20km/h, descarga de 20lts/ha, traslape de 7m, gota de 380micras (μm), también se contó con la ayuda del anemómetro kestrel o delta T (este instrumento nos ayuda a ver la diferencia de temperatura actual y la de punto de rocío o de humedad relativa alta, ya que estas son factores importantes a considerar cuando se trata de pulverizaciones)que nos ayudó a ver que la aplicación estuviera dentro del rango aceptable de las condiciones ambientales.

5.4.3 Variables evaluadas

- ❖ **Gotas /cm²:** con el uso del papel hidrosensible se facilito el proceso de evidenciar y contabilizar la cantidad de gotas que caen por cm² de la aplicación de cada tratamiento.

- ❖ **Diámetro volumétrico medio:** para el diámetro se tomará en cuenta los datos de DV.1, DV5. y DV.9. proporcionados por el software
- ❖ **Cobertura:** evaluación de la cobertura para cada aplicación en este caso cada tratamiento
- ❖ **Uniformidad:** evaluar la uniformidad de la deposición de las pruebas realizadas

Para poder medir las variables antes descritas se realizaron mediante el uso del programa **DepositScan** que a partir de los datos de las aplicaciones que se obtuvieron con el papel hidrosensible, el programa logro proyectar los datos de las variables mencionadas.

5.4.4 Procedimiento de recolección de datos

Para el proceso de toma de datos primero se llevó a cabo lo que fueron las actividades en campo las que consistieron en colocar los papeles hidrosensibles en el lugar donde estaban destinados para cada vuelo, luego de haber realizado eso para cada tratamiento en este caso para cada vuelo y altura se prosiguió con lo que es meter las evidencias(tarjetas de papel hidrosensible utilizadas en las pruebas previamente realizas) mediante un escáner a depositScan, luego de eso con los datos que brindo el programa se empezó a construir la tabla que se utilizaría en r, esta elaboración de tabla se puede hacer directamente de depositScan de un archivo csv a xlsx Excel pero para evitar confusiones entre puntos y coma con la ayuda de un software donde se logró hacer una app que facilitara un poco más el llenado de la tabla para luego ser utilizada por el programa de R para realizar los ANOVA y pruebas Tukey

5.5 Análisis estadístico

En cuanto al análisis de datos se realizo un análisis de varianza (ANOVA) con ayuda del programa Rstudio con el cual se elaboraron tablas entre otras ayudas visuales como gráficas con el fin de simplificar o interpretar de una mejor manera los datos obtenidos. Para encontrar diferencia en el ANOVA se realizaron pruebas de medias tukey.

6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Luego de haber realizado los análisis de varianza (ANOVA) y pruebas de media para cada variable se obtuvieron los siguientes resultados:

6.1 Gotas /cm²

Se realizó un análisis de varianza (ANOVA) para evaluar el efecto de la altura de vuelo sobre la cantidad de gotas obteniendo el siguiente resultado (Tabla 2).

Tabla 1. Resultado de ANOVA de Gotas/cm

Anova gotas					
	Df	SumSq	MeanSq	Fvalue	Pr(>F)
Tratamiento	3	362.3	120.76	3.975	0.0709
Bloque	2	99.0	49.50	1.629	0.2721
Residuals	6	182.3	30.38		

Este análisis de varianza para gotas/cm² mostro que el factor tratamiento no presento diferencias estadísticamente significativas ($p.value > 0.05$) por lo tanto se acepta la hipótesis nula, aunque hay que tomar en cuenta que el p value obtenido se encuentra cerca del nivel de significancia lo que indico una tenencia a cambiar el número de gotas conforme a las alturas implementadas, y en cuanto al bloque no presento diferencias significativas ($p.value > 0.05$), lo que indica que las condiciones experimentales entre bloques fueron homogéneas..

Luego se realizó una prueba de tukey para poder observar las diferencias entre tratamiento de esa variable (Tabla 3).

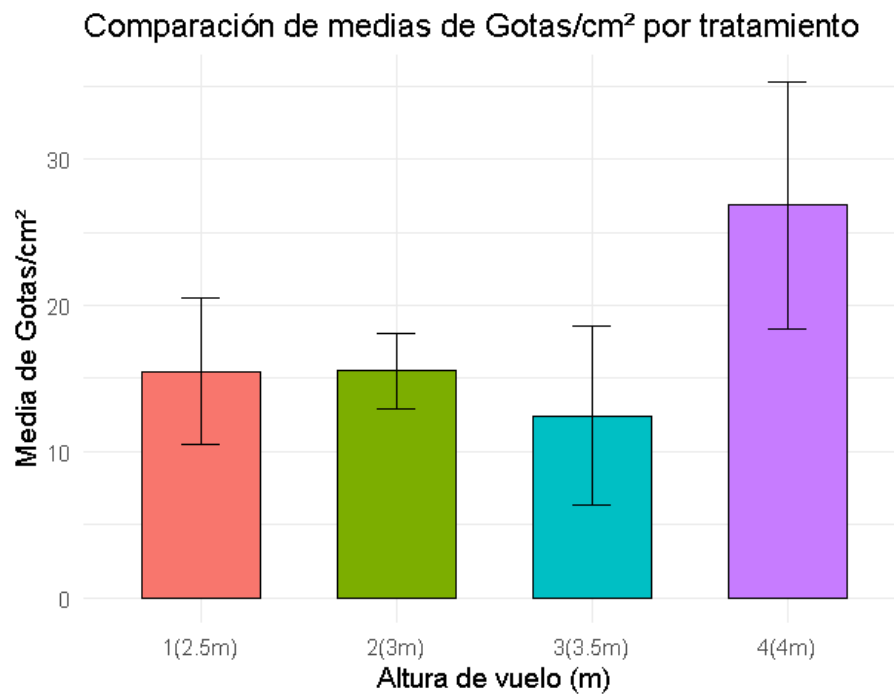
Tabla 2. Resultado de prueba de Tukey para la variable gotas

Gotas_cm groups		
4 (4m)	26.84762	a
2 (3m)	15.52857	a
1 (2.5m)	15.49048	a
3 (3.5m)	12.45238	a

La prueba de Tukey($p < 0.05$) para la variable de gotas/cm mostro que las mayores medias se registraron en los tratamientos de las alturas de 4m y 3m, en otras palabras se podría decir que se obtuvo una mayor cantidad de gotas en la deposición de 4m.

En la siguiente figura (Figura) se muestran gráficos para observar cómo estuvo distribuida la cantidad de gotas/cm en cada tratamiento.

Figura 4. *Gráfico de distribución de gotas*



6.1 Diámetro volumétrico

Se realizó un análisis de varianza (ANOVA) para evaluar el efecto de la altura de vuelo sobre el diámetro volumétrico (se basó en los datos de DV.1, DV.5, DV.9) obteniendo los siguientes resultados:

6.2.1 DV.1

Tabla 3. Resultado de ANOVA DV.1

Anova dv1					
	Df	SumSq	MeanSq	Fvalue	Pr(>F)
Tratamiento	3	11747	3916	0.414	0.749
Bloque	2	33027	16513	1.745	0.253
Residuals	6	56775	9462		

El análisis de varianza (ANOVA) realizado para la variable diámetro volumétrico (DV.1) no mostró diferencias significativas ($p > 0.05$) entre tratamientos, lo que indica el tratamiento no tuvo influencia en la variable, por lo tanto se acepta la hipótesis nula, por otro lado, el factor bloque no presentó diferencias significativas ($p\text{-value} > 0.05$), lo que sugiere que las condiciones agrupadas en bloques no influyeron de manera estadística o relevante en la variable.

También se realizó una prueba de media de Tukey para observar las diferencias entre tratamiento para esta variable (Tabla 5).

Tabla 4. Resultado de prueba Tukey para la variable DV.1

Dv.1 groups		
4(4m)	322.0952	a
1(2.5m)	311.4286	a
3(3.5m)	283.2857	a
2(3m)	241.1905	a

La prueba de Tukey ($p < 0.05$) para la variable DV.1 mostró que todos los tratamientos no tienen muchas diferencias entre sí, siendo la altura de 3m la más baja en cuanto a la media que se podría decir que presentó gotas más pequeñas (aproximadamente 241 micras (μm)), y por otro lado mostrando a la altura de 4m con la media más alta es decir presentó gotas más grandes.

6.2.2 Dv.5

Tabla 5. Resultado de ANOVA DV.5

Anova dv5					
	Df	SumSq	MeanSq	Fvalue	Pr(>F)
Tratamiento	3	46179	15393	0.542	0.671
Bloque	2	165207	82604	2.906	0.131
Residuals	6	170527	28421		

En este resultado de ANOVA para la variable (Dv.5) no presento diferencias estadísticamente significativas ($p.value > 0.05$), es decir el tamaño medio de la gota no se ve influenciado por el tratamiento en este caso la altura por lo tanto en este caso se acepta la hipótesis nula, en cuanto a los bloques no muestra diferencia significativa ($p.value > 0.05$) lo que indica que las condiciones experimentales entre bloques fueron homogéneas.

Para esta variable también se realizó la prueba de media Tukey obteniendo el siguiente resultado (Tabla 7).

Tabla 6. Resultado de prueba Tukey para la variable DV.5

Dv. 5 groups		
1(2.5m)	738.0000	a
4(4m)	652.9524	a
3(3.5m)	596.4286	a
2(3m)	578.9048	a

La prueba de Tukey($p < 0.05$) para la variable DV.5 mostro que los tratamientos no tienen diferencias significativas, todos las medias están dentro el grupo “a”, sin embargo, se observo que hay una pequeña tendencia a variar con el aumento de la altura

6.2.3 Dv.9

Tabla 7. Resultado de ANOVA DV.9

Anova dv9					
	Df	SumSq	MeanSq	Fvalue	Pr(>F)
Tratamiento	3	46179	15393	0.542	0.671
Bloque	2	165207	82604	2.906	0.131
Residuals	6	170527	28421		

El análisis de varianza (ANOVA) realizado para la variable diámetro volumétrico (DV.9) no mostro diferencias significativas ($p > 0.05$) entre tratamientos lo que indica que los tratamientos no presentaron una influencia directa sobre la variable, por ende se acepta la hipótesis nula, por otro lado, el factor bloque no presento diferencias significativas ($p.value > 0.05$), lo que afirma que las condiciones en bloques no influyeron de manera estadística o relevante en la variable.

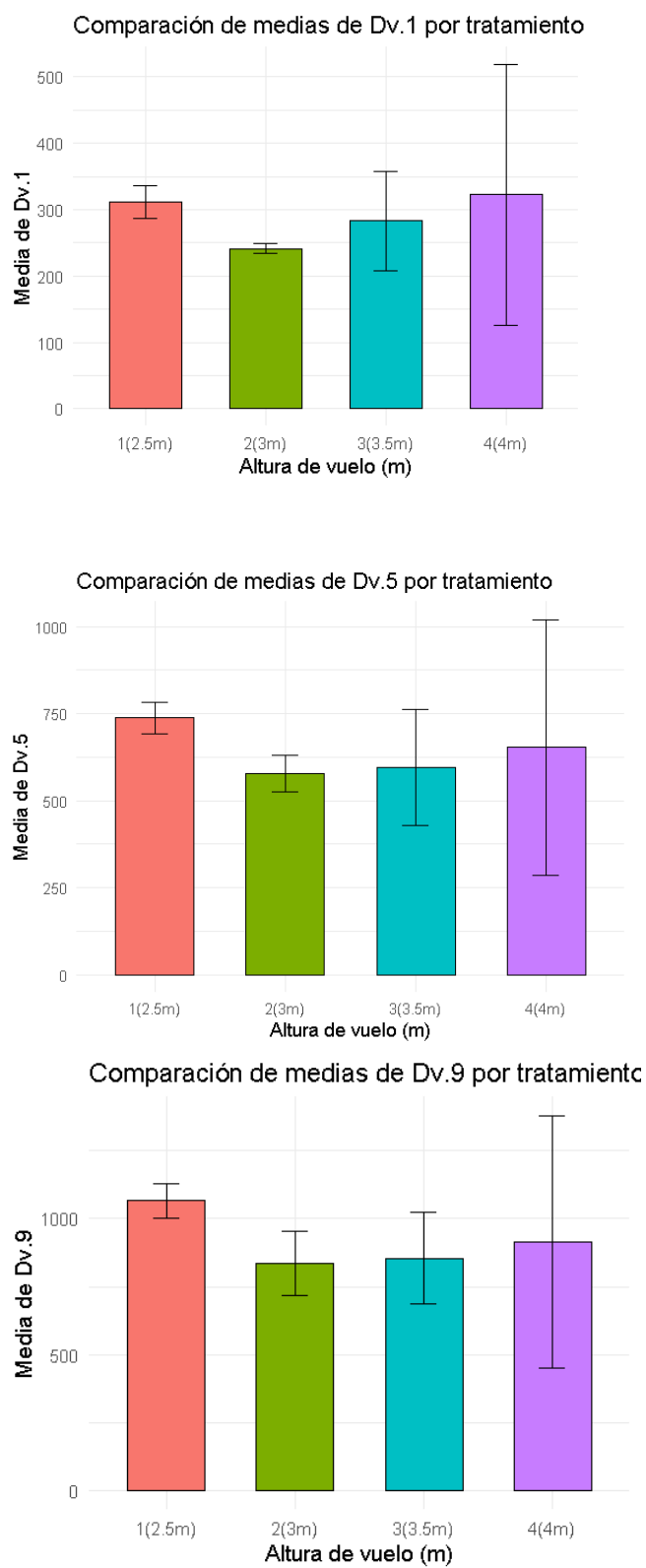
Para esta variable también se realizó su respectiva prueba de medias Tukey (Tabla 9).

Tabla 8. Resultado de prueba Tukey para la variable DV.9

Dv.9 groups		
1(2.5m)	1065.4762	a
4(4m)	914.2857	a
3(3.5m)	854.0952	a
2(3m)	837.0476	a

La prueba de Tukey($p < 0.05$) para la variable DV.9 termina de demostrar que todos los tratamientos no influyeron en la variable, sin embargo, se observó una tendencia numérica variable al aumentar la altura.

Figura 5. Gráficos de diámetros volumétricos



6.3 Cobertura

Se realizó un análisis de varianza (ANOVA) para evaluar el efecto de la altura de vuelo sobre la cobertura (para poder comparar el % de cobertura con la altura utilizada) obteniendo el siguiente resultado (Tabla 10).

Tabla 9. Resultado de ANOVA de Cobertura

Anova Cobertura					
	Df	SumSq	MeanSq	Fvalue	Pr(>F)
Tratamiento	3	6.130	2.043	1.328	0.350
Bloque	2	3.427	1.713	1.114	0.388
Residuals	6	9.230	1.538		

En este análisis de varianza para la variable cobertura muestra que el factor tratamiento no tubo diferencias significativas sobre la cobertura (p.value <0.05)

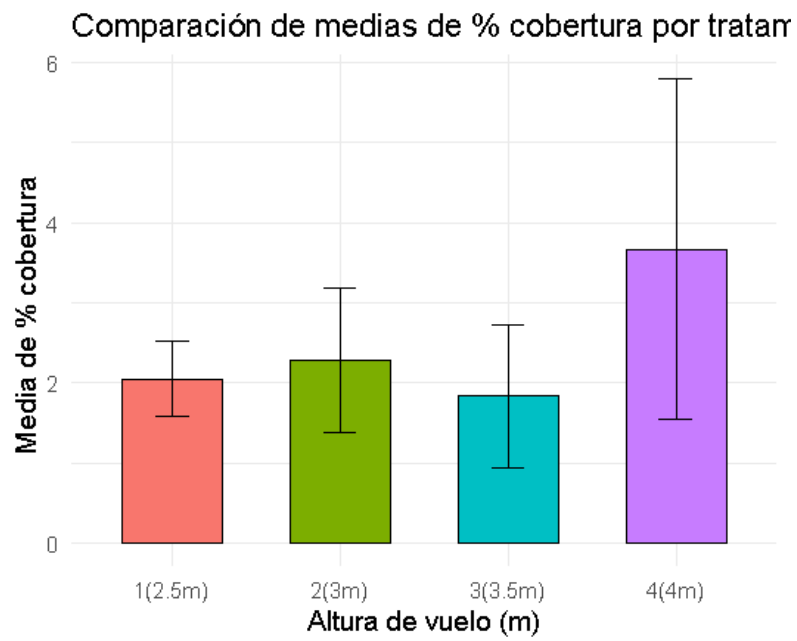
Para esta variable también se hizo una prueba de media Tukey la cual dio los siguientes resultados (Tabla 11).

Tabla 10. Resultado de prueba Tukey para la variable Cobertura

Cobertura groups		
4(4m)	3.670476	a
2(3m)	2.289048	a
1(2.5m)	2.054286	a
3(3.5m)	1.840000	a

En esta prueba de Tukey(p<0.05) para la variable cobertura confirma que los tratamientos no tienen diferencias significativas entre sí, mostrando que todas las medias pertenecen al mismo grupo “a”, sin embargo hay que mencionar que si hay una pequeña tendencia numérica creciente al aumentar la altura.

Figura 6. Gráfico de cobertura



6.4 Uniformidad

Para poder calcular la uniformidad en este caso se hizo uso de una formula denominada Span en pulverización la cual comprende lo siguiente:

$$Span = \frac{Dv. 9 - Dv. 1}{Dv. 5}$$

Y teniendo los siguientes rangos para sus resultados:

- <1.0 = distribución uniforme (ideal)
- 1.0 – 1.5 = aceptable
- >1.5 = muy heterogénea

Con los datos obtenidos de esa ecuación se realizó un análisis de varianza (ANOVA),(Tabla 12)

Tabla 11. Resultado de ANOVA de Uniformidad

Anova uniformidad					
	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
Tratamiento	3	0.01439	0.004797	0.541	0.671
Bloque	2	0.04708	0.023542	2.657	0.149
Residuals	6	0.05317	0.008861		

En este análisis de varianza (ANOVA) realizado para la variable uniformidad se muestra que tanto el factor tratamiento como el factor bloque presentaron (p.value>0.05) o que indica que no existe diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos ni entre los bloques. Por lo tanto, se acepta la hipótesis nula

También se realizó la correspondiente prueba de medias Tukey para la variable mencionada (Tabla 13)

Tabla 12. Resultado de prueba Tukey para la variable Uniformidad

Uniformidad groups		
1(2.5m)	1.0232753	a
2(3m)	1.0223734	a
3(3.5m)	0.9754115	a
4(4m)	0.9407117	a

En esta prueba de Tukey para la variable uniformidad se muestra que todos los tratamientos no tienen diferencias significativas entre sí por lo pertenecen al mismo grupo de significancia “a”, sin embargo, hay que mencionar que se presentó una tendencia de aumentar o mejorar la uniformidad con los vuelos a mayor altura

Los resultados obtenidos en este estudio en general muestran que la altura si demostró una pequeña tendencia a influir significativamente en la deposición en general de las aplicaciones (Pulverizaciones con drones agrícola), estos hallazgos coinciden con lo reportado por (Binti, 2023) donde en su investigación demostró que las diferentes alturas de vuelo tienen una influencia significativa en la longitud de distribución de las gotas durante la pulverización con drones. En particular, cuando se vuela a mayor altitud, la distribución de las gotas tiende a ser menor, mientras que a menor altitud la distribución de las gotas es mayor. Otra cosa en común con la investigación de (Binti, 2023) es que en las dos investigaciones se llega al punto donde se considera que la altura de 4m proporciona una mayor distribución o densidad de gotas/ área lo cual puede ser verificado en una tabla resumen de promedios de cada variable/ tratamiento (Tabla 14).

Tabla 13. Promedios de variable por tratamiento

Promedios						
Tratamiento	Cantidad de gotas_cm2	D.V1	D.V5	D.V9	Cobertura	uniformidad
1(2.5m)	15.49	311.43	738.00	1065.48	2.05	1.02
2(3m)	15.53	241.19	578.90	837.05	2.29	1.03
3(3.5m)	12.45	283.29	596.43	854.10	1.84	0.96
4(4m)	26.85	322.10	652.95	914.29	3.67	0.91

7. CONCLUSIONES

En el presente estudio se determinó que la altura de vuelo es un factor decisivo en la eficiencia de las aplicaciones aéreas con el dron Agras T20P. Las condiciones de vuelo evaluadas permitieron realizar comparaciones entre si para poder tomarlos en cuenta y seleccionar los más óptimos para que contribuyan a mejorar la calidad de aplicaciones de productos fitosanitarios por realizar en un futuro.

También se observó que las alturas altas del estudio (3.5 y 4m) contribuían a una mayor deposición o densidad de gotas por área. lo que en ciertas situaciones se puede decir que manteniendo una altura adecuada podría garantizar una mayor eficacia en control fitosanitarios.

Otra parte importantes es que al mantener los parámetros más adecuados según las condiciones climáticas se podría dar un mejor aprovechamiento del recurso agua, aunque en comparaciones con otros equipos de pulverización como por ejemplo los spraying boom los drones suelen ser mas eficientes en cuanto al uso de agua por aplicación por área.

Los resultados obtenidos validan el uso del dron Agras T20P como una alternativa eficiente para la aplicación de productos fitosanitarios, siempre y cuando se consideren los parámetros adecuados, lo que contribuirá a un manejo mas sostenible de insumos agrícolas, con beneficios económicos y ambientales

8. RECOMENDACIONES

- Se recomienda realizar las aplicaciones aéreas con el dron agrícola a alturas entre 3.5 – 4 metros de altura, ya que bajo estas condiciones se obtuvieron mejores valores de deposición de las gotas y cobertura.
- Es recomendable considerar las condiciones medioambientales previo a las aplicaciones, pues estos factores podrían influir en la deriva y el tamaño de las gotas. (en este trabajo se uso el delta t como instrumento para poder saber si era aceptable hacer las pruebas y ver como estaba las condiciones del ambiente)
- Se recomienda e incentiva a productores y técnicos de campo a adoptar el uso de drones como alternativa sostenible y eficiente frente a otras estrategias de aplicaciones de productos fitosanitarios.

9. Bibliografía

- Aapresid. (12 de 7 de 2019). *Aapresid*. Obtenido de No conocer la calidad del agua para las aplicaciones agrícolas puede ser costoso: <https://www.aapresid.org.ar/blog/no-conocer-la-calidad-del-agua-para-las-aplicaciones-agricolas-puede-ser-costoso>
- Ahsafe. (8 de Noviembre de 2021). *Ahsafe*. Obtenido de Drones, una tecnología para apoyar a pequeños agricultores: <https://ahsafe.hn/2021/11/08/drones-una-tecnologia-para-apoyar-a-pequenos-agricultores/#:~:text=Las%20aplicaciones%20de%20productos%20fitosanitarios,p a%C3%ADses%20andinos%20y%20en%20Centroam%C3%A9rica>.
- Beltran, G. (Julio de 2023). *Universidad de Ciencias Ambientales y Aplicadas*. Obtenido de Antecedentes, uso y aplicación de drones en Colombia como herramienta estratégica de análisis en la agricultura de precisión.-P.13: <https://repository.udca.edu.co/server/api/core/bitstreams/41675eea-0b1d-4215-801c-9500e5b6f404/content>
- Binti, N. (11 de agosto de 2023). *CENTRE OF STUDIES FOR SURVEYING SCIENCE AND GEOMATICS COLLEGE OF BUILT ENVIRONMENT UNIVERSITI TEKNOLOGI MARA MALAYSIA*. Obtenido de ANALYSIS OF THE OPTIMUM SPRAYING DISTRIBUTION LENGTH OF DROPLET POINTS ON AGRI DRONE SPRAYING SYSTEM FOR PRECISION AGRICULTURE: <https://ir.uitm.edu.my/id/eprint/87928/1/87928.pdf>
- corteva, agriscience. (s.f.). *corteva, agriscience*. Obtenido de Drones en la agricultura: sus usos y beneficios: <https://www.corteva.es/blog/drones-en-la-agricultura-sus-usos-y-beneficios.html>
- Derlys, A. (2018). *comunidades.cepal.org*. Obtenido de La agricultura del futuro: cambios y desafíos: <https://comunidades.cepal.org/ilpes/es/grupos/discusion/la-agricultura-del-futuro-cambios-y-desafios>
- Eosoltech. (26 de Julio de 2024). *HelixNorth*. Obtenido de beneficios del uso de drones en la agricultura: <https://www.helixnorth.com/blog/4-beneficios-del-uso-de-drones-en-la-agricultura>

- García, E., & Flego, F. (24 de Junio de 2009). agricultura de precisión. *revista de ciencia y tecnologia*, 99-100. Obtenido de <https://www.palermo.edu/ingenieria/downloads/pdfwebc&T8/8CyT12.pdf>
- Gleba. (2020). *Gleba*. Obtenido de Calidad del agua y su impacto en la eficiencia de aplicacion .
- INNOVA TRAINING CONSULTORIA Y FORMACION, SL. (2 de Septiembre de 2024). *agrotechcampus*. Recuperado el Abril de 2025, de Beneficios del uso de drones en agricultura: <https://agrotechcampus.com/blog/beneficios-del-uso-de-drones-en-agricultura/>
- Lopez, A. (febrero de 2022). *todoagricola.es*. Recuperado el abril de 2025, de Drones en la agricultura: Tecnología de agricultura de precisión: <https://todoagricola.es/blog/drones-agricultura-precision/>
- mordor intelligence. (2025). *Panorama de mercado de drones agrícolas y análisis de participación tendencias de crecimiento y pronósticos (2024-2029)*. Recuperado el marzo de 2025, de tamaño del mercado de drones agricolas: <https://www.mordorintelligence.com/es/industry-reports/agriculture-drones-market>
- Murison, M. (06 de Diciembre de 2021). *Dji enterprice*. Recuperado el April de 2025, de Datos sorprendentes sobre la fumigación con drones, Los drones de fumigación automatizados y de alta resistencia pueden ayudar a los agricultores a reducir costos y trabajar de manera más inteligente: https://enterprise-insights.dji.com/blog/spraying-drones-surprising-facts?_hsmi=200569090&_hsenc=p2ANqtz-_9CGD2ChnH-j0h0FiY_BU8SC-0BsyCuqpYX5Qj5T7ghrlvWztje4rAv4QuJczQtiJ63P9G_1VBKH4g1L0VHCIBV5OMIj5NkH8noJMXnxuMN9Y306E
- Perdomo, J. (Enero de 2021). *Croplife*. Recuperado el marzo de 2025, de Uso de drones en la agricultura: <https://croplifela.org/es/actualidad/uso-de-drones-en-la-agricultura>
- Robles, R. (2018). *HOBBYTUXTLA*. Obtenido de Mavic 3M para agricultura de precisión: <https://www.hobbytuxtla.com/drones-agricultores/mavic-3-multispectral/>
- Topxgun . (23 de Agosto de 2023). *topxgunag*. Obtenido de La historia de la evolución de los pulverizadores agrícolas con drones: <https://es.topxgunag.com/the-evolution-history-of-agriculture-drone-sprayers>

10. Anexos

Anexo 1. Anemometro "Delta T" imagen representativa de como fue el uso del delta t

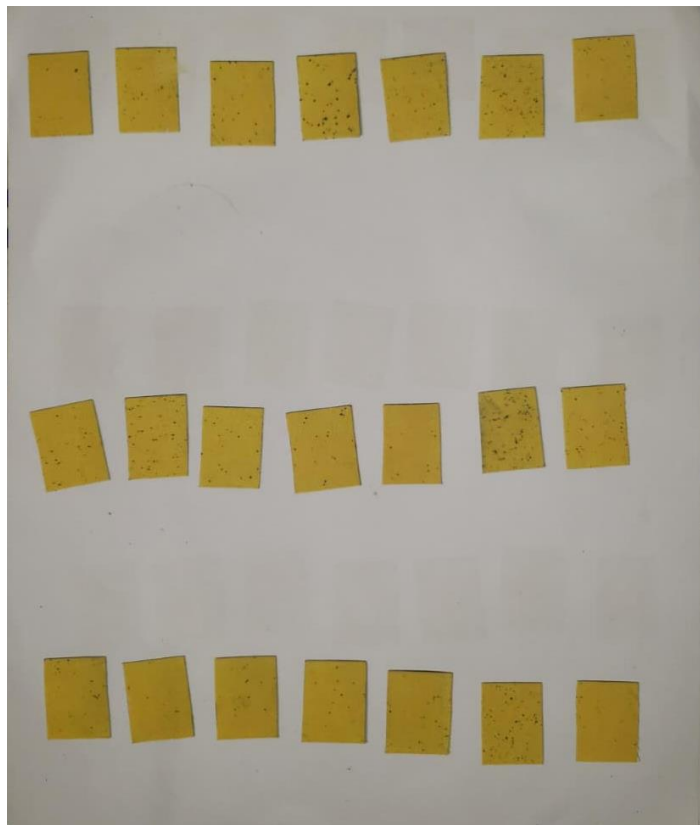


(Flores Diego, 2025)

Anexo 2. Base y posicionamiento de papel hidrosensible



Anexo 3. *Evidencia representativa de las tarjetas después de la pulverización*



Anexo 4. *Otros procesos de las pruebas realizadas*

